

Análise da variabilidade e tendências para a temperatura média do ar no Sertão Paraibano com dados reais e estimados

Susane Eterna Leite Medeiros ⁽¹⁾; Wallysson Klebson de Medeiros Silva ⁽²⁾; Louise Pereira da Silva ⁽³⁾; Idmon Melo Brasil Maciel Peixoto ⁽⁴⁾; Raphael Abrahão ⁽⁵⁾

⁽¹⁾ Pós-Graduanda do curso de Energias Renováveis, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, Paraíba, susane.eterna@cear.ufpb.br;

⁽²⁾ Pós-Graduando do curso de Energias Renováveis, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, Paraíba, wallyssonk@gmail.com;

⁽³⁾ Graduanda do curso de Energias Renováveis, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, Paraíba, louise.silva@cear.ufpb.br;

⁽⁴⁾ Graduando do curso de Energias Renováveis, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, Paraíba, idmon.peixoto@cear.ufpb.br;

⁽⁵⁾ Docente/Pesquisador do curso de Energias Renováveis, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, Paraíba, raphael@cear.ufpb.br.

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 de projeções e variações, auxiliando na construção de políticas de adaptação e mitigação voltadas para as 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 reais 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 para sete localidades pertencentes à Paraíba. As séries reais e estimadas 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 entre 21,9 °C (em Teixeira) e 26,8 °C (em São Gonçalo) para as séries estimadas. Para as séries de dados reais, 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 Patos foi 6,2% mais baixa que a temperatura média real, medida na estação. 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 reais. 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, Mann-Kendall, semiárido, Sertão Paraibano.

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 (PBMC, 2013, 2014).

A identificação e caracterização climática de uma região depende de diversos elementos climáticos, como temperatura do ar, umidade e pressão, que podem ser influenciados pelos fatores geográficos como o tipo de relevo, a altitude e sua continentalidade (IPCC, 2013). 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.

Segundo o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC), a temperatura média do ar no planeta está aumentando, estimulada pelas atividades antrópicas, 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. 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 de 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 reais 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.

Metodologia

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, 2009).

Na mesorregião do Sertão Paraibano existem apenas duas estações meteorológicas mantidas pelo INMET e com dados 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 1.

$$T_{ij} = a_0 + a_1\lambda + a_2\varphi + a_3h + a_4\lambda^2 + a_5\varphi^2 + a_6h^2 + a_7\lambda\varphi + a_8\lambda h + a_9\varphi h + ATSM_{ij} \quad (1)$$

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, $i = 1, 2, \dots, 12$ e $j = 1950, 1951, 1953, \dots, 2017$. O programa é disponibilizado gratuitamente pela Universidade Federal de Campina Grande, 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 reais,

fornecidos pelo INMET, e os estimados pelo *software*. A tabela 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 e com dados reais, fornecidos pelo INMET, pelas estações meteorológicas presentes em Patos e São Gonçalo, especificamente.

Tabela 1. Localidades elegidas da mesorregião do Sertão Paraibano com intervalo da série, período da série, coordenadas geográficas e altitude.

	Localidade	Intervalo da série (ano)	Período da série (ano)	Lat. (°S)	Long. (°W)	Altitude (m)
Estima_T	Coremas			-7,02	-37,97	218,0
	São Gonçalo			-6,83	-38,32	235,0
	Patos			-7,02	-37,28	250,0
	Aguiar	1950 - 2016	67	-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
INMET	São Gonçalo	1970 - 2016	14	-6,75	-38,21	233,1
	Patos	1984 - 2016	16	-7,01	-37,26	249,1

Fonte: 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. 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.

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, o teste de Sen. Foram consideradas probabilidades de erro entre 0,1% e 10% (SEN, 1968; SALMI *et al.*, 2002). 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; YUE; YANG; WU, 2002; MODARES; SILVA, 2007).

Resultados e discussão

A tabela 2 mostra valores anuais médios de temperatura, mediana, variância, desvio padrão (DP), máximos e mínimos de temperatura, amplitude e coeficiente de variação (CV) dos dados estimados para as localidades estudadas, além dos obtidos através dos dados reais em Patos e São Gonçalo. Percebe-se que, anualmente, a variabilidade da temperatura média do ar, pelas séries estimadas (SE), oscila entre 21,9 °C (em Teixeira) e 26,8 °C (em São Gonçalo). Pelas séries de dados reais (SR), 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 reais. Além disso, a variância, o desvio padrão e a amplitude para essas séries estimadas (SE) de temperatura média anual apresentaram os mesmos valores para todas as localidades. Para os dados reais (SR), a variância, a amplitude e o DP para São Gonçalo foram maiores do que para Patos.

Tabela 2. Estatística descritiva para a temperatura média anual (°C) no período de 1950 a 2016 para as séries geradas pelo programa Estima_T e dados reais de 1984 a 2016 para Patos e de 1970 a 2016 para São Gonçalo.

	Localidades	Média (°C)	Mediana (°C)	Variância (°C)	DP (°C)	Máxima (°C)	Mínima (°C)	Amplitude (°C)	CV (%)
Estima_T	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
INMET	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

Fonte: elaborada pelos autores a partir de CAVALCANTI; SILVA; SOUSA, 2006; INMET, 2017.

O coeficiente de variação em São Gonçalo foi 1,1% (SE) e 2,3% (SR) e em Patos foi 1,1% (SE) e 2,0% (SR), representando uma diferença de 47,8% e 56,7% entre os coeficientes de variação da SE e SR para São Gonçalo e Patos, respectivamente. Independentemente dessas diferenças, os valores do CV indicam baixa dispersão dos dados para todas as séries.

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 comparando

as tabelas 1 e 2. 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 1. Pelos dados reais, a temperatura média anual para Patos foi a maior observada, com 27,8 °C.

Figura 1. Temperatura média anual para as localidades elegidas da área de estudo com dados para as séries estimadas e com dados reais (SR) entre 1970 e 2016 para São Gonçalo e entre 1984 e 2016 para Patos

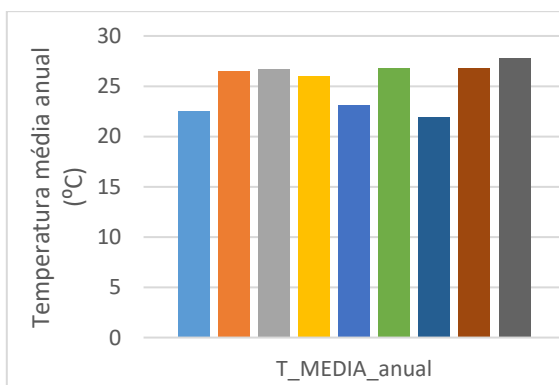
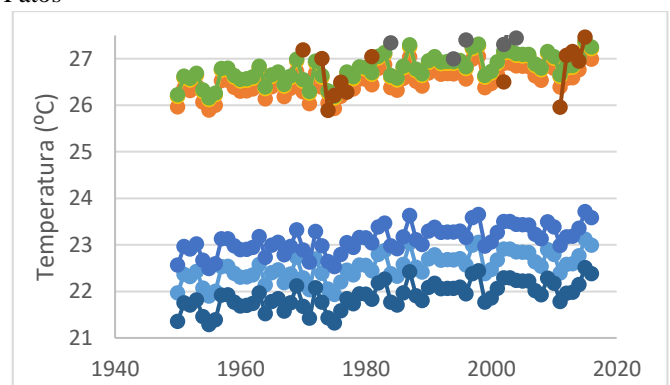


Figura 2. Evolução da temperatura média anual das localidades escolhidas do Sertão Paraibano com dados de 1950 a 2016 para as séries estimadas e com dados reais (SR) entre 1970 e 2016 para São Gonçalo e entre 1984 e 2016 para Patos



■ Água Branca ■ Aguiar ■ Coremas ■ Patos ■ Princ. Isabel ■ São Gonçalo ■ Teixeira ■ São Gonçalo_SR ■ Patos_SR

Fonte: elaboradas pelos autores a partir de CAVALCANTI; SILVA; SOUSA, 2006; INMET, 2017.

A figura 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).

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 3.

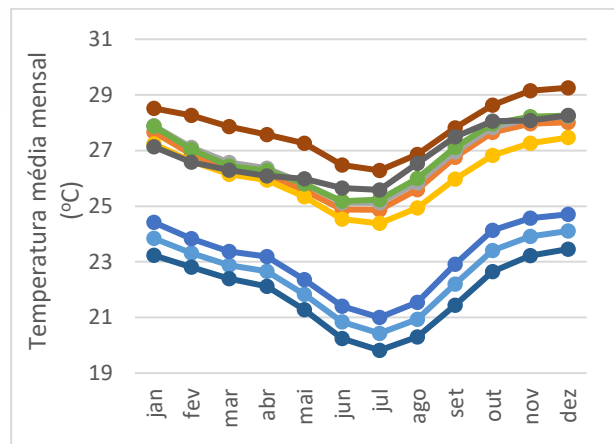
As temperaturas médias mínimas para as SE mensais encontram-se entre 19,8 °C e 25,2 °C, observadas em julho. E as temperaturas médias máximas, entre 23,5 °C e 28,3 °C, em dezembro, para Teixeira e São Gonçalo, respectivamente, conforme a tabela 3. Como

esperado para a mesorregião, o mês mais quente foi dezembro e o mais frio, julho. As temperaturas médias mensais máximas apresentaram uma diferença de aproximadamente 6,1% entre a SE e a SR em Patos. E as temperaturas médias mínimas para as SE apresentaram uma diferença de aproximadamente 1,6% e 7,2% abaixo dos valores apresentados pelas SR para São Gonçalo e Patos, respectivamente, destacado em negrito na tabela 3.

Tabela 3. Valores máximos e mínimos para as temperaturas médias observadas nas séries mensais para cada localidade estudada com dados de 1950 a 2016 para as séries estimadas e para as séries com dados reais (SR) entre 1970 e 2016 para São Gonçalo e entre 1984 e 2016 para Patos

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

Figura 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 reais (SR) entre 1970 e 2016 para São Gonçalo e entre 1984 e 2016 para Patos



■ Água Branca ■ Aguiar ■ Coremas ■ Patos ■ Princ. Isabel ■ São Gonçalo ■ Teixeira ■ São Gonçalo_SR ■ Patos_SR

Fonte: elaboradas pelos autores a partir de CAVALCANTI; SILVA; SOUSA, 2006; INMET, 2017.

Foram observados valores de máximo nas séries estimadas no período anual para todas as localidades no ano de 2015. Entretanto, para as séries com dados reais, a temperatura média anual mais alta registrada ocorreu em 1998 para Patos e em 2016 para São Gonçalo, conforme a tabela 4 que expõe o ano em que se observou valores de máximo para as SE e SR.

Tanto nas SE quanto nas SR notou-se que os valores de máximo ocorreram em 1998 nas séries semestrais de J-J para todas as localidades, exceto para a SR em São Gonçalo. Para o semestre de J-D, as SE apresentaram valores de máximo em 2015 e as SR, em 2016. Para os períodos trimestrais, DJF as temperaturas médias mais altas observadas ocorreram em 1998 e repetiu-se em 2016 para as SE, 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 também em 2015.

Para os períodos mensais das SE 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 de novembro que se repetiu em 2015. As SR se diferem das SE, 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.

Tabela 4. Ano de ocorrência de valores máximos de temperatura do ar com dados de 1950 a 2016 para as séries estimadas e séries reais com dados entre 1970 e 2016 para São Gonçalo e entre 1984 e 2016 para Patos

Período	Água Branca	Aguiar	Coremas	Patos	Princesa Isabel	São Gonçalo	Teixeira	Patos	São Gonçalo
	Séries estimadas							Séries reais	
Anual	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	1998	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
J-J	1998	1998	1998	1998	1998	1998	1998	1998	2016
J-D	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	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
Mai	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

Fonte: elaborada pelos autores a partir de CAVALCANTI; SILVA; SOUSA, 2006; INMET, 2017.

Pela análise das tendências, detectou-se alterações estatísticas significativas de aumento para a temperatura média em todas as localidades. Os resultados apontam declividade de Sen entre 0,008 °C/ano e 0,011 °C/ano (tabela 5). Além disso, em cada período, o nível de significância foi igual, independentemente da altitude de cada 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 sofrerão aumento entre 0,2 °C e 0,3 °C, aproximadamente. Segundo relatórios apresentados tanto pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2013, 2014) quanto pelo Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC, 2013, 2014), a temperatura aumentará em toda a América do Sul e a região Nordeste do Brasil é assinalada como uma das mais vulneráveis a essa mudança.

Os resultados deste trabalho evidenciam uma mudança local afetando significativamente a temperatura, atenuando as informações apontadas pelo PBMC, que prevê, no semiárido nordestino, uma redução de até 20% em sua precipitação e acréscimo de temperatura em até 1 °C, até 2040 (IPCC, 2013, 2014; PBMC, 2013, 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.

Tabela 5. Tendências de temperatura média para o período 1950-2016 apontadas pelo teste de Mann-Kendall para as séries de dados construídas 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 ***
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 ***
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 ***
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 ***
Mai	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 ***

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

Figura 4. Comparação entre a série de dados reais (SR) e estimados pelo programa Estima_T (SE) para temperatura média anual, para os anos completos de janeiro a dezembro para Patos, dados de 1984 a 2016

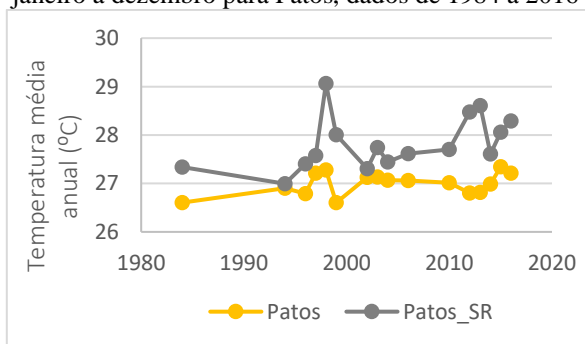
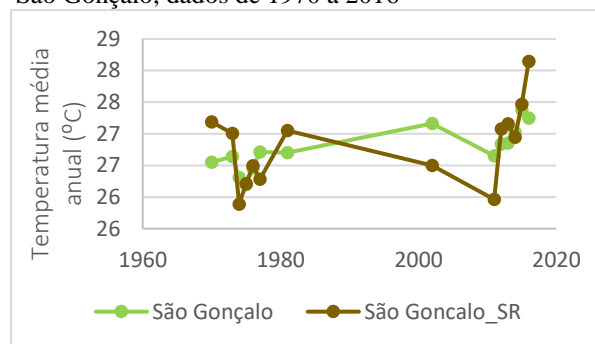


Figura 5. Comparação entre a série de dados reais (SR) e estimados (SE) para temperatura média anual, para os anos completos de janeiro a dezembro para São Gonçalo, dados de 1970 a 2016



Fonte: elaboradas pelos autores a partir de CAVALCANTI; SILVA; SOUSA, 2006; INMET, 2017.

As figuras 4 e 5 apresentam os dados reais e os estimados pelo programa Estima_T para a temperatura média anual das SE e SR 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. A comparação entre as SR e as SE revela que para Patos e São Gonçalo, apesar das figuras 4 e 5 salientarem a existência de discrepância entre as séries de período anual de temperatura média, os dados das séries mensais apresentaram similaridade no comportamento (figura 3).

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, apesar de notar-se uma leve disparidade entre SR e SE nas localidades onde há estações meteorológicas do INMET em funcionamento.

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. O uso de programas computacionais para estimar a temperatura, como o Estima_T, atenua essa dificuldade. Entretanto, não substitui plenamente a averiguação por dados reais.

Para a análise descritiva, foram constatadas diferenças entre os valores gerados a partir dos dados reais de Patos e São Gonçalo e os dados estimados 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, conforme esperado, o mês de dezembro é sempre o mais quente e julho o mais frio em todas as localidades, tanto nas SE quanto nas SR.

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

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (Projetos 305419/2015-3 e 401687/2016-3), do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC) e da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e a Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado da Paraíba (FAPESQ).

Referências

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

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.

_____. 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.

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.
- 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. Contribuição do Grupo de Trabalho 1 ao Primeiro Relatório de Avaliação Nacional do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. Sumário Executivo GT1. PBMC, Rio de Janeiro, Brasil, p. 24, 2013.
- _____. 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.
- 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.