



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE ENERGIAS ALTERNATIVAS E RENOVÁVEIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENERGIAS RENOVÁVEIS



SUSANE ETERNA LEITE MEDEIROS

**ANÁLISE DE TENDÊNCIAS E PADRÕES CLIMÁTICOS
PARA A MESORREGIÃO DO SERTÃO PARAIBANO COM
ÊNFASE NAS ENERGIAS RENOVÁVEIS**

JOÃO PESSOA - PB
2018

PPGER / MESTRADO ACADÊMICO / N° 29

SUSANE ETERNA LEITE MEDEIROS

**ANÁLISE DE TENDÊNCIAS E PADRÕES CLIMÁTICOS
PARA A MESORREGIÃO DO SERTÃO PARAIBANO COM
ÊNFASE NAS ENERGIAS RENOVÁVEIS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal da Paraíba, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Energias Renováveis do Centro de Energias Alternativas e Renováveis, área de concentração em Meio Ambiente, Economia e Aproveitamento Energético, para a obtenção do título de Mestre.

Orientador
Prof. Raphael Abrahão, PhD

**JOÃO PESSOA - PB
2018**

Ficha Catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da UFPB

M488a Medeiros, Susane Eterna Leite.

Análise de tendências e padrões climáticos para a mesorregião do Sertão Paraibano com ênfase nas energias renováveis / Susane Eterna Leite Medeiros. – João Pessoa, 2018.

133 f. : il.

Orientação: Raphael Abrahão.

Dissertação (Mestrado) – UFPB/CEAR.

1. Mudanças climáticas. 2. Análise de tendências. 3. Teste de Mann-Kendall. 4. Semiárido. 5. Potencial energético. 6. Energias renováveis. I. Abrahão, Raphael. II. Título.

UFPB/BC

SUSANE ETERNA LEITE MEDEIROS

**ANÁLISE DE TENDÊNCIAS E PADRÕES CLIMÁTICOS
PARA A MESORREGIÃO DO SERTÃO PARAIBANO COM
ÊNFASE NAS ENERGIAS RENOVÁVEIS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal da Paraíba, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Energias Renováveis do Centro de Energias Alternativas e Renováveis, área de concentração em Meio Ambiente, Economia e Aproveitamento Energético, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 27 de fevereiro de 2018.



Prof. Dr. RAPHAEL ABRAHÃO

UFPB



Prof. Dra. ANA CLAUDIA FERNANDES MEDEIROS BRAGA

UFPB



Prof. Dra. RIUZUANI MICHELLE BEZERRA PEDROSA LOPES

UFPB

Orientador
Prof. Dr. Raphael Abrahão

**JOÃO PESSOA - PB
2018**

*Às minhas filhas, pelo misterioso prazer de
sonhar...*

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus por tudo em minha vida.

E ao meu orientador, professor Raphael Abrahão, por toda a dedicação, paciência, incentivo e ensinamentos que me levaram a alcançar mais essa etapa. Sou grata de forma especial às professoras Ana Claudia e Riuzuani por aceitarem participar desta banca, pelas recomendações e sugestões, assim como às professoras Monica, Riuzuani, Marta e Flávia pelo apoio que recebi em momentos cruciais. Todos contribuíram significativamente me encorajando e inspirando.

Sou grata a todos que, direta ou indiretamente, colaboraram com meu crescimento e a realização deste trabalho. Em especial:

Aos meus pais e irmãos, por todo o amor e carinho que sempre me dedicaram, particularmente minha mãe, Célia Eterna. Nos momentos mais adversos eu sei que posso contar com seu estímulo, zelo e amparo incondicional, porque sempre foi assim.

Às minhas filhas, Ísis e Helena, e meu esposo, Deonilson, pelo amor, carinho, incentivo, cooperação, abnegação e parceria, dando real significado à família. Sem vocês, nada disso teria sentido.

Aos amigos que encontrei durante essa caminhada, como os alunos do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC) - Idmon e Louise – bem como Wallysson, também aluno do curso de pós-graduação do Centro de Energias Alternativas e Renováveis, que muito contribuíram com a elaboração dessa dissertação e de outros trabalhos científicos, como uma verdadeira equipe.

E aos amigos que fazem parte de todas as esferas da minha vida, tanto acadêmica quanto profissional e pessoal: minha sogra, Deolinda; Daguia; minha cunhada, Deonilda; Simone e Arnaldo Júnior; Cintia Medeiros; Dayse; Mayara; Michel; Monijany; Priscila Nilo; Adilsa; Mery Anne e Murilo (Pereira), pelos sonhos que vivenciamos juntos.

À vida longa dos meus avós paternos, Lia e Zé Leite, com mais de um século de sabedoria e resiliência. E pela saudade que sinto dos meus avós maternos, Custódia e Antônio, pelo exemplo de dignidade, respeito e desprendimento.

À Agência Executiva de Gestão das Águas do estado da Paraíba (AESAs) por atenderem prontamente a todas as solicitações de dados e outras informações.

À Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado da Paraíba (FAPESQ) pela concessão da bolsa de estudo.

“O correr da vida embrulha tudo. A vida é assim: esquenta e esfria, aperta e daí afrouxa, sossega e depois desinquieta. O que ela quer da gente é coragem...”

Graciliano Ramos

RESUMO

A proposta deste trabalho foi compreender a dinâmica de evolução climática inerente à mesorregião do Sertão Paraibano, com o intuito de verificar os efeitos de suas mudanças sobre o potencial de produção de eletricidade por fontes renováveis, em particular a solar fotovoltaica e hidráulica, uma vez que essas dependem de recursos naturais que podem sofrer influência das condições climáticas. A mesorregião do Sertão Paraibano possui relevância social, econômica e ambiental por conter o maior complexo hídrico do estado, Coremas-Mãe D'água, utilizado tanto para o abastecimento da população quanto a irrigação e a geração de eletricidade por uma Pequena Central Hidroelétrica (PCH). No estudo sobre tendências com dados de precipitação, foram utilizadas cinco estações meteorológicas. O teste não-paramétrico de Mann-Kendall foi aplicado às séries de dados mensais, trimestrais, semestrais e anuais para cada estação. Os resultados indicaram tendência significativa de aumento para a precipitação, verificada em quatro das cinco estações meteorológicas, especialmente na avaliação anual, com incrementos entre 2,67 mm/ano e 5,45 mm/ano. Perante a escassez de estações meteorológicas com dados de temperatura, utilizou-se dados estimados pelo programa Estima_T para sete localidades e dados disponibilizados em duas estações mantidas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Aferiu-se baixa dispersão dos dados em relação aos valores médios anuais, portanto, baixa variabilidade, ficando a temperatura média anual do ar entre 21,9 °C (em Teixeira) e 27,8 °C (em Patos), como esperado para regiões de clima semiárido do Nordeste brasileiro. Além disso, constatou-se tendências significativas de aumento para a temperatura média do ar em todas as localidades, variando de 0,008 °C/ano a 0,011 °C/ano. Diante dessas alterações climáticas observadas para a mesorregião do Sertão Paraibano, buscou-se verificar sua influência sobre o potencial de geração de energia por fontes renováveis, analisando a relação entre precipitação e as vazões afluentes médias e a geração de eletricidade pela PCH de Coremas e se os aumentos na temperatura média do ar diminuiriam a eficiência dos painéis fotovoltaicos, posto que a capacidade de gerar eletricidade depende de sua temperatura de operação. Sendo assim, percebeu-se forte correlação direta e significativa principalmente comparando a precipitação acumulada no ano de observação juntamente com os dois anos anteriores à produção de eletricidade pela PCH. Contudo, os aumentos observados para a precipitação não influenciaram efetivamente a produção de eletricidade na usina, devido a priorização dos múltiplos usos da água do reservatório. Em relação ao potencial de geração de energia solar fotovoltaica, o Sertão Paraibano apresentou excelentes condições para a implementação deste tipo de fonte renovável e os resultados mostraram que a eletricidade gerada seria menor considerando-se para os cálculos os últimos 10 anos de dados de temperatura média do ar, isto é, os dados mais recentes, do que se utilizando os dados mais antigos (10 primeiros anos) ou a série completa. Entretanto, essa diferença foi muito pequena e pôde-se concluir que apesar das elevadas temperaturas registradas e dos aumentos observados a partir da análise de tendências, o potencial de geração de energia por fonte solar fotovoltaica não sofreu alterações expressivas.

Palavras-Chave: Mudanças climáticas, Análise de tendências, Teste de Mann-Kendall, Semiárido, Potencial energético, Energias renováveis.

ABSTRACT

The purpose of this work was to understand the dynamics of climate evolution inherent to the *Sertão Paraibano* mesoregion, in order to verify the effects of its changes on the potential of electricity production by renewable sources, in particular solar photovoltaic and hydraulic, since these depend on natural resources that may be influenced by climatic conditions. The *Sertão Paraibano* mesoregion has social, economic and environmental relevance because it contains the state's largest water complex, *Coremas-Mãe D'água*, used for both the population supply and irrigation and electricity generation by a Small Hydroelectric Plant (SHP). In the study of trends with precipitation data, five meteorological stations were used. The non-parametric Mann-Kendall test was applied to the monthly, quarterly, half-yearly and annual data series for each station. The results indicated a significant tendency of increase for precipitation, observed in four of the five meteorological stations, especially in the annual evaluation, with increments between 2.67 mm/year and 5.45 mm/year. Given the scarcity of meteorological stations with temperature data, data estimated by the Estima_T program for seven localities and data available in two stations maintained by the National Institute of Meteorology (INMET) were used. A low dispersion of the data was obtained in relation to the annual average values, thus, low variability, with the average annual air temperature being between 21.9 °C (in *Teixeira*) and 27.8 °C (in *Patos*), as expected for regions of semi-arid climate of the Brazilian Northeast. In addition, significant increase trends were observed for mean air temperature in all locations, ranging from 0.008 °C/year to 0.011 °C/year. In view of these climatic changes observed for the *Sertão Paraibano* mesoregion, it was sought to verify its influence on the potential of energy generation by renewable sources, analyzing the relation between precipitation and the average tributaries and the generation of electricity by the SHP of *Coremas*. Increases in average air temperature would decrease the efficiency of photovoltaic panels, since the ability to generate electricity depends on its operating temperature. Thus, a direct and significant correlation was observed mainly by comparing the cumulative precipitation in the year of observation together with the two years prior to the production of electricity by SHP. However, the increases observed for precipitation did not influence the electricity production at the plant, due to the prioritization of the multiple uses of the reservoir water. In relation to the potential of photovoltaic solar energy generation, the *Sertão Paraibano* presented excellent conditions for the implementation of this type of renewable source and the results showed that the electricity generated would be smaller considering for the calculations the last 10 years of average temperature data of the air, ie the most recent data, than if using the oldest data (10 first years) or the complete series. However, this difference was very small and it was possible to conclude that despite the high temperatures recorded and the increases observed from the trend analysis, the potential of energy generation by solar photovoltaic source did not suffer significant changes.

Keywords: Climate change, Trend analysis, Mann-Kendall test, Semi-arid, Energetic potential, Renewable energy.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Tipos climáticos observados no território nacional	24
Figura 2.1 – Temperatura média anual para as localidades elegidas da área de estudo com dados estimadas e observados (SDO) entre 1970 e 2016 para São Gonçalo e entre 1984 e 2016 para Patos	38
Figura 2.2 – Evolução da temperatura média anual das localidades escolhidas do Sertão Paraibano com dados de 1950 a 2016 para as séries com dados estimados e com dados observados (SDO) entre 1970 e 2016 para São Gonçalo e entre 1984 e 2016 para Patos	39
Figura 2.3 – Comportamento da temperatura média mensal nas localidades da área de estudo com dados de 1950 a 2016 para as séries estimadas e para as séries com dados observados (SDO) entre 1970 e 2016 para São Gonçalo e entre 1984 e 2016 para Patos	40
Figura 2.4 – Comparação entre a série de dados observados (SDO) e estimados pelo programa Estima_T (SDE) para temperatura média anual, para os anos completos de janeiro a dezembro para Patos, com dados de 1984 a 2016	44
Figura 2.5 – Comparação entre a série de dados observados (SDO) e estimados para temperatura média anual, para os anos completos de janeiro a dezembro para São Gonçalo, com dados de 1970 a 2016	44
Figura 2.6 – Comparação entre as séries de dados observados (SDO) e estimados pelo programa Estima_T para temperatura média mensal para Patos com dados de 1984 a 2016	45
Figura 2.7 – Comparação entre a série de dados observados (SDO) e estimados para temperatura média mensal para São Gonçalo com dados de 1970 a 2016	45
Figura 3.1 – Localização geográfica das mesorregiões do estado da Paraíba e identificação das cidades com as estações meteorológicas utilizadas neste estudo	56
Figura 3.2 – Precipitação média anual para as cinco estações estudadas com dados entre 1912 e 2012 provenientes de estações meteorológicas mantidas pela AESA e pelo DNOCS	57
Figura 3.3 – Valores mensais de precipitação para as cinco estações estudadas com dados entre 1912 e 2012 provenientes de estações meteorológicas mantidas pela AESA e pelo DNOCS	58
Figura 3.4 – Tendências anuais para a precipitação (a), número de dias com chuva (b) e nebulosidade (c) para a estação de Patos-PB, na mesorregião do Sertão Paraibano	63
Figura 3.5 – Tendências anuais para a precipitação (a), número de dias com chuva	

(b) e nebulosidade (c) para a estação de São Gonçalo-PB, na mesorregião do Sertão Paraibano	63
Figura 4.1 – Geração de energia elétrica por fonte no Brasil em 2014 (%)	73
Figura 4.2 – Média anual (em horas) da insolação diária no Brasil	74
Figura 4.3 – Mesorregiões do estado da Paraíba e localidades estudadas na mesorregião do Sertão Paraibano	78
Figura 4.4 – Bacias hidrográficas do estado da Paraíba, enfocando a bacia do rio Piranhas juntamente com as suas açudagens e drenagens principais	79
Figura 4.5 – Valores anuais para a precipitação total (em mm), vazões afluentes médias ($\times 10^{-1} \text{ m}^3/\text{s}$) e geração de eletricidade pela pequena central hidroelétrica (em MWh) em Coremas com dados de 1979 a 2016	85
Figura 4.6 – Precipitação média mensal com dados entre 1935 e 2016 (em mm), vazões afluentes médias mensais com dados entre 1965 e 2016 (m^3/s) e produção mensal média de eletricidade pela Pequena Central Hidroelétrica (PCH) com dados entre 1990 e 2016 (em MWh) no município de Coremas	86
Figura 4.7 – Média anual dos valores horários da radiação solar global incidente (em Wh/m^2) nas localidades de Água Branca, Aguiar, Coremas, Patos, Princesa Isabel, São Gonçalo e Teixeira, fornecidas pelo <i>Solar radiation data</i> (SODA), com dados entre 2004 e 2006	93
Figura 4.8 – Média mensal da radiação solar global diária (em $\text{Wh}/\text{m}^2/\text{dia}$) para as localidades escolhidas da Mesorregião do Sertão Paraibano no horário de pico, entre 10h e 16h, fornecida pelo programa HelioClim	94
Figura 4.9 – Irradiação solar no plano horizontal (em $\text{Wh}/\text{m}^2/\text{dia}$) para as localidades escolhidas da Mesorregião do Sertão Paraibano fornecida pelo programa SunData	94
Figura 4.10 – Média anual da radiação solar global diária (em $\text{Wh}/\text{m}^2/\text{dia}$) para as localidades escolhidas da Mesorregião do Sertão Paraibano, fornecida pelo HelioClim	95
Figura 4.11 – Produção anual de eletricidade por 100 painéis solares fotovoltaicos do tipo Axitec AC-260P/156-60S, em MWh/ano, com base nos dados dos primeiros 10 anos, últimos 10 anos e as séries completas de temperatura média do ar estimada pelo programa Estima_T e observados (SDO) fornecidos pelo INMET, para cada uma das localidades da área de estudo	96
Figura 4.12 – Energia elétrica produzida mensalmente por 100 painéis fotovoltaicos do tipo Axitec AC-260P/156-60S, em kWh/mês, utilizando-se as séries completas de temperatura média do ar estimada pelo programa Estima_T e observada (SDO), fornecida pelo INMET, para cada uma das localidades da área de estudo	97

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Localidades elegidas da mesorregião do Sertão Paraibano com intervalo da série, seu período, coordenadas geográficas e altitude a partir de dados estimados (SDE) e dados observados (SDO)	36
Tabela 2.2 – Estatística descritiva para a temperatura média anual no período de 1950 a 2016 para as séries geradas pelo programa Estima_T (SDE) e dados observados (SDO) de 1984 a 2016 para Patos e de 1970 a 2016 para São Gonçalo	38
Tabela 2.3 – Valores máximos e mínimos para a temperatura média do ar observados nas séries mensais para cada localidade estudada com dados de 1950 a 2016 para as séries estimadas (SDE) e para as séries com dados observados (SDO) entre 1970 e 2016 para São Gonçalo e entre 1984 e 2016 para Patos	40
Tabela 2.4 – Ano de ocorrência de valores mais altos de temperatura média do ar com dados de 1950 a 2016 para as séries com dados estimados (SDE) e séries com dados observados (SDO) no período de 1970 a 2016 para São Gonçalo e de 1984 a 2016 para Patos	41
Tabela 2.5 – Tendências de temperatura média para o período 1950-2016 apontadas pelo teste de Mann-Kendall para as séries construídas a partir de dados gerados pelo programa Estima_T para as localidades estudadas	42
Tabela 3.1 – Estações pluviométricas utilizadas no estudo	55
Tabela 3.2 – Média anual, mensal máxima e mensal mínima para a precipitação em cada estação pluviométrica estudada	58
Tabela 3.3 – Tendências de precipitação para o período entre 1912 e 2012 para as estações do estado da Paraíba: Água Branca, Aguiar, Coremas, Princesa Isabel e Teixeira	60
Tabela 3.4 – Precipitação média anual projetada para os próximos 10, 20, 30, 40 e 50 anos para as estações em que se observou tendência significativa de aumento de precipitação na série de período anual (Água Branca, Aguiar, Coremas e Teixeira)	61
Tabela 4.1 – Localidades elegidas na mesorregião do Sertão Paraibano, suas coordenadas geográficas, altitude e tipo de geração de energia elétrica por fonte renovável analisada	77
Tabela 4.2 – Características da placa solar fotovoltaica escolhida	82
Tabela 4.3 – Tendências significativas de precipitação detectadas em Coremas-PB pelo teste de Mann-Kendall com dados de 1935 a 2012	84
Tabela 4.4 – Estatística descritiva para precipitação (dados de 1935 a 2016), temperatura média do ar (dados estimados de 1950 a 2016), vazões afluentes médias nos reservatórios da PCH (dados de 1965 a 2016) e geração anual de	

eletricidade pela PCH (dados de 1979 a 2016) para a localidade de Coremas	85
Tabela 4.5 – Tendências detectadas nas séries de vazões afluentes médias no reservatório da Pequena Central Hidroelétrica (dados entre 1965 e 2016) e a geração de energia elétrica com dados mensais no período entre 1990 e 2016, e dados anuais entre 1979 e 2016, através da aplicação do teste de Mann-Kendall, quantificadas pelo declive Sen para a o município de Coremas	88
Tabela 4.6 – Coeficiente de correlação de Spearman, ρ , entre a precipitação total anual e a eletricidade gerada pela usina em Coremas e as vazões afluentes médias no seu reservatório em quatro situações diferentes a partir de dados entre 1979 e 2016	89
Tabela 4.7 – Tendências de temperatura média do ar e nebulosidade com dados fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) para Patos e São Gonçalo com períodos entre 1975 e 2014 e 1970 e 2014, respectivamente	91
Tabela 4.8 – Tendências para temperatura média do ar para o período de 1950 a 2016 apontadas pelo teste de Mann-Kendall para as séries de dados construídas pelo programa Estima_T para as localidades estudadas	92
Tabela 4.9 – Energia elétrica gerada pelo conjunto de 100 painéis fotovoltaicos da AXITEC, modelo AC-260P/156-60S, considerando os primeiros 10 anos, últimos 10 anos e as séries completas de temperatura média do ar, para a mesorregião do Sertão Paraibano	99

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

- AESA – Agência Executiva de Gestão das Águas do estado da Paraíba
- ATN – Atlântico Tropical Norte
- ATS – Atlântico Tropical Sul
- CGH – Central Geradora Hidroelétrica
- CHESF – Companhia Hidrelétrica do São Francisco
- DNOCS – Departamento Nacional de Obras Contra a Seca
- EPE - Empresa de Pesquisa Energética
- FuCHSIA – programa computacional denominado *Future Climate and Hydrological Scenarios for Environmental Management and Assessment*
- INMET – Instituto Nacional de Meteorologia
- INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
- IPCC – Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas
- NOAA – Administração Nacional Oceânica e Atmosférica dos Estados Unidos (ou *National Oceanic and Atmospheric Administration*)
- OMM – Organização Meteorológica Mundial
- PBMC – Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas
- PCH – Pequena Central Hidroelétrica
- SDE – Série com dados estimados
- SDO – Série com dados observados
- SUDENE – Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste
- TSM – Temperatura da superfície do mar
- VCAN – Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis
- ZCAS – Zona de Convergência do Atlântico Sul
- ZCIT – Zona de Convergência Intertropical

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL	17
1.1 Introdução	19
1.2 Objetivos	22
1.2.1 Objetivo geral	22
1.2.2 Objetivos específicos	22
1.3 Referencial teórico	23
1.3.1 Clima no Brasil, no Nordeste e na Paraíba	23
1.3.2 Sistemas meteorológicos que gerem o clima semiárido do Sertão Paraibano	25
1.3.3 Mudanças climáticas	26
1.3.4 Teste de Mann-Kendall	28
2 ARTIGO: ANÁLISE DA VARIABILIDADE E TENDÊNCIAS PARA A TEMPERATURA MÉDIA DO AR NO SERTÃO PARAIBANO COM DADOS OBSERVADOS E ESTIMADOS	31
Resumo	32
Abstract	33
2.1 Introdução	34
2.2 Material e métodos	35
2.3 Resultados e discussão	37
2.4 Conclusões	46
Referências bibliográficas	46
3 ARTIGO: ANÁLISE DE TENDÊNCIA DE PRECIPITAÇÕES PARA A MESORREGIÃO DO SERTÃO PARAIBANO	49
Resumo	50
Abstract	51
3.1 Introdução	52
3.2 Material e métodos	54
3.2.1 Caracterização da área de estudo, identificação das estações meteorológicas e organização dos dados	54
3.2.2 Métodos estatísticos para análise de tendências	56
3.3 Resultados e discussão	57
3.4 Conclusões	64
Referências bibliográficas	65
4 ARTIGO: INFLUÊNCIA DAS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS SOBRE O POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA POR FONTES RENOVÁVEIS.....	70
Resumo	71
Abstract	72
4.1 Introdução	73
4.2 Material e métodos	77
4.2.1 Caracterização da área de estudo	77

4.2.2 Bacias hidrográficas e geração de energia por hidroelétrica no estado da Paraíba	78
4.2.3 Coleta de dados e procedimentos estatísticos	80
4.2.3.1 Dados relacionados a geração hidráulica eletricidade	80
4.2.3.2 Dados de irradiação e temperatura para o cálculo do potencial de geração de energia solar fotovoltaica	81
4.3 Resultados e discussão	83
4.3.1 Influência na produção hidrelétrica	83
4.3.2 Influência na produção fotovoltaica	90
4.4 Conclusões	102
Referências bibliográficas	104
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	108
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS DE TODA A DISSERTAÇÃO	111
ANEXO I - Informações adicionais sobre os dados utilizados nesse trabalho ...	123

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO GERAL

1 INTRODUÇÃO GERAL

A presente dissertação segue o formato de compêndio de artigos, dividida em cinco capítulos e organizada de acordo com a seguinte estrutura:

- Capítulo 1: é destinado à organização do trabalho, incluindo a introdução, objetivos geral e específicos, fundamentação teórica e revisão bibliográfica necessárias à construção deste estudo e um breve detalhamento do teste estatístico não-paramétrico de Mann-Kendall para uma melhor interpretação e compreensão dos resultados obtidos. Nos capítulos 2, 3 e 4, cada artigo apresenta introdução e metodologia mais específicas, destacando cada tema abordado;

- Capítulo 2: o artigo “Análise da variabilidade e tendências para a temperatura média do ar no Sertão Paraibano com dados observados e estimados” evidencia a ausência de estações meteorológicas com dados de temperatura do ar na área de estudo, sendo necessária a estimativa da temperatura para diversas localidades (Água Branca, Aguiar, Coremas, Patos, Princesa Isabel, São Gonçalo e Teixeira) para que fosse possível dar continuidade a pesquisa, comparando-a com os dados observados em Patos e São Gonçalo. Este artigo baseou-se no trabalho apresentado no II Congresso Internacional da Diversidade do Semiárido (CONIDIS), realizado em Campina Grande – PB, em 2017;

- Capítulo 3: este capítulo enfoca a distribuição espacial e temporal da precipitação, discorrendo sobre tendências e sua variabilidade com o artigo “Análise de tendência de precipitações para a mesorregião do Sertão Paraibano”, a partir de dados de cinco estações meteorológicas presentes na área de estudo, comparando-os com dados de outras duas localizadas em Patos e São Gonçalo, que foram avaliados em outros trabalhos. Este artigo fundamentou o trabalho apresentado na quinta edição do Simpósio Internacional em Biotecnologia e Engenharia Ambiental (*The Fifth International Symposium on Environmental Biotechnology*), que se sucedeu em 2016, em Buenos Aires (Argentina) e o trabalho intitulado “*Assessment of precipitation trends in the Sertão Paraibano mesoregion*” submetido e aceito para publicação na Revista Brasileira de Meteorologia (RBMET) em 2017;

- Capítulo 4: este capítulo concatena os resultados das tendências e alterações climáticas observadas na mesorregião do Sertão Paraibano com a produtividade energética por fontes renováveis solar fotovoltaica e hidráulica, verificada na mesorregião para diversas localidades (Água Branca, Aguiar, Coremas, Patos, Princesa Isabel, São Gonçalo e Teixeira);

- Capítulo 5: neste último capítulo as considerações finais dessa dissertação são apresentadas, juntamente com sugestão de trabalho futuro, como a ampliação desta pesquisa para a região semiárida do Brasil, devido à expressiva participação do Nordeste brasileiro na matriz energética do país e por se tratar de uma área com enorme potencialidade para o desenvolvimento da geração de energia por fontes renováveis.

E por fim, são relacionadas as referências bibliográficas utilizadas neste trabalho.

1.1 Introdução

Os avanços científicos e culturais que envolvem a temática da utilização dos recursos naturais, das energias renováveis, dos impactos ambientais, das mudanças e variabilidades climáticas, tanto quanto a compreensão sobre como as ações humanas que podem modificar o meio ao qual estão inseridas têm auxiliado na construção de políticas e ferramentas que visam analisar, gerir, mitigar e até melhor adaptar as condições de sobrevivência às possíveis alterações climáticas.

As previsões sobre os padrões e características da ocorrência de eventos climáticos como furacões, tempestades, secas e enchentes, o aumento da temperatura mundial, a elevação do nível do mar, a perda da cobertura de gelo, a queda na disponibilidade de recursos naturais (principalmente os hídricos), o processo de desertificação e o nível de precipitações, por exemplo, evocam a necessidade de buscar fórmulas sustentáveis para a utilização não predatória desses recursos, bem como justificam a relevância de estudos nessa área (IPCC, 2014; MARENGO, 2001, 2003).

As mudanças climáticas, observadas com mais apreço e rigor desde o final do século XX, podem ser entendidas como variações estatísticas em um estado médio do clima ou em sua variabilidade, atribuídas direta ou indiretamente às atividades humanas, que persistem durante períodos de tempo prolongados e comparáveis, podendo ser analisadas através de séries históricas de variáveis meteorológicas como temperatura do ar e precipitação

pluvial ou de neve, entre outras. De acordo com as tendências temporais dessas variáveis, pode-se inclusive confirmar a ocorrência de mudanças no clima para uma dada região (BACK, 2001; YUE; PILON; CAVADIAS; 2002; YUE; WANG, 2002).

O Brasil possui sua matriz energética calcada, majoritariamente, em fontes renováveis. Portanto, seus recursos são susceptíveis às mudanças climáticas. Em 2013, a produção de energia elétrica por hidrelétrica representou 68,6% de toda energia elétrica gerada no país. Segundo estudo baseado em projeções climáticas de longo prazo do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) para os cenários de emissões* A2 e B2 realizado por Lucena *et al.* (2009), uma vez que as mudanças climáticas afetarão os recursos naturais relacionados às energias renováveis, conjectura-se aumento da vulnerabilidade em todos os setores energéticos no Brasil, principalmente para a região Nordeste, para a qual estão previstos os piores panoramas, com aumentos substanciais para a temperatura e períodos de seca. Além disso, mudanças nos padrões de precipitação e temperatura podem causar ou acentuar problemas referentes a quantidade e qualidade da água na região Nordeste (BENITO, 2013). Sendo assim, também é plausível esperar que as variações climáticas aumentem a vulnerabilidade da produtividade energética do estado da Paraíba (BENITO, 2013; EPE, 2014; LUCENA *et al.*, 2009; SCHAEFFER *et al.*, 2012; SIMS, 2004).

Em 2007 o Ministério do Meio ambiente (MMA), juntamente com a Secretaria de Biodiversidade e Florestas (SBF) e a Diretoria de Conservação da Biodiversidade (DCBIO), publicaram diversos relatórios sobre mudanças climáticas globais e efeitos sobre a biodiversidade, com foco em cenários regionalizados de clima e projeções futuras para a América Latina, eventos extremos na América do Sul e no Brasil, possíveis alterações nos biomas na América do Sul, na caracterização climática e suas alterações para o território brasileiro, tendências das variações climáticas e balanços hídricos nacionais, que em suma também apresentaram tendências positivas na temperatura do ar média anual e na evapotranspiração potencial em quase toda a região Nordeste (AMBRIZZI *et al.*, 2007; MARENGO, 2007; MARENGO *et al.*, 2007a; MARENGO *et al.*, 2007b; NOBRE *et al.*, 2007; OBREGON; MARENGO, 2007).

Dando continuidade aos estudos sobre clima e suas alterações no Brasil, em 2013 foi publicada a Base Científica das Mudanças Climáticas - Primeiro Relatório de Avaliação

* Os cenários de emissões definidos pelo IPCC, denominados de A1, A2, B1 e B2, mostram projeções futuras de mudanças climáticas que consideram diferentes níveis de emissões, baseados em Modelos de Circulação Geral (GCM).

Nacional do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC), prevendo aumentos de 0,5° a 1°C da temperatura do ar e decréscimo entre 10% e 20% na precipitação durante as próximas três décadas (até 2040) para a região semiárida do Nordeste brasileiro. Em 2015, a Secretaria de Assuntos Estratégicos (SAE) apresentou o relatório executivo do projeto Brasil 2040: cenários e alternativas de adaptação à mudança do clima. Esses documentos sintetizam as bases conceituais e compilam diversos estudos referentes aos cenários climáticos futuros e os efeitos das alterações sobre recursos hídricos, agricultura, energia, infraestrutura urbana e costeira e de transportes.

Para o Brasil, destacam-se Marengo *et al.* (2010) e Salviano, Groppo e Pellegrino (2016), com análise de tendência em dados de precipitação e temperatura para o Brasil. Salviano, Groppo e Pellegrino analisaram as tendências temporais da precipitação e da temperatura média no Brasil, utilizando o método Contextual Mann-Kendall (CMK) entre os anos de 1961 e 2011. Os resultados apontaram que em mais de 70% do território nacional não observaram tendência significativas para a precipitação. Os resultados para a região Nordeste, principalmente no semiárido, são semelhantes aos apresentados nesta dissertação, com tendências significativas e positivas, indicando aumento para a precipitação. Foram constatadas tendências significativas positivas para a temperatura média em quase 80% do país. Diferentemente dos resultados apresentados nesta dissertação em relação a temperatura média do ar, na região semiárida do Nordeste não foram observadas tendências significativas, apresentando, entretanto, tendências positivas significativas na faixa litorânea. Em Marengo *et al.* (2010), a variabilidade nos extremos de temperatura e precipitação no século XX foram analisadas em 104 estações meteorológicas distribuídas pela América do Sul, comparando as tendências observadas e modeladas. Os extremos climáticos descreveram noites quentes, chuvas e períodos de seca intensos. E que os resultados foram semelhantes entre os dados observados e as simulações em algumas regiões.

Marengo (2003), Nobre *et al.* (2009) e Santos e Lucio (2015) estudaram características e tendências climáticas para a região Norte do Brasil. Moraes *et al.* (1998), Marengo e Camargo (2008), Pinheiro, Graciano e Severo (2013), analisaram tendências para a região Sul do Brasil. Folhes e Fisch (2006), Minuzzi *et al.* (2007), Blain (2009, 2010a, 2010b, 2012), focaram na região Sudeste, principalmente o estado de São Paulo. Para a região Nordeste, Ramos (1975), Silva (2004), Moscati e Gan (2007), Santos *et al.* (2010), Oliveira e Lima (2014), Costa *et al.* (2015) estudaram a dinâmica, distribuição e tendência para precipitação. Esses trabalhos evidenciam a necessidade de estudos em escala regional e local para que se possa compreender melhor a dinâmica climática, suas alterações e implicações.

Como os sistemas energéticos, sobretudo os que se utilizam de fontes renováveis, podem ser influenciados pelo clima, com o presente trabalho objetivou-se identificar e avaliar tendências e alterações climáticas, a partir dos dados observados ou estimados estatisticamente empregando-se o teste estatístico não-paramétrico de Mann-Kendall em séries históricas de elementos climáticos, como temperatura média do ar e precipitação, com o intuito de conhecer os efeitos diretos das alterações detectadas sobre o potencial de geração de energia por fontes renováveis, particularmente solar fotovoltaica e hidráulica na mesorregião do Sertão Paraibano.

As aplicações dessa obra estão relacionadas com a melhoria do aproveitamento dos recursos naturais e energéticos (como os hídricos e os térmicos), direcionando seu uso de forma consciente, além de também poder ampliar as possibilidades de mecanismos de mitigação e concomitantemente de adaptação diante de potenciais impactos ambientais, orientando as tomadas de decisões e os investimentos econômicos frente às mudanças climáticas.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Verificar a influência direta das mudanças climáticas sobre o potencial de geração de energia por fontes renováveis na mesorregião do Sertão Paraibano, a partir da análise de séries de dados de elementos climáticos, tais como: temperatura do ar, precipitação, umidade, nebulosidade e radiação solar coletados em estações meteorológicas ou estimados estatisticamente.

1.2.2 Objetivos Específicos

Para atingir o objetivo geral, os objetivos específicos foram divididos em:

- Construir e avaliar as séries de dados climáticos disponíveis para a mesorregião do Sertão Paraibano;
- Investigar a existência de tendências climáticas significativas pelo estudo das séries de dados históricos obtidos pelas instituições governamentais ou estimados;

- Analisar a influência das alterações climáticas detectadas sobre o potencial de geração de energia com foco nas renováveis, particularmente para os setores solar fotovoltaico e hidroelétrico.

1.3 Referencial teórico

1.3.1 Clima no Brasil, no Nordeste e na Paraíba

O monitoramento meteorológico e climático no Brasil iniciou tardiamente, quando comparado ao arcabouço existente nos países das zonas temperadas, tendo como foco as atividades agrícolas, voltadas para a cafeicultura por volta do século XIX. Em meados do século XX pôde-se observar a implantação sistematizada de estações meteorológicas pelo país com a criação do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) (MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007).

O Brasil, quase em sua totalidade, situa-se na faixa intertropical que abrange uma área bastante privilegiada de incidência de luz solar. Sendo o país majoritariamente tropical e de dimensões continentais, apresenta uma grande variedade de tipos climáticos, como pode ser observado na Figura 1.1. Isso torna a dinâmica atmosférica brasileira bastante complexa, sobretudo em relação aos fatores geográficos particulares e à interação entre estes e os elementos atmosféricos (CAVALCANTI *et al.*, 2009; CONTI, 2005; MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007; NIMER, 1979).

Na maior parte do território brasileiro observa-se a predominância de climas quentes com baixa variabilidade térmica sob a ingerência do relevo e da dinâmica das massas de ar atuantes. Segundo a classificação de Köppen-Geiger, 94% do território está inserido nas zonas climáticas equatorial e tropical, sendo os regimes pluviométricos bastante diversificados (CAVALCANTI *et al.*, 2009). A região Norte do país apresenta distribuição espacial dos totais anuais médios de precipitação acima de 2.800 mm. Diametralmente, a região Nordeste apresenta valores médios anuais entre 125 mm e 1.200 mm, evidenciando o contraste pluviométrico do país associado a sistemas convectivos e sua sazonalidade. As médias térmicas anuais para a região Nordeste encontram-se entre 26 °C e 28 °C, com baixa variabilidade anual. Entretanto, localidades com altitudes acima de 200 m, apresentam temperaturas médias anuais abaixo de 26 °C, explicitando a forte influência deste fator geográfico (MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007).

A variabilidade das chuvas, sua dinâmica e as particularidades regionais enfatizam a

necessidade de estudos aprofundados da distribuição espacial e temporal desse elemento climático. O Nordeste brasileiro é uma das áreas mais vulneráveis às mudanças climáticas e a periodicidade de eventos de secas e de chuvas intensas afetam a agricultura de subsistência fortemente empregada, além de degradar ecossistemas e ocasionar problemas de migração em massa, deficiência e riscos para a segurança hídrica, alimentar e energética da região (CAVALCANTI *et al.*, 2009; EAKIN *et al.*, 2014; MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007; PIMENTA; SANTOS; RODRIGUES, 1998; SILVA; CORREIA; COELHO, 1998).



Figura 1.1 – Tipos climáticos observados no território nacional.

Fonte: IBGE, 2016.

Segundo dados do censo realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) em 2010, o estado da Paraíba possui área de 56.469 km², composto por 223 municípios e população de 3.766.834 de habitantes. Limita-se ao norte com o estado do Rio Grande do Norte, com o estado do Ceará a oeste, com o estado de Pernambuco ao sul e a leste com o Oceano Atlântico (FRANCISCO, 2010). O estado da Paraíba é dividido em quatro mesorregiões: Zona da Mata ou Litoral, Agreste, Borborema e Sertão Paraibano (AESAs, 2009a).

O Sertão Paraibano apresenta clima tropical semiárido que se caracteriza por paisagens secas e quentes, elevadas temperaturas, acompanhadas por baixa variabilidade

térmica anual e irregularidades pluviométricas que marcam distintamente dois períodos anuais: um relativamente seco, com mínima em torno de 10 mm, entre os meses de julho a novembro; e outro mais úmido, com máxima de aproximadamente 700 mm, entre os meses de dezembro a junho, sendo a região marcada por longos períodos de estiagem. Além disso, as variações da temperatura do ar para a região Nordeste, incluindo o estado da Paraíba, dependem consideravelmente das condições topográficas locais (CAVALCANTI *et al.*, 2009; MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007; MOSCATI; GAN, 2007; SALES; RAMOS, 2000).

A rede de postos de monitoramento pluviométrico na Paraíba é relativamente antiga, datando do início da década de 1910 e bastante densa cobrindo todos os seus 223 municípios. Entretanto, sucessivas crises e o sucateamento da rede fizeram com que alguns postos tivessem suas coletas de dados interrompidas (BECKER *et al.*, 2011). O oposto ocorre em relação às estações meteorológicas com dados de temperatura. Em todo estado, existem apenas oito estações mantidas pelo INMET, sendo duas delas presentes na área de estudo, a mesorregião do Sertão Paraibano. Sendo assim, para o presente trabalho, considerou-se apenas as estações meteorológicas cujas séries eram as mais longas possíveis e sem falhas, ou seja, as que continham todos os meses de janeiro a dezembro em cada ano.

O Nordeste brasileiro tem sido alvo de estudos sobre variabilidade climática, tanto espacial quanto temporal, desde o início do século XX, o que enfatiza a necessidade de se construir uma base de conhecimento para direcionar políticas e atividades que visem mitigar ou melhor adaptar às condições climáticas existentes (MARENGO, 2003; MARENGO; CUNHA; ALVES, 2016).

1.3.2 Sistemas meteorológicos que gerem o clima semiárido do Sertão Paraibano

De modo geral, no outono, a variabilidade da precipitação no Nordeste brasileiro está relacionada às anomalias na Temperatura da Superfície do Mar (TSM) nos oceanos Atlântico e Pacífico. A estação chuvosa na região Nordeste é condicionada pelo posicionamento da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). E as anomalias de chuva são influenciadas pela diferença atípica entre os gradientes de TSM do Atlântico Tropical Norte (ATN) e do Atlântico Tropical Sul (ATS) (CAVALCANTI *et al.*, 2009; PBMC, 2014).

A região interiorana do Nordeste brasileiro, na qual se insere a mesorregião do Sertão Paraibano, apresenta totais pluviométricos anuais baixos, sofrendo influência de diversos sistemas meteorológicos, como a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), os Vórtices

Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN), as frentes frias, as ondas de leste e as linhas de instabilidade (GOMES FILHO; SOUZA; BECKER, 1996; KOUSKY, 1979; SILVA, 2005).

A chuva é favorecida pela ZCIT ao estar localizada no Hemisfério Sul. A ZCIT forma-se na área de baixas latitudes no encontro entre os ventos alísios de Sudeste com os de Nordeste, criando ascendência de massas de ar normalmente úmidas (REBOITA *et al.*, 2010).

A chuva é inibida pelos movimentos descendentes deste sistema (ZCIT) quando permanece por mais tempo localizado no Hemisfério Norte e pelos movimentos descendentes da atividade convectiva que ocorre no Oeste-Noroeste da Amazônia. Os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN) são um sistema de circulação ciclônica que ocorre frequentemente no verão do Hemisfério Sul (ou verão austral) e são definidos como um sistema de baixa pressão, formado na alta troposfera e cuja circulação ciclônica fechada possui o centro mais frio que sua periferia. Outros sistemas como, por exemplo, frentes frias e VCANs, quando chegam até o sertão nordestino também podem causar chuva (KOUSKY; GAN, 1981).

Além disso, os ventos de Leste transportam o ar mais frio do oceano em direção do sertão do Brasil e, ao penetrarem essa região, são aquecidos gerando uma diminuição na umidade relativa do ar, dificultando a formação de nuvens e, conseqüentemente, influenciando o volume de precipitações (REBOITA *et al.*, 2010).

Moscati e Gan (2007) investigaram os mecanismos responsáveis pela ocorrência de eventos extremos de precipitação na região Nordeste e verificaram que estes podem estar correlacionados pela presença de sistemas de escala sinótica, como sistemas frontais, Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), VCAN, ZCIT, entre outros. E também que a precipitação depende da direção dos ventos, isto é, quando os ventos correm de leste e sul a precipitação diminui. E quando os ventos diminuem de intensidade ou se formam de norte ou oeste a precipitação aumenta.

1.3.3 Mudanças climáticas

As mudanças climáticas, sejam elas causadas por ações antrópicas ou processos naturais, interferem fortemente na vida humana em todos os setores (IPCC, 2007). Os relatórios do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) destacam que o aquecimento da Terra nos últimos 100 anos é de quase 1° C e que se tem observado aumento das temperaturas do ar e das águas dos oceanos, degelo e aumento do nível do mar (IPCC, 2007). Essas mudanças ocorrem de maneiras distintas, isto é, sua distribuição e efeitos não são homogêneos pelo planeta. Sendo assim, variações interanuais e regionais,

favorecem fortemente a ocorrência de eventos climáticos extremos, com secas e chuvas intensas. Isso tem motivado o estudo de tendências climáticas em escala regional (IPCC, 2014; MARENGO, 2001).

Essas alterações favorecem a ocorrência de outros fenômenos meteorológicos extremos, além das secas e chuvas intensas, como ondas de calor e ciclones tropicais, que causam inúmeros impactos ambientais, prejuízos econômicos, insegurança alimentar e sobre os recursos naturais e desafios inclusive à preservação da vida (GOLDEMBERG; LUCON, 2011; MOLION; BERNARDO, 2002; RICHTER, 2012).

Uma das possíveis consequências das mudanças climáticas é o aquecimento global que provoca degradação ambiental, entre muitos outros impactos, principalmente em áreas vulneráveis à desertificação, como ocorre no sertão nordestino (RIBEIRO *et al.*, 2016). Isso se dá devido à elevação da temperatura, que eleva também as taxas de evapotranspiração. Outrossim, as atividades antrópicas de ocupação e uso do solo aumentam a pressão sobre o meio e, com isso, estimulam o processo de desertificação da área gerando problemas socioambientais e econômicos (NOBRE, 2011; RIBEIRO *et al.*, 2016).

As mudanças climáticas podem ser definidas segundo o *National Oceanic & Atmospheric Administration* (NOAA) como um conjunto de variações estatísticas de um estado médio do clima ou de sua variabilidade a longo prazo, para um determinado local. Essas mudanças podem ser detectadas e analisadas através de séries históricas de dados meteorológicos (NOAA, 2016).

O estudo de séries temporais de elementos climáticos de uma localidade pode fornecer informações acerca de tendências, variações e ciclos climáticos, descrevendo seu comportamento quantitativamente. Ademais, entende-se que a tendência climática se caracteriza por uma mudança (aumento ou diminuição) suave ou monótona nos valores médios dessa série (BLAIN, 2010a, 2010b; CONTI, 2005; RIBEIRO *et al.*, 2016).

Apesar de se saber que o setor energético está diretamente ligado ao desenvolvimento socioeconômico (GOLDENBERG; LUCON, 2007), apenas recentemente os efeitos das mudanças climáticas para o setor energético, incluindo seu planejamento e operação, têm sido alvo de estudo (SCHAEFFER *et al.*, 2011). Dentre os trabalhos que relacionam os impactos dessas projeções climáticas sobre o setor energético, pode-se destacar Ebinger e Vergara (2010) que fizeram uma abrangente abordagem sobre tendências climáticas e os impactos nos sistemas energéticos, considerando suas fontes, assim como transmissão, distribuição, transferência e o uso da energia.

Segundo Schaeffer *et al.* (2011), as condições climáticas podem interferir positiva ou

negativamente no setor energético, além de afetar outros setores indiretamente, como o de transportes e o econômico. Lucena *et al.* (2009), indicaram aumento da vulnerabilidade para todos os setores energéticos no Brasil, especialmente na região Nordeste, para onde estão previstos os piores cenários climáticos baseados em projeções climáticas de longo prazo para os cenários de emissões A2 e B2 do IPCC.

Em função da importância socioeconômica e ambiental da mesorregião Sertão Paraibano para o abastecimento hídrico e energético do estado e o impacto potencial das mudanças climáticas na disponibilidade dos recursos naturais para a matriz de produção de energia do estado da Paraíba, com o presente estudo pretendeu-se ampliar a compreensão sobre o comportamento climático nessa mesorregião, verificar a existência de possíveis tendências para os elementos climáticos e seu efeito sobre o potencial energético por fonte renovável.

1.3.4 Teste de Mann-Kendall

O teste estatístico não-paramétrico conhecido como teste de Mann-Kendall é usualmente empregado no estudo de significância de tendências de séries temporais de dados climáticos. Uma das principais vantagens dos testes não-paramétricos sobre os paramétricos é que sua aplicação independe da informação do tipo de distribuição dos dados. Sua limitação está na necessidade de que a sucessão dos dados ocorra de forma independente e aleatória, caracterizando uma série aleatória simples, cuja distribuição de probabilidade seja homogênea (BACK, 2001; FECHINE; GALVÍNCIO, 2010; GOOSSENS; BERGER, 1986; YUE, PILON; CAVADIAS, 2002).

O teste de Mann-Kendall compara sequencialmente cada valor de uma série com os outros, contando o número de vezes em que os termos subsequentes são maiores que o valor observado. A variável estatística S , para uma série com n termos é dada pela somatória dos sinais (função denominada por *signal*) da diferença entre o valor observado, x_i , e o outro valor da série, x_j , sendo $i, j \leq n$ com $i \neq j$.

Nesse método, as hipóteses H_0 e H_1 são testadas. Propôs-se para a hipótese nula, H_0 , a situação na qual as variáveis aleatórias são independentes e identicamente distribuídas. Assim, pela H_0 , a tendência é estatisticamente igual a zero. Já a hipótese H_1 é que os dados apontam a existência de uma tendência monotônica no tempo, sendo positiva ou negativa. Sendo assim, a estatística do teste é dada por:

$$S = \sum_{i=2}^n \sum_{j=1}^{i-1} \text{ sinal } (x_i - x_j) \quad (1.1)$$

A função *sinal* ($x_i - x_j$) é dada pela equação 1.2. Quando n tende a um número muito grande ($n \rightarrow \infty$), a estatística S converge para uma distribuição normal, com a média do sinal constante e igual a zero.

$$\text{ sinal } = \begin{cases} 1, \text{ se } (x_i - x_j) > 0 \\ 0, \text{ se } (x_i - x_j) = 0 \\ -1, \text{ se } (x_i - x_j) < 0 \end{cases} \quad (1.2)$$

Essa média e a variância são dadas pelas equações (1.3) e (1.4), respectivamente. Kendall (1975) mostrou que S possui distribuição normal.

$$E[S] = 0 \quad (1.3)$$

$$\text{VAR}(S) = \frac{1}{18} [n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^q t_p(t_p-1)(2t_p+5)] \quad (1.4)$$

Sendo que n é o número de observações; t_p é o número de dados com valores iguais em certo grupo p ; e q é o número de grupos contendo valores iguais na série de dados de um grupo p .

O desvio padrão (DP) é um indicador de variabilidade de uma amostra de valores. Sendo descrito matematicamente como a raiz quadrada da média aritmética dos quadrados dos desvios:

$$DP = \sqrt{\sum \frac{(x_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad (1.5)$$

A média (\bar{X}) numa série de dados é a soma dos valores do conjunto dividida pelo número total de valores, n . Portanto,

$$\bar{X} = \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{n} \quad (1.6)$$

O teste estatístico é calibrado por:

$$Z = \begin{cases} \frac{S - 1}{\sqrt{VAR(S)}}, & \text{se } S > 0; \\ 0, & \text{se } S = 0; \\ \frac{S - 1}{\sqrt{VAR(S)}}, & \text{se } S < 0. \end{cases} \quad (1.7)$$

O valor de Z positivo indica que a tendência é crescente. Enquanto que se o valor de Z for negativo, a tendência é decrescente. A estatística Z possui distribuição normal.

A hipótese nula, H_0 , para ausência de tendência na série, é rejeitada caso $|Z| > Z_{\alpha/2}$, onde α é o nível de significância adotado e $Z_{\alpha/2}$ é o valor da distribuição normal padrão com probabilidade de excedência de $\alpha/2$. O *p-valor* da estatística S para os dados de cada amostra pode ser estimado pela probabilidade acumulada da distribuição normal.

Quando $p \leq \alpha$, a hipótese nula é rejeitada, sugerindo a existência de tendência significativa na série. Neste trabalho, foram adotados quatro níveis de significância: $+p < 0,1$; $*p < 0,05$; $**p < 0,01$ e $***p < 0,001$.

CAPÍTULO 2

**ARTIGO: ANÁLISE DA VARIABILIDADE E
TENDÊNCIAS PARA A TEMPERATURA MÉDIA
DO AR NO SERTÃO PARAIBANO COM DADOS
OBSERVADOS E ESTIMADOS**

2 ARTIGO: ANÁLISE DA VARIABILIDADE E TENDÊNCIAS PARA A TEMPERATURA MÉDIA DO AR NO SERTÃO PARAIBANO COM DADOS OBSERVADOS E ESTIMADOS

Resumo

Em função da importância do clima para a sociedade em suas distintas escalas, como local, regional e global, a análise de tendências de elementos climáticos contribui para uma melhor avaliação sobre projeções e variações, auxiliando na construção de políticas voltadas para processos de adaptação e mitigação dos efeitos das mudanças do clima. Objetivou-se com este trabalho detectar tendências para a temperatura média do ar para a mesorregião do Sertão Paraibano, a partir da construção de séries de temperaturas com dados observados, disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) para as localidades de Patos e São Gonçalo e com dados estimados pelo programa Estima_T para estudo de distribuição espacial e temporal da temperatura média do ar para sete localidades pertencentes à essa mesorregião: Água Branca, Aguiar, Coremas, Patos, Princesa Isabel, São Gonçalo e Teixeira. As séries com dados observados e estimados foram comparadas, demonstrando, portanto, a viável utilização de estimativas de temperatura como forma de compensar a ausência de estações meteorológicas na área de estudo. Pela análise descritiva, infere-se baixa dispersão dos dados em relação aos valores médios anuais, portanto, baixa variabilidade, ficando a temperatura média anual do ar entre 21,9 °C (em Teixeira) e 26,8 °C (em São Gonçalo) para as séries com dados estimados. Para as séries com dados observados, a temperatura média por ano do ar foi de 26,8 °C e 27,8 °C para São Gonçalo e Patos, respectivamente. A temperatura média anual estimada para a localidade de Patos foi 6,2% mais baixa do que a medida na estação meteorológica. O comportamento mensal da temperatura média foi semelhante em todas as localidades e o mês de dezembro foi sempre o mais quente, enquanto julho foi o mais frio, tanto nas séries estimadas quanto nas séries de dados observados. Com o teste não-paramétrico de Mann-Kendall observou-se que as séries estimadas apresentaram tendências significativas de aumento para a temperatura média do ar para os períodos anuais, semestrais, trimestrais e mensais para todas as localidades. Os resultados apontam declividade de Sen de incrementos significativos nas temperaturas entre 0,008 °C/ano e 0,011 °C/ano.

Palavras-Chave: Temperatura média do ar, tendências climáticas, teste de Mann-Kendall, semiárido brasileiro, Sertão Paraibano.

Abstract

Due to the importance of the climate for society in its different scales, such as local, regional and global, the analysis of trends of climatic elements contributes to a better evaluation of projections and variations, helping in the construction of policies focused on adaptation and mitigation processes effects of climate change. The objective of this work was to detect trends for the mean air temperature for the Sertão Paraibano mesoregion, based on the construction of temperature series with observed data, provided by the National Institute of Meteorology (INMET) for the localities of Patos and São Gonçalo and with data estimated by the Estima_T program to study the spatial and temporal distribution of mean air temperature for seven localities belonging to this mesoregion: Água Branca, Aguiar, Coremas, Patos, Princesa Isabel, São Gonçalo and Teixeira. The series with observed and estimated data were compared, thus demonstrating the feasible use of temperature estimates as a way to compensate for the absence of meteorological stations in the study area. According to the descriptive analysis, low dispersion of the data is inferred in relation to the annual mean values, therefore, low variability, with the mean annual air temperature being between 21.9 °C (in *Teixeira*) and 26.8 °C (in *São Gonçalo*) for the series with estimated data. For the series with observed data, the average temperature per year of the air was of 26.8 °C and 27.8 °C for *São Gonçalo* and *Patos*, respectively. The average annual temperature estimated for the town of Patos was 6.2% lower than that measured in the meteorological station. The monthly average temperature behavior was similar in all localities and the month of December was always the hottest, while July was the coldest in both the estimated series and the data series observed. With the non-parametric Mann-Kendall test, it was observed that the estimated series presented significant trends of increase for the average air temperature for the annual, semester, quarterly and monthly periods for all the locations. The results point to the significant slope of Sen in the temperatures between 0,008 °C/year and 0,011 °C/year.

Keywords: Average air temperature, climatic trends, Mann-Kendall test, Brazilian semiarid, *Sertão Paraibano*.

2.1 Introdução

Um tema profusamente abordado pela comunidade científica nas últimas décadas refere-se às mudanças climáticas e suas consequências por associarem-se a alterações no meio ambiente e a diversos impactos socioambientais e econômicos, como o aquecimento global, a ocorrência de eventos extremos, alteração de ecossistemas, perdas de biodiversidade, danos à agricultura e à saúde, entre outros (BARRY; CHORLEY, 2009; PBMC, 2014).

A identificação e caracterização climática de uma região depende de diversos elementos, como temperatura do ar, umidade e pressão, que podem ser influenciados pelos fatores geográficos como o tipo de relevo, a altitude e sua continentalidade. A temperatura do ar, juntamente com a precipitação, são duas das variáveis mais relevantes nesse tipo de estudo, uma vez que interferem diretamente nas atividades humanas (IPCC, 2013, 2014; MARENGO *et al.*, 2010).

Segundo o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC), a temperatura média do ar no planeta está aumentando, estimulada pelas atividades humanas, principalmente após a Revolução Industrial (1750), devido ao aumento da concentração de determinados gases na atmosfera, potencializando o efeito estufa (IPCC, 2014).

Com o intuito de melhor compreender o clima e suas mudanças, independentemente das alterações serem originadas por causas naturais ou antrópicas, diversos autores tem investigado a variabilidade espacial e temporal no plano regional, como a análise de tendências extremas para as temperaturas máximas e mínimas em Idaho, nos Estados Unidos, por Santos *et al.* (2012), que detectaram aumento de temperatura, predominantemente para a temperatura mínima. Li *et al.* (2013) apontaram também aumento de temperatura e precipitação para algumas regiões de clima árido do noroeste da China. Na Europa, El Kenawy, López-Moreno e Vicente-Serrano (2012) investigaram a existência de tendência e a variabilidade da temperatura do ar para o nordeste da Espanha e também auferiram aumento significativo para as temperaturas médias, mínimas e máximas. Marengo *et al.* (2010) analisaram eventos extremos observados e simulados de precipitação e temperatura durante a segunda metade do século XX, derivados de vários modelos globais relatados pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC-AR4), para a América do Sul. Observaram tendências positivas significativas para a temperatura e na frequência de noites quentes em basicamente toda a América do Sul. E tendências positivas para eventos extremos de precipitação no sudeste da América do Sul, em partes da Argentina, Peru e Equador, enquanto no sul do Chile as tendências foram negativas. Para o Brasil, Blain (2010) analisou

tendências e variações climáticas para a temperatura média máxima anual para diferentes localidades no estado de São Paulo, sem que, no entanto, tenham apresentado significância estatística nos incrementos. Lima, Menezes e Brito (2010) perscrutaram tendências na temperatura do ar para a região Nordeste, aferindo um aumento para as temperaturas média compensada, máxima e mínima absolutas em partes da área do estudo e para a temperatura máxima absoluta não detectaram tendências significativas estatisticamente.

Assim, o objetivo principal deste trabalho foi detectar possíveis tendências para a temperatura média do ar na mesorregião do Sertão Paraibano, a partir da construção de séries de temperaturas com dados observados disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e com dados estimados, além de concernir uma aplicação e comparação entre estes para estudo de distribuição espacial e temporal da temperatura média do ar.

2.2 Material e métodos

O estado da Paraíba, localizado na região Nordeste do Brasil, possui quatro mesorregiões: Litoral ou Zona da Mata, Borborema, Agreste e Sertão Paraibano, sendo esta última a área elegida para este estudo, a qual apresenta clima semiárido (AESA, 2009a).

Na mesorregião do Sertão Paraibano existem apenas duas estações meteorológicas mantidas pelo INMET com dados observados de temperatura do ar, situadas nas localidades de Patos e São Gonçalo. Em função dessa escassez de dados de temperatura para a área de estudo, os valores de temperatura média do ar foram estimados para as localidades de Água Branca, Aguiar, Coremas, Patos, Princesa Isabel, São Gonçalo e Teixeira, pertencentes a mesma mesorregião.

Para tanto, utilizou-se o programa *Estima_T*, desenvolvido em linguagem computacional Visual Basic por Cavalcanti, Silva e Sousa (2006), que definem as séries temporais mensais de dados de temperaturas média, máxima e mínima do ar como uma superfície quadrática, em função das coordenadas geográficas de cada localidade, ou seja, sua latitude, longitude e altitude, além de considerar as anomalias de temperatura da superfície do mar (ATSM). A temperatura é estimada pela equação 2.1.

$$T_{ij} = a_0 + a_1\lambda + a_2\varphi + a_3h + a_4\lambda^2 + a_5\varphi^2 + a_6h^2 + a_7\lambda\varphi + a_8\lambda h + a_9\varphi h + ATSM_{ij} \quad (2.1)$$

Sendo λ a longitude de cada localidade, φ é sua latitude, h é a elevação e os coeficientes de regressão estão representados por a_0, a_1, \dots, a_9 . Os índices i e j , indicam o mês e o ano para o qual se estima a temperatura do ar, T_{ij} . Portanto, $i = 1, 2, \dots, 12$ (de janeiro a dezembro) e $j = 1950, 1951, 1953, \dots, 2017$. O programa é disponibilizado gratuitamente pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), através do Departamento de Ciências Atmosféricas (CAVALCANTI; SILVA; SOUSA, 2006).

Também foram geradas as séries de dados de temperatura média do ar para Patos e São Gonçalo com o intuito de utilizá-las como parâmetro de comparação entre os dados observados fornecidos pelo INMET e os estimados pelo *software*. A Tabela 2.1 apresenta as localidades e as estações meteorológicas elegidas, suas coordenadas geográficas, o intervalo e período das séries construídas a partir das estimativas para temperatura média do ar pelo programa Estima_T (SDE) e com dados observados (SDO), fornecidos pelo INMET, pelas estações meteorológicas presentes em Patos e São Gonçalo, especificamente.

Tabela 2.1 – Localidades elegidas da mesorregião do Sertão Paraibano com intervalo da série, seu período, coordenadas geográficas e altitude a partir de dados estimados (SDE) e dados observados (SDO).

	Localidade	Intervalo da série (ano)	Período da série (ano)	Latitude (°S)	Longitude (°W)	Altitude (m)
SDE	Coremas	1950 - 2016	67	-7,02	-37,97	218,0
	São Gonçalo			-6,83	-38,32	235,0
	Patos			-7,02	-37,28	250,0
	Aguiar			-7,09	-38,17	262,0
	Princesa Isabel			-7,73	-38,02	683,0
	Água Branca			-7,51	-37,64	735,0
	Teixeira	-7,22	-37,27	786,0		
SDO	São Gonçalo	1970 - 2016	14	-6,75	-38,21	233,1
	Patos	1984 - 2016	16	-7,01	-37,26	249,1

Fonte: elaborada a partir de dados disponibilizados pelo IBGE, 2010.

Após a obtenção dos dados, foram organizadas séries temporais discretas anuais, semestrais (janeiro a junho: J-J e julho a dezembro: J-D), trimestrais (dezembro-janeiro-fevereiro: DJF; março-abril-maio: MAM; junho-julho-agosto: JJA; setembro-outubro-novembro: SON) e mensais (todos os meses de janeiro a dezembro) de temperatura média do ar, seguindo-se critérios de avaliação de qualidade de dados e identificação de valores atípicos, conforme metodologia proposta por Viney e Bates (2004). O período considerado das séries foi até 2016, uma vez que para a análise de tendências, utilizou-se apenas os anos completos, isto é, anos em que se obteve dados em todos os meses, de janeiro a dezembro. Além disso, o Anexo I traz um sucinto resumo estatístico referente aos

principais dados utilizados nessa dissertação, incluindo gráficos do tipo box-plot, de dispersão e fluxogramas.

Para verificar a existência de tendências e descrever o comportamento das séries temporais, aplicou-se o teste estatístico de Mann-Kendall, proposto inicialmente por Sneyers (1992). O método se apoia na hipótese de estabilidade de uma série temporal e discreta na qual a sucessão de seus valores ocorre de forma independente e cuja distribuição de probabilidade seja sempre a mesma, caracterizando uma série aleatória simples (MANN, 1945; KENDALL, 1975).

O teste não-paramétrico de Mann-Kendall compara cada valor da série com os subsequentes (SILVA *et al.*, 2007). A aplicação do teste realizou-se computacionalmente através do programa Makesens, versão 1.0, que quantifica a magnitude de uma tendência através de método de regressão linear, pelo teste de Sen. Foram consideradas probabilidades de erro entre 0,1% e 10% (SALMI *et al.*, 2002; SEN, 1968). A Organização Meteorológica Mundial (OMM) sugere o uso do teste de Mann-Kendall, considerando-o um método apropriado por avaliar com bastante eficiência a existência de tendência em estudos sobre mudanças climáticas (GOOSSENS; BERGER, 1986; MODARES; SILVA, 2007).

2.3 Resultados e discussão

Os valores anuais médios da temperatura média do ar, mediana, variância (VAR), desvio padrão (DP), máximos e mínimos de temperatura, amplitude e coeficiente de variação (CV) tanto dos dados estimados para todas as localidades elegidas quanto dos dados observados em Patos e São Gonçalo, são apresentados na tabela 2.2. Percebeu-se que, anualmente, a variabilidade da temperatura média do ar, pelas séries com dados estimados (SDE), oscila entre 21,9 °C (em Teixeira) e 26,8 °C (em São Gonçalo). Pelas séries com dados observados (SDO), a temperatura média do ar por ano foi de 26,8 °C e 27,8 °C para São Gonçalo e Patos, respectivamente. A temperatura média estimada para Patos foi 6,2% mais baixa do que a temperatura média com dados observados.

Além disso, a variância, o desvio padrão e a amplitude para essas séries estimadas (SDE) de temperatura média anual apresentaram os mesmos valores para todas as localidades. Para os dados observados (SDO), a variância, a amplitude e o desvio padrão para São Gonçalo foram maiores do que para Patos. O coeficiente de variação em São Gonçalo foi 1,1% (SDE) e 2,3% (SDO) e em Patos foi 1,1% (SDE) e 2,0% (SDO), representando uma diferença de 47,8% e 56,7% entre os coeficientes de variação da SDE e SDO para São

Gonçalo e Patos, respectivamente. Independentemente dessas diferenças, os valores do CV indicam baixa dispersão dos dados para todas as séries.

Tabela 2.2 – Estatística descritiva para a temperatura média anual no período de 1950 a 2016 para as séries geradas pelo programa Estima_T (SDE) e dados observados (SDO) de 1984 a 2016 para Patos e de 1970 a 2016 para São Gonçalo.

	Localidades	Média (°C)	Mediana (°C)	VAR (°C ²)	DP (°C)	T_Máx (°C)	T_Mín (°C)	Amplitude (°C)	CV (%)
SDE	Teixeira	21,9	21,9	0,08	0,29	22,5	21,3	1,2	1,3
	Água Branca	22,5	22,5	0,08	0,29	23,1	21,9	1,2	1,3
	Princ. Isabel	23,1	23,1	0,08	0,29	23,7	22,5	1,2	1,3
	Patos	26,1	26,1	0,08	0,29	26,7	25,4	1,2	1,1
	Aguiar	26,5	26,5	0,08	0,29	27,1	25,9	1,2	1,1
	Coremas	26,8	26,8	0,08	0,29	27,4	26,1	1,2	1,1
	São Gonçalo	26,8	26,8	0,08	0,29	27,4	26,2	1,2	1,1
SDO	São Gonçalo	26,8	27,0	0,39	0,62	28,2	25,9	2,3	2,3
	Patos	27,8	27,7	0,30	0,55	29,1	27,0	2,1	2,0

Temperatura média anual máxima: T_Máx; temperatura média anual mínima: T_Mín; variância: VAR; desvio padrão: DP e coeficiente de variação: CV.

As três localidades que apresentaram os menores valores para a temperatura média anual foram as mesmas que estão a uma maior altitude, como pode ser observado averiguando as tabelas 2.1 e 2.2 e a figura 2.1.

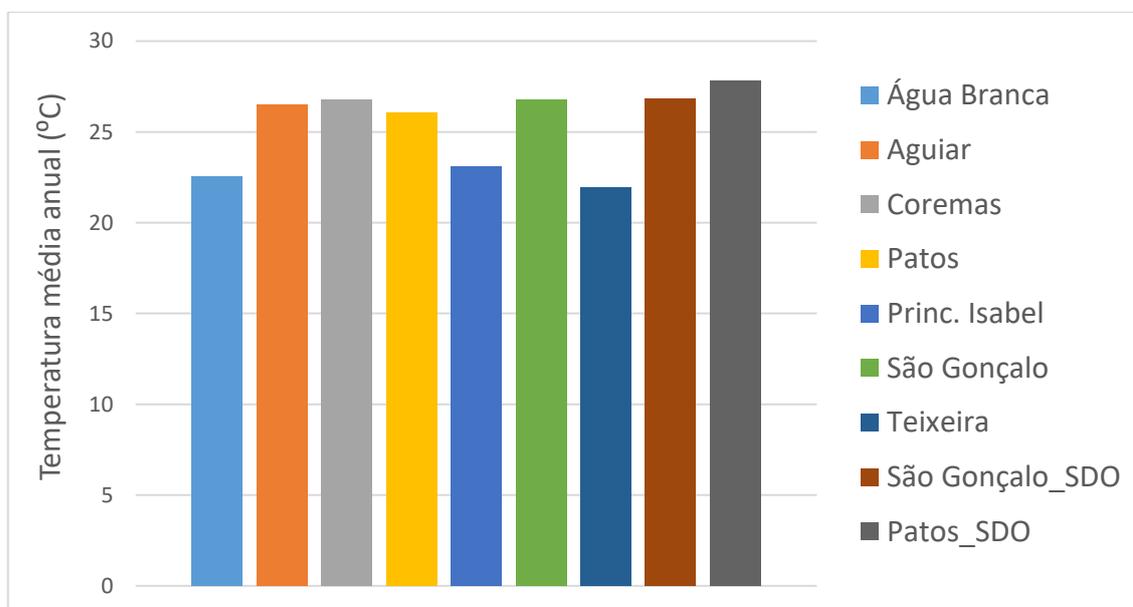


Figura 2.1 – Temperatura média anual para as localidades elegidas da área de estudo com dados estimadas e observados (SDO) entre 1970 e 2016 para São Gonçalo e entre 1984 e 2016 para Patos.

Isso expressa a importância da influência de fatores climáticos, como altitude e relevo,

sob a determinação da variabilidade térmica de uma região. Teixeira encontra-se a 786 m de altitude e apresentou média anual de temperatura de 21,9 °C, seguida por Água Branca, a 735 m, com média anual de 22,5 °C e Princesa Isabel a 683 m, com 23,1 °C.

As demais localidades, Patos, Aguiar, Coremas e São Gonçalo estão a uma altitude que varia de 218 m (em Coremas) a 262 m (em Aguiar) e apresentaram temperatura média anual acima de 26 °C, sendo a menor em Patos (26,1 °C) e a maior em São Gonçalo (26,8 °C), como pode ser observado pela figura 2.1. A temperatura média anual para Patos foi a mais elevada, 27,8 °C, a partir dos dados observados fornecidos pelo INMET.

A figura 2.2 expõe claramente a diferença de temperatura em dois conjuntos para as localidades em função da sua altitude, agrupando Água Branca, Princesa Isabel e Teixeira, com maiores altitudes (acima de 680 m) e menores temperaturas médias anuais (abaixo de 24 °C) e Aguiar, Coremas, Patos e São Gonçalo cujas elevações são inferiores (abaixo de 265 m) e temperaturas médias anuais mais altas (acima de 26 °C).

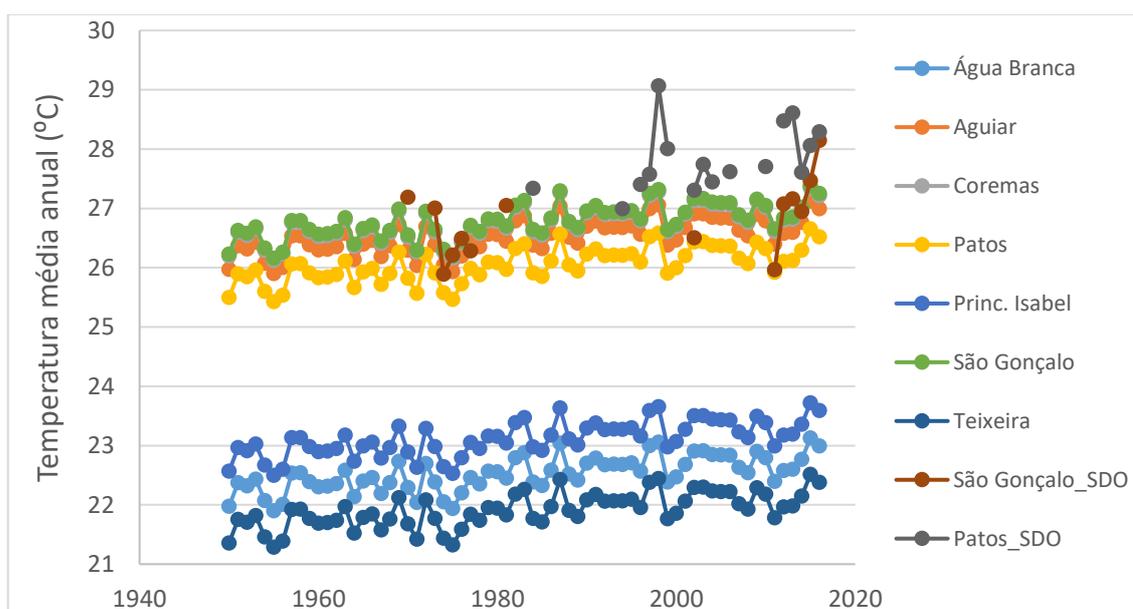


Figura 2.2 – Evolução da temperatura média anual das localidades escolhidas do Sertão Paraibano com dados de 1950 a 2016 para as séries com dados estimados e com dados observados (SDO) entre 1970 e 2016 para São Gonçalo e entre 1984 e 2016 para Patos.

A distribuição temporal de temperatura média mensal foi semelhante para todas as localidades, atingindo valores de máximo e de mínimo sempre nos meses de dezembro e de julho, respectivamente, como pode ser averiguado na figura 2.3. As temperaturas médias mínimas para as SDE mensais encontram-se entre 19,8 °C e 25,2 °C, observadas em julho. E as temperaturas médias máximas, entre 23,5 °C e 28,3 °C, em dezembro, para Teixeira e São

Gonçalo, respectivamente, conforme a Tabela 2.3. Como esperado para a mesorregião, o mês mais quente foi dezembro e o mais frio, julho.

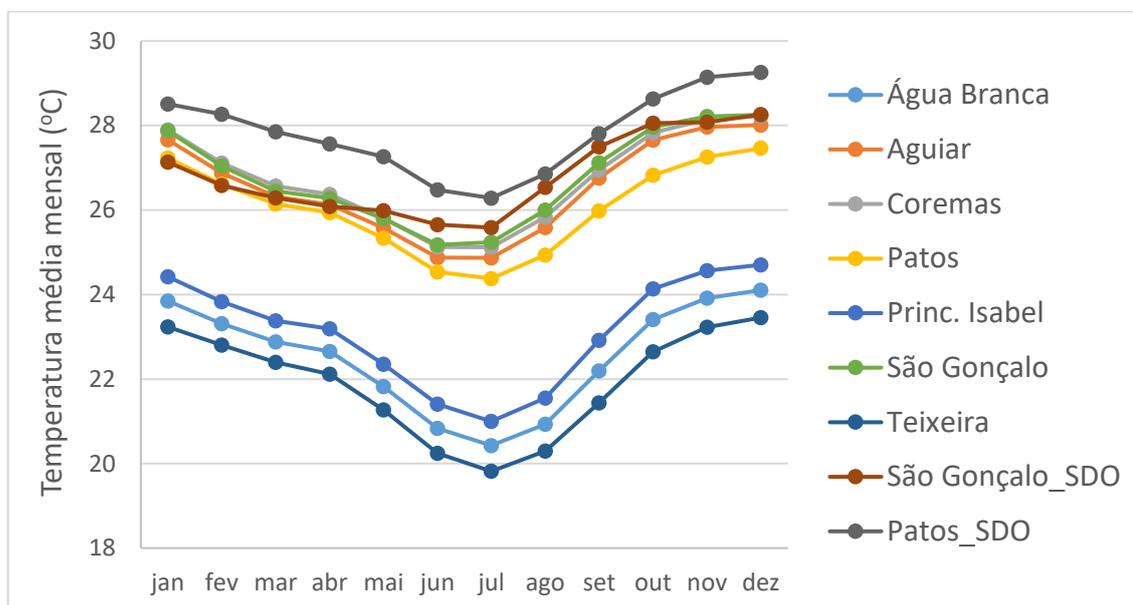


Figura 2.3 – Comportamento da temperatura média mensal nas localidades da área de estudo com dados de 1950 a 2016 para as séries estimadas e para as séries com dados observados (SDO) entre 1970 e 2016 para São Gonçalo e entre 1984 e 2016 para Patos.

As temperaturas médias mensais máximas apresentaram uma diferença de aproximadamente 6,1% entre a SDE e a SDO em Patos. E as temperaturas médias mínimas para as SDE apresentaram uma diferença de aproximadamente 1,6% e 7,2% abaixo dos valores apresentados pelas SDO para São Gonçalo e Patos, respectivamente, na Tabela 2.3.

Tabela 2.3 – Valores máximos e mínimos para a temperatura média do ar observados nas séries mensais para cada localidade estudada com dados de 1950 a 2016 para as séries estimadas (SDE) e para as séries com dados observados (SDO) entre 1970 e 2016 para São Gonçalo e entre 1984 e 2016 para Patos.

Localidade	Temperatura média do ar	
	máxima (°C)	mínima (°C)
Teixeira	23,5	19,8
Água Branca	24,1	20,4
Princ. Isabel	24,7	21,0
SDE Patos	27,5	24,4
Aguiar	28,0	24,9
Coremas	28,2	25,1
São Gonçalo	28,3	25,2
SDO Patos	29,3	26,3
SDO São Gonçalo	28,3	25,6

Os anos mais quentes, isto é, os anos que apresentaram os maiores valores de temperatura média do ar foram 1973, 1997, 1998, 2013, 2015 e 2016. Foram observados valores de máximo (temperaturas mais altas) nas séries estimadas no período anual para todas as localidades no ano de 2015. Entretanto, para as séries com dados observados, a temperatura média anual mais alta registrada ocorreu em 1998 para Patos e em 2016 para São Gonçalo. A Tabela 2.4 que expõe o ano em que se observou valores de máximo para as SDE e SDO.

Tanto nas SDE quanto nas SDO notou-se que os valores de máximo ocorreram em 1998 nas séries semestrais de J-J para todas as localidades, exceto para São Gonçalo. Para o semestre de J-D, as SDE apresentaram valores de máximo em 2015 e as SDO, em 2016. Para os períodos trimestrais, DJF as temperaturas médias mais altas observadas ocorreram em 1998 e repetiu-se em 2016 para as SDE, MAM em 1998, JJA em 2015 e SON em 1997, em todas as localidades da área de estudo, com exceção em Água Branca em que SON ocorreu em 1997 e repetiu-se também em 2015.

Tabela 2.4 – Ano de ocorrência de valores mais altos de temperatura média do ar com dados de 1950 a 2016 para as séries com dados estimados (SDE) e séries com dados observados (SDO) no período de 1970 a 2016 para São Gonçalo e de 1984 a 2016 para Patos.

Período	Água Branca	Aguiar	Coremas	Patos	Princesa Isabel	São Gonçalo	Teixeira	Patos	São Gonçalo
	SDE							SDO	
anual	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	1998	2016
J-J	1998	1998	1998	1998	1998	1998	1998	1998	2016
J-D	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2016	2016
DJF	1998/2016	1998/2016	1998/2016	1998/2016	1998/2016	1998/2016	1998/2016	1998	2016
MAM	1998	1998	1998	1998	1998	1998	1998	1998	2016
JJA	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015
SON	1997/2015	1997	1997	1997	1997	1997	1997	2016	2016
janeiro	1998	1998	1998	1998	1998	1998	1998	2013	2013
fevereiro	1998	1998	1998	1998	1998	1998	1998	2013	1973
março	1998	1998	1998	1998	1998	1998	1998	1998	2016
abril	1998	1998	1998	1998	1998	1998	1998	1998	2013
maio	1998	1998	1998	1998	1998	1998	1998	1998	2016
junho	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	1998	2016
julho	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	1998	2016
agosto	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2016	2016
setembro	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2016	2016
outubro	1997	1997	1997	1997	1997	1997	1997	2016	2016
novembro	1997/2015	1997/2015	1997/2015	1997/2015	1997/2015	1997/2015	1997/2015	1998	2016
dezembro	1997	1997	1997	1997	1997	1997	1997	1998	2016

Para os períodos mensais das SDE de janeiro a maio, todos os valores de máximo ocorreram em 1998. De junho a setembro, em 2015 e de outubro a dezembro, em 1997, com exceção para o mês de novembro, em que se repetiu em 2015. As SDO se diferem das SDE, principalmente em São Gonçalo, apresentando temperaturas médias máximas no ano de 2016

na maioria dos períodos, enquanto que para Patos, isso ocorre para o ano de 1998.

Constata-se pela tabela 2.4 que o ano de 1998 foi um dos mais quentes registrados na mesorregião do Sertão Paraibano. Isso também foi observado em escala global em estudo publicado por Jones *et al.* (1999), no qual os anos mais quentes foram os da década de 1990, principalmente 1990, 1995, 1997 e 1998, sendo o aumento mais expressivo para este último ano (aproximadamente 0,57 °C acima da temperatura média registrada no período de 1961 a 1990). Esse estudo afirma que os aumentos na temperatura média resultam de um acentuado aquecimento nas temperaturas mínimas registradas a noite em comparação com as temperaturas máximas registradas durante o dia.

Pela análise das tendências, detectou-se alterações estatísticas significativas de aumento para a temperatura média do ar estimada em todas as localidades. Os resultados apontam declividade de Sen entre 0,008 °C/ano e 0,011 °C/ano (Tabela 2.5).

Tabela 2.5 – Tendências de temperatura média para o período 1950-2016 apontadas pelo teste de Mann-Kendall para as séries construídas a partir de dados gerados pelo programa Estima_T para as localidades estudadas.

Período	Temperatura (°C/ano)						
	Água Branca	Aguiar	Coremas	Princesa Isabel	Teixeira	São Gonçalo	Patos
anual	0,010 ***	0,010 ***	0,010 ***	0,010 ***	0,010 ***	0,010 ***	0,010 ***
J-J	0,009 ***	0,009 ***	0,009 ***	0,009 ***	0,009 ***	0,009 ***	0,009 ***
J-D	0,010 ***	0,010 ***	0,010 ***	0,010 ***	0,010 ***	0,010 ***	0,010 ***
DJF	0,009 ***	0,009 ***	0,009 ***	0,009 ***	0,009 ***	0,009 ***	0,009 ***
MAM	0,009 ***	0,009 ***	0,009 ***	0,009 ***	0,009 ***	0,009 ***	0,009 ***
JJA	0,011 ***	0,011 ***	0,011 ***	0,011 ***	0,011 ***	0,011 ***	0,011 ***
SON	0,010 ***	0,010 ***	0,010 ***	0,010 ***	0,010 ***	0,010 ***	0,010 ***
janeiro	0,009 **	0,009 **	0,009 **	0,009 **	0,009 **	0,009 **	0,009 **
fevereiro	0,008 ***	0,008 ***	0,008 ***	0,008 ***	0,008 ***	0,008 ***	0,008 ***
março	0,008 ***	0,008 ***	0,008 ***	0,008 ***	0,008 ***	0,008 ***	0,008 ***
abril	0,009 ***	0,009 ***	0,009 ***	0,009 ***	0,009 ***	0,009 ***	0,009 ***
maio	0,010 ***	0,010 ***	0,010 ***	0,010 ***	0,010 ***	0,010 ***	0,010 ***
junho	0,010 ***	0,011 ***	0,011 ***	0,010 ***	0,010 ***	0,010 ***	0,011 ***
julho	0,011 ***	0,011 ***	0,011 ***	0,011 ***	0,011 ***	0,011 ***	0,011 ***
agosto	0,011 ***	0,011 ***	0,011 ***	0,011 ***	0,011 ***	0,011 ***	0,011 ***
setembro	0,010 ***	0,010 ***	0,010 ***	0,010 ***	0,010 ***	0,010 ***	0,010 ***
outubro	0,010 ***	0,010 ***	0,010 ***	0,010 ***	0,010 ***	0,010 ***	0,010 ***
novembro	0,011 ***	0,011 ***	0,011 ***	0,011 ***	0,011 ***	0,011 ***	0,011 ***
dezembro	0,010 ***	0,010 ***	0,010 ***	0,010 ***	0,010 ***	0,010 ***	0,010 ***

** p < 0,01; *** p < 0,001

Além disso, em cada período, o nível de significância foi igual, independentemente da localidade, com $p < 0,001$, exceto para o mês de janeiro, no qual $p < 0,01$. Até 2040,

mantendo-se as tendências observadas, as temperaturas médias do ar poderão sofrer aumento entre 0,2 °C e 0,3 °C, aproximadamente, para a mesorregião do Sertão Paraibano.

Segundo os relatórios apresentados tanto pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) quanto pelo Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC), a temperatura aumentará em toda a América do Sul e a região Nordeste do Brasil é assinalada como uma das mais vulneráveis a essas mudanças. Os resultados deste trabalho evidenciam uma alteração regional afetando significativamente a temperatura média do ar, que atenuam as informações apontadas pelo PBMC, cuja previsão para o semiárido nordestino consiste numa redução de até 20% em seu índice de precipitação e de acréscimo em até 1 °C para a temperatura até 2040. Além disso, essas alterações podem ocasionar diversos impactos ambientais como alteração de ecossistemas e da disponibilidade de água, afetando a agricultura, entre outros (IPCC, 2013, 2014; PBMC, 2014).

Obregon e Marengo (2007) também sugerem valores positivos e significativos estatisticamente para a região Nordeste do Brasil, com aumento entre 1,2 °C e 1,6 °C em, aproximadamente, 40 anos. Abrahão *et al.* (2017) em estudo sobre tendências e índice de calor no Sertão Paraibano, perceberam a existência de tendências significativas de aumento para a temperatura, bem como para os índices de calor, em ambas as localidades de Patos e São Gonçalo. Os índices de calor para o Sertão Paraibano são elevados, ultrapassando em alguns momentos a faixa de atenção, segundo a classificação da Administração Nacional Oceânica e Atmosférica dos Estados Unidos (ou *National Oceanic and Atmospheric Administration* - NOAA) e as tendências apresentadas neste trabalho para as séries estimadas pelo programa Estima_T são inferiores às apresentadas no artigo mencionado. Por conseguinte, as alterações observadas para a mesorregião do Sertão Paraibano podem ser mais expressivas do que os resultados apontados neste trabalho a partir de dados estimados para a temperatura média do ar.

As figuras 2.4 e 2.5 apresentam os dados observados e os estimados pelo programa Estima_T para a temperatura média anual das SDE e SDO para os anos coincidentes e completos, isto é, compostos por todos os meses de janeiro a dezembro, para as localidades de Patos e São Gonçalo. Esse período compreende os anos de 1984 a 2016 e 1970 a 2016 para Patos e São Gonçalo, respectivamente.

A comparação entre as SDO e as SDE revela que para Patos e São Gonçalo, apesar das figuras 2.4 e 2.5 salientarem a existência de discrepância entre as séries de período anual para a temperatura média do ar, os dados das séries mensais apresentaram similaridade no comportamento (figuras 2.3, 2.6 e 2.7).

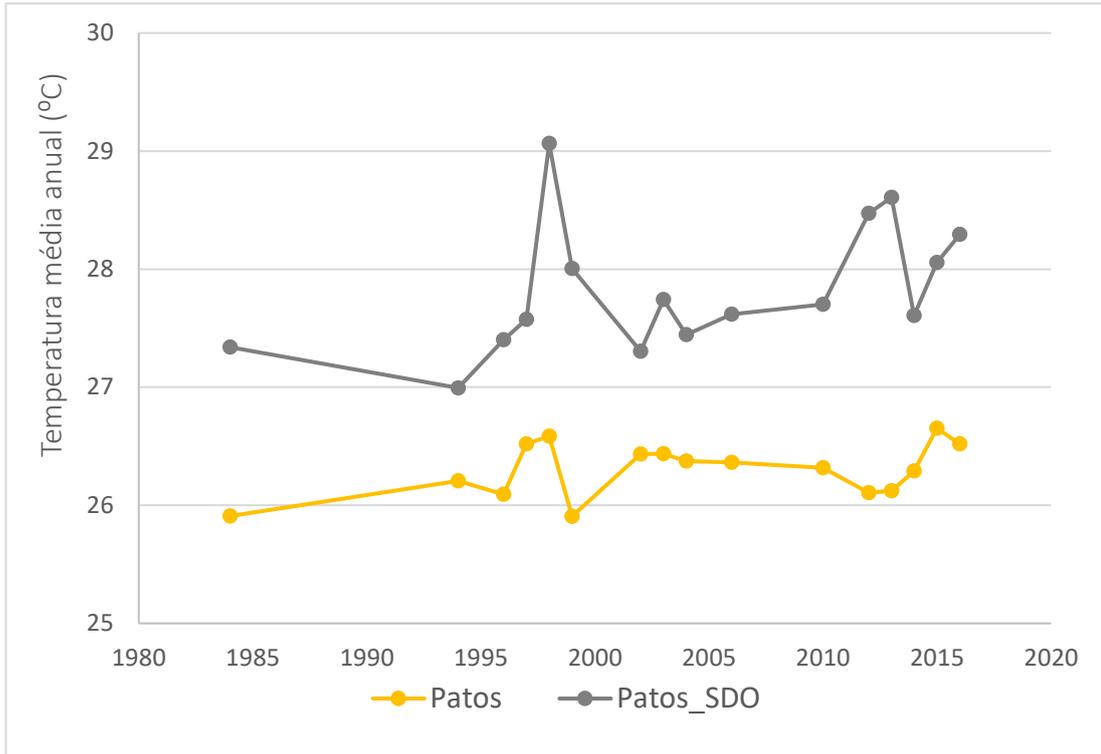


Figura 2.4 – Comparação entre a série de dados observados (SDO) e estimados pelo programa Estima_T (SDE) para temperatura média anual, para os anos completos de janeiro a dezembro para Patos, com dados de 1984 a 2016.

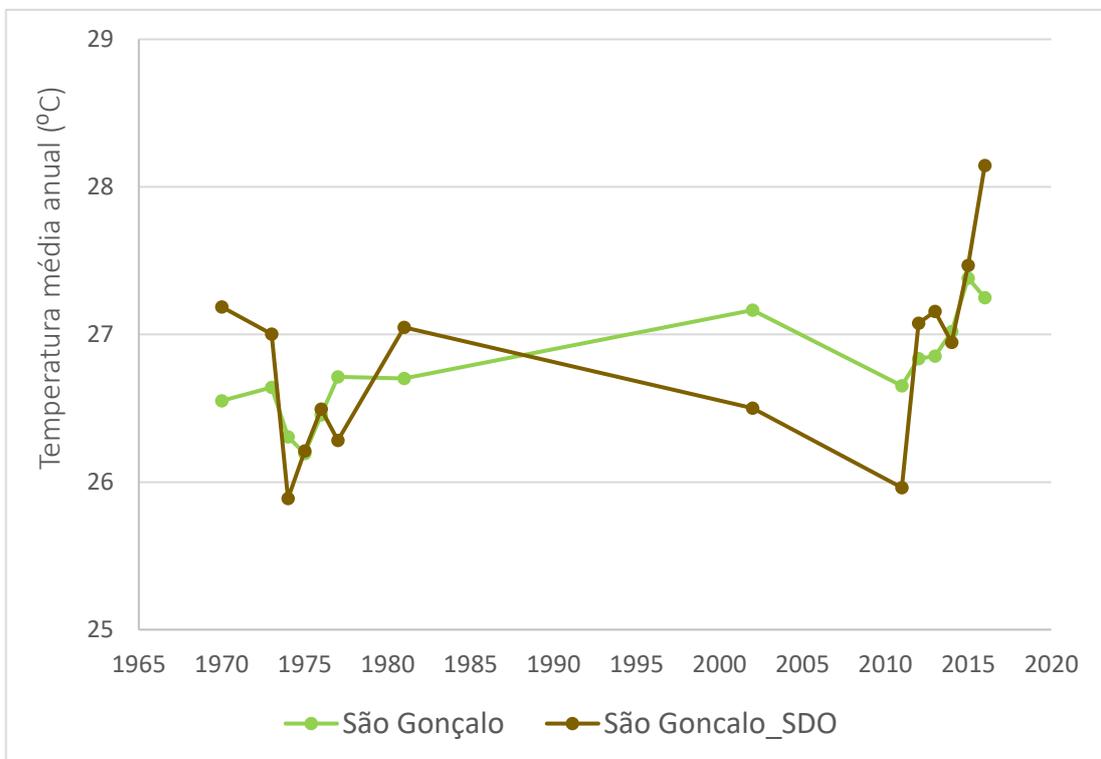


Figura 2.5 – Comparação entre a série de dados observados (SDO) e estimados para temperatura média anual, para os anos completos de janeiro a dezembro para São Gonçalo, com dados de 1970 a 2016.

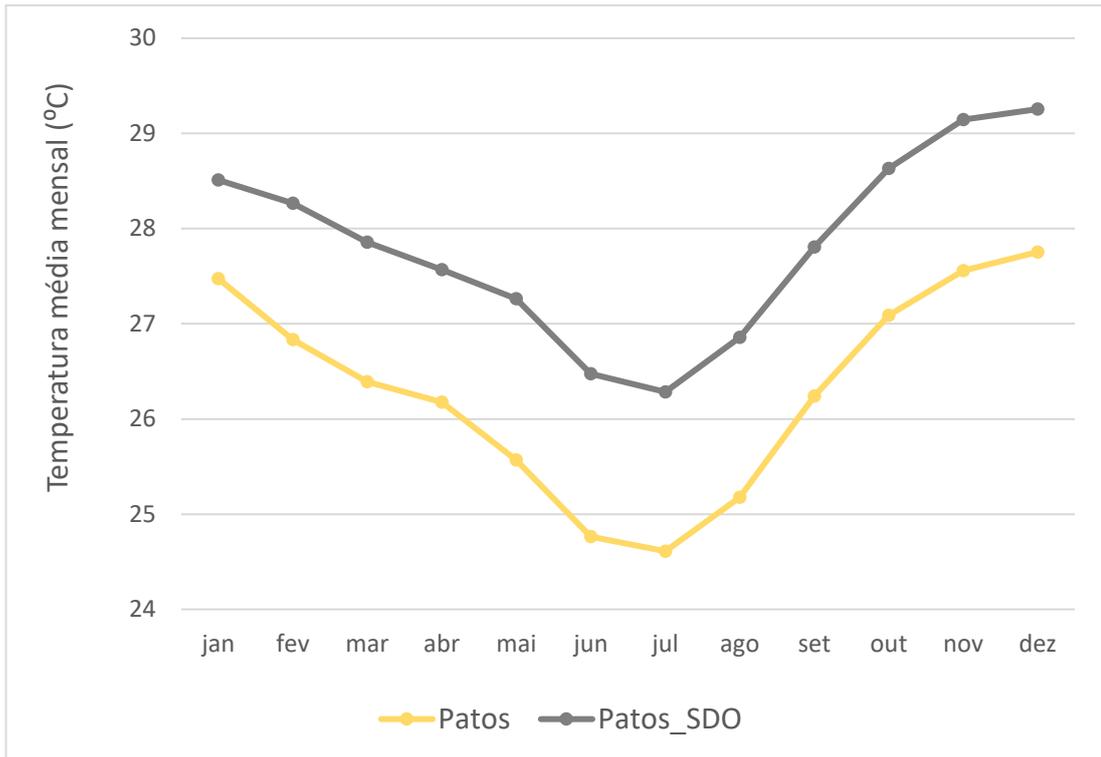


Figura 2.6 – Comparação entre as séries de dados observados (SDO) e estimados pelo programa Estima_T para temperatura média mensal para Patos com dados de 1984 a 2016.

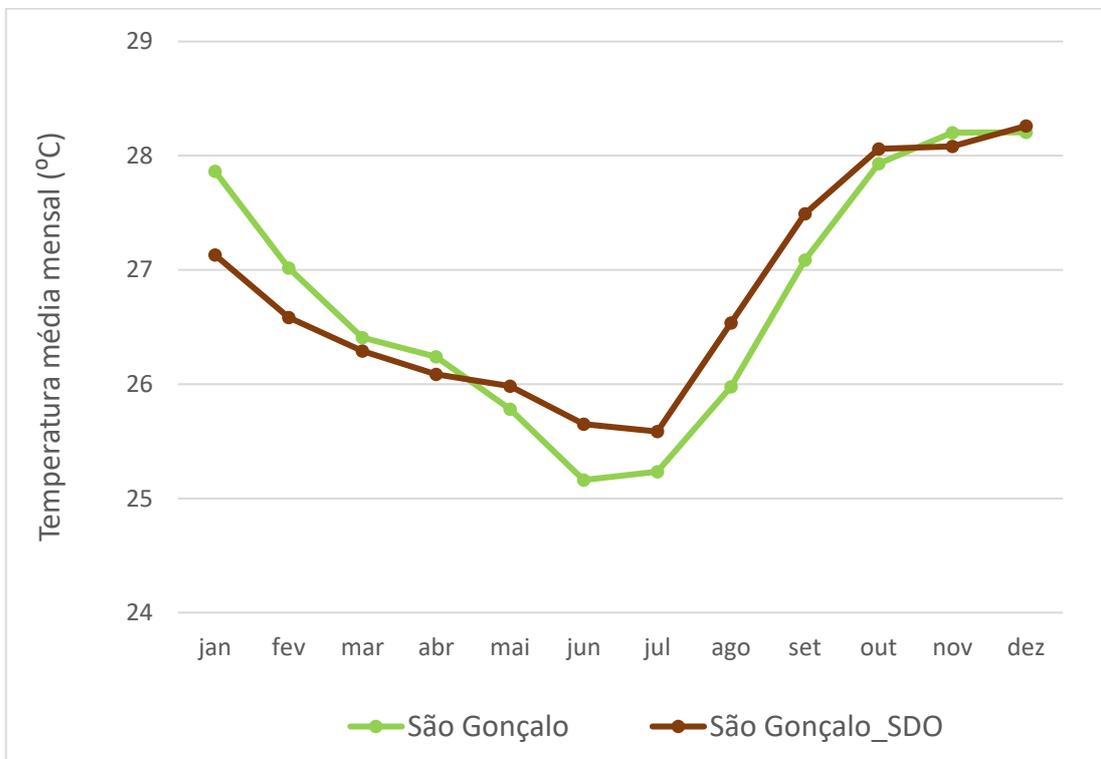


Figura 2.7 – Comparação entre a série de dados observados (SDO) e estimados para temperatura média mensal para São Gonçalo com dados de 1970 a 2016.

A diferença percentual entre os valores anuais estimados e os observados para Patos encontra-se entre 2,9% e 8,7%. Para São Gonçalo, essa diferença foi de no máximo 3,2%. Confrontando os valores mensais, a disparidade para a localidade de Patos situa-se entre 3,8% e 6,9%, enquanto que para São Gonçalo foi de no máximo 2,7%. Todos os valores mensais e anuais de temperatura média do ar estimados (SDE) foram abaixo dos observados (SDO), fornecidos pelo INMET, para a localidade de Patos.

Portanto, entende-se que a utilização de estimativas para a temperatura é válida para a análise e configuração do clima diante da escassez de estações meteorológicas na mesorregião do Sertão Paraibano, apesar de notar-se uma leve disparidade entre SDO e SDE nas localidades onde há estações meteorológicas do INMET em funcionamento.

2.4 Conclusões

A falta de estações meteorológicas para monitoramento de variáveis climáticas, como é o caso observado para a temperatura do ar, é um fator limitante para a análise e compreensão da dinâmica climática local. Contudo, o uso de programas computacionais para estimar a temperatura, como o Estima_T, atenua essa dificuldade. Entretanto, não substitui plenamente a averiguação a partir de dados observados.

Pela análise descritiva, foram constatadas diferenças entre os valores observados em Patos e São Gonçalo e os dados gerados pelo programa Estima_T. As temperaturas médias anuais estão entre 21,9 °C e 27,8 °C, como é esperado para uma região pertencente ao semiárido nordestino brasileiro. Além disso, o mês de dezembro é sempre o mais quente e julho o mais frio em todas as localidades, tanto nas séries construídas com os dados de temperatura média do ar estimados quanto nas séries construídas a partir de dados observados obtidos em estações meteorológicas presentes em Patos e São Gonçalo, mantidas pelo INMET.

A aplicação do teste de Mann-Kendall evidencia tendências significativas de aumento para a temperatura média do ar em todas as localidades para os períodos anuais, semestrais, trimestrais e mensais das séries geradas a partir de dados fornecidos pelo programa Estima_T.

Referências bibliográficas

ABRAHÃO, R.; PEIXOTO, I. M. B. M.; SILVA, L. P.; MEDEIROS, S. E. L. Mais calor para o Sertão? Perspectivas de tendências no índice de calor do Sertão Paraibano. In: Congresso

Brasileiro de Agrometeorologia, v. 20, Petrolina, 2017.

AESA – Agência Executiva de Gestão das Águas do estado da Paraíba. Plano Estadual de Recursos Hídricos – Relatório final. João Pessoa, 2009a. Disponível em: <<http://www.aesa.pb.gov.br/perh/>>. Acesso em: 25 ago. 2017.

BARRY, R.G.; CHORLEY, R. J. **Atmosphere, weather and climate**. Londres e Nova Iorque: Routledge. 2009.

BLAIN, G. C. Séries anuais de temperatura máxima média do ar no estado de São Paulo: variações e tendências climáticas. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 25, n. 1, p. 114-124, 2010.

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

EL KENAWY, A.; LÓPEZ-MORENO, J. I.; VICENTE-SERRANO, S. M. Trend and variability of surface air temperature in northeastern Spain (1920–2006): linkage to atmospheric circulation. **Atmospheric Research**, v. 106, p. 159-180, 2012.

GOOSSENS, C.; BERGER, A. Annual and seasonal climatic variations over the northern hemisphere and Europe during the last century. In *Annales geophysicae*. Series B. **Terrestrial and planetary physics**, v. 4, n. 4, p. 385-399, 1986.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Resultados do Universo do Censo Demográfico. 2010. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/caracteristicas_da_populacao/caracteristicas_da_populacao_tab_municipios_zip_xls.shtm> Acesso em: 30 de mai. 2017.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. **Banco de dados meteorológicos para o ensino e pesquisa**. 2017. Disponível em: <www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>. Acesso em: 01 jul. 2017.

IPCC – Intergovernmental Panel in Climate Change. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Edited by T. F. Stocker *et al.* Cambridge/New York, Cambridge University Press, 2013.

IPCC – Intergovernmental Panel in Climate Change. Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Edited by C. B. Field *et al.* Cambridge/New York, Cambridge University Press/IPCC, 2014.

JONES, P. D.; NEW, M.; PARKER, D. E.; MARTIN, S.; RIGOR, I. G. Surface air temperature and its changes over the past 150 years. **Reviews of Geophysics**, v. 37, n. 2, p. 173-199, 1999.

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

LI, B.; CHEN, Y.; SHI, X.; CHEN, Z.; LI, W. Temperature and precipitation changes in different environments in the arid region of northwest China. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 112, p. 589-596, 2013.

LIMA, R. A. F. A.; MENEZES, H. E. A.; BRITO, J. I. B. Diagnóstico de tendência de mudanças na temperatura do ar no nordeste setentrional. **Revista Caatinga**, v. 23, n. 2, 2010.

MANN, H. B. Nonparametric tests against trend. *Econometric*. **The econometric society**, v. 13, p. 245-259, 1945.

MARENGO, J. A.; RUSTICUCCI, M.; PENALBA, O.; RENOM, M. An intercomparison of observed and simulated extreme rainfall and temperature events during the last half of the twentieth century: part 2: historical trends. **Climatic Change**, v. 98, n. 3, p. 509-529, 2010.

MODARES, R.; SILVA, V. de P. R. de. Trends analysis of rainfall record in arid and semi-arid regions of Iran. **Journal of Arid Environments**, v. 70, n. 1, p. 344-355, 2007.

OBREGON, G. O.; MARENGO, J. A. Caracterização do clima no século XX no Brasil: tendência de chuvas e temperaturas médias e extremas. Relatório nº 2 – Projeto: Mudanças Climáticas Globais e Efeitos sobre a Biodiversidade – subprojeto: Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XX, 2007.

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 e M. Araujo. Rio de Janeiro, 2014.

SALMI, T. A. M.; ANTTILA, P.; RUOHO-AIROLA, T.; AMNELL, T. Detecting trends of annual values of atmospheric pollutants by the Mann-Kendall test and Den's slope estimates-the Excel template application makesens. **Air Qual. Res**, p. 7-35, 2002.

SANTOS, C. D.; DANTAS, L. G.; MELO, M. M. M. S.; SANTOS, E. D. Trends in Indices for extremes in daily precipitation over Idaho-USA. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 4, p. 852-862, 2012.

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.

SILVA, V. de P. R. da; CAVALCANTI, E. P.; BRAGA, C. C.; AZEVEDO, P. V. Evaluating trends in solar radiation based on data fields from the NCEP/NACR reanalysis and measurements, 7th EMS Annual Meeting/8th ECAM. El Escorial, 2007, Madrid Anais.Madrid: European Meteorological Society, 2007.

SNEYERS, R. On the use of Statistical Analysis for the Objective Determination of Climatic Change. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 1, p. 247–256, 1992.

VINEY, N. R.; BATES, B. C. It never rains on Sunday: The prevalence and implications of untagged multi-day rainfall accumulations in the Australian high quality data set. **International Journal of Climatology**, v. 24, p. 1171-1192, 2004.

CAPÍTULO 3

**ARTIGO: ANÁLISE DE TENDÊNCIA DE
PRECIPITAÇÕES PARA A MESORREGIÃO DO
SERTÃO PARAIBANO**

3 ARTIGO: ANÁLISE DE TENDÊNCIA DE PRECIPITAÇÕES PARA A MESORREGIÃO DO SERTÃO PARAIBANO

Resumo

O estado da Paraíba pertence à região Nordeste do Brasil e apresenta clima semiárido em aproximadamente 76% do seu território. Divide-se em quatro mesorregiões: Zona da Mata ou Litoral, Agreste, Borborema e Sertão Paraibano. Para este estudo, a mesorregião Sertão Paraibano foi escolhida com o intuito de se compreender a vulnerabilidade às alterações climáticas, tendo em conta a importância socioeconômica desta área para o fornecimento de água para o abastecimento populacional, irrigação e geração eletricidade. O teste estatístico não-paramétrico de Mann-Kendall foi utilizado com a finalidade de avaliar a existência de tendências nas séries históricas de dados de precipitação nos períodos mensal, trimestral, semestral e anual. As séries foram construídas a partir de dados mensais provenientes de cinco estações meteorológicas distribuídas pela mesorregião. Essas estações são mantidas pela Agência Executiva de Gestão das Águas (AESAs) e pelo Departamento Nacional de Obras Contra a Seca (DNOCS). Os resultados indicam tendência de aumento na precipitação da mesorregião, principalmente nos intervalos de tempo anual, no primeiro semestre, de janeiro a junho (J-J), no trimestre dezembro, janeiro e fevereiro (DJF) e no mês de janeiro, sendo os declives anuais entre 2,67 mm/ano e 5,45 mm/ano. Este trabalho evidencia a necessidade de aprofundar estudos sobre influência das alterações climáticas na mesorregião do Sertão Paraibano, com o intuito de mitigar os seus efeitos ou, pelo menos, promover imediatas medidas de adaptação.

Palavras-Chave: Precipitação; Mudança climática; Análise de tendências; Teste de Mann-Kendall; Semiárido.

Abstract

The state of *Paraíba* belongs to the northeastern region of Brazil and presents semi-arid climate in approximately 76% of its territory. It is divided into four mesoregions: *Zona da Mata* or *Litoral*, *Agreste*, *Borborema* and *Sertão Paraibano*. For this study, the *Sertão Paraibano* mesoregion was chosen in order to understand vulnerability to climate change, taking into account the socioeconomic importance of this area for the supply of water for population supply, irrigation and electricity generation. The Mann-Kendall non-parametric statistical test was used to evaluate the existence of trends in the historical series of precipitation data in the monthly, quarterly, semi-annual and annual periods. The series were constructed from monthly data from five meteorological stations distributed by the mesoregion. These stations are maintained by the Executive Agency for Water Management (AESA) and the National Department of Works Against Drought (DNOCS). The results indicate a trend of increase in the precipitation of the mesoregion, mainly in the annual time intervals, in the first semester, from January to June (JJ), in the December-January-February (DJF) and January months, with annual declines between 2.67 mm/year and 5.45 mm/year. This work evidences the need to deepen studies on the influence of climate change in the *Sertão Paraibano* mesoregion, in order to mitigate its effects or, at least, to promote immediate adaptation measures.

Keywords: Precipitation; Climate change; Trend analysis; Mann-Kendall test; semiarid.

3.1 Introdução

As mudanças climáticas podem ser definidas como um conjunto de variações estatísticas de um estado médio do clima ou de sua variabilidade, atribuída direta ou indiretamente às atividades humanas. São variações que persistem por longos períodos de tempo e podem ser detectadas e analisadas através de séries históricas de dados meteorológicos (IPCC, 2013, 2014). Além disso, entende-se que a tendência climática se caracteriza por uma mudança (aumento ou diminuição) suave ou monótona nos valores médios dessa série. Através das tendências de séries temporais, pode-se confirmar a ocorrência de mudanças climáticas para uma determinada região (BLAIN, 2010a).

A variabilidade e mudanças climáticas, bem como suas consequências, têm despertado o interesse de estudo em diversos grupos de pesquisa. Dentre essa temática, pode-se citar alguns trabalhos que abordam a análise de tendências para variáveis meteorológicas em diferentes localidades. Em relação aos regimes e padrões pluviométricos, as tendências observadas dependem do período de registro e da localidade. Groisman e Easterling (1994), analisaram a precipitação total e a queda de neve para Estados Unidos e Canadá durante um período de 100 anos. Concluíram que a quantidade anual de neve tem aumentado para o Canadá e que a precipitação total no sul do Canadá e em áreas contíguas dos Estados Unidos está diminuindo, enquanto na região leste do Canadá e norte dos Estados Unidos tem aumentado. Karl e Knight (1998), utilizaram diferentes métodos para examinar como a precipitação variou desde 1910 nos Estados Unidos. Foram observadas tendências significativas estatisticamente de aumento para a precipitação, registrando também aumento na frequência de dias com chuva e de eventos extremos. Yue, Yang e Wu. (2002) e Modarres e Silva (2007) utilizaram o teste de Mann-Kendall para detectar tendências em séries históricas de precipitação em Taiwan e em regiões áridas e semiáridas no Iran, respectivamente. Na China, Fu *et al.* (2013) estudaram a variabilidade espacial e temporal da frequência de eventos de precipitação extrema no período de 1961 a 2009 para quase 600 estações meteorológicas. Os resultados dependem da localidade e foram encontradas tendências significativas de aumento e decrescimento. Laskar, Kotal e Bhowmik (2014), investigaram as tendências das temperaturas sazonais e mínimas e séries temporais de precipitação para nove estações meteorológicas selecionadas no nordeste da Índia, durante um período de quase 100 anos (de 1913 a 2012). Tanto a temperatura mínima quanto a máxima e a precipitação apresentaram tendências crescentes, decrescentes ou nenhuma, dependendo da estação. Na Europa, Łupikasza (2017) examinou tendências sazonais em índices de

precipitação extrema utilizando o teste de Mann-Kendall, por períodos de 30 anos entre dezembro de 1950 e fevereiro de 2008. Para atualizar os dados de 2008 a 2015, foram realizados cálculos suplementares para mais de 120 estações meteorológicas. O padrão espacial das tendências de precipitação extrema variou de acordo com a estação, entretanto, as tendências significativas foram raras. Soares *et al.* (2017) examinaram as tendências da temperatura do ar e da precipitação na América do Sul, utilizando múltiplos conjuntos de dados observacionais e climáticos. Os resultados obtidos mostram uma tendência de aquecimento geral em grande parte do continente, com as maiores magnitudes sobre a região central do Brasil, sugerindo que o aquecimento já é evidente em grande parte da América do Sul. As tendências de precipitação são encontradas em apenas alguns dos conjuntos de dados, indicando a necessidade de estudos mais aprofundados. Sobressaem também Salviano, Groppo e Pellegrino (2016), com análise de tendência em dados de precipitação e temperatura para o Brasil. Moraes *et al.* (1998), Marengo e Camargo (2008), Pinheiro, Graciano e Severo (2013), que analisaram tendências para a região Sul do Brasil. Marengo (2003) e Santos e Lucio (2015), que estudaram tendências para a região Norte do Brasil. Ramos (1975), Silva (2004), Moscati e Gan (2007), Oliveira e Lima (2014), Costa *et al.* (2015) estudaram a dinâmica, distribuição e tendência para precipitação na região Nordeste e Folhes e Fisch (2006), Minuzzi *et al.* (2007), Blain (2009, 2010a, 2010b, 2012), que focalizaram a região Sudeste, principalmente o estado de São Paulo.

As mudanças nos padrões de precipitação e temperatura podem causar ou acentuar problemas referentes a quantidade e qualidade da água na região Nordeste (BENITO, 2013). Lucena *et al.* (2009), com base em projeções climáticas de longo prazo para os cenários de emissões A2 e B2 do IPCC, indicaram aumento da vulnerabilidade para todos os setores energéticos no Brasil, especialmente na região Nordeste, uma vez que as mudanças climáticas afetarão os recursos naturais relacionados às energias renováveis.

O estado da Paraíba faz parte da região Nordeste do Brasil e apresenta clima semiárido na maior parte de seu território e reduzida capacidade hídrica (PEDROZA, 2009). A região conta com o complexo Coremas-Mãe D'água, pertencente a bacia hidrográfica do rio Piranhas. O complexo Coremas-Mãe D'água se destaca pela capacidade de acumular um total de 1.358.000.000 m³ de água, compondo assim o maior potencial de armazenamento hídrico da mesorregião do Sertão Paraibano (AESAs, 2009a). Desde 1957, a área possui uma pequena central de geração hidrelétrica, Usina Curemas, a qual é suprida a partir dos reservatórios Estevam Marinho e Mãe D'água, abastecidos pelos rios Piancó e Aguiar. A usina dispõe de

2 unidades geradoras, com potência de 1.760 kW cada, perfazendo um total de 3.520 kW (CHESF, 2016).

Em função da importância desta área para o abastecimento de água e de energia para o estado da Paraíba e do impacto potencial das mudanças na disponibilidade dos recursos hídricos para matriz de produção de energia hidroelétrica, o presente estudo tem como objetivo compreender o comportamento e verificar a existência de possíveis tendências nas precipitações da área próxima ao complexo Coremas-Mãe D'água na mesorregião do Sertão Paraibano.

3.2 Material e métodos

3.2.1 Caracterização da área de estudo, identificação das estações meteorológicas e organização dos dados

O estado da Paraíba apresenta três tipos de clima: úmido do litoral, tropical e semiárido (IBGE, 2002), com um regime anual de precipitações muito variável, oscilando entre 300 mm e 2000 mm (AESA, 2016; CAVALCANTI *et al.*, 2009; SOUSA *et al.*, 2012). O estado está dividido em quatro mesorregiões: Litoral ou Zona da Mata, Agreste, Borborema e Sertão Paraibano (AESA, 2009b), sendo esta última uma área semiárida, a qual foi elegida para o estudo (figura 3.1).

O Sertão Paraibano apresenta clima tropical semiárido caracterizado por paisagens secas e altas temperaturas, acompanhadas de baixa variabilidade térmica anual e irregularidades na distribuição espacial e temporal das chuvas, sendo esta área marcada por longos períodos de estiagem (CAVALCANTI *et al.*, 2009; MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007).

Para as análises de variabilidade e tendências da precipitação, foram obtidas séries temporais com informação pluviométrica entre 1912 e 2012. Este acervo de dados foi proveniente da Agência Executiva de Gestão das Águas (AESA) e do Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS).

A rede de monitoramento pluviométrica do estado da Paraíba é padronizada de acordo com critérios da Organização Meteorológica Mundial (OMM) e apresenta 265 estações equipadas com pluviômetros Ville de Paris (BECKER *et al.*, 2011). Para este estudo, foram consideradas cinco estações meteorológicas, das mais de quarenta que existem na mesorregião do Sertão Paraibano, selecionadas devido à proximidade com o complexo hídrico

Coremas-Mãe D'água e a qualidade de seus dados (maior número de anos disponíveis com o menos interrupções ou falhas nas séries).

A tabela 3.1 reúne informações sobre as estações meteorológicas elegidas para este estudo, sua localização geográfica, período da série construída com os dados de precipitação e quantidade de anos ausentes em cada série.

Tabela 3.1 – Estações pluviométricas utilizadas no estudo.

Número da estação	Operadora	Estação (Município)	Intervalo da série (ano)	Latitude (S, °)	Longitude (W, °)	Período (anos)	Número de anos ausentes
737022	AESA	Água	1936 – 1991	-7,51	-37,62	72	4
	AESA	Branca	1994 – 2012	-7,51	-37,64		
738025	DNOCS	Aguiar	1935 – 1991	-7,08	-38,18	71	6
	AESA		1994 – 2012	-7,09	-38,17		
737019	DNOCS	Coremas	1934 – 1985	-7,02	-37,97	64	13
	AESA		1994 – 2012	-7,03	-37,94		
738013	DNOCS	Princesa	1912 – 1991	-7,73	-38,02	97	2
	AESA	Isabel	1994 – 2012	-7,73	-37,99		
737002	DNOCS	Teixeira	1926 – 1991	-7,22	-37,27	78	7
	AESA		1994 – 2011	-7,22	-37,25		

As informações pluviométricas foram organizadas em séries temporais discretas seguindo-se critérios de identificação e avaliação de valores atípicos, chamados *outliers*, e de modo que todos os anos analisados possuíssem todos os meses de janeiro a dezembro, sem falhas. O Anexo I traz um sucinto resumo estatístico referente aos principais dados utilizados nessa dissertação, incluindo gráficos do tipo box-plot, de dispersão e fluxogramas.

Sendo assim, foram utilizados dados mensais para construção das séries anuais e os únicos anos constituídos foram aqueles que continham dados completos de precipitação de janeiro a dezembro, sem exceção. Os anos incompletos foram excluídos e representaram entre 2% e 16% das séries das estações meteorológicas (tabela 3.1).

A figura 3.1 apresenta o estado da Paraíba dividido em suas quatro mesorregiões: Zona da Mata ou Litoral, Agreste, Borborema e Sertão Paraibano e as localidades elegidas pertencentes à área de estudo: Água Branca, Aguiar, Coremas, Princesa Isabel e Teixeira.

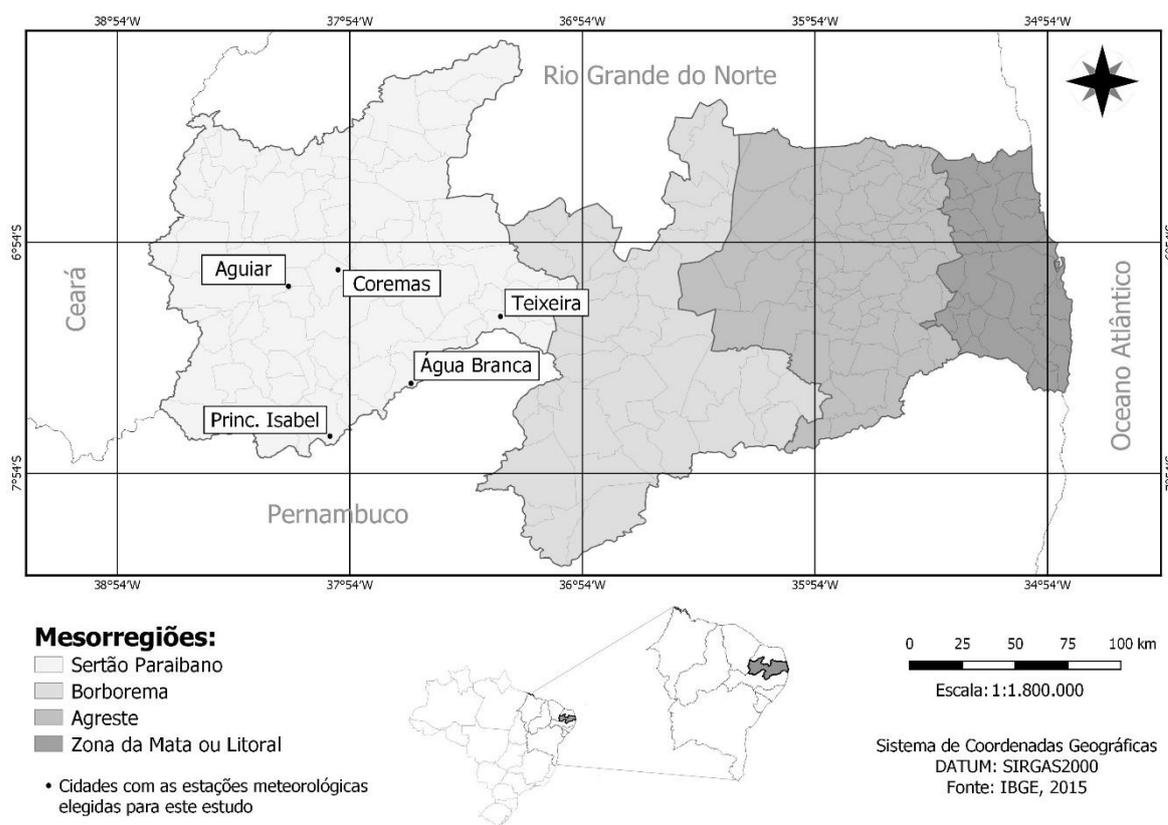


Figura 3.1 – Localização geográfica das mesorregiões do estado da Paraíba e identificação das cidades com as estações meteorológicas utilizadas neste estudo.

Fonte: Adaptado de AESA, 2009b.

3.2.2 Métodos estatísticos para análise de tendências

Para descrever o comportamento das séries temporais e verificar a existência de tendências, aplicou-se o método de regressão linear e o teste estatístico não-paramétrico de Mann-Kendall, de acordo com a metodologia proposta por Sneyers (1992).

O teste de Mann-Kendall geralmente é empregado para identificar tendências em séries temporais de dados climáticos. Uma das principais vantagens dos testes não-paramétricos é que a sua aplicação independe da distribuição de dados. Uma limitação desses testes reside na necessidade de que a sequência dos elementos da série ocorra de forma independente e aleatória, caracterizando uma série aleatória simples cuja distribuição de probabilidade é homogênea (BACK, 2001; FECHINE; GALVÍNCIO, 2010; GOOSSENS; BERGER, 1986; KENDALL, 1975; MANN, 1945).

Utilizou-se o programa *Future Climate and Hydrological Scenarios for Environmental Management and Assessment* (FuCHSIA) para avaliar tendências nas séries de dados de

precipitação nos períodos anual, semestral (janeiro a junho: J-J e julho a dezembro: J-D), trimestral (dezembro-janeiro-fevereiro: DJF; março-abril-maio: MAM; junho-julho-agosto: JJA; setembro-outubro-novembro: SON) e mensal (todos os meses de janeiro a dezembro). O programa FuCHSIA foi desenvolvido pelo setor privado para analisar séries temporais tendências em cenários de clima atual e em condições de mudança climática. Mais detalhes e informações podem ser obtidos em García-Garizábal e Espinoza (2016) e García-Garizábal *et al.* (2017).

O programa FuCHSIA aplica o teste de Mann-Kendall para identificar as tendências em séries temporais e utiliza o método de regressão linear de Sen como quantificador, para definir a inclinação da reta e fornecer a magnitude da tendência (KENDALL, 1975; MANN, 1945; SEN, 1968).

3.3 Resultados e discussão

A média anual de precipitação na área de estudo varia entre 715,59 mm (na estação do município de Teixeira) e 879,11 mm (na estação em Coremas). A distribuição da média mensal da precipitação apresenta comportamento similar nas cinco estações pluviométricas, com valores máximos em março e valores mínimos entre agosto, setembro e outubro, reforçando quando ocorrem os períodos úmidos e secos, característica comum das regiões semiáridas do Brasil (figuras 3.2 e 3.3).

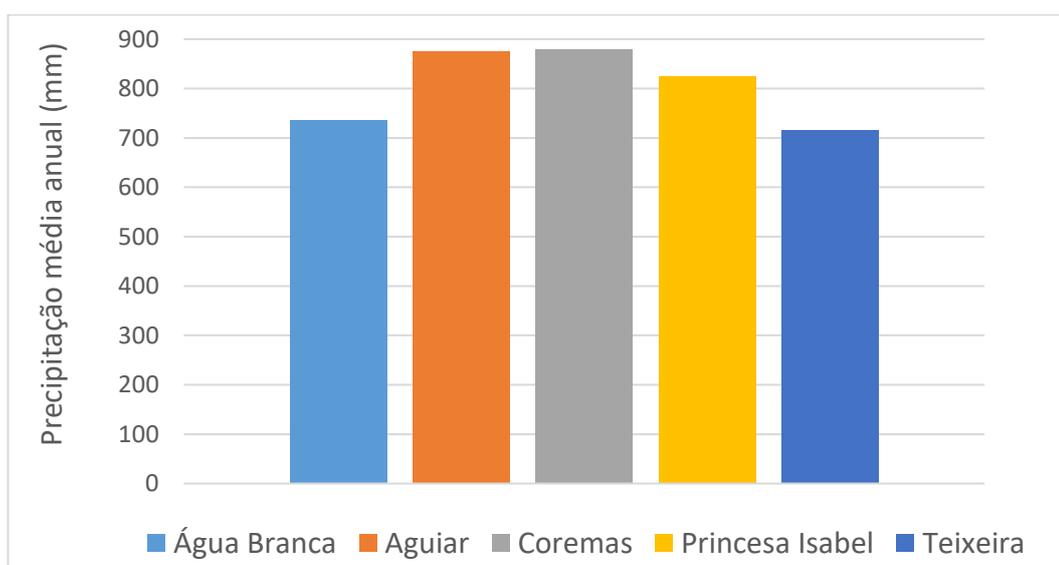


Figura 3.2 – Precipitação média anual para as cinco estações estudadas com dados entre 1912 e 2012 provenientes de estações meteorológicas mantidas pela AESA e pelo DNOCS.

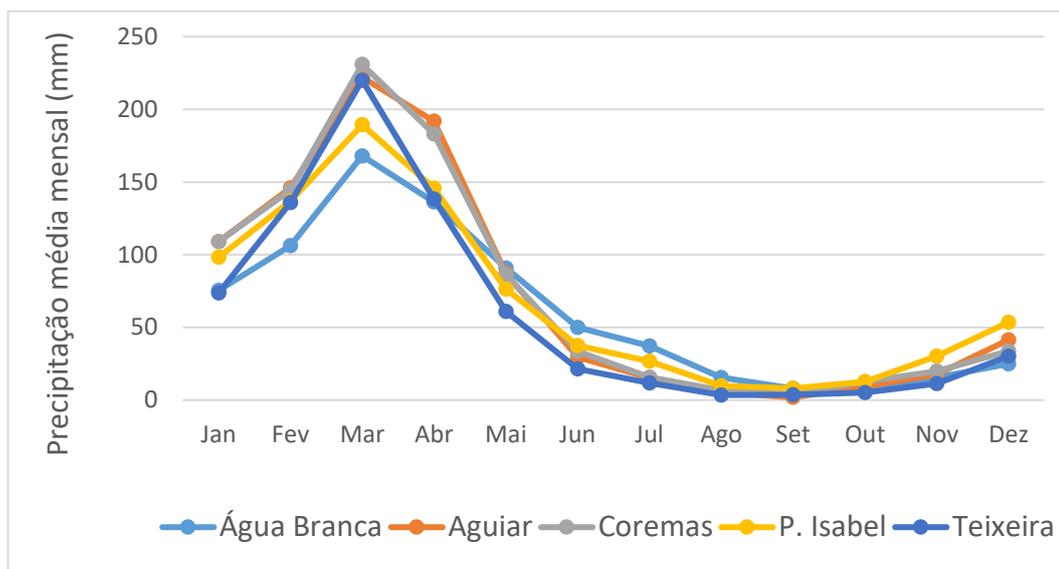


Figura 3.3 – Valores mensais de precipitação para as cinco estações estudadas com dados entre 1912 e 2012 provenientes de estações meteorológicas mantidas pela AESA e pelo DNOCS.

A variabilidade intra-anual da precipitação na mesorregião é acentuada. Os valores de máximo da média mensal de precipitação ocorrem em março para as cinco estações. Os valores de mínimo ocorrem em agosto para a estação de Teixeira, em setembro em três das cinco estações (Aguiar, Coremas e Princesa Isabel) e em outubro para estação em Água Branca, como pode ser observado na tabela 3.2.

Tabela 3.2 – Média anual, mensal máxima e mensal mínima para a precipitação em cada estação pluviométrica estudada.

Estação (Município)	Precipitação média anual (mm)	Precipitação média mensal máxima (mm)	Precipitação média mensal mínima (mm) e mês de ocorrência
Água Branca	735,31	167,99	7,24 outubro
Aguiar	876,02	221,99	1,79 setembro
Coremas	879,11	230,85	3,86 setembro
Princesa Isabel	824,90	189,33	8,03 setembro
Teixeira	715,59	220,04	3,44 agosto

A estação pluviométrica em Coremas apresenta os maiores valores para a média anual e média mensal máxima de precipitação, com 879,11 mm e 230,85 mm no mês de março, respectivamente. O seu valor da média mensal mínima de precipitação é de 3,86 mm e ocorre no mês de setembro. A estação meteorológica de Teixeira apresenta o menor valor de precipitação média anual, com 715,59 mm. A estação meteorológica em Água Branca

apresenta o menor valor da média mensal máxima (167,99 mm). E a de Aguiar apresenta o menor valor da média mensal mínima de precipitação, com 1,79 mm em setembro. O maior valor da precipitação média mensal mínima ocorre para a estação em Princesa Isabel no mês de setembro, com 8,03 mm.

Foram detectados aumentos de caráter significativo nos valores de precipitação para as séries nos intervalos de tempo anual, semestral, trimestral e mensal, mas com diferentes magnitudes e probabilidades de erro nas estações pluviométricas selecionadas para este estudo (tabela 3.3). Todas as estações apresentaram valores positivos de tendência significativa entre 2,67 mm/ano e 5,45 mm/ano para a precipitação total anual, exceto a estação em Princesa Isabel (tabela 3.3).

Nos intervalos semestrais, em J-J todas as tendências foram significativamente positivas, entre 3,10 mm/ano e 3,97 mm/ano, indicando aumento de precipitação. A única exceção foi, novamente, a estação em Princesa Isabel. No período J-D, apenas duas estações apresentaram tendências significativas, que variaram de 0,71 mm/ano para a estação de Teixeira e 1,23 mm/ano para a estação Água Branca. Além disso, as magnitudes das tendências observadas no semestre J-J foram sempre superiores aos de J-D (tabela 3.3).

Em relação a análise trimestral, foram detectadas tendências significativas, com aumento da precipitação em DJF para quatro das cinco estações, com valores entre 1,65 mm/ano e 2,44 mm/ano. Em MAM, a estação em Princesa Isabel registrou tendência significativa de aumento de 1,10 mm/ano. Em JJA, os resultados indicaram tendência significativa de aumento de 0,59 mm/ano e 1,00 mm/ano para as estações de Teixeira e Água Branca, respectivamente. Em SON, a única estação que registrou tendência significativa foi a de Teixeira, com incremento de 0,06 mm/ano. Além disso, 25% dos valores de pendente (isto é, o coeficiente angular da reta que indica a magnitude da tendência) foram negativos, porém a todos era inerente a falta de significância estatística (tabela 3.3).

Para as avaliações mensais, embora o mês com maior incidência de chuva na região seja março, o mês de janeiro foi o mais afetado, apresentando valores de tendências significativas entre 0,58 mm/ano e 0,88 mm/ano em quatro das cinco estações meteorológicas. Da mesma forma, a estação de Água Branca apresenta o maior número de meses afetados por tendências de natureza significativa, que se situam entre 0,09 mm/ano em dezembro e 0,88 mm/ano em janeiro. Houve a predominância de valores de tendência positiva e 33,3% apresentam significância estatística.

Os resultados destacam que os valores acumulados de precipitação anualmente apresentaram tendências significativas mais fortes do que alguns períodos isolados do ano

(semestral, trimestral ou mensal). Isso se deve às características dos testes de tendência, em que uma maior variabilidade nos dados diminui a determinação de tendências significativas.

Tabela 3.3 – Tendências de precipitação para o período 1912-2012 para as estações do estado da Paraíba: Água Branca, Aguiar, Coremas, Princesa Isabel e Teixeira.

Período	Precipitação (mm/ano)				
	Água Branca	Aguiar	Coremas	Princesa Isabel	Teixeira
anual	5,45 ***	2,67 +	3,43 *	0,61 ns	4,70 **
J-J	3,97 **	3,37 +	3,10 +	0,92 ns	3,61 **
J-D	1,23 ***	-0,19 ns	0,18 ns	-0,12 ns	0,71 ***
DJF	2,44 ***	1,65 *	1,77 *	-0,24 ns	1,93 **
MAM	1,11 ns	0,86 ns	-0,23 ns	1,10 +	1,44 ns
JJA	1,00 ***	-0,12 ns	0,10 ns	0,28 ns	0,59 ***
SON	0,05 ns	-0,07 ns	0,00 ns	-0,20 ns	0,06 *
janeiro	0,88 **	0,80 +	0,86 *	0,32 ns	0,58 **
fevereiro	0,82 *	0,66 ns	0,38 ns	-0,18 ns	0,46 ns
março	0,17 ns	-0,45 ns	-0,76 ns	0,24 ns	0,07 ns
abril	-0,01 ns	0,54 ns	0,13 ns	0,49 ns	0,75 ns
maio	0,83 *	0,46 ns	0,20 ns	0,28 ns	0,31 ns
junho	0,33 +	-0,08 ns	0,00 ns	0,01 ns	0,14 ***
julho	0,30 *	-0,01 ns	0,03 ns	0,14 *	0,13 ***
agosto	0,15 ***	0,00 ns	0,00 ns	0,00 ns	0,00 ns
setembro	0,00 ns	0,00 ns	0,00 ns	0,00 ns	0,00 ns
outubro	0,00 ns	0,00 ns	0,00 ns	0,00 ns	0,00 ns
novembro	0,00 ns	0,00 ns	0,00 ns	-0,03 ns	0,00 ns
dezembro	0,09 **	0,00 ns	0,06 ns	-0,01 ns	0,02 ns

ns: não significativo; +p < 0,10; *p < 0,05; **p < 0,01; ***p < 0,001

Nas estações de Água Branca, Aguiar, Coremas e Princesa Isabel foram verificados, em pelo menos um dos intervalos de tempo estabelecido a nível anual, semestral, trimestral e mensal, valores negativos para o coeficiente angular da reta, que indicariam diminuição da chuva. Entretanto, todos estes careciam de significância estatística (conforme a seção 1.3.4 do Capítulo 1, para estes casos, a hipótese nula não pôde ser rejeitada).

Quatro das cinco estações meteorológicas apresentaram aumentos significativos na precipitação para o período anual, primeiro semestre (J-J), primeiro trimestre (DJF) e janeiro. As estações meteorológicas em Água Branca e Teixeira apresentaram tendências crescentes significativas de precipitação em maior número de períodos. As estações Coremas e Aguiar

apresentaram comportamento semelhante, com tendências significativas nos mesmos períodos. A estação em Princesa Isabel foi a mais diferente, mostrando tendências crescentes significativas em apenas 10,5% de suas séries (em MAM e no mês de julho).

O comportamento diferenciado na estação Princesa Isabel provavelmente ocorreu devido aos fatores que influenciam o fluxo de calor e umidade. O relevo, por exemplo, que desempenha um papel importante como regulador de umidade e temperatura, sua altitude (Princesa Isabel encontra-se uma altitude de aproximadamente 683 m), além de sua posição, orientação de suas vertentes e o fator declividade. Além disso, as irregularidades pluviométricas e as altas temperaturas são características marcantes do sertão nordestino, segundo Mendonça e Danni-Oliveira (2007). Portanto, para compreender melhor o comportamento diferenciado apresentado em Princesa Isabel se faz necessário estudo local mais aprofundado dos fatores e elementos climáticos.

Outros métodos estatísticos podem ser aplicados em conjunto com as análises de tendências para corroborar com a compreensão da dinâmica das mudanças climáticas na área, como análise de *cluster* (ABRAHÃO, 2015; LYRA *et al.*, 2014; TEODORO *et al.*, 2016).

As previsões para as precipitações médias anuais para os próximos anos foram calculadas a partir da magnitude das tendências no período anual obtidas pela aplicação do teste de Mann-Kendall e estão listadas na tabela 3.4.

Tabela 3.4 – Precipitação média anual projetada para os próximos 10, 20, 30, 40 e 50 anos para as estações em que se observou tendência significativa de aumento de precipitação na série de período anual (Água Branca, Aguiar, Coremas e Teixeira).

Estação	Precipitação média anual (mm)	Magnitude tendência (mm/ano)	Precipitação média anual projetada (mm)				
			10 anos	20 anos	30 anos	40 anos	50 anos
Água Branca	735,31	5,45	789,81	844,31	898,81	953,31	1007,81
Aguiar	876,02	2,67	902,72	929,42	956,12	982,82	1009,52
Coremas	879,11	3,43	913,41	947,71	982,01	1016,31	1050,61
Teixeira	715,59	4,70	762,59	809,59	856,59	903,59	950,59

As tendências observadas indicam que em 10 anos a precipitação média anual será superior a observada no período de 1912 e 2012, entre 3% (em Aguiar) e 7% (em Teixeira e Água Branca), com Coremas apresentando a maior média anual, acima de 910 mm, indicando aumento de 4%. Os aumentos previstos em 30 anos para Água Branca e Teixeira são mais robustos do que os de Aguiar e Coremas. Enquanto estes terão aumento de 9% e 12%,

respectivamente, Água Branca poderá alcançar a média anual de quase 900 mm e Teixeira, acima de 850 mm. Em 50 anos, Água Branca, Aguiar e Coremas poderão apresentar médias anuais de precipitação superiores a 1000 mm. Teixeira poderá aumentar sua média anual em 33%, atingindo mais de 950 mm (tabela 3.4).

Do que foi observado pela análise de tendências, esses futuros aumentos não serão uniformes ao longo do ano. Em Água Branca detectou-se o maior número de séries mensais com tendências significativas de aumento (7 em 12 séries). Em 10 anos, poderá chover entre 25,8 mm (em dezembro) e 114,5 mm (em fevereiro). Mantendo-se essa perspectiva, em 30 anos, poderá chover de 2,70 mm em dezembro (aumento de 11%) a 26,40 mm em janeiro (aumento de 35%). Até 2062, ou seja, em 50 anos, as tendências observadas indicam possível aumento em relação precipitação média mensal entre 18% e 58%, em dezembro e janeiro respectivamente (tabela 3.4).

Essas projeções futuras reforçam a noção de que está chovendo mais anual e mensalmente na mesorregião do Sertão Paraibano. No entanto, para entender melhor essa dinâmica climática, são necessários estudos mais detalhados sobre a distribuição espacial e temporal da precipitação, bem como a aplicação de modelos climáticos robustos, juntamente com as tendências observadas.

O Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República do Brasil (NAE) indica que o Nordeste é uma das regiões mais vulneráveis do Brasil às alterações climáticas devido a condições climáticas (ambiente semiárido), sociais e econômicas (NAE, 2005a, 2005b). O complexo Coremas-Mãe D'água da Paraíba é uma infraestrutura chave para o abastecimento da população e geração de eletricidade. Assim, estudos que incluem análises de variabilidade climática desta área são necessários para tratar preventivamente problemas resultantes das mudanças climáticas e seus impactos. Embora as projeções do IPCC indiquem aumento das temperaturas em todo o território do Brasil, as análises sobre precipitação não apresentam resultados conclusivos (IPCC, 2007), evidenciando a necessidade de continuar desenvolvendo estudos pluviométricos que abordem a dinâmica e a evolução desta componente climática.

No presente estudo, se observa tendência de aumento no total anual das precipitações. Esses resultados complementam os relatados por Peixoto e Abrahão (2015) para os municípios de Patos e São Gonçalo, também pertencentes à mesorregião do Sertão Paraibano, nos quais foram detectadas quedas na nebulosidade e no número de dias com chuva e tendência de aumento para o total anual de precipitação (figuras 3.4 e 3.5). Além disso, alguns estudos a partir de modelos climáticos também sugerem maior probabilidade de aumento na

frequência de dias secos consecutivos para a região do Nordeste do Brasil (CONTI, 2005; COSTA; SOARES, 2012; NOBRE, 2011; IPCC, 2014).

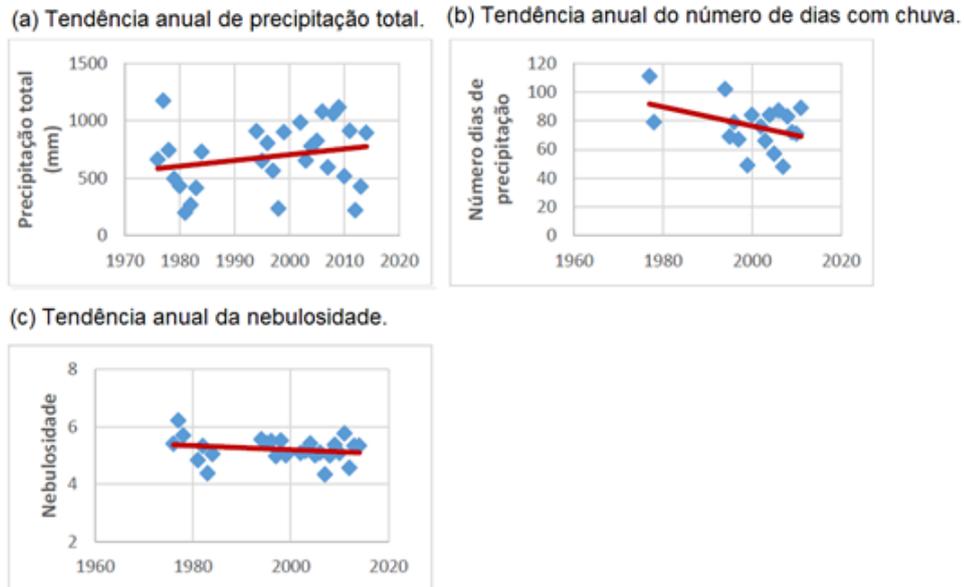


Figura 3.4 – Tendências anuais para a precipitação (a), número de dias com chuva (b) e nebulosidade (c) para a estação de Patos-PB, na mesorregião do Sertão Paraibano.

Fonte: Adaptado de PEIXOTO; ABRAHÃO, 2015.

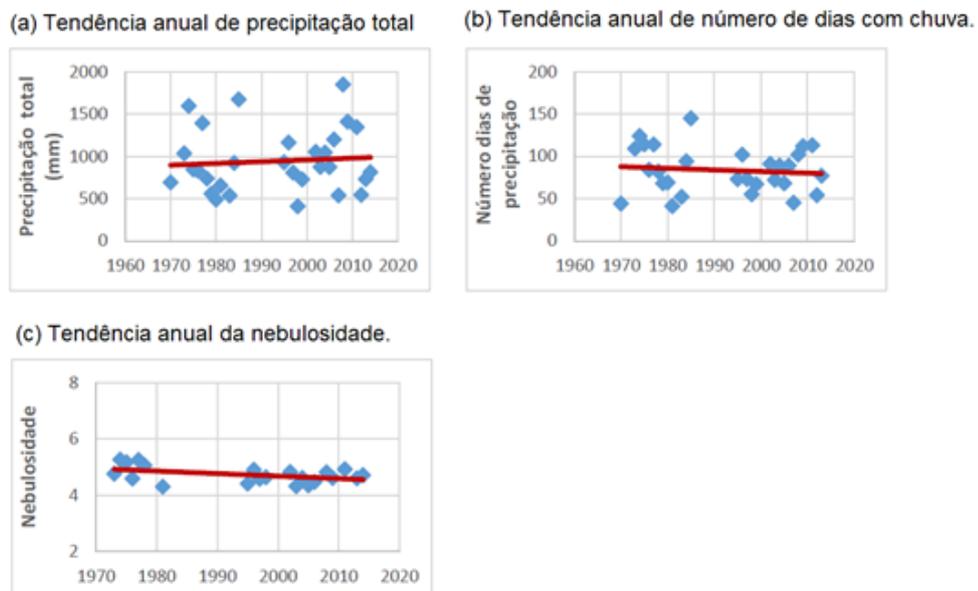


Figura 3.5 – Tendências anuais para a precipitação (a), número de dias com chuva (b) e nebulosidade (c) para a estação de São Gonçalo-PB, na mesorregião do Sertão Paraibano.

Fonte: Adaptado de PEIXOTO; ABRAHÃO, 2015.

Em estudo sobre eventos de precipitação extrema para a região semiárida do Nordeste brasileiro, Costa *et al.* (2015) indicaram um aumento da intensidade da seca, o que corrobora com os resultados encontrados por Peixoto e Abrahão (2015). No entanto, Costa *et al.* (2015) detectaram tendências decrescentes para eventos de precipitação intensa e redução da precipitação anual nos períodos seco e chuvoso. Isso ressalta a falta de uniformidade na distribuição das chuvas para esta região, já que as estações meteorológicas consideradas eram diferentes. Pelo estudo de Silva *et al.* (2004) observou-se alta variabilidade para a distribuição espacial da precipitação e número de dias chuvosos no Nordeste do Brasil. A variabilidade geralmente é maior durante o período seco. Além disso, os autores afirmam que a região semiárida do Nordeste apresenta o maior coeficiente de variação para a precipitação pluviométrica e o número de dias chuvosos em comparação com outras áreas do Brasil.

De acordo com a Agência Nacional de Águas (ANA), durante este século, a maioria das cidades com mais de cinco mil habitantes no semiárido do Nordeste enfrentará dificuldades para o abastecimento de água para o consumo humano devido ao crescimento da população e ao aumento da demanda por água (ANA, 2005). Além disso, é importante destacar que a matriz energética brasileira é calcada majoritariamente em fontes renováveis, sendo a hidrelétrica responsável por mais de 60% da geração nacional de eletricidade em 2015 (DELGADO; CARVALHO, 2016; EPE, 2015). No entanto, para o estado da Paraíba, a geração de eletricidade em usinas hidrelétricas representou apenas 0,7% da capacidade instalada, embora a eletricidade gerada por usinas hidrelétricas no Nordeste brasileiro represente 49% da capacidade total de geração de eletricidade no país (EPE, 2014; NOGUEIRA *et al.*, 2014).

Assim, a sustentabilidade de uma matriz energética baseada na geração de eletricidade por hidroelétrica implica na necessidade de continuar desenvolvendo estudos para melhor entender a ocorrência e distribuição da precipitação sob a influência das mudanças climáticas, para elaborar planos adequados para o gerenciamento dos recursos hídricos e energéticos.

3.4 Conclusões

As análises de tendência das séries de precipitação detectaram tendências positivas de caráter significativo em quatro das cinco estações elegidas para este estudo para o intervalo temporal anual na mesorregião do Sertão Paraibano. Os valores de tendência obtidos em diferentes estações meteorológicas e intervalos de tempo analisados são heterogêneos, embora quatro das cinco estações tenham mostrado comportamento semelhante na evolução da

precipitação, com valores positivos para a tendência em escala anual entre 2,67 mm/ano e 5,45 mm/ano, semestralmente (J-J) entre 3,10 mm/ano e 3,97 mm/ano, trimestralmente (DJF) entre 1,65 mm/ano e 2,44 mm/ano e mensalmente (janeiro) entre 0,58 mm/ano e 0,88 mm/ano.

Os valores negativos para a tendência em todas as escalas de tempo (anual, semestral, trimestral e mensal) careciam de significância estatística. Ou seja, segundo os resultados observados, pode-se perceber tendências significativas apenas de aumento de precipitações para as estações estudadas na mesorregião do Sertão Paraibano.

Este trabalho contribui para a compreensão da dinâmica de evolução climática no semiárido brasileiro, fornecendo informações que podem ser aplicadas ao desenvolvimento de medidas ambientais e de manejo dos recursos hídricos.

Referências bibliográficas

ABRAHÃO, R. Group Comparison, Trends and Cluster Analysis to Understand Historical Precipitation. In: GLOBAL CONFERENCE ON GLOBAL WARMING, 2015, Athens. GCGW-15 Proceedings, 2015.

AESA - Agência Executiva de Gestão das Águas do estado da Paraíba. Plano Estadual de Recursos Hídricos – Relatório final. João Pessoa, 2009a. Disponível em: <<http://www.aesa.pb.gov.br/perh/>>. Acesso em: 25 nov. 2016.

AESA - Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. Mapa das mesorregiões do estado da Paraíba. João Pessoa, 2009b. Disponível em: <<http://www.aesa.pb.gov.br/perh/>>. Acesso em: 25 nov. 2016.

ANA - Agência Nacional das Águas. Caderno de Recursos Hídricos. Disponibilidade e demanda de recursos hídricos no Brasil. 2005. Disponível em: <<http://www2.ana.gov.br/Paginas/servicos/planejamento/estudos/cadernoderecursos.aspx>>. Acesso em: 25 nov. 2016.

BACK, J. A. Aplicação de análise estatística para a identificação de tendências climáticas. **Pesq. Agropec. Bras.**, v. 36, n. 5, p. 717-726, 2001.

BECKER, C. T.; MELO, M. M. M. S; COSTA, M. N. M.; RIBEIRO, R. E. P. Caracterização Climática das Regiões Pluviometricamente Homogêneas do estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 01, p. 286- 299, 2011.

BENITO, Y. Energy and Climate Change. Capacity Building Programmed on Renewable Energy. Observatory for Renewable Energy in Latin America and the Caribbean. 2013. Disponível em: <<http://www.renenergyobservatory.org/en/capacity-building-programme.html>>. Acesso em: 15 jul. 2016.

BLAIN, G. C. Considerações estatísticas relativas à oito séries de precipitação pluvial da Secretaria de Agricultura e Abastecimento do estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 24, n. 1, p. 12-23, 2009.

BLAIN, G. C. Séries anuais de temperatura máxima média do ar no estado de São Paulo: variações e tendências climáticas. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 25, n. 1, p. 114-124, 2010a.

BLAIN, G. C. Tendências e variações climáticas em séries anuais de precipitação pluvial do estado de São Paulo. **Bragantia**, v. 69, n. 3, p. 765-770, 2010b.

BLAIN, G. C. Monthly values of the standardized precipitation index in the State of São Paulo, Brazil: trends and spectral features under the normality assumption. **Bragantia**, v. 71, n. 1, p. 122-131, 2012.

CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; DIAS, M. A. F. S.; SILVA, M. G. A. J. S. **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de textos, 2009.

CHESF - Companhia Hidroelétrica do São Francisco. Curemas. 2016. Disponível em: <<https://www.chesf.gov.br/SistemaChesf/Pages/SistemaGeracao/Curemas.aspx>>. Acesso em: 12 jul. 2016

CONTI, J. B. A questão climática do nordeste brasileiro e os Processos de desertificação. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 1, p. 7-14, 2005.

COSTA, A. C.; SOARES, A. Local spatiotemporal dynamics of a simple aridity index a region susceptible to desertification. **Journal of Arid Environments**, v. 87, p. 8-18, 2012.

COSTA, M. S.; LIMA, K. C.; ANDRADE, M. M.; GONÇALVES, W. A. Tendências observadas em extremos de precipitação sobre a região Semiárida do Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 08, n. 5, p. 1321-1334, 2015.

DELGADO, D. B. M.; CARVALHO, M. Potencial da energia solar fotovoltaica em geração distribuída para manutenção da pegada de carbono do mix elétrico brasileiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL E SUSTENTABILIDADE, João Pessoa, 2016.

EASTERLING, D. R. United States Historical Climatology Network Daily Temperature and Precipitation Data (1871-1997). ORNL Oak Ridge National Laboratory, 2002.

EASTERLING, D. R.; HORTON, B.; JONES, P. D.; PETERSON, T. C.; KARL, T. R.; PARKER, D. E.; SALINGER, M. J.; RAZUVAYEV, V.; PLUMMER, N.; JAMASON, P.; FOLLAND, C. K. Maximum and minimum temperature trends for the globe. **Science**, v. 277, n. 5324, p. 364-367, 1997.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2014 – ano base 2013. 2014. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/AnuarioEstatisticoDeEnergiaEletrica/20130909_1.pdf>. Acesso em: 12 ago. 2016.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2015 – ano base 2014. 2015. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/AnuarioEstatisticoDeEnergiaEletrica/Anu%C3%A1rio%20Estat%C3%ADstico%20de%20Energia%20El%C3%A9trica%202015.pdf>>. Acesso em: 12 ago. 2017.

FECHINE, J. A. L.; GALVÍNIO, J. D. Aplicação do teste de Mann-Kendall na análise de tendências climáticas - bacia hidrográfica do rio Brigida - estado de Pernambuco. In: SEABRA, G. F.; SILVA, J. A. N.; MENDONÇA, I. T. L. (Organizadores). **A conferência da Terra: aquecimento global, sociedade e biodiversidade**. João Pessoa-PB: Editora Universitária da UFPB, 2010.

FOLHES, M. T.; FISCH, G. Caracterização climática e estudo de tendências nas séries temporais de temperatura do ar e precipitação em Taubaté (SP). **Revista Ambiente e Água – An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 1, n. 1, 2006.

FU, G.; YU, J.; YU, X.; OUYANG, R.; ZHANG, Y.; WANG, P.; LIU, W.; MIN, L. Temporal variation of extreme rainfall events in China, 1961–2009. **Journal of Hydrology**, v. 487, p. 48-59, 2013.

GARCÍA-GARIZÁBAL, I.; ESPINOZA, C. C. FuCHSIA: Future Climate and Hydrological Scenarios for Environmental Management and Assessment, Statistical Climate Change Program, Guayaquil, 2016.

GARCÍA-GARIZÁBAL, I.; ROMERO, P.; JIMENEZ, S.; JORDÁ, L. Evolución climática en la costa de Ecuador por efecto del cambio climático. **DYNA**, v. 84, n. 203, p. 37-44, 2017.

GOOSSENS, C.; BERGER, A. Annual and seasonal climatic variations over the northern hemisphere and Europe during the last century. In *Annales geophysicae. Series B. Terrestrial and planetary physics*, v. 4, n. 4, p. 385-399, 1986.

GROISMAN, P. Y.; EASTERLING, D. R. Variability and trends of total precipitation and snowfall over the United States and Canada. **Journal of Climate**, v. 7, n. 1, p. 184-205, 1994.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Atlas geográfico brasileiro. 2002. Disponível em: <http://atlascolar.ibge.gov.br/images/atlas/mapas_brasil/brasil_clima.pdf>. Acesso em: 04 ago. 2016.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate change 2007: Climate change impacts, adaptation and vulnerability, IPCC Working Group II, 4th Assessment Report. Summary for Policymakers. Houghton, 2007.

IPCC – Intergovernmental Panel in Climate Change. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Edited by T. F. Stocker *et al.* Cambridge/New York, Cambridge University Press, 2013.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambio climático 2014: Impactos, adaptación y vulnerabilidad. Suíça, 2014. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg2/ar5_wgII_spm_es.pdf>. Acesso em: 02 de mai. 2016.

KARL, T. R.; KNIGHT, R. W. Secular trends of precipitation amount, frequency, and intensity in the United States. **Bulletin of the American Meteorological society**, v. 79, n. 2, p. 231-241, 1998.

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

KHESHGI, H. S.; WHITE, B. S. Testing distributed parameter hypotheses for the detection of climate change. **Journal of climate**, v. 14, n. 16, p. 3464-3481, 2001.

LASKAR, S. I.; KOTAL, S. D.; BHOWMIK, S. Analysis of rainfall and temperature trends of selected stations over North East India during last century. **Mausam**, v. 65, n. 4, p. 497-508, 2014.

LUCENA, A. F. P.; SZKLO, A. S.; SCHAEFFER, R.; SOUZA, R. R.; BORBA, B. S. M. C.; COSTA, I. V. L.; AMARO JÚNIOR, O. P.; CUNHA, S. H. F. The vulnerability of renewable energy to climate change in Brazil. **Energy Policy**, v. 37, p. 879–889, 2009.

ŁUPIKASZA, E. B. Seasonal patterns and consistency of extreme precipitation trends in

- Europe, December 1950 to February 2008. **Climate Research**, v. 72, n. 3, p. 217-237, 2017.
- LYRA, G. B.; OLIVEIRA-JÚNIOR, J. F.; ZERI, M. Cluster analysis applied to the spatial and temporal variability of monthly rainfall in Alagoas state, Northeast of Brazil. **International Journal of Climatology**, v. 34, n. 13, p. 3546-3558, 2014.
- MANN, H. B. Nonparametric tests against trend. *Econometric*. **The econometric society**, v. 13, p. 245-259, 1945.
- MARENGO, J. A. Condições climáticas e recursos hídricos no Norte Brasileiro. **Clima e Recursos Hídricos no Brasil**, Associação Brasileira de Recursos Hídricos FBMC/ANA, 2003.
- MARENGO, J. A.; CAMARGO, C. C. Surface air temperature trends in Southern Brazil for 1960–2002. **International Journal of climatology**, v. 28, n. 7, p. 893-904, 2008.
- MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.
- MINUZZI, R.B.; SEDIYAMA, G. C.; BARBOSA, E. D. M.; MELO JÚNIOR, J. C. F. D. Climatologia do comportamento do período chuvoso da região sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 22, n. 3, p. 338-344, 2007.
- MODARRES, R.; SILVA, V. D. P. R. Rainfall trends in arid and semi-arid regions of Iran. **Journal of Arid Environments**, v. 70, n. 2, p. 344-355, 2007.
- MORAES, J. M. ; PELLEGRINO, G. Q.; BALLESTER, M. V.; MARTINELLI, L. A.; VICTORIA, R. L.; KRUSCHE, A. V. Trends in hydrological parameters of a southern Brazilian watershed and its relation to human induced changes. **Water Resources Management**, v. 12, n. 4, p. 295-311, 1998.
- MOSCATI, M. C. L.; GAN, M. A. Rainfall variability in the rainy season of semiarid zone of Northeast Brazil (NEB) and its relation to wind regime. **International Journal of Climatology**, v. 27, n. 4, p. 493-512, 2007.
- NAE - Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República. Mudança de clima, v. 1: Negociações internacionais sobre a mudança de clima: vulnerabilidade, impactos e adaptação à mudança de clima. Cadernos NAE-SECOM. Brasília, 2005a.
- NAE - Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República. Mudança de clima, v. 2: Mercado de carbono. Cadernos NAE-SECOM. Brasília, 2005b.
- NOBRE, P. Mudanças climáticas e desertificação: os desafios para o Estado Brasileiro. In: LIMA, R. C. C.; CAVALCANTE, A. M. B.; PEREZ-MARIN, A. M. (Ed) **Desertificação e mudanças climáticas no semiárido brasileiro**. Campina Grande: INSA-PB, p. 25-36, 2011.
- NOGUEIRA, G. M. F., GIRARD, O. R. S.; PAVAN, R. C.; SOARES, L. C. R. **Eixos integrados de desenvolvimento da Paraíba: Uma visão estratégica para o estado**. SEPLAG: João Pessoa, 2014.
- OLIVEIRA, P. T.; LIMA, K. C. Linear trend of occurrence and intensity of heavy rainfall events on Northeast Brazil. **Atmospheric Science Letters**, v. 15, n. 3, p. 172-177, 2014.
- PEDROZA, I. C. B. Estimativa da Climatologia Diária da Precipitação e Investigação de Possíveis Influências das Fases da Lua nas Chuvas no estado da Paraíba. Dissertação, Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), 2009.

- PEIXOTO, I. M. B. M.; ABRAHÃO, R. Mudanças climáticas e seus impactos no Nordeste brasileiro, Relatório Final PIBIC, 2015.
- PINHEIRO, A.; GRACIANO, R. L. G.; SEVERO, D. L. Análise de tendência das séries temporais de precipitação da região sul do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 28, n. 3, p. 281-290, 2013.
- RAMOS, R. P. L. Precipitation characteristics in the Northeast Brazil dry region. **Journal of Geophysical Research**, v. 80, n. 12, p. 1665-1678, 1975.
- SALVIANO, M. F.; GROppo, J. D.; PELLEGRINO, G. Q. Trends Analysis of Precipitation and Temperature Data in Brazil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 31, n. 1, p. 64-73, 2016.
- SANTOS, E.B.; LUCIO, P. S. Precipitation regionalization of the Brazilian Amazon. **Atmospheric Science Letters**, v. 16, n. 3, p. 185-192, 2015.
- 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.
- SILVA, V. D. P. R. On climate variability in Northeast of Brazil. **Journal of Arid Environments**, v. 58, n. 4, p. 575-596, 2004.
- SNEYERS, R. On the use of Statistical Analysis for the Objective Determination of Climatic Change. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 1, p. 247-256, 1992.
- SOARES, D. B.; LEE, H.; LOIKITH, P. C.; BARKHORDARIAN, A.; MECHOSO, C. R. "Can significant trends be detected in surface air temperature and precipitation over South America in recent decades?". **International Journal of Climatology**, v. 37, n. 3, p. 1483-1493, 2017.
- SOUSA, E. P.; SILVA, V. D. P. R.; CAMPOS, J. H. B. C.; OLIVEIRA, S. D. A teoria da entropia na análise da precipitação no estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 5, n. 2, p. 386-399, 2012.
- TEODORO, P. E. *et al.* Cluster analysis applied to the spatial and temporal variability of monthly rainfall in Mato Grosso do Sul State, Brazil. **Meteorology and Atmospheric Physics**, v. 128, n. 2, p. 197-209, 2016.
- YUE, S.; PILON, P.; PHINNEY, B.; CAVADIAS, G. The influence of autocorrelation on the ability to detect trend in hydrological series. **Hydrological Processes**, v. 16, n. 9, p. 1807-1829, 2002.
- YUE, S.; YANG, T. C.; WU, C. K. Impact of climate change on water resources in southern Taiwan. **Journal of Hydrology**, v. 260, p. 161-175, 2002.

CAPÍTULO 4

**ARTIGO: INFLUÊNCIA DAS ALTERAÇÕES
CLIMÁTICAS SOBRE O POTENCIAL DE
GERAÇÃO DE ENERGIA POR FONTES
RENOVÁVEIS**

4 ARTIGO: INFLUÊNCIA DAS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS SOBRE O POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA POR FONTES RENOVÁVEIS

Resumo

O Brasil, de modo geral, possui condições favoráveis à utilização de fontes renováveis de energia e a solar é uma das que mais tem crescido nos últimos anos, sendo dominante a geração de energia por fontes renováveis na matriz energética brasileira. A disponibilidade e confiabilidade desse setor estão intrinsecamente interligadas às condições climáticas e podem sofrer influência de suas mudanças. Em alguns trabalhos anteriores, foram observadas algumas alterações para a precipitação e a temperatura média do ar para a mesorregião do Sertão Paraibano. Deste modo, o principal objetivo deste trabalho foi averiguar o efeito dessas alterações sobre o potencial de geração de energia por fontes renováveis, particularmente solar fotovoltaica e hidráulica. A mesorregião do Sertão Paraibano dispõe de uma Pequena Central Hidroelétrica (PCH) no município de Coremas. A produção de eletricidade pela usina diminuiu a uma taxa de -3,23 MWh/ano no período de 1979 a 2016. As vazões afluentes médias em seu reservatório também caíram, a uma taxa de -2,94 m³/s/ano, no período de 1965 a 2016. Percebeu-se forte correlação direta e significativa principalmente entre a precipitação e as vazões afluentes médias, bem como entre a precipitação anual acumulada no ano de observação juntamente com os dois anos anteriores à produção de eletricidade pela PCH. Infere-se disso que o potencial de geração de eletricidade por hidráulica seria influenciado positivamente pelo aumento na precipitação anual. Pela análise de tendências, a precipitação anual para o município de Coremas apresentou incremento de 3,43 mm/ano e tendências negativas para a produção de eletricidade da usina. Isto se deve à priorização dos múltiplos usos do reservatório para abastecimento populacional e irrigação, devido ao aumento da demanda por água e a expressiva redução do volume útil do complexo Coremas-Mãe D'água. Em contrapartida à escassez hídrica do estado da Paraíba, o Sertão Paraibano apresenta ampla disponibilidade de radiação solar, com elevada taxa de incidência de irradiação diária, favorecendo a implementação da geração de energia solar fotovoltaica como uma opção para a diversificação da matriz energética. Este estudo mostrou que os aumentos observados para a temperatura média do ar, analisadas em sete localidades, não afetaram expressivamente a capacidade de geração de eletricidade dos painéis fotovoltaicos e que, em geral, a eletricidade produzida considerando-se os dados mais recentes, isto é, os últimos 10 anos da série de dados de temperatura média do ar, é menor do que a gerada utilizando-se dados mais antigos (10 primeiros anos) ou a série completa. O potencial de geração de energia solar fotovoltaica é elevado para a mesorregião do Sertão Paraibano e praticamente não se altera, apesar das elevadas temperaturas e dos aumentos observados nos valores de temperatura média do ar.

Palavras-Chave: Potencial energético, mudanças climáticas, energias renováveis.

Abstract

Brazil, in general, has favorable conditions for the use of renewable energy sources and solar is one of the ones that has grown the most in the last years, being dominant the generation of energy by renewable sources in the Brazilian energy matrix. The availability and reliability of this sector are intrinsically intertwined with climate conditions and may be influenced by their changes. In some previous studies, some changes were observed for precipitation and mean air temperature for the *Sertão Paraibano* mesoregion. Thus, the main objective of this work was to investigate the effect of these changes on the potential of generation of energy by renewable sources, particularly solar photovoltaic and hydraulic. The *Sertão Paraibano* mesoregion has a Small Hydroelectric Plant (SHP) in the municipality of Coremas. The plant's electricity production decreased at a rate of -3.23 MWh/year in the period from 1979 to 2016. The average tributary flows in its reservoir also fell, at a rate of -2.94 m³/s/year, in the period from 1965 to 2016. There was a strong direct and significant correlation, mainly between precipitation and medium flow, as well as between the annual precipitation accumulated in the year of observation together with the two years prior to the production of electricity by SHP. It is inferred from this that the potential for electricity generation by hydraulics would be positively influenced by the increase in annual precipitation. Due to trend analysis, the annual precipitation for the municipality of *Coremas* showed an increase of 3.43 mm/year and negative trends for the power plant production. This is due to the prioritization of the multiple uses of the reservoir for population supply and irrigation, due to the increased demand for water and the significant reduction in the useful volume of the *Coremas-Mãe D'água* complex. In contrast to the water shortage in the state of Paraíba, *Sertão Paraibano* presents a wide availability of solar radiation, with a high incidence rate of daily irradiation, favoring the implementation of photovoltaic solar energy generation as an option to diversify the energy matrix. This study showed that the observed increases in the mean air temperature, analyzed in seven locations, did not significantly affect the electricity generation capacity of the photovoltaic panels and that, in general, the electricity produced considering the most recent data, ie , the last 10 years of the mean air temperature data series is lower than that generated using older data (10 first years) or the complete series. The potential for photovoltaic solar energy generation is high for the *Sertão Paraibano* mesoregion and practically does not change, despite the high temperatures and the observed increases in the mean air temperature values.

Keywords: Energetic potential, climate change, renewable energy.

4.1 Introdução

O Brasil possui sua matriz energética calcada fortemente em fontes renováveis, sendo majoritária a produção hidrelétrica. Em 2014, a produção de energia elétrica por hidrelétrica representou 63,2% de toda energia elétrica gerada no país (EPE, 2015). Em 2015, segundo o Balanço Energético Brasileiro, 75,5% da energia elétrica gerada foi de origem renovável, sendo 64% por hidrelétricas, 8% de biomassa, 3,5% de eólica e apenas 0,01% de solar (EPE, 2016). Contudo, há o incentivo pela diversificação dessa matriz para a inclusão e ampliação de outras fontes renováveis em função de fatores relacionados à disponibilidade de recursos naturais, o aumento da demanda por energia e por água, a crise hídrica observada no país nos últimos anos e a própria pressão sobre o meio ambiente, além de se tratar de um mecanismo de adaptação e mitigação frente às mudanças climáticas.

A constituição da matriz energética brasileira em 2014 pode ser observada na figura 4.1.

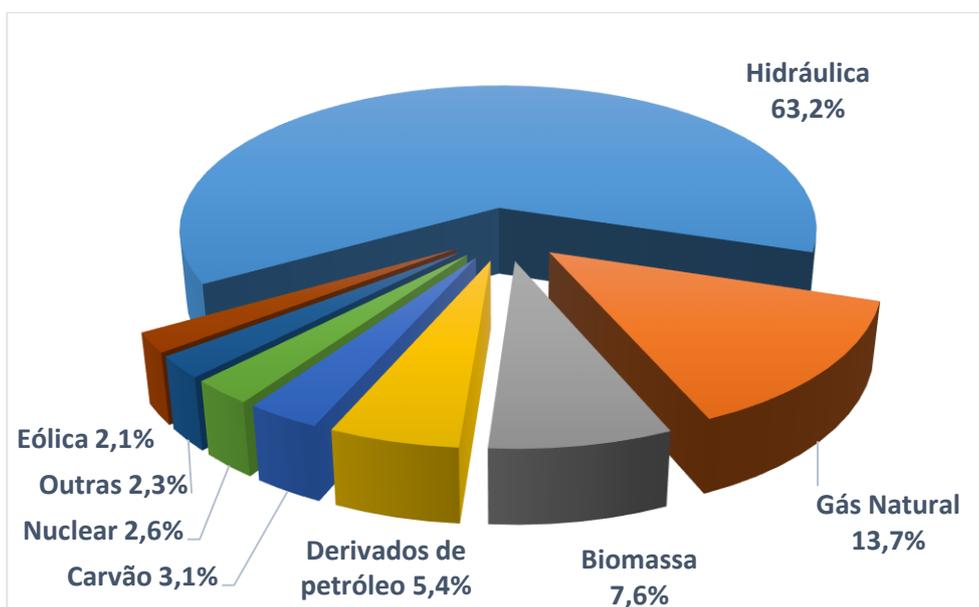


Figura 4.1 – Geração de energia elétrica por fonte no Brasil em 2014 (%).

Fonte: Adaptado de EPE, 2015.

É notória, tanto no Brasil quanto em escala mundial, a diversificação da matriz energética, aderindo tanto a outras fontes renováveis de geração de energia quanto à ampliação das já utilizadas. A geração de energia elétrica no mundo em 1980 contava com

a participação de 69,6% por combustíveis fósseis, 8,5% por nuclear, 21,5 % por hidroelétrica e outras renováveis correspondiam a apenas 0,4%, divididas igualmente entre 0,2% de biomassa de resíduo sólido e 0,2% de geotérmica. Em 2012, ou seja, após 32 anos, a geração de energia elétrica teve a participação de 67,2% de combustíveis fósseis, 10,9% de nuclear, 16,9% de hidroelétrica e outras renováveis correspondiam a 5,0%, subdivididas entre 1,8% de biomassa de resíduo sólido, 0,3% de geotérmica, 0,5% de solar e 2,4% de eólica (EPE, 2015).

A figura 4.2 mostra a média anual de insolação diária (em horas) para o Brasil, onde se destaca a potencialidade do estado da Paraíba, em particular do Sertão Paraibano, com as mais elevadas taxas, em torno de 8 horas.

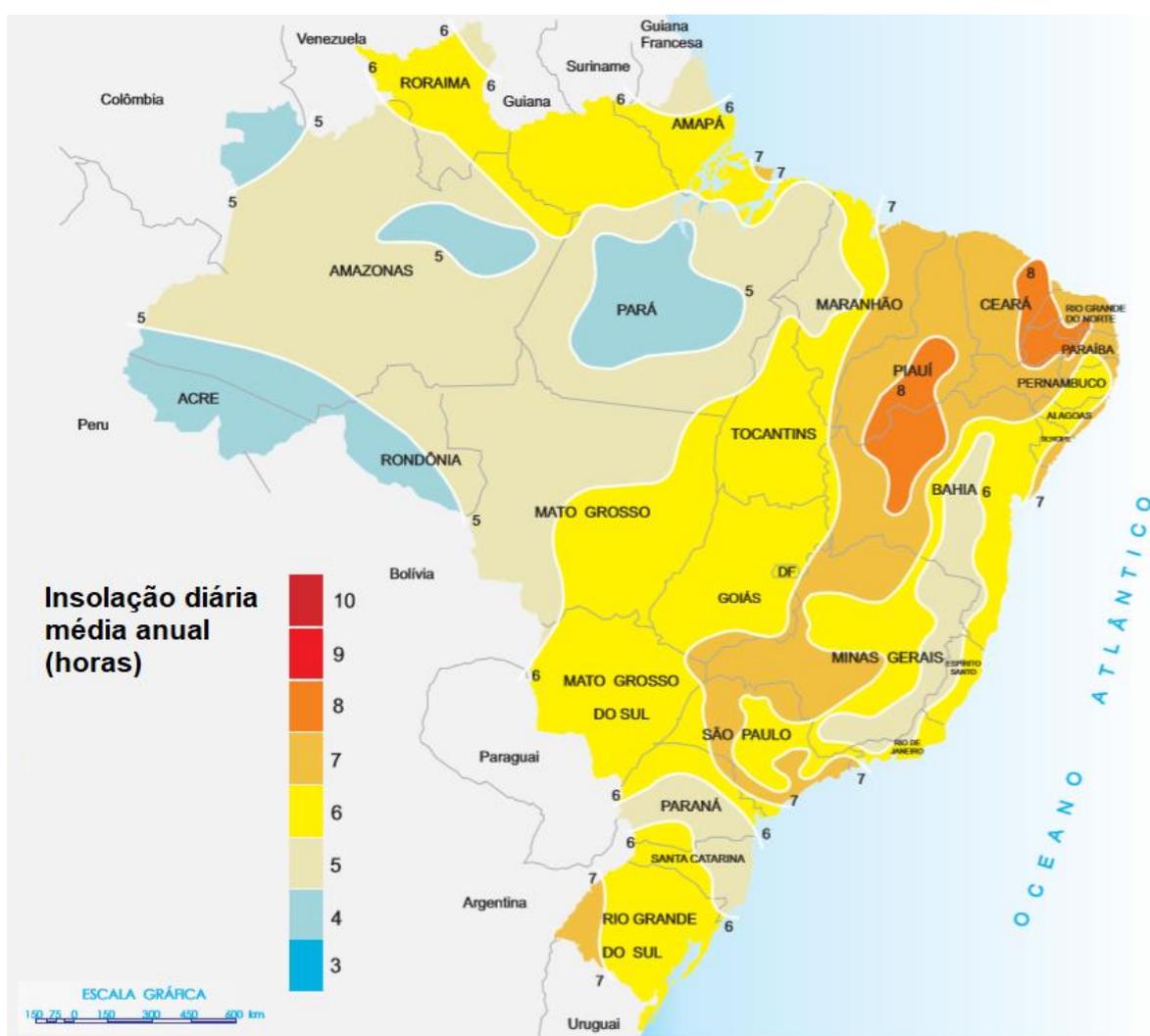


Figura 4.2 – Média anual (em horas) da insolação diária no Brasil.

Fonte: Adaptado de ATLAS SOLARIMÉTRICO DO BRASIL, 2000.

O Brasil produziu 590.479 GWh de energia elétrica em 2014 e a participação da região Nordeste foi de aproximadamente 16%, sendo esta uma área de grande capacidade para implementação de energias renováveis, principalmente a solar, devido a ampla incidência de radiação. A irradiação média anual no Brasil (de 1200 kWh/m²/ano a 2400 kWh/m²/ano) é superior a vários países europeus, como Alemanha (de 900 kWh/m²/ano a 1250 kWh/m²/ano), França (de 900 kWh/m²/ano a 1650 kWh/m²/ano) e Espanha (de 1200 kWh/m²/ano a 1850 kWh/m²/ano) (EPE, 2012, 2015).

Sabe-se que os principais elementos determinantes do clima de uma região são: pressão atmosférica, umidade e temperatura. Sendo assim, a eletricidade gerada por fontes que se utilizam desses elementos como recursos, poderá sofrer influência de suas mudanças. Portanto, considera-se que as mudanças climáticas podem interferir no desempenho e eficiência de determinados tipos de sistemas de geração de energia: a solar térmica, por exemplo, pode ser beneficiada pela redução da nebulosidade, enquanto a fotovoltaica pode ter sua eficiência reduzida pelo aumento da temperatura, bem como a hidráulica, com mudanças na distribuição espacial e temporal das chuvas, entre outras (ABRAHÃO, SILVA, PEIXOTO, 2016; CAVALCANTI *et al.*, 2009).

Segundo Goldemberg e Lucon (2011), o setor energético está diretamente ligado ao desenvolvimento socioeconômico e as condições climáticas podem interferir positiva ou negativamente no setor energético. Em função disto, os efeitos das mudanças climáticas para o setor energético, incluindo seu planejamento e operação, tem sido alvo de estudo (GOLDEMBERG; LUCON, 2011; SCHAEFFER *et al.*, 2012).

Ebinger e Vergara (2010) analisaram tendências climáticas e os impactos nos sistemas energéticos, considerando suas fontes, assim como transmissão, distribuição, transferência e o uso da energia. O Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC, 2014) aponta a fragilidade urbana em função da falta de oferta de energia relacionada ao aumento da demanda e a crise hídrica que inviabiliza a geração de eletricidade por hidroelétricas, assim como a vulnerabilidade no sistema de transmissão provocada por eventos climáticos extremos, que podem inclusive afetar outros setores, como sistemas de infraestrutura, de transporte e de água.

As mudanças climáticas representam um desafio para o setor hidroelétrico, uma vez que o potencial de geração de eletricidade depende principalmente da disponibilidade de recursos hídricos, da distribuição espacial e temporal da precipitação e, por conseguinte, do ciclo hidrológico e do escoamento dos rios, sugerindo a realização de estudos mais

específicos (HAMUDUDU; KILLINGTVEIT, 2012).

Gaudard e Romerio (2014) avaliaram diversos fatores que estariam relacionados ao futuro da geração de eletricidade por hidroelétricas na Europa, como mudanças climáticas, a própria geração por outras fontes renováveis e o melhoramento de tecnologias como a de armazenamento energético. De acordo com Gaudard, Gilli e Romerio (2013), as mudanças climáticas, ao alterarem os regimes das águas, podem afetar a produção de eletricidade por hidroelétrica. Entretanto, os autores afirmam que uma gestão adequada dos recursos naturais e das centrais hidroelétricas podem mitigar seus efeitos e que a integração com parques eólicos e solares pode ajudar a atenuar as flutuações da produção, agregando as várias formas de geração de tal forma que permita atender a demanda nos períodos de baixo e alto consumo.

Algumas estimativas regionais para os Estados Unidos indicam diminuição para a produção hidroelétrica por Van Rheenen, Palmer e Hahn (2003) e Barnett *et al.* (2004). Beldring *et al.* (2006) sugerem aumento, a partir de modelos climáticos regionais e de circulação geral atmosférico-oceânico, para regiões nórdicas. Lucena *et al.* (2009), baseados nas projeções climáticas de longo prazo para os cenários de emissões A2 e B2 do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), afirmaram que as mudanças climáticas afetarão os recursos naturais relacionados à energia renovável e preveem aumento da vulnerabilidade para todos os setores energéticos no Brasil, especialmente na região Nordeste, para a qual estão previstos os piores cenários climáticos, com aumentos substanciais para a temperatura e para os episódios de seca.

O aumento da temperatura do ar pode ter efeitos sobre a geração de eletricidade a partir de energia solar fotovoltaica. Além da temperatura do ar, outros elementos climáticos estão relacionados como a radiação solar incidente, a nebulosidade e o teor atmosférico de vapor d'água, com efeitos positivos ou negativos sob o potencial de geração de eletricidade (AL-WAELI *et al.*, 2016; SCHAEFFER *et al.*, 2012).

Em estudo sobre como as mudanças de temperatura e insolação em relação a produção de energia fotovoltaica e energia solar concentrada de Crook *et al.* (2011), os resultados preveem que, entre 2010 e 2080, a produção fotovoltaica aumentará na Europa e na China. Diminuirá no oeste dos Estados Unidos e Arábia Saudita. Na Argélia e Austrália praticamente não ocorrerá alteração. Os autores afirmam também que, além da temperatura e da insolação, outras variáveis climáticas também interferem na produção de energia fotovoltaica: o vento pode reduzir a temperatura operacional da célula, o baixo índice

pluviométrico em regiões áridas favorece o acúmulo de poeira nos painéis e coletores solares e estes também estão susceptíveis a danos causados por pedras de granizo em localidades em que esse tipo de evento é relatado.

Portanto, compreender a evolução da dinâmica climática da área de estudo é uma ferramenta que pode ser utilizada para um melhor aproveitamento dos recursos naturais para a gestão e geração de eletricidade. Este estudo teve como objetivo averiguar os efeitos diretos das mudanças climáticas sobre o potencial de geração elétrica por fontes renováveis, particularmente por solar fotovoltaica e hidroelétrica, na mesorregião do Sertão Paraibano.

4.2 Material e métodos

4.2.1 Caracterização da área de estudo

O estado da Paraíba divide-se em quatro mesorregiões: Litoral ou Zona da Mata, Agreste, Borborema e Sertão Paraibano (AESAs, 2009a), sendo esta última mesorregião a área elegida para o presente estudo (figura 4.3).

Foram selecionadas sete localidades no Sertão Paraibano: Água Branca, Aguiar, Coremas, Patos, Princesa Isabel, São Gonçalo e Teixeira (tabela 4.1).

Tabela 4.1 – Localidades elegidas na mesorregião do Sertão Paraibano, suas coordenadas geográficas, altitude e tipo de geração de energia elétrica por fonte renovável analisada.

Localidade	Latitude (°S)	Longitude (°W)	Altitude (m)	Tipo de geração	
				Fotovoltaica	Hidráulica
Coremas	-7,02	-37,97	218	x	x
São Gonçalo	-6,83	-38,32	235	x	
Patos	-7,02	-37,28	250	x	
Aguiar	-7,09	-38,17	262	x	
Princ. Isabel	-7,73	-38,02	683	x	
Água Branca	-7,51	-37,64	735	x	
Teixeira	-7,22	-37,27	786	x	

Fonte: elaborado a partir de dados disponibilizados pelo IBGE, 2010.

O clima do Sertão Paraibano é semiárido, com temperatura média anual mínima entre 21,3 °C e 27,0 °C e temperatura média anual máxima entre 22,5 °C e 29,1 °C em

Teixeira e Patos, respectivamente. Além disso, a distribuição temporal da temperatura média mensal atinge valores de máximo no mês de dezembro e valores de mínimo no mês de julho (MEDEIROS *et al.*, 2017).

O Sertão Paraibano apresenta acentuada variabilidade intra-anual da precipitação, com duas estações anuais distintas: uma seca entre os meses de junho a janeiro e outra chuvosa entre os meses de fevereiro a maio, com precipitação total inferior a 900 mm. Os valores de máximo da média mensal de precipitação ocorrem em março e os de mínimo, entre os meses de agosto a outubro (MEDEIROS *et al.*, 2016).

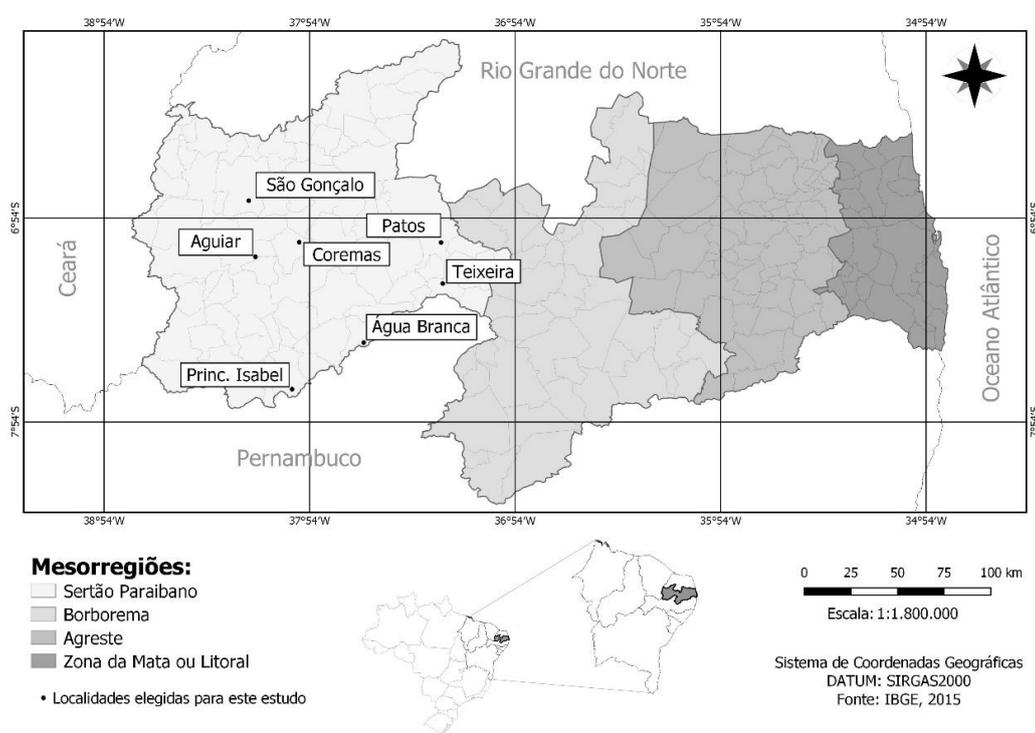


Figura 4.3 – Mesorregiões do estado da Paraíba e localidades estudadas na mesorregião do Sertão Paraibano.

Fonte: Adaptado de AESA, 2009a.

4.2.2 Bacias hidrográficas e geração de eletricidade por hidroelétrica no estado da Paraíba

O estado da Paraíba possui 11 bacias hidrográficas (figura 4.4), segundo a resolução de 2003 do Conselho Estadual de Recursos Hídricos, sendo as bacias do Rio Piranhas e do Rio Paraíba as duas mais representativas (AESA, 2009b). A bacia hidrográfica do Rio Piranhas possui o maior potencial de acumulação hídrica do estado da

Paraíba, quase 67%, e dispõe de 63 açudes. O maior deles é o complexo Coremas-Mãe D'Água cuja capacidade de armazenamento hídrico representa 34,82% do potencial de todo estado, com 1.358.000.000 m³ (AESAs, 2009b).

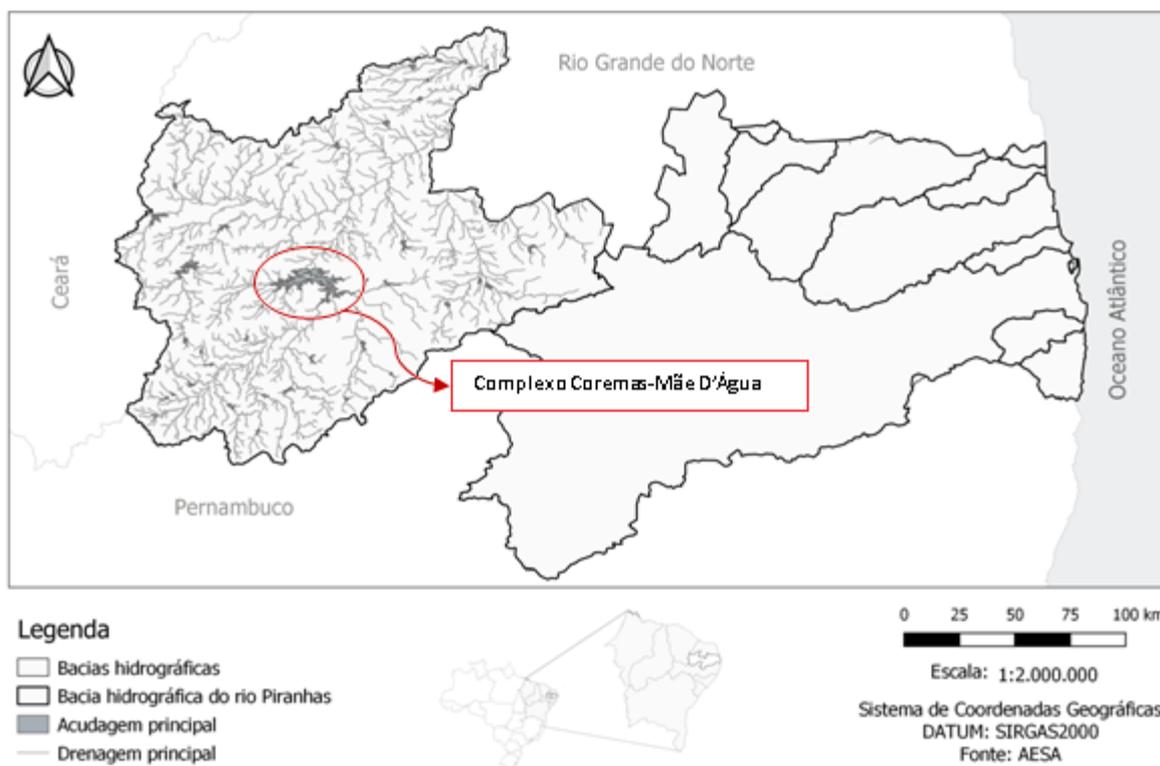


Figura 4.4 – Bacias hidrográficas do estado da Paraíba, enfocando a bacia do rio Piranhas juntamente com as suas açudagens e drenagens principais.

Fonte: Adaptado de AESA, 2009b.

A geração de eletricidade por hidráulica no estado da Paraíba produziu 3 GWh em 2015, segundo o Balanço Energético Nacional (EPE, 2016). O estado conta com uma Central Geradora Hidroelétrica (CGH) no município de Boqueirão e com uma Pequena Central Hidroelétrica (PCH) no município de Coremas, a qual se deu ênfase por pertencer à mesorregião do Sertão Paraibano, área do presente estudo. Esta usina entrou em funcionamento em 1957 e é operada pela Companhia Hidrelétrica do São Francisco (CHESF), suprida pelos açudes Estevam Marinho e Mãe D'água, cuja cota de separação é de 236,6 m, abastecidos pelos rios Piancó e Aguiar (CHESF, 2016).

Quanto à variação dos níveis de montante e jusante, a queda útil nominal é de 32,5 m e a queda máxima é de 41,0 m. A usina possui característica múltipla de

geração de eletricidade e irrigação na própria bacia e na sub-bacia do alto Piranhas através de transposição, devido a existência de um vertedouro de superfície com descarga livre com capacidade total de descarga de aproximadamente 500 m³/s (CHESF, 2016).

4.2.3 Coleta de dados e procedimentos estatísticos

4.2.3.1 Dados relacionados à geração hidráulica de energia

O coeficiente de correlação de Spearman, ρ , foi utilizado para verificar a existência de correlação entre precipitação e a geração de energia elétrica pela PCH no município de Coremas e entre a precipitação e as vazões afluentes.

Este coeficiente deriva-se do coeficiente de correlação de Pearson, é um índice adimensional com valores situados entre -1 e 1, comumente utilizado quando a distribuição dos dados não é necessariamente normal e quando as amostras são pequenas, para menos de trinta pares de dados. Portanto, é uma medida não-paramétrica de interdependência entre os valores de postos das variáveis, indicando se o comportamento pode ser descrito por uma função monótona. Isto é, um coeficiente de correlação positivo corresponde a uma tendência monotônica crescente entre as variáveis enquanto que um coeficiente negativo implica em uma tendência monotônica decrescente. Ou inexistência de correlação, quando $\rho = 0$ (CORDER; FOREMAN, 2014; FIELLER; HARTLEY; PEARSON, 1957; HAUKE, J.; KOSSOWSKI, 2011; SPEARMAN, 1904). Os procedimentos estatísticos para determinar os valores dos coeficientes de correlação de Spearman foram realizados com o programa *Statgraphics*, versão 15 (Statpoint).

Os dados de precipitação no município de Coremas são provenientes de estações meteorológicas mantidas pela Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AES/A) e Departamento Nacional de Obras Contra a Seca (DNOCS) com dados de 1935 a 2016, considerando para este estudo apenas os anos completos, ou seja, com dados de precipitação em todos os meses de janeiro a dezembro sem exceção (MEDEIROS *et al.*, 2016). Os dados referentes às vazões afluentes médias mensais e anuais (em m³/s) de 1965 a 2016, geração mensal de eletricidade (MWh) pela PCH em Coremas de 1990 a 2016 e geração anual (MWh) de 1979 a 2016 foram fornecidos pela CHESF a partir de solicitação enviada a sua ouvidoria.

Para descrever o comportamento de séries temporais e verificar a existência de

tendências, utilizou-se o método de regressão linear e o teste estatístico não-paramétrico de Mann-Kendall, de acordo com a metodologia proposta por Sneyers (1992), aplicando-os aos parâmetros as seguir: vazões afluentes médias, geração de eletricidade pela PCH em Coremas.

Com os dados mensais, foram construídas séries de períodos anuais, semestrais (janeiro a junho: J-J e julho a dezembro: J-D), trimestrais (dezembro-janeiro-fevereiro: DJF; março-abril-maio: MAM; junho-julho-agosto: JJA; setembro-outubro-novembro: SON) e mensais (todos os meses de janeiro a dezembro), para cada um destes parâmetros. Utilizou-se o programa Makesens, versão 1.0, para aplicar o teste de Mann-Kendall com probabilidades de erro entre 0,1% e 10%. A magnitude da tendência é dada através de método de regressão linear, pelo teste de Sen (SALMI *et al.*, 2002; SEN, 1968).

4.2.3.2 Dados de irradiação e temperatura para o cálculo do potencial de geração de energia solar fotovoltaica

O potencial de geração de energia solar fotovoltaico foi obtido a partir de valores de radiação solar global horária, da temperatura ambiente e de parâmetros em condições padrão fornecidos pelo fabricante do painel fotovoltaico escolhido.

O cálculo foi implementado para diversas localidades do Sertão Paraibano, a partir de dados de temperatura média do ar e de valores horários de radiação global horizontal, auferidos num período de um ano completo, isto é, constituído pelo conjunto dos doze meses de janeiro a dezembro, construindo, assim, um ano padrão ou um ano típico, para cada localidade elegida da área de estudo (ABRAHÃO; PEIXOTO; CARVALHO, 2017).

Os dados observados de temperatura média do ar foram obtidos em estações meteorológicas mantidas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) para duas das localidades (Patos e São Gonçalo). Para as outras cinco localidades (Água Branca, Aguiar, Coremas, Princesa Isabel e Teixeira), os valores de temperatura média do ar foram estimados utilizando-se o programa Estima_T, fornecido gratuitamente pela Universidade Federal de Campina Grande, através do Departamento de Ciências Atmosféricas (CAVALCANTI; SILVA; SOUSA, 2006; MEDEIROS *et al.*, 2017).

Os valores observados de radiação global para a construção do ano padrão foram obtidos gratuitamente através de HelioClim, versão 3, por meio do acesso a plataforma do *Solar radiation data* (SODA). O SODA disponibiliza diversos tipos de informações

relacionadas à radiação solar observada sobre o plano horizontal, fixo e inclinado, além de outros elementos climáticos, como temperatura. Um dos recursos apresentados são os valores horários de radiação (em kWh/m²) gerados de forma estocástica de acordo com Aguiar e Collares-Pereira (1988, 1992), para uma localidade desejada, informando-se latitude e longitude.

A radiação solar no plano horizontal para cada uma das localidades deste estudo foi determinada através do programa SunData, fornecida pelo Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito (CRESESB). O programa é uma ferramenta de apoio ao dimensionamento de sistemas fotovoltaicos, calculando a radiação solar diária média mensal para qualquer localidade do território brasileiro, a partir de suas coordenadas geográficas (CRESESB, 2014).

A placa solar fotovoltaica escolhida para este estudo foi a Axitec, modelo AC-260P/156-60S, cujas informações técnicas características estão listadas na tabela 4.2, segundo o manual do fabricante (AXITEC, 2016).

Tabela 4.2 – Características da placa solar fotovoltaica escolhida.

Fabricante e modelo: Axitec AC-260P/156-60S			
Tecnologia da célula fotovoltaica	Silício policristalino	Coef. de irradiação solar	$\gamma = 0,12$
Número de painéis	$NPI = 100$	Coef. de potência da temperatura	$\beta' = 0,0042 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
Potência nominal	$P_n = 260 \text{ Wp}$	Irradiância solar^(*)	$G_{\beta,ref} = 800 \text{ W/m}^2$
Área do módulo	$A = 1,63 \text{ m}^2$	Temperatura de operação da célula^(*)	$\theta_{cell,ref} = 25^\circ\text{C}$
Eficiência	$eff = 16\%$	Temperatura nominal de operação da célula	$NOCT = 45^\circ\text{C}$

^(*) em condições de teste padrão estabelecidas pelo fabricante.

Fonte: Adaptado de AXITEC, 2016.

A potência gerada pelo sistema fotovoltaico, $P(t)$, em função do tempo e da temperatura, é calculada pela equação (4.1), de acordo com Notton *et al.* (2005).

$$P(t) = NPI \cdot A \cdot eff \cdot \left(\frac{G(t)}{1000} \right) \cdot f_{temp} \quad (4.1)$$

Sendo NPI o número de painéis considerados para o cálculo; A é a área de um módulo fotovoltaico; eff a taxa de eficiência de conversão do painel fotovoltaico; $G(t)$ a irradiância solar (W/m^2); f_{temp} é o fator de perda operacional em função da temperatura e t é o tempo.

O fator de perda operacional é dado pela equação (4.2).

$$f_{temp} = \left[1 - \beta'(\theta_{cell} - \theta_{cell,ref}) + \gamma \cdot \log\left(\frac{G_{\beta}}{G_{\beta,ref}}\right) \right] \quad (4.2)$$

Sendo θ_{cell} a temperatura operacional da célula fotovoltaica; $\theta_{cell,ref}$ a temperatura de operação da célula em condições de teste padrão estabelecido pelo fabricante; γ coeficiente da irradiação solar, definido segundo Evans (1981). β' é o coeficiente de potência da temperatura ($^{\circ}C^{-1}$); G_{β} a irradiância solar no painel fotovoltaico e $G_{\beta,ref}$ a irradiância solar em condições de teste padrão.

A temperatura operacional da célula fotovoltaica pode ser calculada a partir da equação (4.3), dada por Nolay (1987):

$$\theta_{cell} = \theta_a + (NOCT - 20) \left(\frac{G_{\beta}}{800} \right) \quad (4.3)$$

Sabendo que θ_a é temperatura ambiente (em $^{\circ}C$) e $NOCT$, a temperatura nominal de operação da célula.

4.3 Resultados e discussão

4.3.1 Influência na produção hidrelétrica

Para algumas localidades da mesorregião do Sertão Paraibano (Água Branca, Aguiar, Coremas e Teixeira), foram observadas tendências positivas de caráter significativo em séries anuais de precipitação com valores entre 2,67 mm/ano e 5,45 mm/ano e também em outras escalas de tempo, isto é, para as séries semestrais, trimestrais e mensais (MEDEIROS *et al.*, 2016). Com isso, percebe-se que a precipitação aumentou ao longo dos anos para a mesorregião do Sertão Paraibano. Entretanto, a

precipitação tem sido mais intensa, ou seja, está mais concentrada em uma menor quantidade de eventos ao longo do ano, conforme Peixoto e Abrahão (2015) averiguaram em Patos e São Gonçalo.

Observou-se que, em Coremas, a precipitação média anual foi de 879,11 mm com dados entre 1935 e 2012 e ainda apresentou tendências de natureza significativa de aumento de precipitação, a partir da aplicação do teste estatístico não-paramétrico de Mann-Kendall às séries históricas em quatro períodos: anual, semestral (de janeiro a junho: J-J), trimestral (dezembro-janeiro-fevereiro: DJF) e mensal (apenas em janeiro). Para as séries em outros períodos não foram detectadas tendências significativas. A tabela 4.3 traz os valores mais relevantes dessas tendências para o município de Coremas, reforçando a noção de que está chovendo mais tanto anual quanto mensalmente neste município. Além disso, projeções futuras baseadas nas tendências exibidas na tabela 4.3 para o município de Coremas apontam um aumento de 19,5% para a precipitação média anual nos próximos 50 anos, podendo chegar, portanto, a 1000 mm (MEDEIROS *et al.*, 2016).

Tabela 4.3 – Tendências significativas de precipitação detectadas em Coremas-PB pelo teste de Mann-Kendall com dados de 1935 a 2012.

Precipitação (mm/ano)			
Anual	J-J	DJF	janeiro
3,43 *	3,10 +	1,77 *	0,86 *

+p < 0,10; *p < 0,05

Fonte: Adaptado de MEDEIROS *et al.*, 2016.

A tabela 4.4 apresenta os valores de média anual, de máximo (MÁX) e mínimo (MIN), mediana, variância (VAR), desvio padrão (DP) e coeficiente de variação (CV) para precipitação com dados de 1935 a 2016, fornecidos pela AESA e DNOCS, temperatura média do ar (dados de 1950 a 2016 estimados pelo programa Estima_T), vazões afluentes nos reservatórios (dados de 1965 a 2016) e geração de eletricidade pela PCH (dados de 1979 a 2016) para o município de Coremas.

Os valores apontados para o município de Coremas indicam a alta variabilidade dos dados para todos os parâmetros, exceto para a temperatura média do ar. O maior valor registrado na série completa de dados para a geração anual de energia elétrica pela PCH em Coremas, aproximadamente 26302 MWh, decorreu no ano de 1989 (tabela 4.4). Entretanto, a figura 4.5 inclui apenas os anos para os quais tem-se conjuntamente os

valores anuais para a precipitação total, vazões afluentes médias e geração de eletricidade pela PCH em Coremas. Por isso, este ano não consta na figura 4.5.

Tabela 4.4 – Estatística descritiva para precipitação (dados de 1935 a 2016), temperatura média do ar (dados estimados de 1950 a 2016), vazões afluentes médias nos reservatórios da PCH (dados de 1965 a 2016) e geração anual de eletricidade pela PCH (dados de 1979 a 2016) para a localidade de Coremas.

Parâmetro	Média	Mediana	VAR	DP	MÁX	MIN	CV (%)
Temperatura	26,7 °C	26,8 °C	0,08 (°C) ²	0,29 °C	27,4 °C	26,1 °C	1,1
Precipitação	865,1 mm	790,9 mm	100729,4 (mm) ²	317,4 mm	1837,7 mm	172,8 mm	36,7
Vazões afluentes médias	19,7 m ³ /s	12,7 m ³ /s	543,6 (m ³ /s) ²	23,3 m ³ /s	129,8 m ³ /s	0,3 m ³ /s	118,1
Geração anual de eletricidade	10283,5 MWh	9396,1 MWh	59115347,7 (MWh) ²	7688,6 MWh	26301,9 MWh	0,0 MWh	74,8

Valor máximo: MÁX; valor mínimo: MIN; variância: VAR; desvio padrão: DP e coeficiente de variação: CV.

A figura 4.5 traz os valores anuais para a precipitação total (em mm), vazões afluentes médias (em m³/s) e eletricidade gerada pela PCH (em MWh) em Coremas, considerando apenas os anos com informações para os três parâmetros listados, com dados de 1979 a 2016.

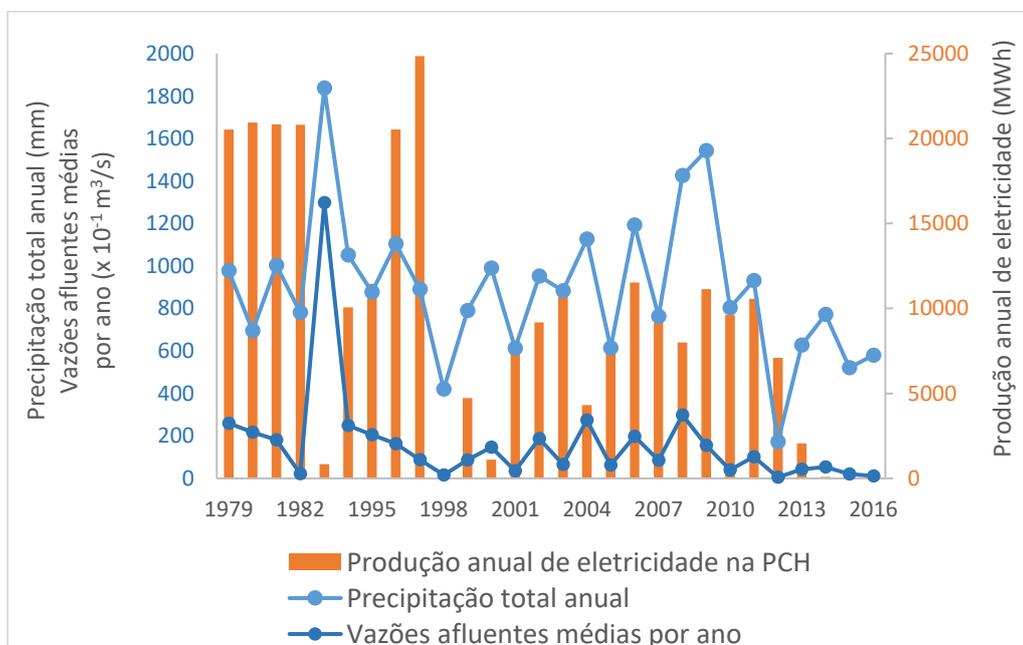


Figura 4.5 – Valores anuais para a precipitação total (em mm), vazões afluentes médias (x 10⁻¹ m³/s) e geração de eletricidade pela pequena central hidroelétrica (em MWh) em Coremas com dados de 1979 a 2016.

Destaca-se da figura 4.5 que o maior e o menor valor registrado para a precipitação, e concomitantemente para as vazões afluentes médias, ocorreram em 1985 e 2012, respectivamente. Para a produção anual de eletricidade, o valor máximo foi observado em 1997 e os anos de 1986 e 2015 ficaram marcados por não ter gerado energia elétrica.

A esse respeito, a ouvidoria da CHESF informou que houve acentuada redução no volume do reservatório, agravado pelos baixos índices pluviométricos registrados nos anos anteriores (como em 2012, por exemplo) e que para preservar o volume d'água disponível e priorizar o atendimento aos usos múltiplos a jusante, a usina operou em períodos reduzidos, resultando numa menor produção energética ou nenhuma.

A distribuição média mensal da precipitação em Coremas é marcada por dois períodos bem característicos dessa região semiárida do Brasil: um período seco e outro chuvoso (de fevereiro a maio), com média mensal máxima de precipitação de 227,55 mm para março e a média mensal mínima de 3,58 mm no mês de setembro. A média mensal mínima das vazões afluentes médias foi de 0,30 m³/s, também em setembro. Pela figura 4.6, percebe-se a semelhança no comportamento mensal da precipitação e das vazões afluentes médias, porém, para este último parâmetro, o valor de máximo é deslocado para o mês de abril, com 89,01 m³/s (figura 4.6).

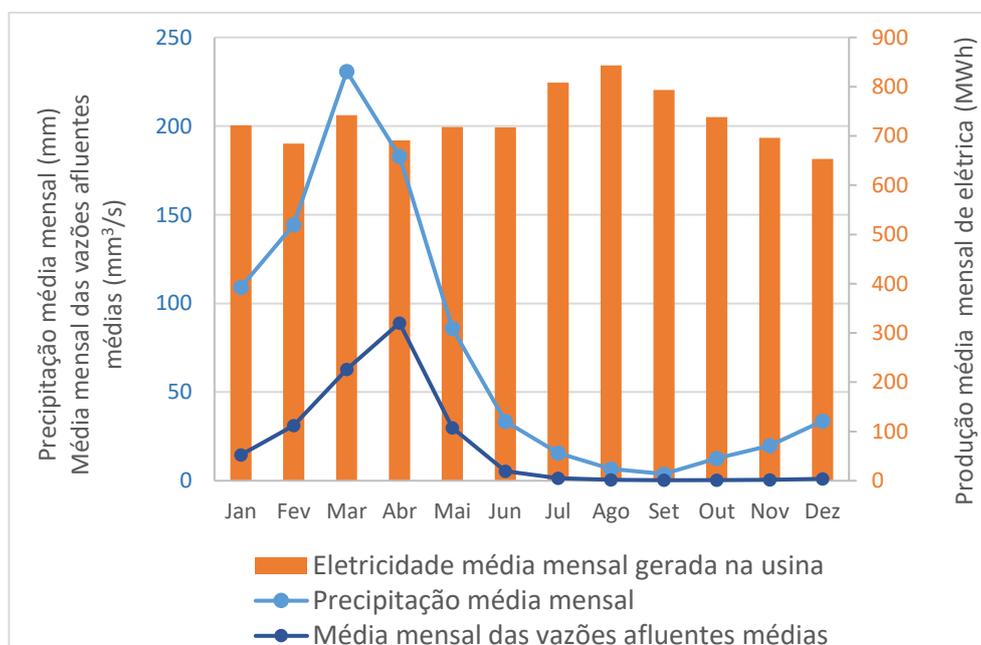


Figura 4.6 – Precipitação média mensal com dados entre 1935 e 2016 (em mm), vazões afluentes médias mensais com dados entre 1965 e 2016 (m³/s) e produção mensal média de eletricidade pela Pequena Central Hidroelétrica (PCH) com dados entre 1990 e 2016 (em MWh) no município de Coremas.

A geração de eletricidade mensal pela PCH em Coremas, com dados entre 1990 e 2016, varia de 653,51 MWh em agosto a 843,10 MWh em dezembro. A figura 4.6 mostra que os valores de máximo e mínimo para média mensal da geração de eletricidade e da precipitação ocorrem em meses distintos, assim como para as vazões afluentes médias.

Além disso, a geração média mensal de eletricidade pela PCH nos meses de julho, agosto e setembro é elevada, apesar destes meses comporem o período de seca na mesorregião do Sertão Paraibano, cujo índice de precipitação média mensal é baixo. Infere-se que isso seja ocasionado pelo acúmulo de água nos reservatórios da PCH durante o período chuvoso para posteriormente ser utilizada tanto para a geração de eletricidade quanto para os outros múltiplos fins, como o abastecimento populacional e irrigação, no decorrer do período de estiagem.

Pela análise de tendências para as vazões afluentes médias, detectou-se decréscimo de caráter significativo para os intervalos de tempo anual, semestral (em J-J), trimestral (em MAM) e mensal (em março, abril e maio), o que equivale a 31,6% dos resultados. Os intervalos de tempo trimestral (SON) e mensal (em dezembro) apresentaram tendências significativas de aumento para as vazões afluentes médias com $3,59 \text{ m}^3/\text{s}/\text{ano}$ ($p < 0,001$) e $2,59 \text{ m}^3/\text{s}/\text{ano}$ ($p < 0,01$), respectivamente, portanto 10,5% dos resultados. Por fim, quase 58% dos resultados foram não conclusivos ou as tendências observadas careciam de significância estatística (tabela 4.5).

Para a produção de eletricidade pela PCH em Coremas, averiguou-se tendências significativas de decréscimo em 89,5% das séries estudadas. As únicas exceções são para as séries mensais (em novembro e dezembro), cujas tendências careciam de significância estatística (tabela 4.5). A figura 4.5 corrobora com os resultados das tendências, pois indica que anualmente a PCH de Coremas tem gerado menos eletricidade, embora tenha-se observado tendência de aumento para a precipitação anual em Coremas, conforme tabela 4.3. Os valores mensais de tendências variaram de $-3,68 \text{ MWh}/\text{ano}$ em agosto ($p < 0,001$) a $-1,73 \text{ MWh}/\text{ano}$ em janeiro ($p < 0,10$).

Sendo assim, os resultados denotam expressiva tendência de queda para a geração de eletricidade em quase todos os períodos e que as vazões afluentes médias diminuíram $2,94 \text{ m}^3/\text{s}/\text{ano}$ ($p < 0,01$) a cada ano e em cada semestre J-J. A redução das vazões afluentes médias no trimestre MAM é compensada pelo seu aumento em SON.

Tabela 4.5 – Tendências detectadas nas séries de vazões afluentes médias no reservatório da Pequena Central Hidroelétrica (dados entre 1965 e 2016) e a geração de energia elétrica com dados mensais no período entre 1990 e 2016, e dados anuais entre 1979 e 2016, através da aplicação do teste de Mann-Kendall, quantificadas pelo declive Sen para o município de Coremas.

Período	Eletricidade gerada (MWh/ano)	Vazões afluentes médias (m³/s/ano)
anual	-3,23 **	-2,94 **
J-J	-2,63 **	-2,94 **
J-D	-3,11 **	0,86 ns
DJF	-1,92 +	-0,61 ns
MAM	-3,11 **	-3,56 ***
JJA	-3,26 **	-0,98 ns
SON	-2,52 *	3,59 ***
janeiro	-1,73 +	1,04 ns
fevereiro	-2,27 *	-1,52 ns
março	-2,02 *	-3,24 **
abril	-3,26 **	-2,72 **
maio	-3,09 **	-2,17 *
junho	-2,84 **	-1,53 ns
julho	-2,51 *	-0,02 ns
agosto	-3,68 ***	0,34 ns
setembro	-3,09 **	-
outubro	-2,42 *	-
novembro	-1,41 ns	-
dezembro	-1,55 ns	2,59 **

ns: não significativo; +p < 0,10; *p < 0,05; **p < 0,01; ***p < 0,001; - : não conclusivo

A análise de correlação entre precipitação, vazões afluentes e eletricidade gerada pela PCH foi realizada utilizando-se as séries completas de dados, os 10 anos mais recentes e os 10 anos mais antigos, em quatro diferentes situações descritas a seguir:

- 1 – comparando os elementos ano a ano;
- 2 – comparando a eletricidade gerada e a precipitação acumulada no ano observado e o ano anterior;
- 3 – comparando a eletricidade gerada e a precipitação observada apenas no ano anterior;
- 4 – comparando a eletricidade gerada e a precipitação acumulada no ano de observação juntamente com os dois anos anteriores.

Os resultados da análise de correlação para essas quatro distintas situações são apresentados na tabela 4.6.

Tabela 4.6 – Coeficiente de correlação de Spearman, ρ , entre a precipitação total anual e a eletricidade gerada pela usina em Coremas e as vazões afluentes médias no seu reservatório em quatro situações diferentes a partir de dados entre 1979 e 2016.

	Eletricidade gerada			Vazões afluentes médias		Situação
	Série completa	10 últimos anos	10 primeiros anos	Série completa		
	n = 28	n = 10	n = 10	n = 28		
	ρ	ρ	ρ	ρ		
Precipitação	0,36 ns	0,75 *	-0,17 ns	0,82***	1	
	0,53 **	0,76 *	0,55 ns	-	2	
	0,24 ns	0,71 *	0,01 ns	-	3	
	0,65*	0,76 *	0,79 *	-	4	

ns: não significativo; * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; – não realizado; n: número de elementos em cada série; 1 - comparação ano a ano; 2 - comparação entre a eletricidade gerada e a precipitação acumulada entre o ano observado e o ano anterior; 3 - comparação entre a eletricidade gerada e a precipitação observada apenas no ano anterior; 4 - comparação entre a eletricidade gerada e a precipitação acumulada no ano de observação juntamente com os dois anos anteriores.

Analisando a influência da precipitação sobre o potencial de geração de energia elétrica pela PCH, notou-se forte relação direta e significativa entre a precipitação acumulada no ano de observação juntamente com os dois anos que antecedem a produção de eletricidade, ou seja, para a situação 4, com $p < 0,05$. Isso ocorre considerando-se tanto a parcela de dados mais recentes, quanto os mais antigos ou a série completa. Percebe-se que nos últimos 10 anos a precipitação, em todas as situações (de 1 a 4), teve papel significativo sobre o potencial de geração de energia por hidroelétrica.

Sendo assim, um aumento na precipitação anual acumulada, implicaria no aumento da eletricidade produzida pela usina. Entretanto, pela análise de tendências, a quantidade de precipitação anual tem aumentado para a município de Coremas, enquanto a eletricidade gerada pela usina e as vazões afluentes no reservatório têm diminuído (tabelas 4.3 e 4.5). Infere-se que isso se deva a priorização para o atendimento de outras demandas para os múltiplos usos da água do complexo Coremas-Mãe D'água em detrimento da produção de eletricidade, como relatado pela CHESF, bem como a acentuada queda do volume útil do complexo, que chegou a menos de 6% em abril de 2016 (CHESF, 2016).

Constatou-se correlação não significativa entre a precipitação e a produção de eletricidade nos anos mais antigos de dados, exceto para a situação 4. Para as séries completas, as correlações foram significativas para as situações 2 e 4, com coeficientes iguais a 0,53 (* $p < 0,05$) e 0,65 (** $p < 0,01$), respectivamente. Nas situações 1 e 3, as correlações careciam de significância estatística.

Dentre os fatores que afetam a intensidade do coeficiente de correlação, pode-se citar o tamanho da amostra e a sua variabilidade. Como pôde-se perceber pelos resultados, valores muito discrepantes da média quando uma amostra é pequena tem maior efeito sobre o coeficiente de correlação. Esses resultados demonstram que, principalmente com os dados mais recentes, a relação entre a precipitação e a eletricidade gerada é forte, refletindo a grande importância que exerce sobre o potencial de geração de energia por hidráulica.

4.3.2 Influência na produção fotovoltaica

Em relação à geração de energia solar fotovoltaica, sabe-se que a potência de saída de um módulo fotovoltaico é inversamente proporcional a sua temperatura de operação. Em função disso, a perda de rendimento do sistema fotovoltaico com o aumento das temperaturas tem sido alvo de discussão. Segundo Bazilian *et al.* (2001), as células fotovoltaicas monocristalinas e policristalinas têm coeficientes de temperaturas negativos de aproximadamente $-0,4\%/^{\circ}\text{C}$ e são umas das mais utilizadas no mercado (BAZILIAN *et al.*, 2001; EPE, 2012; NOTTON *et al.*, 2005; PORTAL SOLAR, 2016).

A temperatura média anual do ar para a mesorregião do Sertão Paraibano é elevada e apresenta baixa variabilidade. Dentre as localidades deste estudo, a temperatura média do ar anual oscila entre $21,9^{\circ}\text{C}$ em Teixeira e $27,8^{\circ}\text{C}$ em Patos (MEDEIROS *et al.*, 2017). No estudo de tendências, identificou-se também tendências significativas de aumento das temperaturas máximas, mínimas e médias do ar para a mesorregião do Sertão Paraibano utilizando dados observados disponibilizados pelo INMET e dados estimados pelo programa Estima_T para a temperatura média do ar. Para a nebulosidade, foram observadas tendências significativas de decréscimo, indicando uma diminuição na porcentagem de nuvens no céu (ABRAHÃO; SILVA; PEIXOTO, 2016; MEDEIROS *et al.*, 2017). As tabelas 4.7 e 4.8 trazem esses resultados.

Em relação aos dados observados, os resultados para o período anual apontam

tendência significativa de aumento de 0,04 °C/ano para Patos (com dados de 1975 a 2014) e não-conclusivo para São Gonçalo (com dados de 1970 a 2014), conforme a tabela 4.7.

Tabela 4.7 – Tendências de temperatura média do ar e nebulosidade com dados fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) para Patos e São Gonçalo com períodos entre 1975 e 2014 e 1970 e 2014, respectivamente.

Período	Patos		São Gonçalo	
	Temperatura média do ar (°C/ano)	Nebulosidade (décimos/ano)	Temperatura média do ar (°C/ano)	Nebulosidade (décimos/ano)
janeiro	0,02 ns	-0,03 ns	-	-0,01 ns
fevereiro	0,03 ns	-0,02 ns	0,02 ns	-0,02 ns
março	0,05 ns	-0,04 +	0,02 ns	-0,04 +
abril	0,05 *	-	0,02 ns	-0,02 ns
maio	0,06 ns	-	0,01 ns	0,01 ns
junho	0,05 ns	-	0,01 ns	-0,01 ns
julho	0,04 ns	-0,02 ns	0,01ns	-0,02 ns
agosto	0,03 +	0,01 ns	0,02 ns	0,02 ns
setembro	0,01 ns	-0,06 *	-	-0,07 +
outubro	0,02 ns	-0,02 ns	-0,01 ns	-
novembro	0,02 ns	-0,02 ns	-0,02 +	-0,04 ns
dezembro	0,01 ns	-0,01 ns	-0,03 ns	-0,01ns
anual	0,04 *	-0,01 ns	-	-0,02 ns

ns: não significativo; +p < 0,10; *p < 0,05; - : não conclusivo

Fonte: adaptado de ABRAHÃO; PEIXOTO; CARVALHO, 2017.

Pôde-se perceber que entre 1950 e 2016 ocorreu, no período anual, aumento de 0,010 °C/ano na temperatura média do ar em todas as localidades estudadas, com $p < 0,001$, considerando os dados estimados pelo programa Estima_T (tabela 4.8). Sendo assim, até 2040, mantendo-se as tendências observadas, as temperaturas médias anuais do ar sofrerão aumento entre 0,86% e 1,05% com os dados estimados e de 3,31% considerando os dados observados em Patos (MEDEIROS *et al.*, 2017).

Tabela 4.8 – Tendências para temperatura média do ar para o período de 1950 a 2016 apontadas pelo teste de Mann-Kendall para as séries de dados construídas pelo programa Estima_T para as localidades estudadas.

Temperatura média do ar (°C/ano)							
Período	Água Branca	Aguiar	Coremas	Princesa Isabel	Teixeira	São Gonçalo	Patos
anual	0,010 ***	0,010 ***	0,010 ***	0,010 ***	0,010 ***	0,010 ***	0,010 ***
J-J	0,009 ***	0,009 ***	0,009 ***	0,009 ***	0,009 ***	0,009 ***	0,009 ***
J-D	0,010 ***	0,010 ***	0,010 ***	0,010 ***	0,010 ***	0,010 ***	0,010 ***
DJF	0,009 ***	0,009 ***	0,009 ***	0,009 ***	0,009 ***	0,009 ***	0,009 ***
MAM	0,009 ***	0,009 ***	0,009 ***	0,009 ***	0,009 ***	0,009 ***	0,009 ***
JJA	0,011 ***	0,011 ***	0,011 ***	0,011 ***	0,011 ***	0,011 ***	0,011 ***
SON	0,010 ***	0,010 ***	0,010 ***	0,010 ***	0,010 ***	0,010 ***	0,010 ***
janeiro	0,009 **	0,009 **	0,009 **	0,009 **	0,009 **	0,009 **	0,009 **
fevereiro	0,008 ***	0,008 ***	0,008 ***	0,008 ***	0,008 ***	0,008 ***	0,008 ***
março	0,008 ***	0,008 ***	0,008 ***	0,008 ***	0,008 ***	0,008 ***	0,008 ***
abril	0,009 ***	0,009 ***	0,009 ***	0,009 ***	0,009 ***	0,009 ***	0,009 ***
maio	0,010 ***	0,010 ***	0,010 ***	0,010 ***	0,010 ***	0,010 ***	0,010 ***
junho	0,010 ***	0,011 ***	0,011 ***	0,010 ***	0,010 ***	0,010 ***	0,011 ***
julho	0,011 ***	0,011 ***	0,011 ***	0,011 ***	0,011 ***	0,011 ***	0,011 ***
agosto	0,011 ***	0,011 ***	0,011 ***	0,011 ***	0,011 ***	0,011 ***	0,011 ***
setembro	0,010 ***	0,010 ***	0,010 ***	0,010 ***	0,010 ***	0,010 ***	0,010 ***
outubro	0,010 ***	0,010 ***	0,010 ***	0,010 ***	0,010 ***	0,010 ***	0,010 ***
novembro	0,011 ***	0,011 ***	0,011 ***	0,011 ***	0,011 ***	0,011 ***	0,011 ***
dezembro	0,010 ***	0,010 ***	0,010 ***	0,010 ***	0,010 ***	0,010 ***	0,010 ***

** p < 0,01; *** p < 0,001

Fonte: MEDEIROS *et al.*, 2017.

Outra variável importante para o cálculo do potencial de geração de eletricidade por sistemas fotovoltaicos, além da temperatura ambiente e da temperatura operacional da célula, é a radiação. Os valores horários para a radiação solar global, isto é, para cada dia e mês de um ano meteorológico típico são fornecidos pelo SODA.

A média anual dos valores horários da irradiação solar global incidente (em Wh/m²) são próximos entre as localidades elegidas para o estudo. Os maiores valores horários registrados em cada localidade variam de 732 Wh/m², em Teixeira, a 839 Wh/m², em Coremas (figura 4.7).

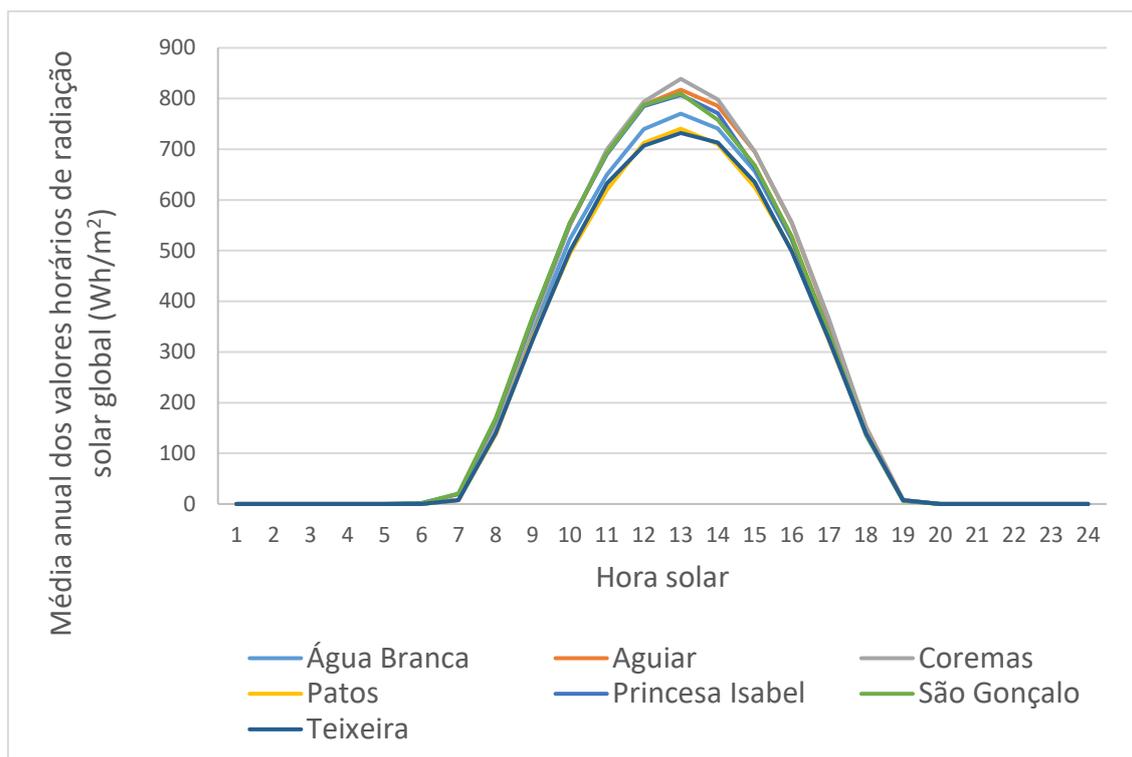


Figura 4.7 – Média anual dos valores horários da radiação solar global incidente (em Wh/m^2) nas localidades de Água Branca, Aguiar, Coremas, Patos, Princesa Isabel, São Gonçalo e Teixeira, fornecidas pelo *Solar radiation data* (SODA), com dados entre 2004 e 2006.

No horário de pico, isto é, entre 10h e 16h, os maiores valores para a média mensal de radiação solar global diária ocorreram 50% no município de Coremas (janeiro, fevereiro, março, agosto, setembro e outubro); 25% em Aguiar nos meses de junho, julho e novembro; 16,7% em São Gonçalo nos meses de maio e dezembro e, finalmente, 8,3% em Princesa Isabel para o mês de abril. Os maiores valores em cada mês variaram de $554 \text{ Wh/m}^2/\text{dia}$ (para Aguiar em junho) a $852 \text{ Wh/m}^2/\text{dia}$ (para São Gonçalo em dezembro). Pela figura 4.8, percebe-se que a incidência mensal de radiação é semelhante entre as localidades, exceto para o mês de dezembro, no qual ocorre aumento no valor da média mensal de radiação solar global diária para São Gonçalo e Princesa Isabel, enquanto ocorre queda para as outras cinco localidades (Água Branca, Aguiar, Coremas, Patos e Teixeira). Depreende-se da figura 4.8 que os meses de junho e novembro são, respectivamente, os meses que apresentaram os maiores e os menores valores para a radiação para cinco das sete localidades (Água Branca, Aguiar, Coremas, Patos e Teixeira). Para São Gonçalo e Princesa Isabel os maiores valores de radiação ocorrem no mês de dezembro.

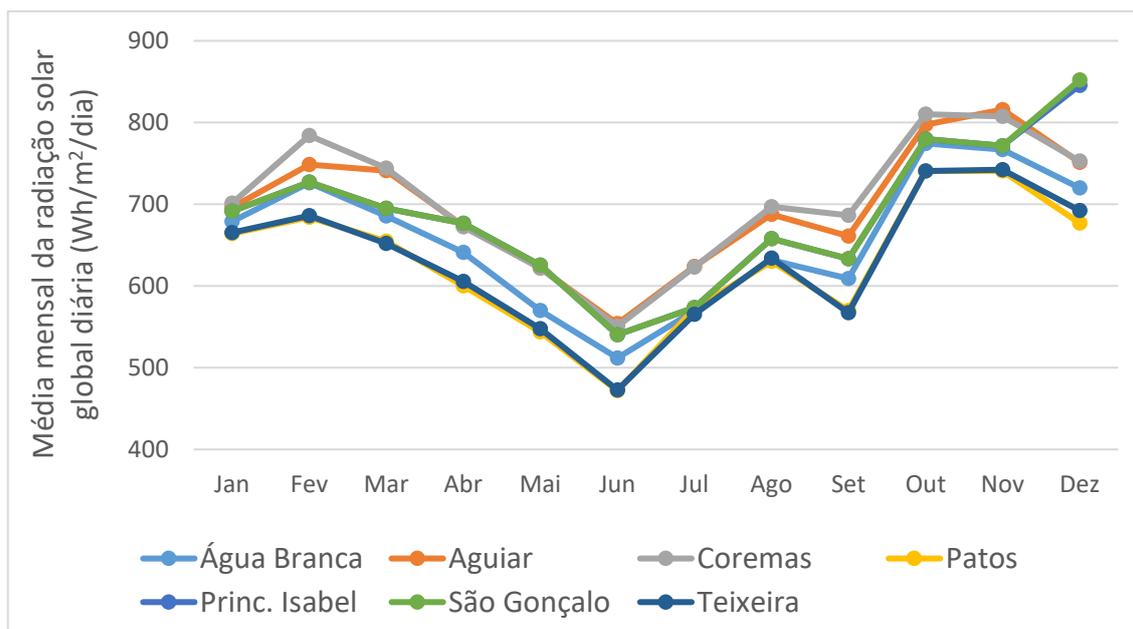


Figura 4.8 – Média mensal da radiação solar global diária (em $\text{Wh/m}^2/\text{dia}$) para as localidades escolhidas da Mesorregião do Sertão Paraibano no horário de pico, entre 10h e 16h, fornecida pelo programa HelioClim.

A irradiação solar no plano horizontal para as localidades utilizadas neste estudo obtida através do programa SunData, varia de $4670 \text{ Wh/m}^2/\text{dia}$ (em junho para o município de Teixeira) a $6850 \text{ Wh/m}^2/\text{dia}$ (em novembro para o município de Aguiar), conforme apresentado na figura 4.9.

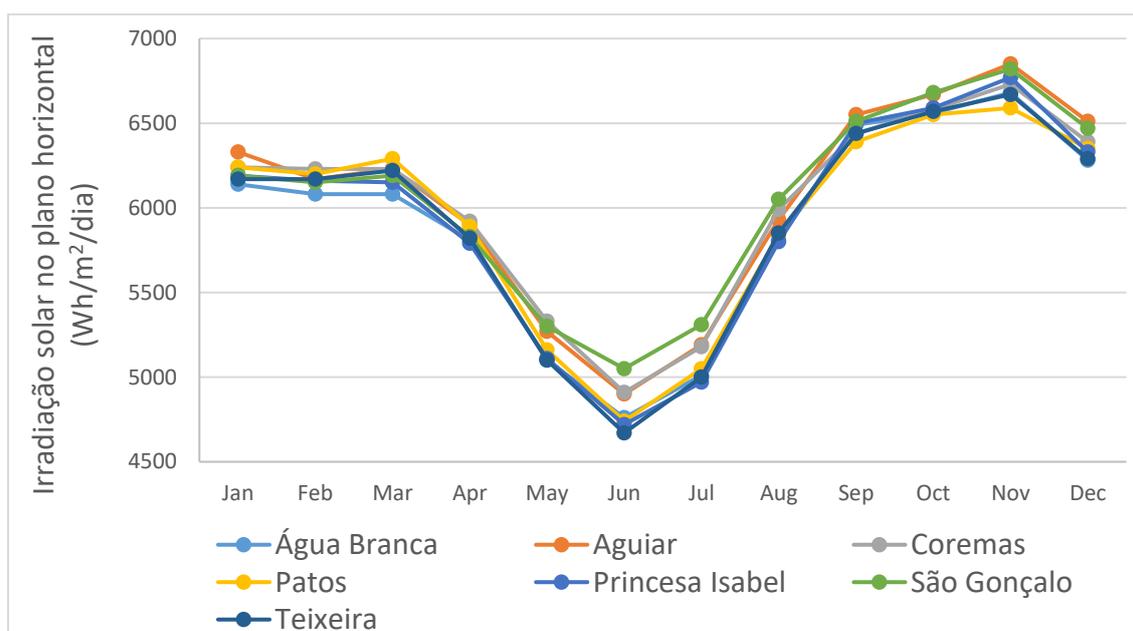


Figura 4.9 – Irradiação solar no plano horizontal (em $\text{Wh/m}^2/\text{dia}$) para as localidades escolhidas da Mesorregião do Sertão Paraibano fornecida pelo programa SunData.

Percebeu-se que 33,3% dos maiores valores mensais observados ocorreram em Aguiar (meses de janeiro, setembro, novembro e dezembro) e em São Gonçalo (nos meses de junho, julho, agosto e outubro), 25% em Coremas (fevereiro, abril e maio), 8,3% em Patos (mês de março). Os valores de mínimo mensais ocorreram, majoritariamente, em Água Branca (meses janeiro, fevereiro, março, maio e dezembro). Tanto em Patos quanto em Princesa Isabel foram registrados 23,1% da ocorrência dos valores de mínimo mensais. Em Teixeira ocorreram 15,4% dos valores de mínimo (nos meses de maio e junho).

A média anual da radiação solar global diária varia de 5349 Wh/m²/dia (ou aproximadamente 19 MJ/m²/dia) no município de Patos a 5971 Wh/m²/dia (equivalente a 21,5 MJ/m²/dia) no município de Coremas (figura 4.10). Esses valores de radiação fornecidos pelo SODA estão em conformidade com o esperado para a região Nordeste, segundo o Mapa solarimétrico do Brasil (ATLAS SOLARIMÉTRICO DO BRASIL, 2000).

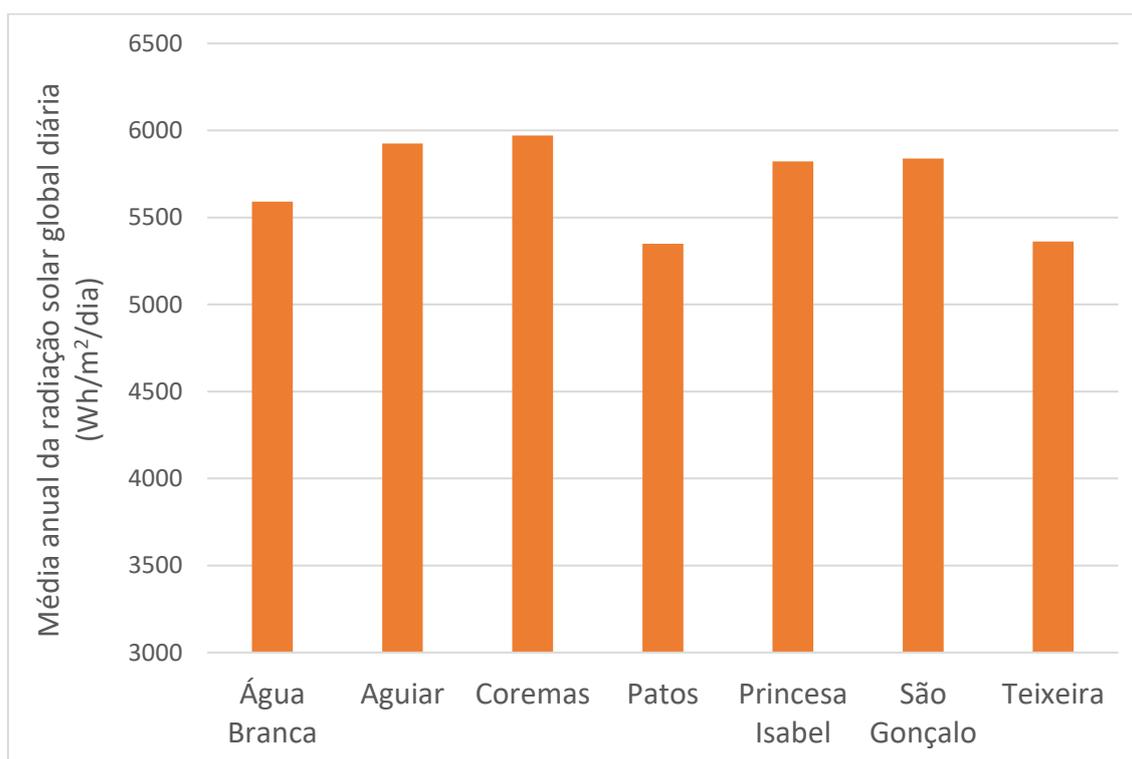


Figura 4.10 – Média anual da radiação solar global diária (em Wh/m²/dia) para as localidades escolhidas da Mesorregião do Sertão Paraibano, fornecida pelo HelioClim.

Os potenciais de geração de energia elétrica solar mensal e anual foram projetados considerando-se os módulos solares Axitec, conforme as especificações apresentadas na

tabela 4.2, para as localidades de Água Branca, Aguiar, Coremas, Patos, Princesa Isabel, São Gonçalo e Teixeira, pertencentes a mesorregião do Sertão Paraibano, a partir de valores medianos da temperatura média do ar estimada pelo programa Estima_T, em três situações diferentes: numa utiliza-se todos os termos da série histórica com dados de temperatura média do ar e nas outras, considera-se os 10 primeiros e os 10 últimos anos da série (tabela 4.9). Também foram incluídos os valores do potencial de geração de energia elétrica calculados com valores observados (SDO) de temperatura média do ar fornecidos pelo INMET para Patos, entre 1975 e 2014, e para São Gonçalo, entre 1970 e 2015, para as mesmas três situações citadas.

A figura 4.11 traz os valores da produção anual de eletricidade utilizando-se dados observados e estimados de temperatura média do ar. Pôde-se verificar que a produção seria maior utilizando-se os dados mais antigos de temperatura (10 primeiros anos) do que os dados mais recentes ou as séries completas para todas as localidades. Além disso, apesar de Coremas ter apresentado a maior média anual de radiação global diária (figura 4.10), Teixeira, apresentaria a maior produção anual de eletricidade (figura 4.11).

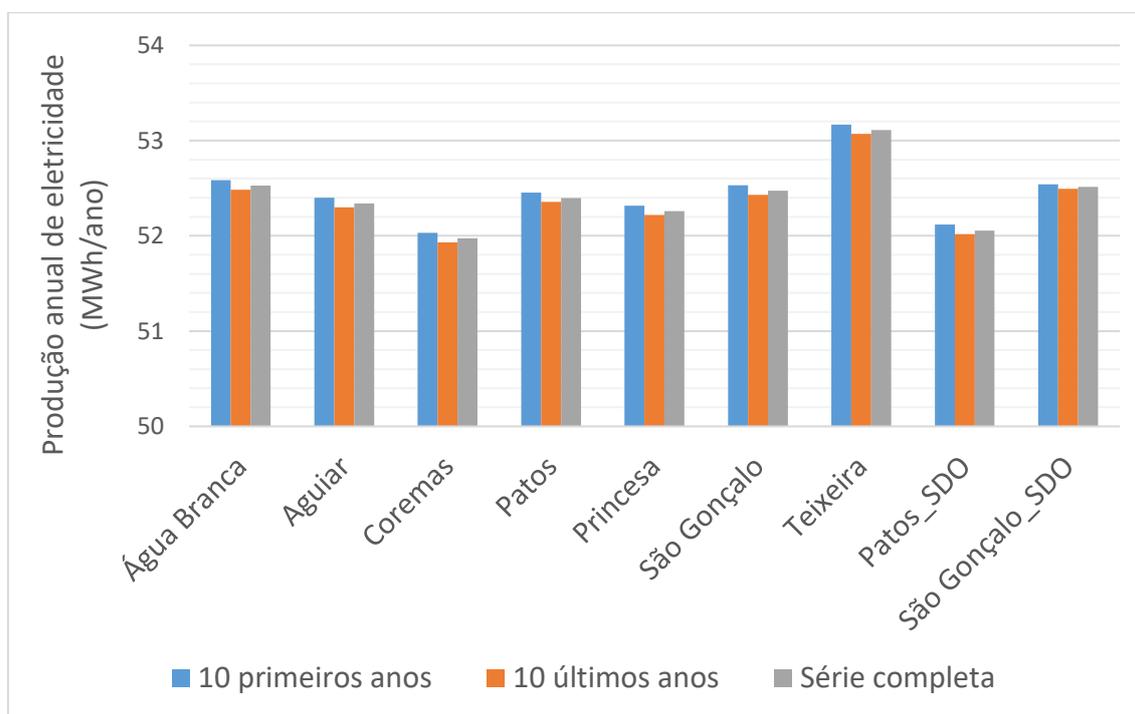


Figura 4.11 – Produção anual de eletricidade por 100 painéis solares fotovoltaicos do tipo Axitec AC-260P/156-60S, em MWh/ano, com base nos dados dos primeiros 10 anos, últimos 10 anos e as séries completas de temperatura média do ar estimada pelo programa Estima_T e observados (SDO) fornecidos pelo INMET, para cada uma das localidades da área de estudo.

Os valores observados em cada uma das situações, ou seja, considerando-se os primeiros 10 anos, os últimos 10 anos e a série completa de temperatura média do ar, da eletricidade anual gerada pelos painéis fotovoltaicos diferiram entre si, para cada uma das localidades individualmente, em no máximo 0,5%. Os menores valores observados para a produção mensal e anual foram aqueles que para o cálculo utilizou-se as séries com os últimos 10 anos de dados de temperatura (figura 4.11).

Considerando-se esta situação (últimos 10 anos), os resultados variariam mensalmente de 3557 kWh/mês no mês de junho para Princesa Isabel a 4865 kWh/mês em outubro para Teixeira (figura 4.12). Para as séries com os primeiros 10 anos de temperatura média do ar, os valores mensais da eletricidade gerada se situariam entre 3566 kWh/mês em Princesa Isabel em junho e 4874 kWh/mês para Teixeira em outubro. De modo semelhante, para a série completa de dados de temperatura média do ar, a eletricidade mínima gerada pelo conjunto de painéis seria observada para Princesa Isabel em junho (3563 kWh/mês) e a máxima em Teixeira em outubro (4869 kWh/mês).

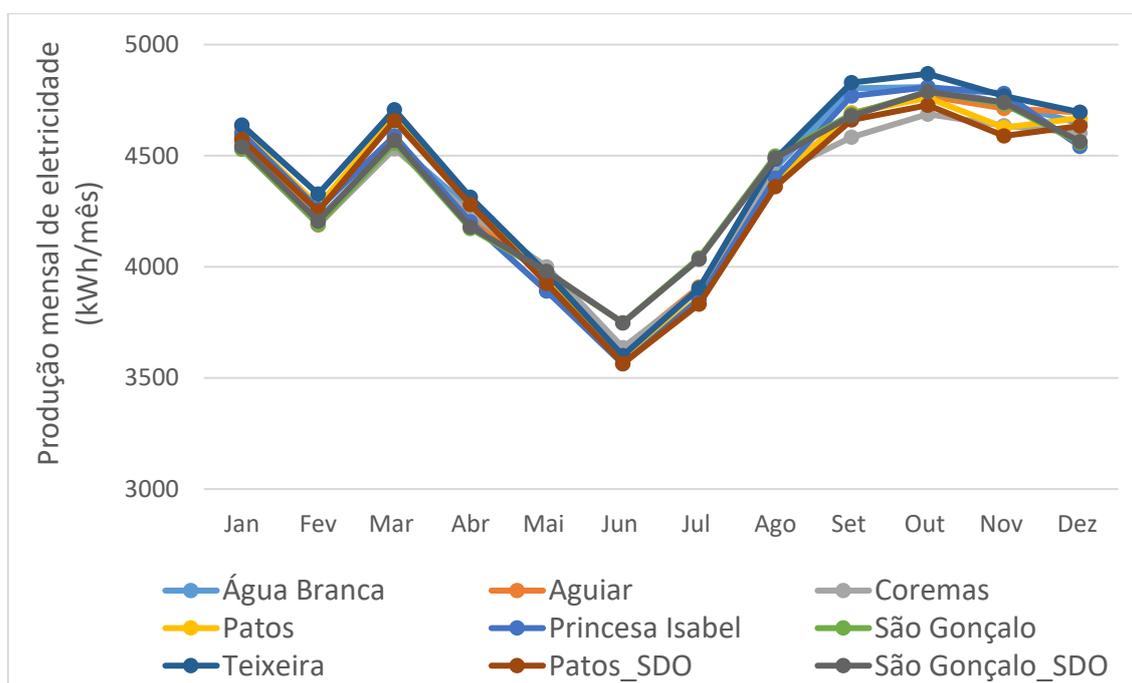


Figura 4.12 – Energia elétrica produzida mensalmente por 100 painéis fotovoltaicos do tipo Axitec AC-260P/156-60S, em kWh/mês, utilizando-se as séries completas de temperatura média do ar estimada pelo programa Estima_T e observada (SDO), fornecida pelo INMET, para cada uma das localidades da área de estudo.

A maioria dos menores resultados mensais de eletricidade gerada pelas placas seria

observada para as séries dos últimos 10 anos, exceto no mês de agosto para Patos, com dados observados de temperatura levando-se em conta a série completa. E os maiores valores de eletricidade mensal gerada ocorreriam para as séries dos 10 primeiros anos e principalmente para Teixeira (janeiro a abril, setembro e outubro). Pela figura 4.12, para a série completa de dados de temperatura, constatou-se que junho seria o mês em que menos se produziria eletricidade, enquanto outubro seria o mês de maior produção.

Os maiores valores para a geração elétrica fotovoltaica anual seriam projetados recorrendo-se aos 10 primeiros anos de dados das séries de temperatura média do ar (os dados mais antigos) em todas as localidades. Os resultados mensais também seriam maiores utilizando-se os 10 primeiros anos de dados das séries estimadas de temperatura média do ar em todas as localidades. Para os dados observados de temperatura, ocorre o mesmo para Patos, exceto para o mês de dezembro, em que o maior valor de eletricidade gerada sucederia utilizando-se os últimos 10 anos de dados de temperatura. Em São Gonçalo, com dados observados de temperatura, os maiores valores de eletricidade seriam verificados nos meses de outubro, novembro e dezembro, para os últimos 10 anos de temperatura. Nos outros meses (de janeiro a setembro), os maiores valores seriam os que utilizaram os dados dos 10 primeiros anos de temperatura.

Sendo assim, para todas as localidades com dados estimados de temperatura, supõe-se que mais energia elétrica seria produzida utilizando-se os dados climáticos mais antigos ou as séries completas (tabela 4.9).

A análise a partir dos dados observados das localidades de Patos e São Gonçalo também aponta que os valores mais baixos da produção de eletricidade ocorreriam utilizando-se os dados mais recentes de temperatura, isto é, as séries com os últimos 10 anos, em oito dos doze meses para São Gonçalo (de janeiro a agosto) e em sete dos doze meses para Patos (de janeiro a julho, outubro e novembro).

Portanto, mais de 93% dos resultados mais baixos da produção de eletricidade, a partir de dados observados e estimados de temperatura, ocorreriam ao usar os dados mais recentes. Isso se deve aos aumentos de temperatura observados nos últimos anos (tabelas 4.7 e 4.8), uma vez que a potência de saída de um módulo fotovoltaico é inversamente proporcional à temperatura de operação alcançada pela célula.

Apesar de ter-se observado a influência da temperatura sobre a capacidade de geração das células fotovoltaicas, a diferença entre os valores calculados para a eletricidade gerada para cada uma das três situações, ou seja, a partir do uso de dados mais

antigos, mais recentes ou mesmo dos dados climáticos completos, é ínfima, chegando a no máximo 0,5% mensalmente e a 0,2% anualmente.

Tabela 4.9 – Energia elétrica gerada pelo conjunto de 100 painéis fotovoltaicos da AXITEC, modelo AC-260P/156-60S, considerando os primeiros 10 anos, últimos 10 anos e as séries completas de temperatura média do ar, para a mesorregião do Sertão Paraibano.

Período	Água Branca	Aguiar	Coremas	Princesa Isabel	Teixeira	Patos	São Gonçalo	Patos	São Gonçalo	
	Temperatura estimada							Temperatura observada		
10 primeiros anos (kWh/mês)	Janeiro	4594	4635	4559	4606	4643	4613	4534	4574	4540
	Fevereiro	4218	4190	4193	4263	4329	4277	4193	4262	4213
	Março	4560	4542	4534	4592	4710	4680	4557	4660	4570
	Abril	4265	4232	4243	4206	4317	4300	4176	4288	4183
	Maio	3948	3964	4004	3896	3978	3957	3979	3938	3984
	junho	3629	3634	3640	3566	3604	3592	3753	3569	3751
	julho	3903	3915	3904	3859	3910	3864	4047	3837	4038
	agosto	4451	4393	4423	4406	4492	4397	4504	4365	4494
	setembro	4809	4699	4589	4775	4835	4699	4692	4666	4681
	outubro	4814	4774	4693	4814	4874	4767	4793	4729	4788
	novembro	4742	4720	4642	4787	4776	4633	4740	4597	4737
	dezembro	4651	4701	4609	4548	4701	4676	4564	4636	4562
Anual (kWh/ano)	52584	52400	52033	52317	53169	52454	52532	52120	52541	
10 últimos anos (kWh/mês)	janeiro	4587	4628	4552	4599	4636	4605	4527	4568	4536
	fevereiro	4215	4186	4189	4259	4326	4273	4190	4242	4193
	março	4555	4537	4529	4587	4705	4675	4552	4651	4558
	abril	4257	4225	4235	4199	4310	4293	4169	4267	4172
	maio	3938	3954	3995	3887	3968	3948	3969	3923	3979
	junho	3621	3626	3632	3557	3596	3583	3744	3562	3745
	julho	3894	3906	3894	3850	3901	3855	4037	3826	4034
	agosto	4441	4383	4412	4395	4482	4386	4493	4361	4487
	setembro	4799	4688	4579	4765	4825	4689	4682	4662	4681
	outubro	4805	4765	4683	4805	4865	4757	4783	4725	4793
	novembro	4732	4710	4632	4777	4766	4623	4730	4589	4744
	dezembro	4641	4692	4599	4538	4692	4666	4554	4640	4572
anual (kWh/ano)	52485	52299	51932	52218	53070	52355	52430	52017	52493	
Série completa (kWh/mês)	janeiro	4588	4630	4554	4601	4638	4607	4528	4573	4540
	fevereiro	4216	4188	4190	4261	4327	4275	4191	4252	4206
	março	4557	4539	4531	4589	4707	4677	4555	4658	4568
	abril	4261	4228	4239	4202	4313	4296	4172	4280	4180
	maio	3943	3959	4000	3891	3973	3952	3974	3925	3980
	junho	3626	3631	3637	3563	3601	3589	3749	3565	3748
	julho	3897	3910	3898	3854	3904	3859	4041	3831	4034
	agosto	4445	4387	4417	4400	4486	4391	4498	4361	4489
	setembro	4803	4693	4583	4769	4829	4693	4686	4661	4680
	outubro	4809	4769	4687	4809	4869	4761	4787	4727	4788
	novembro	4735	4713	4635	4780	4769	4626	4733	4589	4739
	dezembro	4645	4695	4603	4542	4695	4670	4558	4634	4563
anual (kWh/ano)	52526	52341	51974	52259	53111	52396	52472	52056	52515	

Para os dados mais antigos de temperatura, ou seja, os 10 primeiros anos, a maior diferença percentual entre os valores mensais de eletricidade gerada foi de 5,5% entre as localidades de Patos e São Gonçalo, no mês de julho. São Gonçalo, com dados estimados, produziria 4047 kWh/mês e Patos produziria 3837 kWh/mês, com dados observados. A menor diferença percentual entre os valores mensais de eletricidade gerada seria entre São Gonçalo (4534 kWh/mês) e Teixeira (4643 kWh/mês), com 2,4% no mês de janeiro, ambas localidades com dados estimados de temperatura média do ar. Entre os valores anuais, a maior diferença percentual seria entre Coremas (52033 kWh/ano) e Teixeira (53169 kWh/ano), equivalente a aproximadamente 2,2%, também com dados estimados de temperatura.

Para os dados mais recentes, isto é, para os 10 últimos anos das séries de temperatura média do ar, a maior diferença percentual entre os valores mensais de eletricidade gerada seria de 5,5%, entre Patos com dados observados (3826 kWh/mês) e São Gonçalo (4037 kWh/mês) com dados estimados, no mês de julho. A menor diferença percentual entre os valores mensais de eletricidade gerada seria de 2,4%, para São Gonçalo (4527 kWh/mês) e Teixeira (4636 kWh/mês), ambas com dados estimados de temperatura, em janeiro. Anualmente, defrontando os valores de eletricidade gerada de todas as localidades com a de Teixeira, as diferenças percentuais seriam abaixo de 2,2% entre Teixeira (53070 kWh/ano) e Coremas (51932 kWh/ano). Tendo-se em conta as séries completas de temperatura média do ar, constatou-se essas mesmas diferenças percentuais, tanto mensal quanto anualmente entre os valores de eletricidade gerada: 5,5% entre Patos com dados observados (3831 kWh/mês) e São Gonçalo (4041 kWh/mês) com dados estimados, no mês de julho; 2,4% para São Gonçalo (4528 kWh/mês) e Teixeira (4638 kWh/mês), ambas com dados estimados de temperatura em janeiro. Anualmente, as diferenças percentuais entre os valores de eletricidade gerada seriam abaixo de 2,2% entre Teixeira (53111 kWh/ano) e Coremas (51974 kWh/ano).

Ao analisar a diferença percentual entre os valores das medianas a partir dos dados estimados de temperatura média do ar, notou-se que essa diferença é maior sempre no mês de julho, entre os 10 primeiros termos e os 10 últimos elementos da série de temperatura, com valores entre 2,2% e 2,9%. Com os dados observados, essa disparidade aumenta para aproximadamente 4% em abril para Patos e em fevereiro para São Gonçalo.

Apesar de ter-se averiguado tendências significativas de acréscimo de temperatura para a mesorregião do Sertão Paraibano, como ficou bem explícito pela diferença

percentual entre as medianas para cada localidade tendo em vista as três situações tratadas nesse estudo, isto é, com dados mais antigos de temperatura média do ar (10 primeiros anos), os dados mais recentes (últimos 10 anos) e a série completa, o potencial de geração de energia por fonte solar fotovoltaica não sofreu alterações expressivas.

A geração de energia por fontes renováveis pode ser uma alternativa efetiva de mitigação frente aos impactos causados pelas mudanças climáticas. Alguns estudos estão focados nas incertezas e riscos relacionados às mudanças climáticas e sobre como elas podem interferir na geração de energia renovável. Além disso, uma vantagem da geração de energia solar fotovoltaica sobre a hidroelétrica está na elevada disponibilidade do seu recurso natural – a radiação solar.

Em 2013, Chiang *et al.* analisaram o impacto das mudanças climáticas sobre a capacidade de geração de energia por hidrelétrica em Taiwan, com base em simulações de vazões na Bacia do rio Kaoping, que foram realizadas usando dados de precipitação e temperatura estimados a partir de modelos climáticos de circulação geral, para os cenários A2 e B2 do IPCC. Os resultados apontam que a vazão no rio diminuiu, tanto no período seco quanto no chuvoso e confirmam que as mudanças climáticas podem alterar o potencial de geração hidrelétrica.

Em 2015, Kopytkovskiya, Gezab e McCray utilizaram modelos climáticos para três cenários diferentes para avaliar os impactos das mudanças climáticas sobre os recursos hídricos e o potencial hidroelétrico no alto da Bacia do Rio Colorado, no oeste do Estados Unidos. Os resultados indicam que as respostas às mudanças climáticas nos níveis do reservatório variaram em toda a bacia devido à variabilidade na precipitação e na evapotranspiração e que, portanto, as estratégias de gerenciamento da produção de eletricidade devem se adaptar às possíveis mudanças climáticas, de tal forma que se leve em conta fatores relacionados com o tamanho e a localização do reservatório.

Com objetivo de analisar o impacto das mudanças na precipitação e disponibilidade de água para a produção hidrelétrica, Solaun e Cerdá (2017) combinaram dados e previsões climatológicas, técnicas e econômicas para três usinas hidrelétricas do sul da Espanha. Os resultados preveem uma queda de produção de 10% a 49% até o final do século, dependendo da usina e do cenário considerados.

No Brasil, o estudo de Tiezzi *et al.* (2018) estabeleceu uma correlação entre a segurança energética e a mudança climática através da compreensão da capacidade de gerar eletricidade em grandes e em pequenas usinas hidrelétricas, no Alto da Bacia

Paranapanema, no estado de São Paulo. Os resultados indicaram uma perda de capacidade de geração, que pode ser atribuída a anomalias negativas da precipitação e sua influência direta sobre o fluxo do rio.

Crook *et al.* (2011) analisaram como as mudanças projetadas de temperatura e insolação ao longo do século 21 afetarão a geração de energia solar fotovoltaica e solar concentrada. Os dados climáticos projetados foram obtidos a partir de modelos climáticos sob o cenário de emissões A1B do IPCC. Os resultados indicam que há uma variação considerável na projeção da produção de eletricidade solar fotovoltaica, dependendo da localização e que no período entre 2010 e 2080 aumentará para a Espanha, Alemanha e China. Haverá pouca alteração na Argélia e na Austrália e diminuirá no oeste dos Estados Unidos e na Arábia Saudita.

O efeito das mudanças projetadas na insolação e na temperatura sobre o desempenho dos sistemas fotovoltaicos foi analisado para a Grécia, considerando projeções climáticas obtidas de modelos climáticos regionais sob o cenário de emissões A1B do IPCC, para períodos futuros, por Panagea *et al.* (2014). Os resultados indicaram aumento significativo da temperatura média anual e da radiação total média. Como o desempenho dos sistemas fotovoltaicos é compensado pelo aumento da radiação, espera-se um aumento de até 4% na produção de eletricidade.

Gunderson *et al.* (2015) concluíram que o potencial de energia solar é suficiente para fornecer uma contribuição interessante para a diversificação da matriz energética na maioria dos países da região do Mar Negro. Este estudo avaliou o potencial de energia solar atual e futuro através do uso de usinas fotovoltaicas conectadas à rede na região do Mar Negro.

Portanto, as mudanças climáticas podem influenciar de forma positiva ou comprometer a geração de energia por fontes renováveis e tanto os trabalhos mencionados quanto esta pesquisa evidenciam a necessidade de estudos regionais para compreender melhor seus efeitos sobre o setor energético.

4.4 Conclusões

Em relação aos padrões e distribuição do regime pluviométrico no município de Coremas, no qual existe uma Pequena Central Hidroelétrica em funcionamento, foi observado que a precipitação média anual com dados entre 1935 e 2012 foi de 879,11 mm.

A partir da aplicação do teste de Mann-Kendall, foram observadas tendências significativas de aumento para os índices de precipitação nos períodos anual, semestral (de janeiro a junho: J-J), trimestral (dezembro-janeiro-fevereiro: DJF) e mensal (apenas em janeiro). Esses resultados reforçam a noção de que está chovendo mais tanto anual quanto mensalmente no município de Coremas, podendo atingir nos próximos 50 anos uma média anual de 1000 mm, correspondendo a um aumento de 19,5% para a precipitação.

A média anual de produção de eletricidade pela Pequena Central Hidroelétrica na área, entre 1979 e 2016, foi de 10283,55 MWh. Os meses com as maiores médias mensais são julho, agosto, setembro e outubro, apesar de coincidir com os que apresentam as menores médias mensais de precipitação. A influência da precipitação sobre o potencial de geração pela PCH é percebida pela forte relação direta e significativa entre a geração de eletricidade e a precipitação, principalmente com os dados mais recentes (10 últimos anos) e na situação em que se tem a precipitação acumulada no ano de observação juntamente com os dois anos que antecedem a produção de eletricidade pela usina.

Sendo assim, um aumento na precipitação anual acumulada, implicaria no aumento da produção da usina. Entretanto, pela análise de tendências, a usina tem reduzido no período anual a sua produção em 3,23 MWh/ano. Infere-se que isso se deva a priorização para o atendimento de outras demandas em função dos múltiplos usos da água do complexo Coremas-Mãe D'água em detrimento da produção de eletricidade, como abastecimento populacional e irrigação, bem como a acentuada queda do volume útil do complexo, potencializada pelo aumento das temperaturas e, conseqüentemente, da evaporação.

Outras características climáticas marcantes observadas nesse estudo para a mesorregião do Sertão Paraibano foram a elevada temperatura média anual do ar e sua baixa variabilidade, com valores médios oscilando entre 21,9 °C em Teixeira e 27,8 °C em Patos. Identificaram-se também tendências significativas de aumento das temperaturas médias do ar para a área de estudo. Ao passo que para a nebulosidade, foram observadas tendências significativas de decréscimo por Abrahão *et al.* (2016). A média anual de radiação solar global diária varia de 5349 Wh/m²/dia (ou aproximadamente 19 MJ/m²/dia) no município de Patos a 5971 Wh/m²/dia (equivalente a 21,5 MJ/m²/dia) no município de Coremas.

Para todas as localidades, a capacidade de produção anual de eletricidade por 100 painéis solares fotovoltaicos fabricados por Axitec, modelo AC-260P/156-60S, é, em geral,

maior considerando-se os dados mais antigos do que utilizando os dados mais recentes ou a série completa de temperatura média do ar. Esses valores oscilam de 52033 kWh/ano (em Coremas) a 53169 kWh/ano (em Teixeira), para os dados mais antigos. O mesmo ocorre para a produção mensal de eletricidade: com os dados mais antigos a produção também seria maior, chegando a 4874 kWh/mês em Teixeira no mês de outubro.

Os resultados apontam que o potencial fotovoltaico é elevado para a mesorregião do Sertão Paraibano e que este é alterado muito levemente, apesar dos aumentos observados nos valores de temperatura média do ar.

Referências bibliográficas

ABRAHÃO, R.; SILVA, L. P.; PEIXOTO, I. M. B. M. Interpretación de tendencias climáticas hacia un mejor aprovechamiento energético renovable en el semiárido de Brasil. In: Cuba Industria, 2016, Cuba. Anales del X Reclien 2, 2016.

ABRAHÃO, R.; PEIXOTO, I. M. B. M.; CARVALHO, M. Solar or wind energy for the Brazilian semiarid? - Climatic characterization and future trends. In: International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems, 30, 2017. Annals PROCEEDINGS OF ECOS, SAN DIEGO, CALIFÓRNIA, USA, 2017.

AESA - Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. Plano Estadual de Recursos Hídricos – Relatório final. João Pessoa, 2009a. Disponível em: <<http://www.aesa.pb.gov.br/perh/>>. Acesso em: 25 nov. 2016.

AESA - Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. Mapa das mesorregiões do Estado da Paraíba. João Pessoa, 2009b. Disponível em: <<http://www.aesa.pb.gov.br/perh/>>. Acesso em: 25 nov. 2016.

AGUIAR, R. J.; COLLARES-PEREIRA, M.; CONDE, J. P. A simple procedure for generating sequences of daily radiation values using a library of markov transition matrices. **Solar Energy**, v. 40, n. 3, p. 269-279, 1988.

AGUIAR, R.; COLLARES-PEREIRA, M. T. A. G. TAG: a time-dependent, autoregressive, Gaussian model for generating synthetic hourly radiation. **Solar energy**, v. 49, n. 3, p. 167-174, 1992.

AL-WAELI, A. H.; SOPIAN, K.; KAZEM, H. A.; CHAICHAN, M. T. Photovoltaic Solar Thermal (PV/T) Collectors Past, Present and Future: A. **International Journal of Applied Engineering Research**, v. 11, n. 22, p. 10757-10765, 2016.

ATLAS SOLARIMÉTRICO DO BRASIL. Banco de dados solarimétricos. Coordenador Chigueru Tiba *et al.*, Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2000.

AXITEC, AXI power. 60 cell/polycrystalline. 2016. Disponível em: <<http://www.axitecsolar.com/pt/modulos-solares.html>> Acesso em 28 nov. 2017.

BARNETT, T.; MALONE, R.; PENNELL, W.; STAMMER, D.; SEMTNER, B.;

WASHINGTON, W. The effects of climate change on water resources in the west: introduction and overview. **Climatic Change**, v. 62, n. 1, p. 1-11, 2004.

BAZILIAN, M. D.; LEENDERS, F.; VAN DER REE, B. G. C.; PRASAD, D. Photovoltaic Cogeneration in the Built Environment. **Solar Energy**, v. 71, n. 1, p. 57-69, 2001.

BELDRING, S.; ANDRÉASSON, J.; BERGSTRÖM, S.; JÓNSDÓTTIR, J. F.; ROGOZOVA, S.; ROSBERG, J.; VEIJALAINEN, N. Hydrological climate change maps of the Nordic region. In: **European Conference on Impacts of Climate Change on Renewable Energy Sources**. Iceland, 2006.

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

CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; DIAS, M. A. F. S.; SILVA, M. G. A. J. S. **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de textos, 2009.

CHESF – Companhia Hidroelétrica do São Francisco. Curemas. 2016. Disponível em: <<https://www.chesf.gov.br/SistemaChesf/Pages/SistemaGeracao/Curemas.aspx>>. Acesso em: 12 jul. 2016.

CHIANG, J. L.; YANG, H. C.; CHEN, Y. R.; LEE, M. H. Potential impact of climate change on hydropower generation in Southern Taiwan. **Energy Procedia**, v. 40, p. 34-37, 2013.

CORDER, G. W.; FOREMAN, D. I. **Nonparametric statistics: A step-by-step approach**. John Wiley & Sons, 2014.

CRESESB – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito/CEPEL - Centro de Pesquisas de Energia Elétrica. Potencial solar. 2014. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata>>. Acesso em 12 set 2017.

CROOK, J. A.; JONES, L. A.; FORSTER, P. M.; CROOK, R. Climate change impacts on future photovoltaic and concentrated solar power energy output. **Energy & Environmental Science**, v. 4, n. 9, p. 3101-3109, 2011.

EBINGER, J.; VERGARA, W. **Climate impacts on energy systems - key issues for energy sector adaptation**. Washington: The World Bank, 2010.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. Análise da Inserção da Geração Solar na Matriz Elétrica Brasileira. Ministério de Minas e Energia. Rio de Janeiro, 2012.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. Balanço Energético Nacional 2015: Ano base 2014. Ministério de Minas e Energia. Rio de Janeiro, 2015.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. Balanço Energético Nacional 2016: Ano base 2015. Ministério de Minas e Energia. Rio de Janeiro, 2016.

FIELLER, E. C.; HARTLEY, H. O.; PEARSON, E. S. Tests for rank correlation coefficients. I. **Biometrika**, v. 44, n. 3/4, p. 470-481, 1957.

GAUDARD, L.; GILLI, M.; ROMERIO, F. Climate change impacts on hydropower management. **Water resources management**, v. 27, n. 15, p. 5143-5156, 2013.

GAUDARD, L.; ROMERIO, F. Reprint of “The future of hydropower in Europe: Interconnecting climate, markets and policies”. **Environmental Science & Policy**, v. 43, p. 5-14, 2014.

GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. **Energia, Meio Ambiente e Desenvolvimento**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2011.

GUNDERSON, I.; GOYETTE, S.; GAGO-SILVA, A.; QUIQUEREZ, L.; LEHMANN, A. Climate and land-use change impacts on potential solar photovoltaic power generation in the Black Sea region. **Environmental Science & Policy**, v. 46, p. 70-81, 2015.

HAMUDUDU, B.; KILLINGTVEIT, A. Assessing climate change impacts on global hydropower. **Energies**, v. 5, n. 2, p. 305-322, 2012.

HAUKE, J.; KOSSOWSKI, T. Comparison of values of Pearson's and Spearman's correlation coefficients on the same sets of data. **Questiones geographicae**, v. 30, n. 2, p. 87-93, 2011.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Resultados do Universo do Censo Demográfico. 2010. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/caracteristicas_da_populacao/caracteristicas_da_populacao_tab_municipios_zip_xls.shtm> Acesso em: 30 de mai. 2016.

KOPYTKOVSKIY, M.; GEZA, M.; MCCRAY, J. E. Climate-change impacts on water resources and hydropower potential in the Upper Colorado River Basin. **Journal of Hydrology: Regional Studies**, v. 3, p. 473-493, 2015.

LUCENA, A. F. P.; SZKLO, A. S.; SCHAEFFER, R.; SOUZA, R. R.; BORBA, B. S. M. C.; COSTA, I. V. L.; AMARO JÚNIOR, O. P.; CUNHA, S. H. F. The vulnerability of renewable energy to climate change in Brazil. **Energy Policy**, v. 37, p. 879–889, 2009.

MEDEIROS, S. E. L. S.; ABRAHÃO, R.; GARCÍA-GARIZÁBAL, I.; PEIXOTO, I. M. B. M.; SILVA, L. P. Análisis de tendencia de las precipitaciones en el interior del estado de Paraíba (Brasil). In: International Symposium on Environmental Biotechnology and Engineering, 5, 2016, Buenos Aires, Argentina. Anales... Buenos Aires, Argentina, UNSAM, 2016.

MEDEIROS, S. E. L. S.; SILVA, W. K. M.; SILVA, L. P.; PEIXOTO, I. M. B. M.; ABRAHÃO, R. Análise da variabilidade e tendências para a temperatura média do ar no Sertão Paraibano com dados reais e estimados. In: Congresso Internacional da diversidade do Semiárido, 2, 2017, Campina Grande. Anais... Campina Grande, UFCG, 2017.

NOLAY, P. Développement d'une méthode générale d'analyse des systèmes photovoltaïques [tese de doutorado]. Douai, France: École nationale supérieure des mines de Douai; 1987.

NOTTON, G.; CRISTOFARI, C.; MATTEI, M.; POGGI, P. Modelling of a double-glass photovoltaic module using finite differences. **Applied Thermal Engineering**, v. 25, n. 17, p. 2854-2877, 2005.

PANAGEA, I. S.; TSANIS, I. K.; KOUTROULIS, A. G.; GRILLAKIS, M. G. Climate change impact on photovoltaic energy output: the case of Greece. **Advances in Meteorology**, 2014.

PBMC – 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 e M. Araujo. Rio de Janeiro, 2014.

PEIXOTO, I. M. B. M.; ABRAHÃO, R. Mudanças climáticas e seus impactos no Nordeste brasileiro, Relatório Final PIBIC, 2015.

PEIXOTO, I. M. B. M.; ABRAHÃO, R. Mudanças climáticas e seus impactos no Nordeste brasileiro, Relatório Final PIBIC, 2015.

PORTAL SOLAR. Tipos de Painel Solar Fotovoltaico. 2016. Disponível em <<http://www.portalsolar.com.br/tipos-de-painel-solar-fotovoltaico.html>>. Acesso em 18 nov. 2017.

SALMI, T. A. M.; ANTTILA, P.; RUOHO-AIROLA, T.; AMNELL, T. Detecting trends of annual values of atmospheric pollutants by the Mann-Kendall test and Den's slope estimates-the Excel template application makesens. **Air Qual. Res.**, p. 7-35, 2002.

SCHAEFFER, R.; SZKLO, A. S.; LUCENA, A. F. P.; BORBA, B. S. M. C.; NOGUEIRA, L. P. P.; FLEMING, F. P.; BOULAHYA, M. S. Energy sector vulnerability to climate change: a review. **Energy**, v. 38, n. 1, p. 1-12, 2012.

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.

SNEYERS, R. On the use of Statistical Analysis for the Objective Determination of Climatic Change. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 1, p. 247-256, 1992.

SOLAUN, K.; CERDÁ, E. The Impact of Climate Change on the Generation of Hydroelectric Power – A case study in Southern Spain. **Energies**, v. 10, n. 9, p. 1343-1362, 2017.

SPEARMAN, C. The proof and measurement of association between two things. **The American journal of psychology**, v. 15, n. 1, p. 72-101, 1904.

TIEZZI, R. O.; VIEIRA, N. D. B.; SIMOES, A. F.; FONSECA FILHO, H.; VIANA, E.; MOUETTE, D.; DOMINGUES, M. S. Impacts of Climate Change on Hydroelectric Power Generation—A Case Study Focused in the Paranapanema Basin, Brazil. **Journal of Sustainable Development**, v. 11, n. 1, p. 140-149, 2018.

VAN RHEENEN, N. T.; PALMER, R. N.; HAHN, M. A. Evaluating potential climate change impacts on water resource systems operations: Case studies of Portland, Oregon and Central Valley, California. **Water Resources Update**, v. 124, p. 35-50, 2003.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A energia solar fotovoltaica é uma das fontes de energia que em 2015 obteve a maior quantidade de novos investimentos globais, tanto em países desenvolvidos quanto em desenvolvimento, representando um aumento de 12% em relação ao ano anterior (REN21, 2016). Segundo relatado no Plano Decenal de Expansão de Energia 2023 (PDEE), para o Brasil se prevê queda da geração de fonte hidroelétrica e um aumento correspondente na participação de outras fontes renováveis, principalmente a eólica e a solar (EPE, 2016).

O primeiro leilão de energia solar fotovoltaica realizado pelo governo brasileiro ocorreu em 2014, no qual foram contratados 890 MWp de capacidade instalada de energia fotovoltaica. Em 2015 a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) cadastrou 382 projetos de geração de energia solar fotovoltaica para o 1º Leilão de Energia de Reserva (LER), totalizando uma capacidade instalada de 12528 MWp, em sua maioria para a região Nordeste (EPE, 2016).

No final do ano 2017 entrou em operação uma das maiores usinas solar fotovoltaicas da América do Sul, no estado do Piauí, chamada Parque Solar Nova Olinda, composta por quase um milhão de painéis solares, ocupando uma área de 690 hectares, com capacidade para produzir anualmente 600 GWh de eletricidade e reduzir emissões de CO₂ na atmosfera (ENEL, 2017).

Para o estado da Paraíba, já foram licitados cinco parques solar fotovoltaicos, todos para o Sertão Paraibano, devido às condições naturais favoráveis. Os parques irão operar nas cidades de Aparecida, Malta e Coremas, com previsão de início de atividade para o segundo semestre de 2018. Destaca-se que o Complexo Solar Coremas foi subdividido em sete partes, com capacidade de geração de 30 MW cada, totalizando 210 MW de capacidade instalada. A fase I foi leiloada no 1º Leilão de Energia Solar do Brasil (em 2014) e as fases II e III nos 1º e 2º LER em 2015, sendo arrematados pelo grupo Rio Alto – Energia e Empreendimentos. Estima-se que as usinas I, II e III do Complexo Solar Coremas gerarão anualmente 207 MWh de eletricidade, elevando a participação da fonte solar fotovoltaica na matriz energética brasileira (CCEE, 2014; GRUPO RIO ALTO, 2016).

As tendências de aumento para a temperatura média do ar apreciadas, a partir da aplicação do teste de Mann-Kendall nos dados históricos, observados e estimados, para as

localidades paraibanas de Água Branca, Coremas, Patos, Princesa Isabel, São Gonçalo e Teixeira, não foram suficientes para alterar de forma significativa a geração elétrica por fonte solar fotovoltaica. Já a aplicação do teste de Mann-Kendall nos dados históricos de precipitação evidenciou tendências de aumento na quantidade de chuva por ano em quatro das cinco estações meteorológicas estudadas no artigo sobre precipitação (Água Branca, Aguiar, Coremas e Teixeira) (Capítulo 3 desta dissertação). Em estudos complementares realizados por Peixoto e Abrahão (2015), foram detectadas tendências de incremento no total anual de precipitação, enquanto que para o número de dias com chuva observou-se tendência de decréscimo para as localidades de Patos e São Gonçalo que pertencem também à mesorregião do Sertão Paraibano, caracterizando chuvas mais intensas e concentradas em uma menor quantidade de eventos ao longo do ano.

Além disso, constatou-se forte correlação entre a precipitação e a geração de eletricidade considerando-se os dados mais recentes (10 últimos anos), assim como entre a precipitação acumulada no ano de observação juntamente com os dois anos que antecedem a geração de eletricidade pela usina hidroelétrica em Coremas. Por conseguinte, as tendências de aumento na precipitação poderiam aumentar a produtividade na PCH. Entretanto, isso não foi observado, uma vez que nos últimos anos priorizou-se os múltiplos usos destinados a água do reservatório em detrimento do abastecimento energético.

As alterações climáticas observadas na mesorregião do Sertão Paraibano não afetaram efetivamente o potencial de geração de energia por fontes renováveis, especificamente a solar e hidráulica. Entretanto, diante da notável diversificação da matriz energética, tanto a mundial quanto a brasileira, implementando outras fontes renováveis de geração de energia, o presente trabalho traz informações que podem ser aplicadas no desenvolvimento de medidas ambientais e de manejo de recursos naturais, principalmente solar e hídrico, nesta região semiárida, para um melhor aproveitamento do seu potencial energético.

Em função da importância social, econômica e ambiental relacionada à produção de energia, essa pesquisa também aponta para a necessidade de novos estudos sobre mudanças climáticas e sua influência sobre o potencial de geração de energia por fontes renováveis.

O semiárido brasileiro é uma das regiões semiáridas mais habitadas do mundo, com uma população superior a 26 milhões de pessoas, que corresponde a 15,5% da população brasileira, que estão vulneráveis às intempéries climáticas e à degradação ambiental, que

incidem sobre os recursos naturais da região (SANTOS, 2016). Como o seu desenvolvimento socioeconômico está intrinsecamente interligado com a implementação de tecnologias apropriadas de adaptação e convivência com o semiárido, além da sua forte participação na matriz energética, e devido a constatação da ausência de estudos conclusivos que possam correlacionar o potencial energético às condições climáticas observadas ao longo dos anos para essa região, sugere-se a expansão deste trabalho para toda a região semiárida brasileira.

Por fim, é necessário compor uma profunda alteração comportamental e de valores culturais para que haja equilíbrio entre os avanços industriais e de consumo e a utilização não predatória dos recursos naturais, construindo políticas e ferramentas que visem a sustentabilidade, combinando ações de adaptação e mitigação para o desenvolvimento da resiliência aos efeitos do clima, reduzindo a pressão sobre o meio ambiente e a potencialidade das mudanças climáticas, seus efeitos e sua intensidade, com foco na geração de energia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS DE TODA A DISSERTAÇÃO

ABRAHÃO, R. Compreensão de mudanças climáticas regionais através da aplicação de três métodos estatísticos. In: V Congresso Brasileiro de Energia Solar, 2014.

ABRAHÃO, R. Group Comparison, Trends and Cluster Analysis to Understand Historical Precipitation. In: GLOBAL CONFERENCE ON GLOBAL WARMING, 2015, Athens. GCGW-15 Proceedings, 2015.

ABRAHÃO, R.; SILVA, L. P.; PEIXOTO, I. M. B. M. Interpretación de tendencias climáticas hacia un mejor aprovechamiento energético renovable en el semiárido de Brasil. In: Cuba Industria, 2016, Cuba. Anales del X Reclien 2, 2016.

ABRAHÃO, R.; PEIXOTO, I. M. B. M.; CARVALHO, M. Solar or wind energy for the Brazilian semiarid? - Climatic characterization and future trends. In: International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems, 30, 2017. Annals PROCEEDINGS OF ECOS, SAN DIEGO, CALIFÓRNIA, USA, 2017

ABRAHÃO, R.; PEIXOTO, I. M. B. M.; SILVA, L. P.; MEDEIROS, S. E. L. Mais calor para o Sertão? Perspectivas de tendências no índice de calor do Sertão Paraibano. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, v. 20, Petrolina, 2017.

AESA - Agência Executiva de Gestão das Águas do estado da Paraíba. Plano Estadual de Recursos Hídricos – Relatório final. João Pessoa, 2009a. Disponível em: <<http://www.aesa.pb.gov.br/perh/>>. Acesso em: 25 nov. 2016.

AESA - Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. Mapa das mesorregiões do estado da Paraíba. João Pessoa, 2009b. Disponível em: <<http://www.aesa.pb.gov.br/perh/>>. Acesso em: 25 nov. 2016.

AGUIAR, R. J.; COLLARES-PEREIRA, M.; CONDE, J. P. A simple procedure for generating sequences of daily radiation values using a library of markov transition matrices. **Solar Energy**, v. 40, n. 3, p. 269-279, 1988.

AGUIAR, R.; COLLARES-PEREIRA, M. T. A. G. TAG: a time-dependent, autoregressive, Gaussian model for generating synthetic hourly radiation. **Solar energy**, v. 49, n. 3, p. 167-174, 1992.

AL-WAELI, A. H.; SOPIAN, K.; KAZEM, H. A.; CHAICHAN, M. T. Photovoltaic Solar Thermal (PV/T) Collectors Past, Present and Future: A. **International Journal of Applied Engineering Research**, v. 11, n. 22, p. 10757-10765, 2016.

AMBRIZZI, T.; ROCHA, R. P.; MARENGO, J. A.; PISNITCHENCO, I.; NUNES, L. A.; FERNANDEZ, J. P. **Cenários regionalizados de clima no Brasil e América do Sul para o Século XXI: projeções de clima futuro usando três modelos regionais**. São Paulo, 2007.

ANA - Agência Nacional das Águas. Caderno de Recursos Hídricos. Disponibilidade e demanda de recursos hídricos no Brasil. 2005. Disponível em: <<http://www2.ana.gov.br/Paginas/servicos/planejamento/estudos/cadernoderecursos.aspx>>. Acesso em: 25

nov. 2016.

ATLAS SOLARIMÉTRICO DO BRASIL. Banco de dados solarimétricos/coordenador Chigueru Tiba *et al.*, Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2000.

AXITEC, AXI power. 60 cell/polycrystalline. 2016. Disponível em: <<http://www.axitecsolar.com/pt/modulos-solares.html>> Acesso em 28 nov. 2017.

BACK, J. A. Aplicação de análise estatística para a identificação de tendências climáticas. **Pesq. Agropec. Bras.**, v. 36, n. 5, p. 717-726, 2001.

BARNETT, T.; MALONE, R.; PENNELL, W.; STAMMER, D.; SEMTNER, B.; WASHINGTON, W. The effects of climate change on water resources in the west: introduction and overview. **Climatic Change**, v. 62, n. 1, p. 1-11, 2004.

BARRY, R.G.; CHORLEY, R. J. **Atmosphere, weather and climate**. Londres e Nova Iorque: Routledge. 2009.

BAZILIAN, M. D.; LEENDERS, F.; VAN DER REE, B. G. C.; PRASAD, D. Photovoltaic Cogeneration in the Built Environment. **Solar Energy**, v. 71, n. 1, p. 57-69, 2001.

BECKER, C. T.; MELO, M. M. M. S; COSTA, M. N. M.; RIBEIRO, R. E. P. Caracterização Climática das Regiões Pluviometricamente Homogêneas do estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 01, p. 286- 299, 2011.

BELDRING, S.; ANDRÉASSON, J.; BERGSTRÖM, S.; JÓNSDÓTTIR, J. F.; ROGOZOVA, S.; ROSBERG, J.; VEIJALAINEN, N. Hydrological climate change maps of the Nordic region. In: **European Conference on Impacts of Climate Change on Renewable Energy Sources**. Iceland, 2006.

BENITO, Y. Energy and Climate Change. Capacity Building Programmed on Renewable Energy. Observatory for Renewable Energy in Latin America and the Caribbean. 2013. Disponível em: <<http://www.renenergyobservatory.org/en/capacity-building-programme.html>>. Acesso em: 15 jul. 2016.

BLAIN, G. C. Considerações estatísticas relativas à oito séries de precipitação pluvial da Secretaria de Agricultura e Abastecimento do estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 24, n. 1, p. 12-23, 2009.

BLAIN, G. C. Séries anuais de temperatura máxima média do ar no estado de São Paulo: variações e tendências climáticas. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 25, n. 1, p. 114-124, 2010a.

BLAIN, G. C. Tendências e variações climáticas em séries anuais de precipitação pluvial do estado de São Paulo. **Bragantia**, v. 69, n. 3, p. 765-770, 2010b.

BLAIN, G. C. Monthly values of the standardized precipitation index in the State of São Paulo, Brazil: trends and spectral features under the normality assumption. **Bragantia**, v. 71, n. 1, p. 122-131, 2012.

CAVALCANTI, E. P.; SILVA, V. de P. R.; SOUSA, F. de A. S. Programa computacional para a estimativa da temperatura do ar para a região Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira**

de **Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 1, p. 140-147, 2006.

CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; DIAS, M. A. F. S.; SILVA, M. G. A. J. S. **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de textos, 2009.

CCEE – Câmara de Comercialização de Energia Elétrica. 6º Leilão de energia de reserva. 2014. Disponível em: <<https://www.ccee.org.br>>. Acesso em: 13 out. 2016.

CHESF – Companhia Hidroelétrica do São Francisco. Curemas. 2016. Disponível em: <<https://www.chesf.gov.br/SistemaChesf/Pages/SistemaGeracao/Curemas.aspx>>. Acesso em: 12 jul. 2016

CHIANG, J. L.; YANG, H. C.; CHEN, Y. R.; LEE, M. H. Potential impact of climate change on hydropower generation in Southern Taiwan. **Energy Procedia**, v. 40, p. 34-37, 2013.

CONTI, J. B. A questão climática do nordeste brasileiro e os Processos de desertificação. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 1, p. 7-14, 2005.

CORDER, G. W.; FOREMAN, D. I. **Nonparametric statistics: A step-by-step approach**. John Wiley & Sons, 2014.

COSTA, A. C.; SOARES, A. Local spatiotemporal dynamics of a simple aridity index a region susceptible to desertification. **Journal of Arid Environments**, v. 87, p. 8-18, 2012.

COSTA, M. S.; LIMA, K. C.; ANDRADE, M. M.; GONÇALVES, W. A. Tendências observadas em extremos de precipitação sobre a região Semiárida do Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 08, n. 5, p. 1321-1334, 2015.

CRESESB – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito/CEPEL - Centro de Pesquisas de Energia Elétrica. Potencial solar. 2014. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata>>. Acesso em 12 set 2017.

CROOK, J. A.; JONES, L. A.; FORSTER, P. M.; CROOK, R. Climate change impacts on future photovoltaic and concentrated solar power energy output. **Energy and Environmental Science**, v. 4, n. 9, p. 3101-3109, 2011.

DELGADO, D. B. M.; CARVALHO, M. Potencial da energia solar fotovoltaica em geração distribuída para manutenção da pegada de carbono do mix elétrico brasileiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL E SUSTENTABILIDADE, João Pessoa, 2016.

EAKIN, H.C.; LEMOS, M. C.; NELSON, D. R. Differentiating capacities as a means to sustainable climate change adaptation. **Global Environmental Change**, v. 27, p. 1-8, 2014.

EBINGER, J.; VERGARA, W. **Climate impacts on energy systems - key issues for energy sector adaptation**. Washington: The World Bank, 2010.

EL KENAWY, A.; LÓPEZ-MORENO, J. I.; VICENTE-SERRANO, S. M. Trend and variability of surface air temperature in northeastern Spain (1920–2006): linkage to atmospheric circulation. **Atmospheric Research**, v. 106, p. 159-180, 2012.

ENEL – Ente nazionale per l'energia elétrica. Disponível em: < <https://www.enel.com.br>> acesso em: 20 dez 2017.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. Análise da Inserção da Geração Solar na Matriz Elétrica Brasileira. Ministério de Minas e Energia. Rio de Janeiro, 2012.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2014 – ano base 2013. 2014. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/AnuarioEstatisticodeEnergiaEletrica/20130909_1.pdf>. Acesso em: 12 ago. 2016.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2015 – ano base 2014. 2015. Disponível em: < <http://www.epe.gov.br/AnuarioEstatisticodeEnergiaEletrica/Anu%C3%A1rio%20Estat%C3%ADstico%20de%20Energia%20EI%C3%A9trica%202015.pdf>>. Acesso em: 12 ago. 2017.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. Balanço Energético Nacional 2016: Ano base 2015. Ministério de Minas e Energia. Rio de Janeiro, 2016.

FECHINE, J. A. L.; GALVÍNCIO, J. D. Aplicação do teste de Mann-Kendall na análise de tendências climáticas - bacia hidrográfica do rio Brigida - estado de Pernambuco. In: SEABRA, G. F.; SILVA, J. A. N.; MENDONÇA, I. T. L. (Organizadores). **A conferência da Terra: aquecimento global, sociedade e biodiversidade**. João Pessoa-PB: Editora Universitária da UFPB, 2010.

FIELLER, E. C.; HARTLEY, H. O.; PEARSON, E. S. Tests for rank correlation coefficients I. **Biometrika**, v. 44, n. 3/4, p. 470-481, 1957.

FOLHES, M. T.; FISCH, G. Caracterização climática e estudo de tendências nas séries temporais de temperatura do ar e precipitação em Taubaté (SP). **Revista Ambiente e Água – An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 1, n. 1, 2006.

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

FU, G.; YU, J.; YU, X.; OUYANG, R.; ZHANG, Y.; WANG, P.; LIU, W.; MIN, L. Temporal variation of extreme rainfall events in China, 1961–2009. **Journal of Hydrology**, v. 487, p. 48-59, 2013.

GARCÍA-GARIZÁBAL, I.; ESPINOZA, C. C. FuCHSIA: Future Climate and Hydrological Scenarios for Environmental Management and Assessment, Statistical Climate Change Program, Guayaquil, 2016.

GARCÍA-GARIZÁBAL, I.; ROMERO, P.; JIMENEZ, S.; JORDÁ, L. Evolución climática en la costa de Ecuador por efecto del cambio climático. **DYNA**, v. 84, n. 203, p. 37-44, 2017.

GAUDARD, L.; GILLI, M.; ROMERIO, F. Climate change impacts on hydropower management. **Water resources management**, v. 27, n. 15, p. 5143-5156, 2013.

GAUDARD, L.; ROMERIO, F. Reprint of “The future of hydropower in Europe: Interconnecting climate, markets and policies”. **Environmental Science & Policy**, v. 43,

p. 5-14, 2014.

GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. **Energia, Meio Ambiente e Desenvolvimento**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2011.

GOMES FILHO, M. F.; SOUZA, E. P. de; BECKER, C. T. Sistemas convectivos de mesoescala com precipitação intensa na Paraíba: um estudo de caso. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 11, n. 1/2, p. 36-43, 1996.

GOOSSENS, C.; BERGER, A. Annual and seasonal climatic variations over the northern hemisphere and Europe during the last century. In *Annales geophysicae. Series B. Terrestrial and planetary physics*, v. 4, n. 4, p. 385-399, 1986.

GROISMAN, P. Y.; EASTERLING, D. R. Variability and trends of total precipitation and snowfall over the United States and Canada. **Journal of Climate**, v. 7, n. 1, p. 184-205, 1994.

GRUPO RIO ALTO – Rio Alto Energia, Rio Alto Energia Infraestrutura e Mais: Asset Management. Informações sobre projetos. 2016. Disponível em: <<http://www.gruporioalto.com.br/>>. Acesso em: 23 mai. 2016.

GUNDERSON, I.; GOYETTE, S.; GAGO-SILVA, A.; QUIQUEREZ, L.; LEHMANN, A. Climate and land-use change impacts on potential solar photovoltaic power generation in the Black Sea region. **Environmental Science & Policy**, v. 46, p. 70-81, 2015.

HAMUDUDU, B.; KILLINGTVEIT, A. Assessing climate change impacts on global hydropower. **Energies**, v. 5, n. 2, p. 305-322, 2012.

HAUKE, J.; KOSSOWSKI, T. Comparison of values of Pearson's and Spearman's correlation coefficients on the same sets of data. **Quaestiones geographicae**, v. 30, n. 2, p. 87-93, 2011.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Atlas geográfico brasileiro. 2002. Disponível em: <http://atlasescolar.ibge.gov.br/images/atlas/mapas_brasil/brasil_clima.pdf>. Acesso em: 04 ago. 2016.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Resultados do Universo do Censo Demográfico. 2010. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/caracteristicas_da_populacao/caracteristicas_da_populacao_tab_municipios_zip.xls.shtm> Acesso em: 30 de mai. 2016.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Mapas temáticos – clima. 2016. Disponível em: <<https://mapas.ibge.gov.br/tematicos>> Acesso em: 30 de jun. 2016.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. **Banco de dados meteorológicos para o ensino e pesquisa**. 2017. Disponível em: <www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>. Acesso em: 01 jul. 2017.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate change 2007: Climate change impacts, adaptation and vulnerability, IPCC Working Group II, 4th Assessment Report. Summary for Policymakers. Houghton, 2007.

IPCC – Intergovernmental Panel in Climate Change. Climate Change 2013: The Physical

Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Edited by T. F. Stocker *et al.* Cambridge/New York, Cambridge University Press, 2013.

IPCC – Intergovernmental Panel in Climate Change. Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Edited by C. B. Field *et al.* Cambridge/New York, Cambridge University Press/IPCC, 2014.

JONES, P. D.; NEW, M.; PARKER, D. E.; MARTIN, S.; RIGOR, I. G. Surface air temperature and its changes over the past 150 years. **Reviews of Geophysics**, v. 37, n. 2, p. 173-199, 1999.

KARL, T. R.; KNIGHT, R. W. Secular trends of precipitation amount, frequency, and intensity in the United States. **Bulletin of the American Meteorological society**, v. 79, n. 2, p. 231-241, 1998.

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

KOPYTKOVSKIY, M.; GEZA, M.; MCCRAY, J. E. Climate-change impacts on water resources and hydropower potential in the Upper Colorado River Basin. **Journal of Hydrology: Regional Studies**, v. 3, p. 473-493, 2015.

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

KOUSKY, V. E.; GAN, M. A. Upper tropospheric cyclonic vortices in the tropical South Atlantic. **Tellus**, v. 33, n. 6, p. 538-551, 1981.

LASKAR, S. I.; KOTAL, S. D.; BHOWMIK, S. Analysis of rainfall and temperature trends of selected stations over North East India during last century. **Mausam**, v. 65, n. 4, p. 497-508, 2014.

LI, B.; CHEN, Y.; SHI, X.; CHEN, Z.; LI, W. Temperature and precipitation changes in different environments in the arid region of northwest China. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 112, p. 589-596, 2013.

LIMA, R. A. F. A.; MENEZES, H. E. A.; BRITO, J. I. B. Diagnóstico de tendência de mudanças na temperatura do ar no nordeste setentrional. **Revista Caatinga**, v. 23, n. 2, 2010.

LUCENA, A. F. P.; SZKLO, A. S.; SCHAEFFER, R.; SOUZA, R. R.; BORBA, B. S. M. C.; COSTA, I. V. L.; AMARO JÚNIOR, O. P.; CUNHA, S. H. F. The vulnerability of renewable energy to climate change in Brazil. **Energy Policy**, v. 37, p. 879–889, 2009.

ŁUPIKASZA, E. B. Seasonal patterns and consistency of extreme precipitation trends in Europe, December 1950 to February 2008. **Climate Research**, v. 72, n. 3, p. 217-237, 2017.

LYRA, G. B.; OLIVEIRA-JÚNIOR, J. F.; ZERI, M. Cluster analysis applied to the spatial and temporal variability of monthly rainfall in Alagoas state, Northeast of Brazil. **International Journal of Climatology**, v. 34, n. 13, p. 3546-3558, 2014.

MANN, H. B. Nonparametric tests against trend. *Econometric*. **The econometric society**, v. 13, p. 245-259, 1945.

MARENGO, J. A. Mudanças climáticas globais e regionais: Avaliação do clima atual do Brasil e projeções de cenários climáticos do futuro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 16, p. 1–18, 2001.

MARENGO, J. A. Condições climáticas e recursos hídricos no Norte Brasileiro. *Clima e Recursos Hídricos no Brasil*, Associação Brasileira de Recursos Hídricos FBMC/ANA, 2003.

MARENGO, J. A. Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI. Brasília: MMA, 2007.

MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A.; SALATI, E.; AMBRIZZI, T. Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI. MMA, SBF, DCBio, Brasília, 2007a.

MARENGO, J. A.; ALVES, L.; VALVERDE, M.; ROCHA, R.; LABORBE, R. Eventos extremos em cenários regionalizados de clima no Brasil e América do Sul para o Século XXI: Projeções de clima futuro usando três modelos regionais. *Relatório*, 5, p. 495-516, 2007b.

MARENGO, J. A.; CAMARGO, C. C. Surface air temperature trends in Southern Brazil for 1960–2002. **International Journal of climatology**, v. 28, n. 7, p. 893-904, 2008.

MARENGO, J. A.; RUSTICUCCI, M.; PENALBA, O.; RENOM, M. An intercomparison of observed and simulated extreme rainfall and temperature events during the last half of the twentieth century: part 2: historical trends. **Climatic Change**, v. 98, n. 3-4, p. 509-529, 2010.

MARENGO, J. A.; CUNHA, A. P.; ALVES, L. M. A seca de 2012-15 no semiárido do Nordeste do Brasil no contexto histórico. INPE, 2016.

MEDEIROS, S. E. L. S.; ABRAHÃO, R.; GARCÍA-GARIZÁBAL, I.; PEIXOTO, I. M. B. M.; SILVA, L. P. Análisis de tendencia de las precipitaciones en el interior del estado de Paraíba (Brasil). In: *International Symposium on Environmental Biotechnology and Engineering*, 5, 2016, Buenos Aires, Argentina. *Anales...* Buenos Aires, Argentina, UNSAM, 2016.

MEDEIROS, S. E. L. S.; SILVA, W. K. M.; SILVA, L. P.; PEIXOTO, I. M. B. M.; ABRAHÃO, R. Análise da variabilidade e tendências para a temperatura média do ar no Sertão Paraibano com dados reais e estimados. In: *Congresso Internacional da diversidade do Semiárido*, 2, 2017, Campina Grande. *Anais...* Campina Grande, UFCG, 2017.

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

MINUZZI, R.B.; SEDIYAMA, G. C.; BARBOSA, E. D. M.; MELO JÚNIOR, J. C. F. D. Climatologia do comportamento do período chuvoso da região sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 22, n. 3, p. 338-344, 2007.

MODARRES, R.; SILVA, V. D. P. R. Rainfall trends in arid and semi-arid regions of Iran. **Journal of Arid Environments**, v. 70, n. 2, p. 344-355, 2007.

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

MORAES, J. M. ; PELLEGRINO, G. Q.; BALLESTER, M. V.; MARTINELLI, L. A.; VICTORIA, R. L.; KRUSCHE, A. V. Trends in hydrological parameters of a southern Brazilian watershed and its relation to human induced changes. **Water Resources Management**, v. 12, n. 4, p. 295-311, 1998.

MOSCATI, M. C. L.; GAN, M. A. Rainfall variability in the rainy season of semiarid zone of Northeast Brazil (NEB) and its relation to wind regime. **International Journal of Climatology**, v. 27, n. 4, p. 493-512, 2007.

NAE - Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República. Mudança de clima, v. 1: Negociações internacionais sobre a mudança de clima: vulnerabilidade, impactos e adaptação à mudança de clima. Cadernos NAE-SECOM. Brasília, 2005a.

NAE - Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República. Mudança de clima, v. 2: Mercado de carbono. Cadernos NAE-SECOM. Brasília, 2005b.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 1979.

NOAA - National Oceanic & Atmospheric Administration. 2016. Disponível em: <<http://www.noaa.gov/climate>>. Acesso em: 28 dez. 2016.

NOBRE, C.; LAPOLA, D.; SAMPAIO, G.; SALAZAR, L. F.; CARDOSO, M.; OYAMA, M. Mudanças Climáticas Globais e Possíveis Alterações nos Biomas da América do Sul. Relatório n.º 6. Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do Século XXI. MMA, SBF, DCBio, Brasília, 2007.

NOBRE, C. A.; OBREGÓN, G. O.; MARENGO, J. A.; FU, R.; POVEDA, G. Characteristics of Amazonian climate: main features. **Amazonia and Global Change**, p. 149-162, 2009.

NOBRE, P. Mudanças climáticas e desertificação: os desafios para o Estado Brasileiro. In: LIMA, R. C. C.; CAVALCANTE, A. M. B.; PEREZ-MARIN, A. M. (Ed) Desertificação e mudanças climáticas no semiárido brasileiro. Campina Grande: INSA-PB, p. 25-36, 2011.

NOGUEIRA, G. M. F., GIRARD, O. R. S.; PAVAN, R. C.; SOARES, L. C. R. Eixos integrados de desenvolvimento da Paraíba: Uma visão estratégica para o estado. SEPLAG: João Pessoa, 2014.

NOLAY, P. Développement d'une méthode générale d'analyse des systèmes photovoltaïques [tese de doutorado]. Douai, France: École nationale supérieure des mines de Douai; 1987.

NOTTON, G.; CRISTOFARI, C.; MATTEI, M.; POGGI, P. Modelling of a double-glass photovoltaic module using finite differences. **Applied Thermal Engineering**, v. 25, n. 17, p. 2854-2877, 2005.

OBREGON, G. O.; MARENGO, J. A. Caracterização do clima no século XX no Brasil:

tendência de chuvas e temperaturas médias e extremas. Relatório nº 2 – Projeto: Mudanças Climáticas Globais e Efeitos sobre a Biodiversidade – subprojeto: Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XX, 2007.

OLIVEIRA, P. T.; LIMA, K. C. Linear trend of occurrence and intensity of heavy rainfall events on Northeast Brazil. **Atmospheric Science Letters**, v. 15, n. 3, p. 172-177, 2014.

PANAGEA, I. S.; TSANIS, I. K.; KOUTROULIS, A. G.; GRILLAKIS, M. G. Climate change impact on photovoltaic energy output: the case of Greece. **Advances in Meteorology**, 2014.

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 e M. Araujo. Rio de Janeiro, 2014.

PEDROZA, I. C. B. Estimativa da Climatologia Diária da Precipitação e Investigação de Possíveis Influências das Fases da Lua nas Chuvas no estado da Paraíba. Dissertação, Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), 2009.

PEIXOTO, I. M. B. M.; ABRAHÃO, R. Mudanças climáticas e seus impactos no Nordeste brasileiro, Relatório Final PIBIC, 2015.

PETTITT, A. N. A non-parametric approach to the changepoint problem. **Applied Statistics**, v. 28, n. 2, p. 126-135, 1979.

PIMENTA, M. T.; SANTOS, M. J.; RODRIGUES, R. A susceptibilidade à desertificação. **Revista Florestal**, v. 11, n. 1, p. 27-33, 1998.

PINHEIRO, A.; GRACIANO, R. L. G.; SEVERO, D. L. Análise de tendência das séries temporais de precipitação da região sul do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 28, n. 3, p. 281-290, 2013.

PORTAL SOLAR. Tipos de Painel Solar Fotovoltaico. 2016. Disponível em <<http://www.portalsolar.com.br/tipos-de-painel-solar-fotovoltaico.html>>. Acesso em 18 nov. 2017.

RAMOS, R. P. L. Precipitation characteristics in the Northeast Brazil dry region. **Journal of Geophysical Research**, v. 80, n. 12, p. 1665-1678, 1975.

REBOITA, M. S.; GAN, M. A.; DA ROCHA, R. P.; AMBRIZZI, T. Regimes de Precipitação na América do Sul: Uma Revisão Bibliográfica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 25, n. 2, p. 185-204, 2010.

REN21 – Renewable Energy Policy Network for the 21st Century. Relatório da situação mundial – resultados principais. National Technical University of Athens (NTUA) - Pres. Arthouros Zervos, 2016.

RIBEIRO, E. P.; MOREIRA, E. B. M.; SOARES, D. B.; BILAR, A. B. C.; DE LIMA, M. S. Climate change and desertification in the semiarid region of northeastern Brazil| Alterações climáticas e desertificação no semiárido do Nordeste do Brasil. **Revista**

Geama, v. 5, n. 1, p. 17-29, 2016.

RICHTER, B. **Além da fumaça e dos espelhos: mudança climática e energia no século XXI**. Trad. Luiz Claudio de Queiroz Faria. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

ROTHSTEIN, B.; SCHROEDTER-HOMSCHEIDT, M.; HÄFNER, C.; BERNHARDT, S.; MIMLER, S. Impacts of climate change on the electricity sector and possible adaptation measures. **Economics and Management of Climate Change**, p. 231-241, 2008.

SALES, M. C. L.; RAMOS, V. M. Caracterização ambiental das áreas sob influência do reservatório de Bocaina (PI) com base na compartimentação geomorfológica. In: **Carta CEPRO**, v.18, n.1, p.149-161, Teresina, 2000.

SALMI, T. A. M.; ANTTILA, P.; RUOHO-AIROLA, T.; AMNELL, T. Detecting trends of annual values of atmospheric pollutants by the Mann-Kendall test and Den's slope estimates-the Excel template application makesens. **Air Qual. Res**, p. 7-35, 2002.

SALVIANO, M. F.; GROppo, J. D.; PELLEGRINO, G. Q. Trends Analysis of Precipitation and Temperature Data in Brazil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 31, n. 1, p. 64-73, 2016.

SANTOS, D. N.; SILVA, V. P. R.; SOUSA, F. A. S.; SILVA, R. A. Estudo de alguns cenários climáticos para o Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 5, p. 492-500, 2010.

SANTOS, C. D.; DANTAS, L. G.; MELO, M. M. M. S.; SANTOS, E. D. Trends in Indices for extremes in daily precipitation over Idaho-USA. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 4, p. 852-862, 2012.

SANTOS, E.B.; LUCIO, P. S. Precipitation regionalization of the Brazilian Amazon. **Atmospheric Science Letters**, v. 16, n. 3, p. 185-192, 2015.

SANTOS, C. A. C. **Recursos naturais do semiárido: estudos aplicados**. Org. Santos, C. A. C., Silva, M. T., Silva, V. M. A. Campina Grande. Editora EDUFCEG, 2016.

SCHAEFFER, R.; SZKLO, A. S., DE LUCENA, A. F. P.; BORBA, B. S. M. C.; NOGUEIRA, L. P. P.; FLEMING, F. P.; TROCCOLI, A.; HARRISON, M.; BOULAHYA, M. S. Energy sector vulnerability to climate change: a review. **Energy**, v. 38, n. 1, p.1-12, 2012.

SELUCHI, M. E. Geadas e Friagens. In: CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; DIAS, M. A. F. S.; SILVA, M. G. A. J. S. **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de textos, 2009.

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.

SILVA, V. P. R.; CORREIA, A. A.; COELHO, M. S. Análise de tendência das séries de precipitação pluvial do Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.2, n.1, p.111-114, 1998

SILVA, V. D. P. R. On climate variability in Northeast of Brazil. **Journal of Arid**

Environments, v. 58, n. 4, p. 575-596, 2004.

SILVA, L. A. A influência do vórtice ciclônico de altos níveis (VCAN) sobre a precipitação do nordeste do Brasil (NEB) e as características associadas. Dissertação, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2005.

SILVA, V. de P. R. da; CAVALCANTI, E. P.; BRAGA, C. C.; AZEVEDO, P. V. Evaluating trends in solar radiation based on data fields from the NCEP/NACR reanalysis and measurements, 7th EMS Annual Meeting/8th ECAM. El Escorial, 2007, Madrid Anais. Madrid: European Meteorological Society, 2007.

SIMS, R. E. H. Renewable energy: a response to climate change. **Solar energy**, v. 76, n. 1, p. 09-17, 2004.

SNEYERS, R. On the use of Statistical Analysis for the Objective Determination of Climatic Change. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 1, p. 247-256, 1992.

SOARES, D. B.; LEE, H.; LOIKITH, P. C.; BARKHORDARIAN, A.; MECHOSO, C. R. “Can significant trends be detected in surface air temperature and precipitation over South America in recent decades?”. **International Journal of Climatology**, v. 37, n. 3, p. 1483-1493, 2017.

SOLAUN, K.; CERDÁ, E. The Impact of Climate Change on the Generation of Hydroelectric Power – A case study in Southern Spain. **Energies**, v. 10, n. 9, p. 1343-1362, 2017.

SOUSA, E. P.; SILVA, V. D. P. R.; CAMPOS, J. H. B. C.; OLIVEIRA, S. D. A teoria da entropia na análise da precipitação no estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 5, n. 2, p. 386-399, 2012.

SPEARMAN, C. The proof and measurement of association between two things. **The American journal of psychology**, v. 15, n. 1, p. 72-101, 1904.

STORCH, H.; ZWIERS, F. W. **Statistical analysis in climate research**. Cambridge: Cambridge University Press, 2002.

TEODORO, P. E.; OLIVEIRA-JÚNIOR, J. F.; CUNHA, E. R.; CORREA, C. C. G.; TORRES, F. E.; BACANI, V. M.; GOIS, G.; RIBEIRO, L. P. Cluster analysis applied to the spatial and temporal variability of monthly rainfall in Mato Grosso do Sul State, Brazil. **Meteorology and Atmospheric Physics**, v. 128, n. 2, p. 197-209, 2016.

TIEZZI, R. O.; VIEIRA, N. D. B.; SIMOES, A. F.; FONSECA FILHO, H.; VIANA, E.; MOUETTE, D.; DOMINGUES, M. S. Impacts of Climate Change on Hydroelectric Power Generation—A Case Study Focused in the Paranapanema Basin, Brazil. **Journal of Sustainable Development**, v. 11, n. 1, p. 140-149, 2018.

VAN RHEENEN, N. T.; PALMER, R. N.; HAHN, M. A. Evaluating potential climate change impacts on water resource systems operations: Case studies of Portland, Oregon and Central Valley, California. **Water Resources Update**, v. 124, p. 35-50, 2003.

VAREJÃO-SILVA, M. A. **Meteorologia e Climatologia**. Brasília: INMET, p. 463, 2006.

VINEY, N. R.; BATES, B. C. It never rains on Sunday: The prevalence and implications

of untagged multi-day rainfall accumulations in the Australian high quality data set. **International Journal of Climatology**, v. 24, n. 9, p. 1171-1192, 2004.

YUE, P. S.; YANG, T. C.; WU, C. K. Impact of climate change on water resources in southern Taiwan. **Journal of Hydrology**, v. 260, p. 161-175, 2002.

YUE, S.; PILON, P.; CAVADIAS, G. Power of the Mann–Kendall and Spearman's rho tests for detecting monotonic trends in hydrological series. **Journal of hydrology**, v. 259, n. 1, p. 254-271, 2002.

YUE, S.; PILON, P.; PHINNEY, B.; CAVADIAS, G. The influence of autocorrelation on the ability to detect trend in hydrological series. **Hydrological Processes**, v. 16, n. 9, p. 1807-1829, 2002.

YUE, S.; WANG, C.Y. Applicability of prewhitening to eliminate the influence of serial correlation on the Mann-Kendall test. **Water Resources Research**, v. 38, n. 6, 2002.

ZHANG, X.; YANG, F. RClmDex (1.0) User Guide. **Climate Research Branch Environment Canada**, Downsview, Ontario, Canada. 22p, 2004.

ANEXO I

Informações adicionais sobre os dados utilizados nesse trabalho

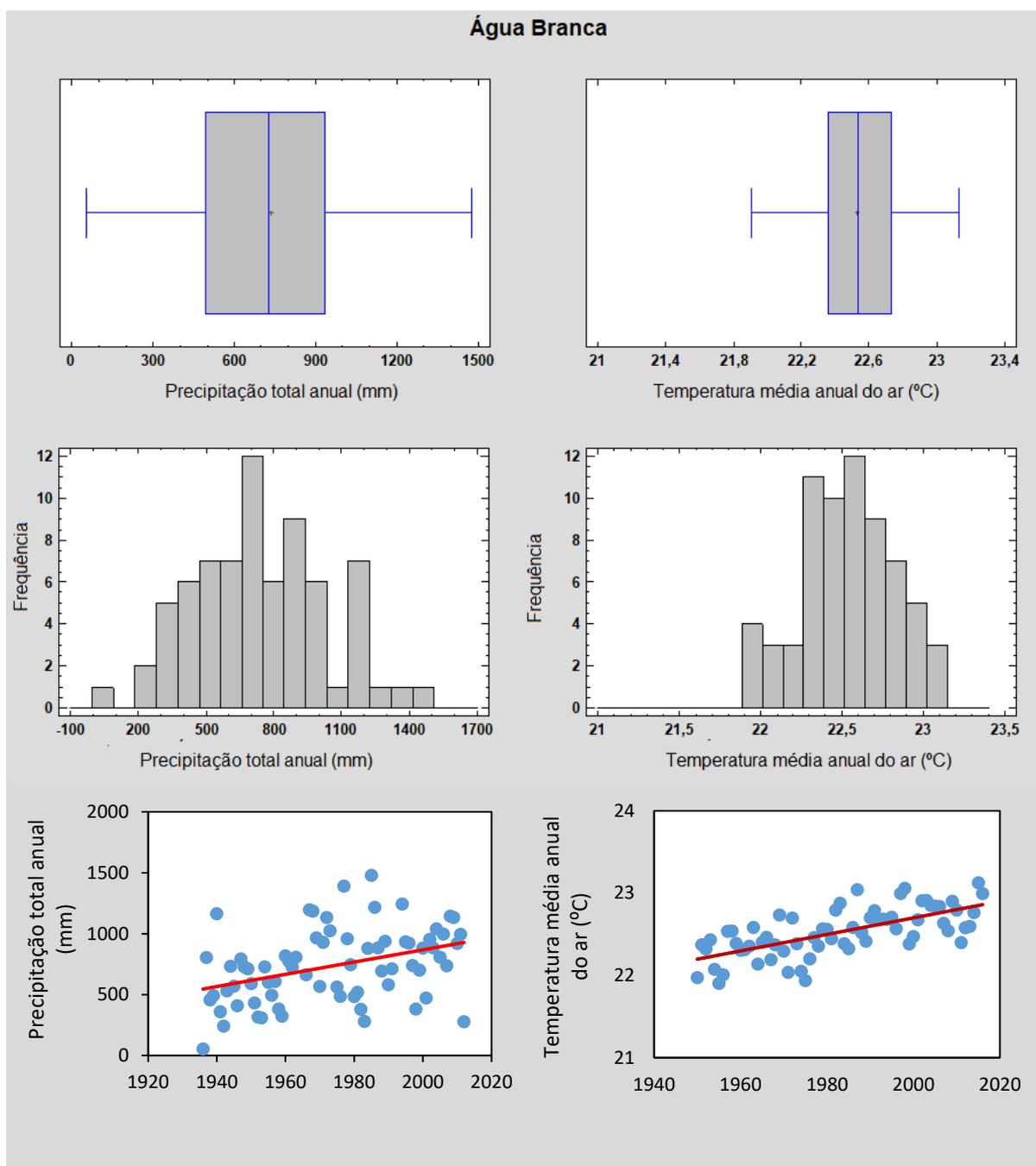


Figura 1 – Gráficos box-plot, de dispersão e histogramas para a precipitação total anual (em mm) no período de 1936 a 2012 e para a temperatura média anual do ar estimada (em °C), de 1950 a 2016, para a localidade de Água Branca.

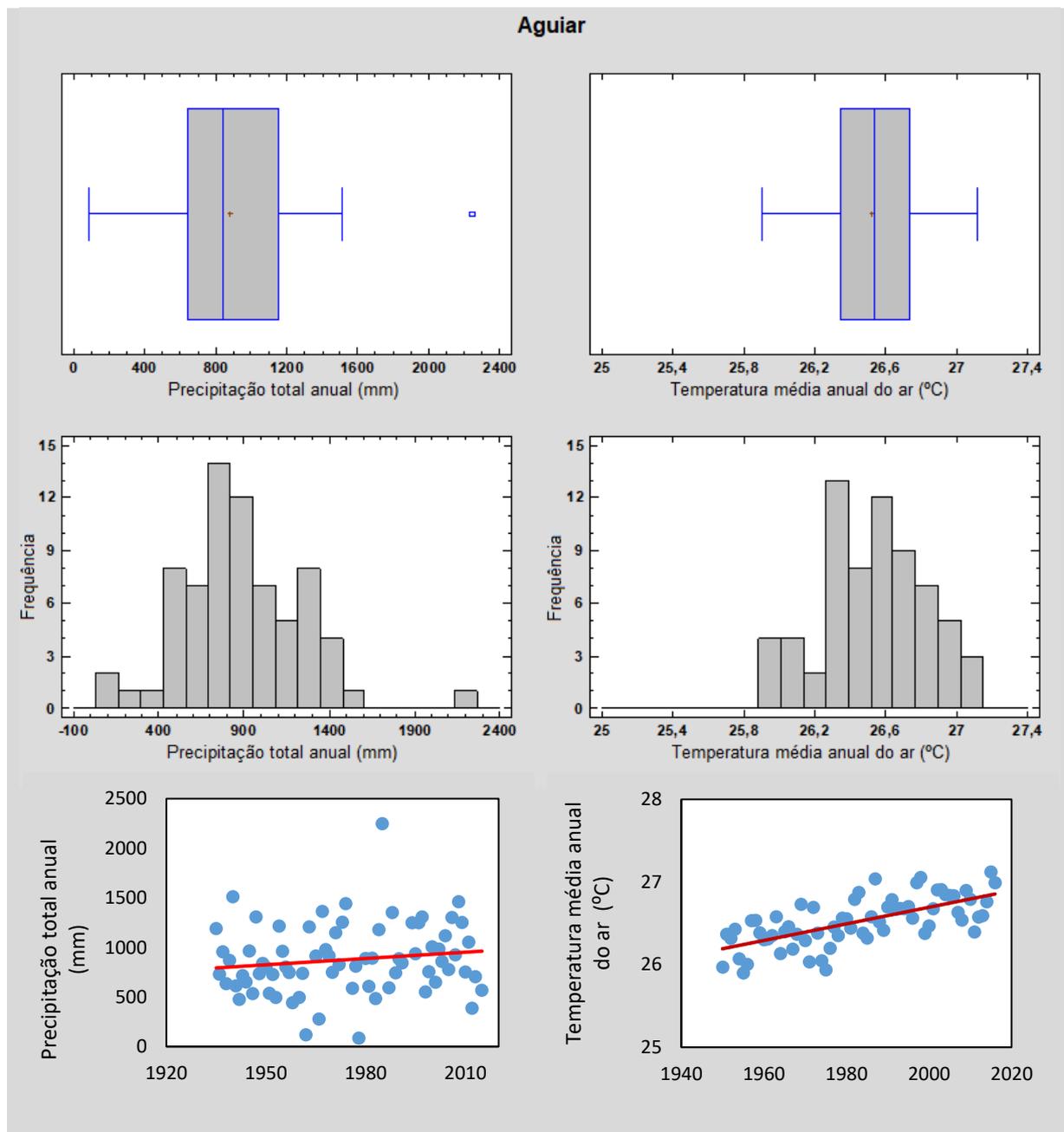


Figura 2 – Gráficos box-plot, de dispersão e histogramas para precipitação total anual (mm), com dados de 1935 a 2012, e temperatura média do ar estimada (°C), com dados de 1950 a 2016, para o município de Aguiar.

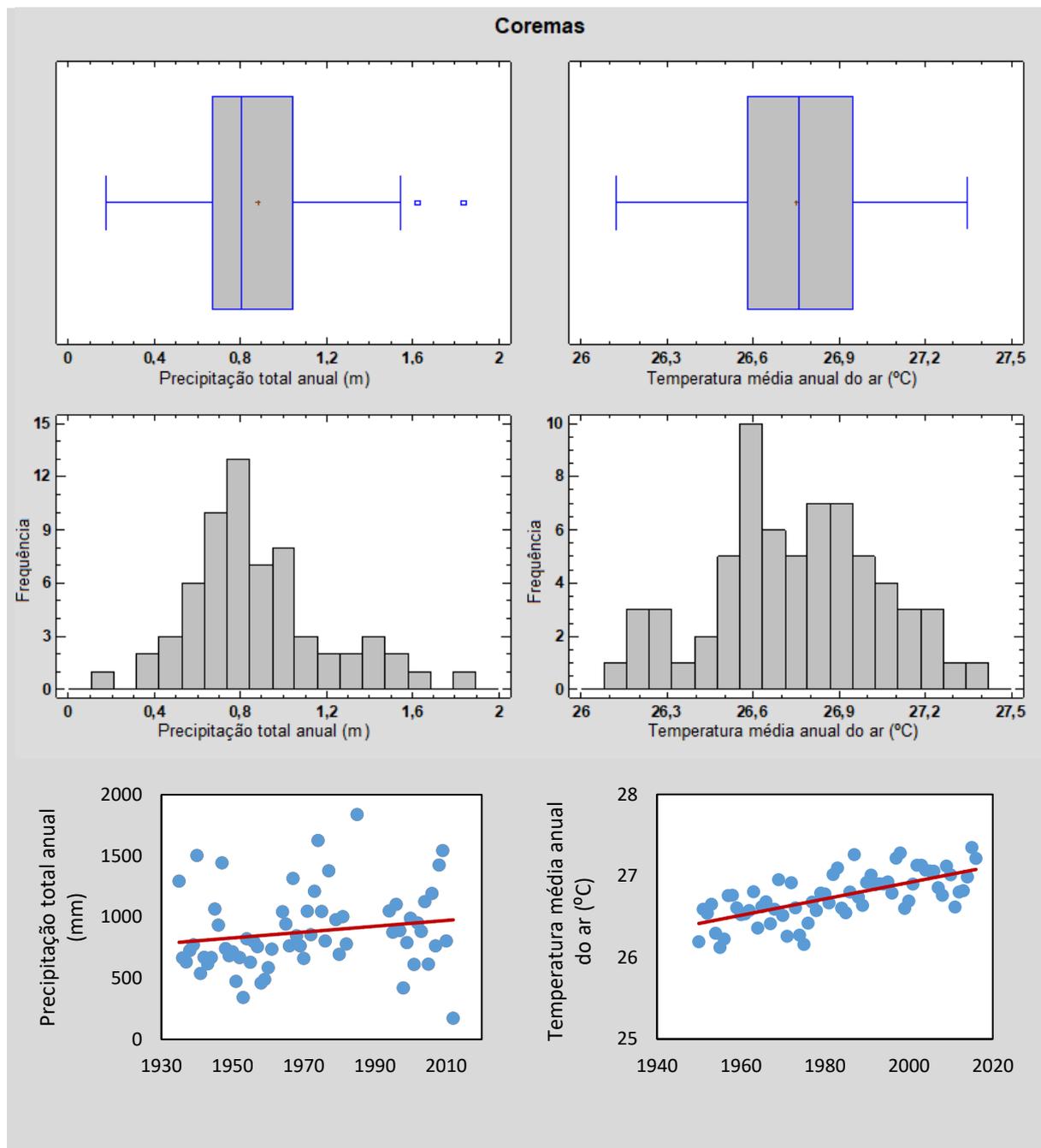


Figura 3 – Gráficos box-plot, de dispersão e histogramas para precipitação total anual, com dados de 1935 a 2012, e temperatura média do ar estimada (°C), com dados de 1950 a 2016, para o município de Coremas.

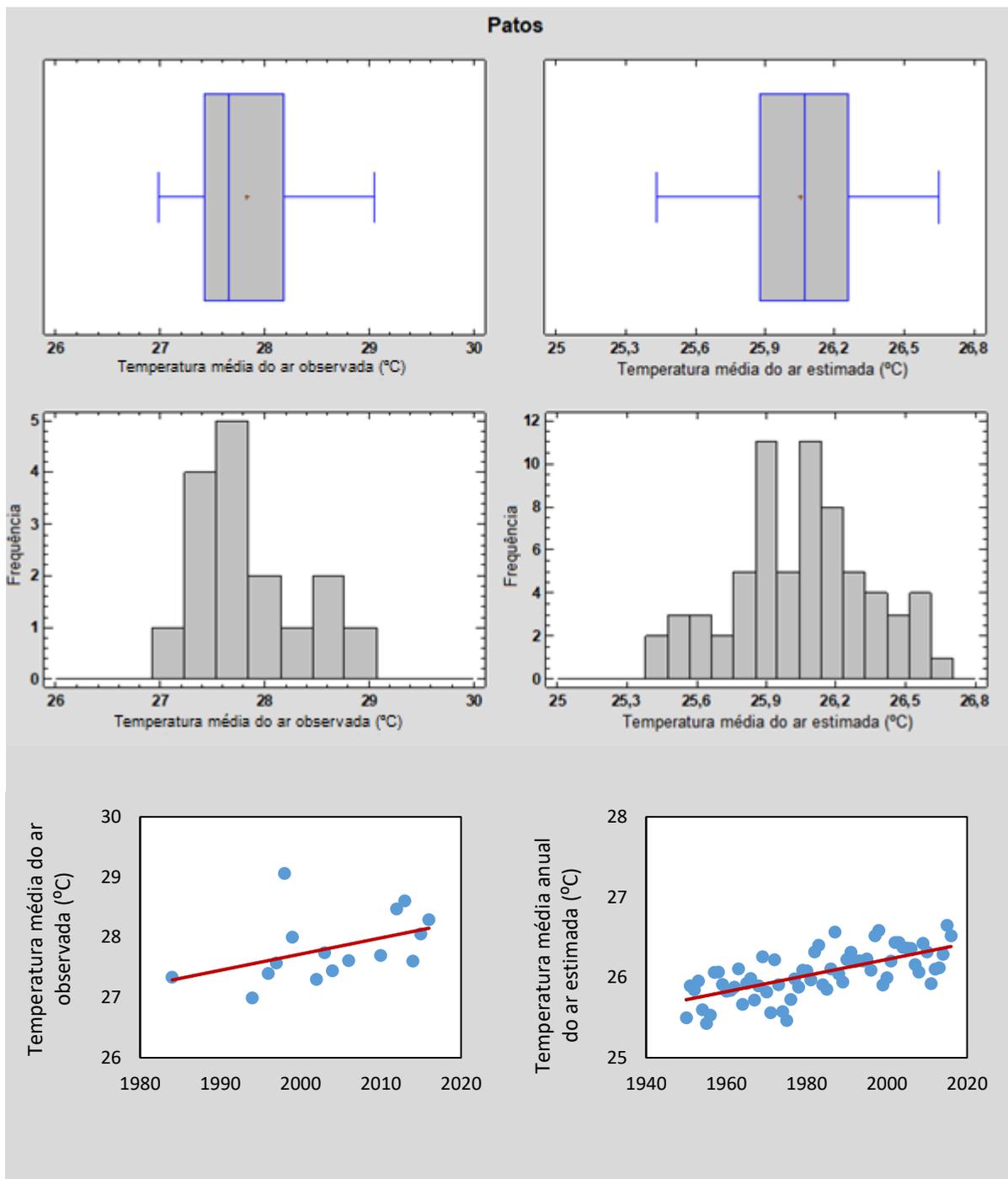


Figura 4 – Gráficos box-plot, de dispersão e histogramas para temperatura média do ar observada (°C), com dados de 1984 a 2016, e estimada (°C), com dados de 1950 a 2016, para o município de Patos.

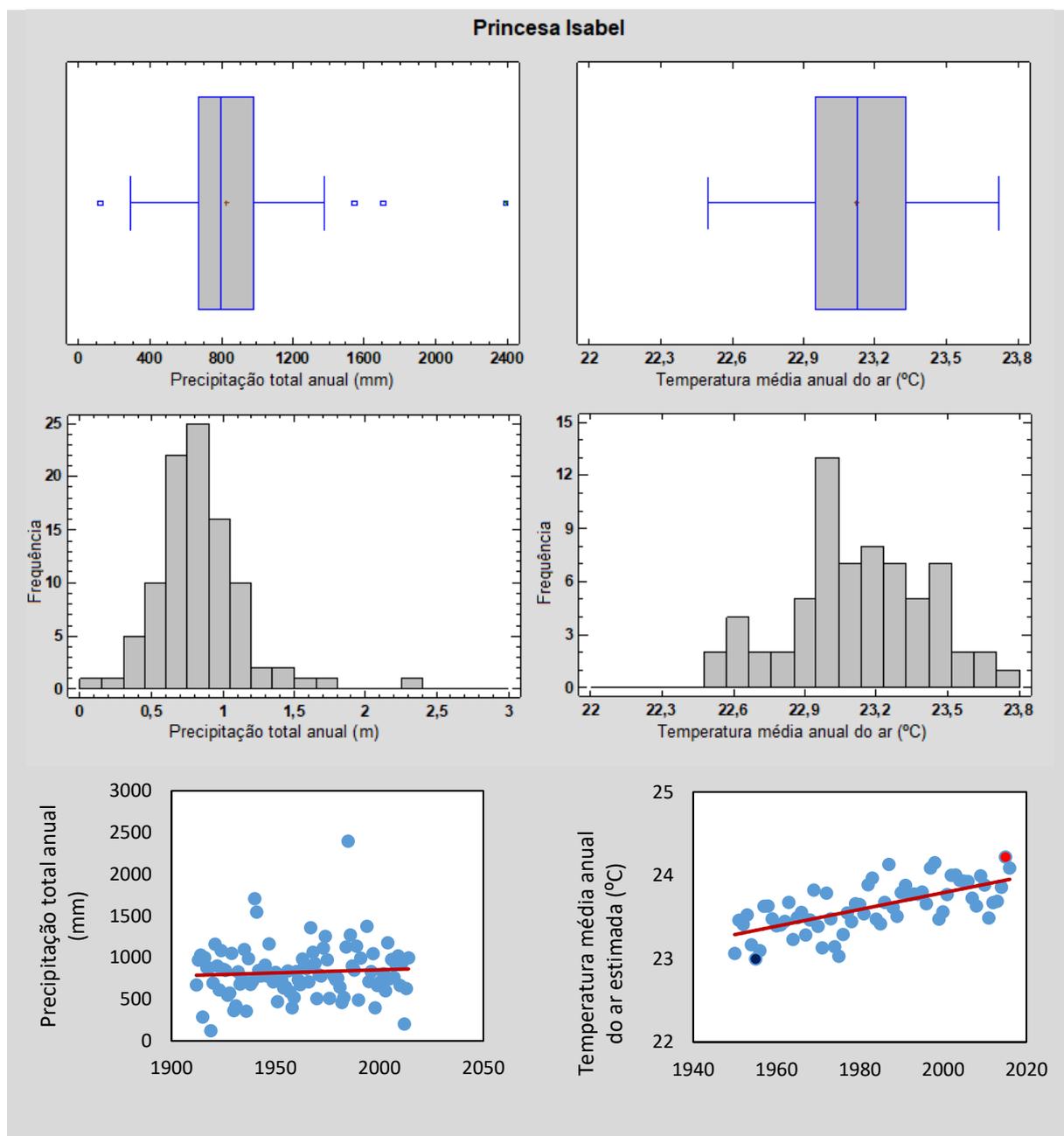


Figura 5 – Gráficos box-plot, de dispersão e histogramas para precipitação total anual, com dados de 1912 a 2011 e temperatura média do ar estimada, com dados de 1950 a 2016, para o município de Princesa Isabel.

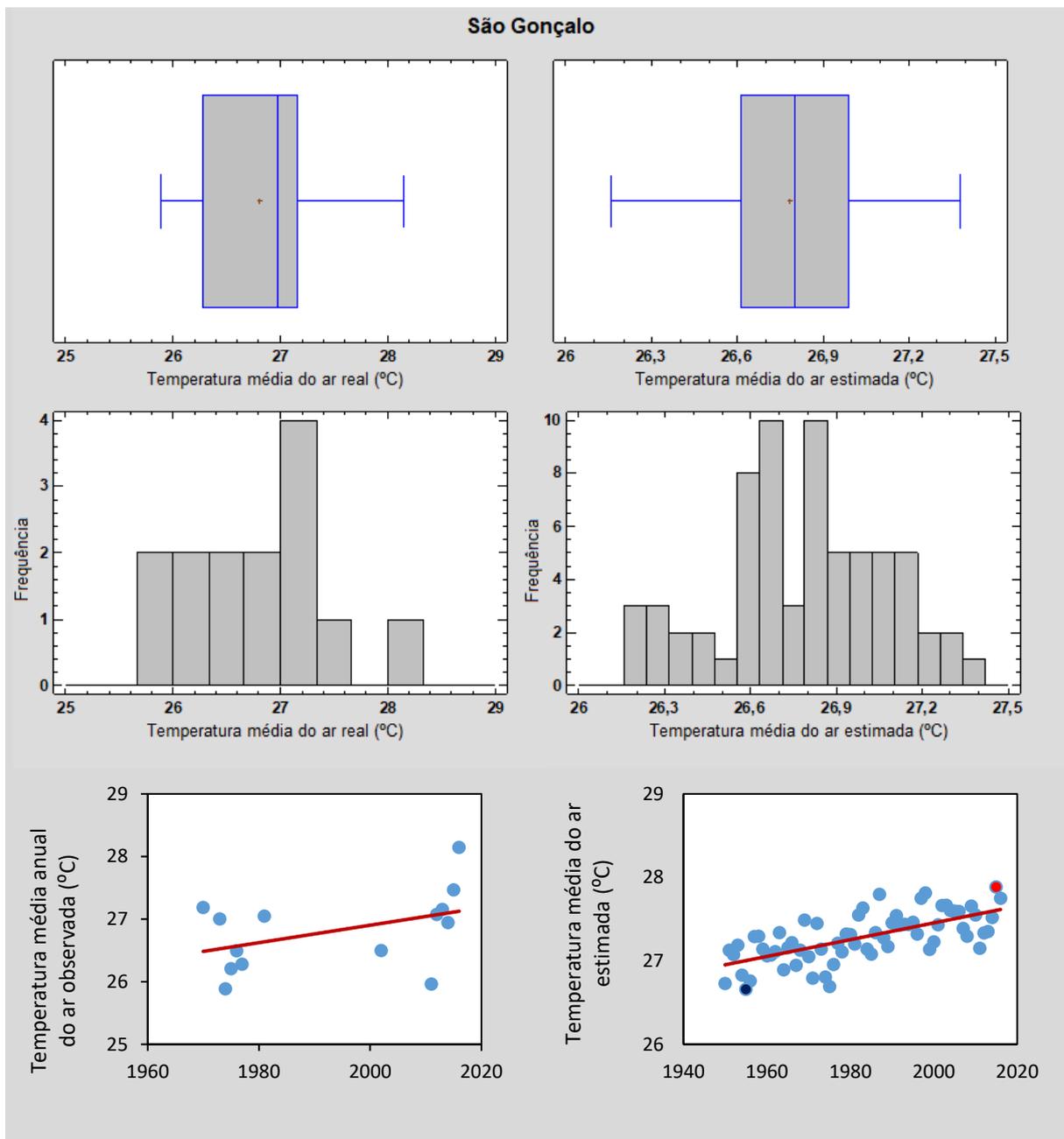


Figura 6 – Gráficos box-plot, de dispersão e histogramas para temperatura média do ar observada (°C), com dados de 1970 a 2016, e estimada (°C), com dados de 1950 a 2016, para a localidade de São Gonçalo.

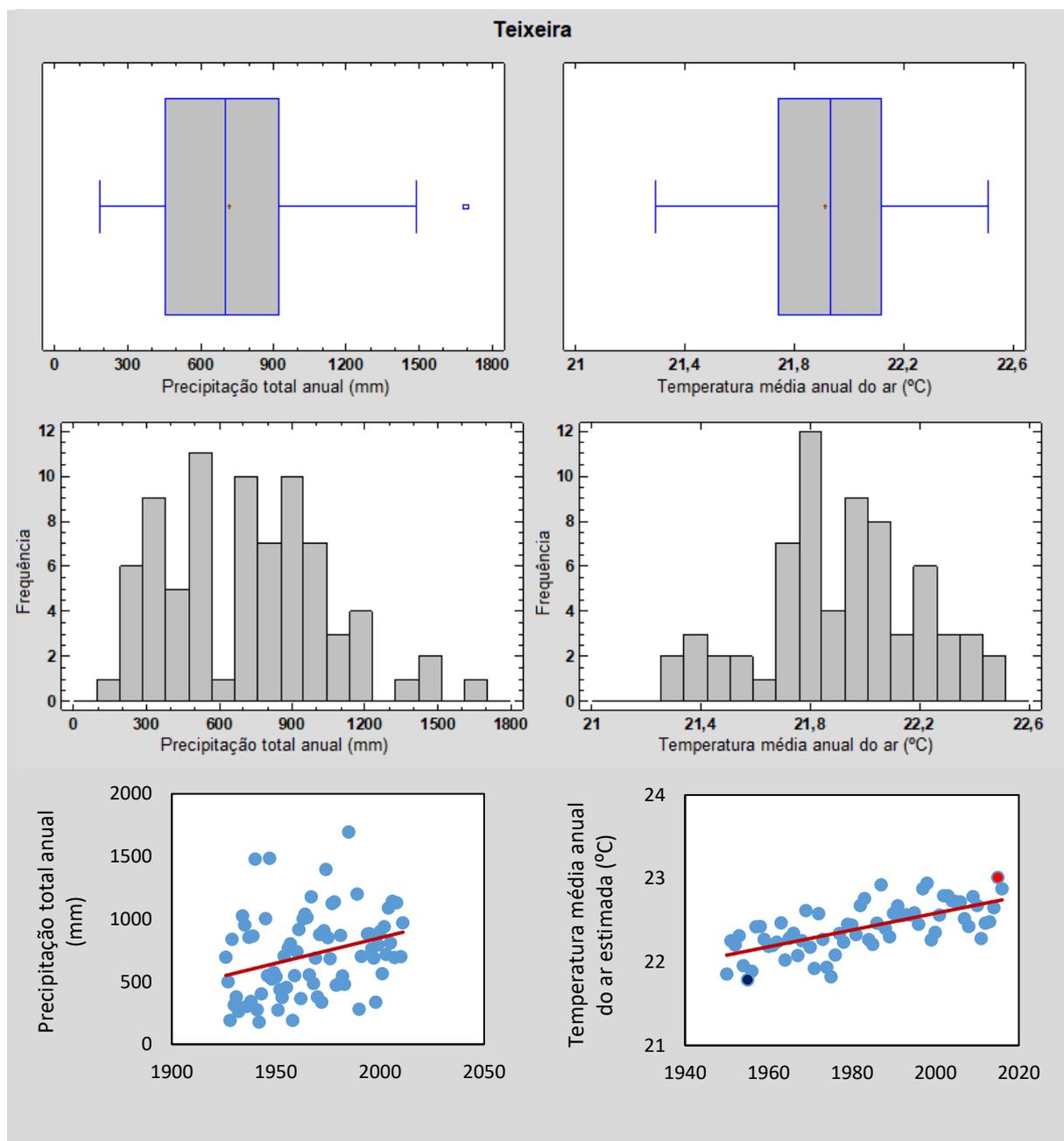


Figura 7 – Gráficos box-plot, de dispersão e histogramas para precipitação total anual (mm), com dados de 1926 a 2011, e temperatura média do ar estimada (°C), com dados de 1950 a 2016, para o município de Teixeira.

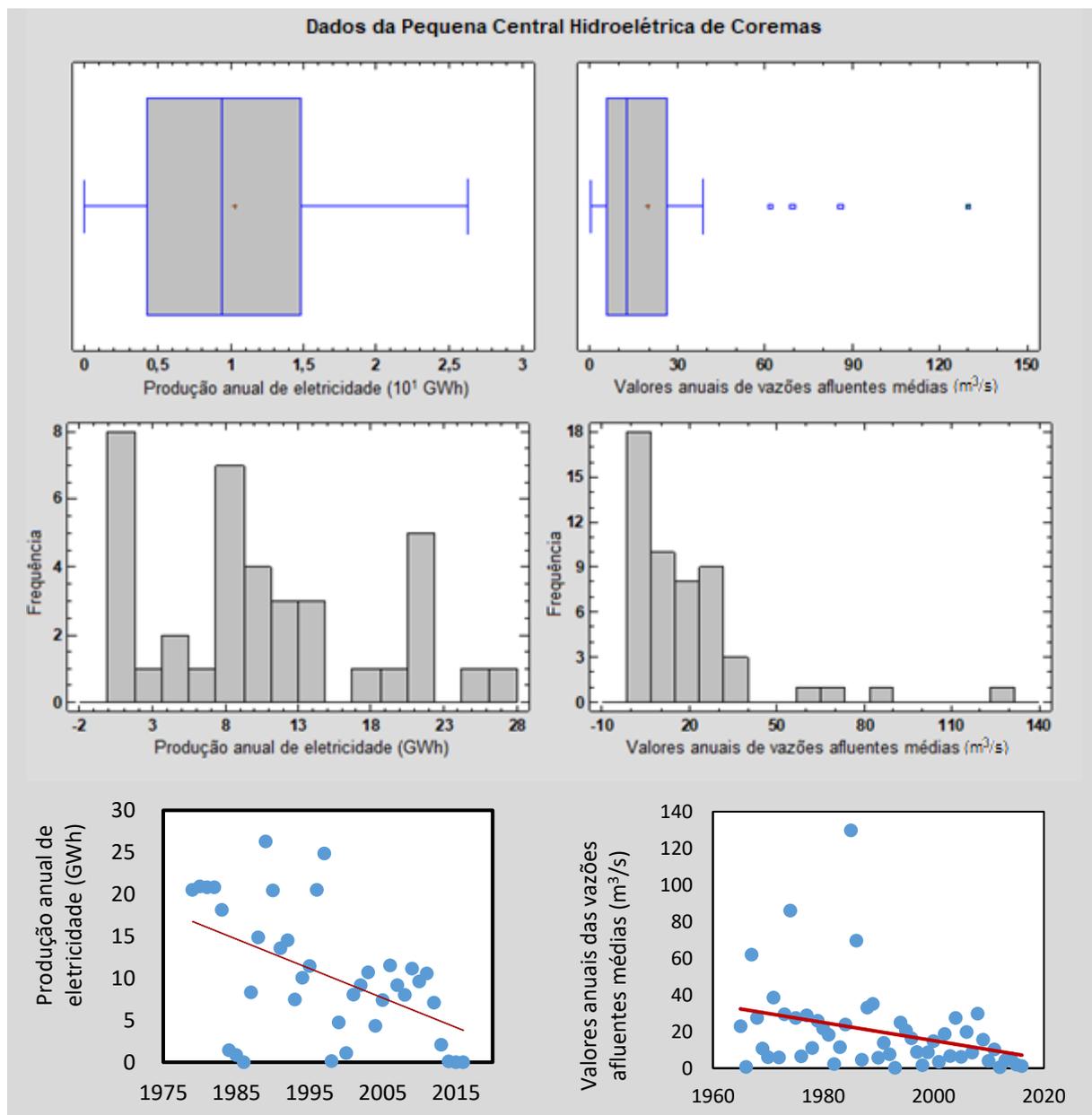


Figura 8 – Gráficos box-plot, de dispersão e histogramas para produção anual de eletricidade pela Pequena Central Hidroelétrica (PCH) em Coremas com dados de 1979 a 2016 e valores anuais de vazões afluentes médias no reservatório da PCH, com dados de 1965 a 2016.

Tabela 1: Resumo Estatístico - precipitação total anual (mm), com dados de 1936 a 2012, e temperatura média do ar estimada pelo programa Estima_T (°C), com dados de 1950 a 2016, para o município de Água Branca.

	Precipitação anual (mm)	Temperatura média do ar (°C)
Número de elementos	72	67
Média	735,3	22,5
Desvio padrão	298,6	0,3
Coefficiente de variação	40,6%	1,3%
Mínimo	53,2	21,9
Máximo	1477,5	23,1
Amplitude	1424,3	1,2
Viés padronizado	0,6	-0,4
Curtose padronizada	-0,7	-0,7

Tabela 2: Resumo Estatístico - precipitação total anual (mm), com dados de 1935 a 2012, e temperatura média do ar estimada pelo programa Estima_T (°C), com dados de 1950 a 2016, para o município de Aguiar.

	Precipitação anual (mm)	Temperatura média do ar (°C)
Número de elementos	71	67
Média	882,8	26,5
Desvio padrão	354,3	0,3
Coefficiente de variação	40,1%	1,1%
Mínimo	84,3	25,9
Máximo	2248,4	27,1
Amplitude	2164,1	1,2
Viés padronizado	2,3	-0,4
Curtose padronizada	3,6	-0,7

Tabela 3: Resumo Estatístico - precipitação total anual (mm), com dados de 1935 a 2012, e temperatura média do ar estimada pelo programa Estima_T (°C), com dados de 1950 a 2016, para o município de Coremas.

	Precipitação anual (mm)	Temperatura média do ar (°C)
Número de elementos	64	67
Média	879,1	26,7
Desvio padrão	322,9	0,3
Coefficiente de variação	36,7%	1,09%
Mínimo	172,8	26,1
Máximo	1837,7	27,3
Amplitude	1664,9	1,2
Viés padronizado	2,5	-0,4
Curtose padronizada	1,1	-0,7

Tabela 4: Resumo Estatístico - temperatura média do ar observada (°C), com dados de 1984 a 2016, e estimada pelo programa Estima_T (°C), com dados de 1950 a 2016, para o município de Patos.

	Temperatura média do ar observada (°C)	Temperatura média do ar estimada (°C)
Número de elementos	16	67
Média	27,8	26,0
Desvio padrão	0,5	0,3
Coefficiente de variação	2,0%	1,1%
Mínimo	27,0	25,4
Máximo	29,1	26,7
Amplitude	2,1	1,2
Viés padronizado	1,3	-0,4
Curtose padronizada	0,1	-0,7

Tabela 5: Resumo Estatístico - precipitação total anual (mm), com dados de 1912 a 2011 e temperatura média do ar estimada pelo programa Estima_T (°C), com dados de 1950 a 2016, para o município de Princesa Isabel.

	Precipitação anual (mm)	Temperatura média do ar (°C)
Número de elementos	97	67
Média	831,6	23,1
Desvio padrão	309,0	0,3
Coefficiente de variação	37,2%	1,2%
Mínimo	122,4	22,5
Máximo	2395,9	23,7
Amplitude	2273,5	1,2
Viés padronizado	6,2	-0,4
Curtose padronizada	12,9	-0,7

Tabela 6: Resumo Estatístico - temperatura média do ar observada (°C), com dados de 1970 a 2016, e estimada pelo programa Estima_T (°C), com dados de 1950 a 2016, para a localidade de São Gonçalo.

	Temperatura média do ar observada (°C)	Temperatura média do ar estimada (°C)
Número de elementos	14	67
Média	26,9	26,8
Desvio padrão	0,6	0,3
Coefficiente de variação	2,3%	1,1%
Mínimo	25,3	26,2
Máximo	28,1	27,4
Amplitude	2,3	1,2
Viés padronizado	0,5	-0,4
Curtose padronizada	0,1	-0,7

Tabela 7: Resumo Estatístico - precipitação total anual (mm), com dados de 1926 a 2011, e temperatura média do ar estimada pelo programa Estima_T (°C), com dados de 1950 a 2016, para o município de Teixeira.

	Precipitação anual (mm)	Temperatura média do ar (°C)
Número de elementos	78	67
Média	715,6	21,9
Desvio padrão	334,3	0,3
Coefficiente de variação	46,7%	1,3%
Mínimo	178,7	21,3
Máximo	1697,3	22,5
Amplitude	1518,6	1,2
Viés padronizado	1,9	-0,43
Curtose padronizada	-0,0	-0,7

Tabela 8: Resumo Estatístico – produção anual de eletricidade (em MWh) pela Pequena Central Hidroelétrica (PCH) em Coremas com dados de 1979 a 2016 e valores anuais de vazões afluentes médias (em m³/s) no reservatório da PCH, com dados de 1965 a 2016.

	Produção anual de eletricidade pela PCH (MWh)	Vazões afluentes médias (m³/s)
Número de elementos	38	52
Média	10283,6	19,7
Desvio padrão	7688,6	23,3
Coefficiente de variação	74,8%	118,1 %
Mínimo	0	0,3
Máximo	26302,0	129,8
Amplitude	26302,0	129,5
Viés padronizado	0,9	8,3
Curtose padronizada	-1,0	14,8