

ANÁLISE DAS TENDÊNCIAS CLIMÁTICAS E PROJEÇÕES FUTURAS PARA MONTEIRO-PB

Louise Pereira da Silva ¹
Paula Rose de Araújo Santos ²
Giusep Magno da Silva Ribeiro ³
Susane Eterna Leite Medeiros ⁴
Raphael Abrahão ⁵

RESUMO

A diversidade do clima da Terra é decorrente dos efeitos naturais e antrópicos. A translação do planeta varia a quantidade de energia proveniente do Sol, alterando a temperatura do ar no inverno e no verão. Essa variação da temperatura do ar também é uma consequência da trajetória diária aparente do Sol. Qualquer mudança na atmosfera, ambiente onde diversos processos físicos e químicos estão acontecendo, provoca mudanças no clima. Através do estudo dos dados climáticos históricos e da aplicação de modelos climáticos é possível observar o comportamento passado do clima e estimar o futuro. No presente trabalho foi realizada uma análise de tendências mediante o teste de Mann-Kendall e a aplicação de modelos climáticos para projeções futuras para a cidade de Monteiro, localizada no estado da Paraíba. Os parâmetros selecionados foram temperatura máxima, mínima, média e precipitação. Para as temperaturas as tendências históricas foram significativas e crescentes. Avaliando o período mensal climático histórico e futuro através dos cenários RCP4.5 e RCP8.5, a precipitação dos RCP's foi superior à dos dados históricos no primeiro semestre do ano. No caso das temperaturas máxima, mínima e média, o RCP8.5 foi superior aos dados históricos, confirmando o prognóstico de que a temperatura do ar continuará aumentando nas próximas décadas. De forma semelhante, o cenário RCP4.5 foi maior ao longo do ano para temperatura mínima e média, porém na temperatura máxima em alguns meses os resultados foram próximos ou abaixo do período histórico.

Palavras-chave: Clima, Temperatura, Precipitação, Modelos, Cenários.

INTRODUÇÃO

A Terra possui clima heterogêneo em razão dos efeitos naturais e antrópicos que ocorrem na atmosfera. A inclinação do eixo da Terra não é fixa, varia ao longo de tempo, sendo esse fenômeno conhecido como precessão dos equinócios. A precessão dos equinócios modifica ciclicamente a quantidade de energia recebida pela Terra no inverno e no verão,

¹ Mestranda do Curso de Energias renováveis da Universidade Federal da Paraíba - UFPB, louise.silva@cear.ufpb.br;

² Mestranda do Curso de Energias renováveis da Universidade Federal da Paraíba - UFPB, paulajp-rose@hotmail.com;

³ Graduando pelo Curso de Engenharia de energias renováveis da Universidade Federal da Paraíba - UFPB, giusep.ribeiro@cear.ufpb.br;

⁴ Doutoranda do Curso de Física pela Universidade Federal da Paraíba - UFPB, susane.eterna@cear.ufpb.br.

⁵ Professor orientador: Doutor, Universidade Federal da Paraíba - UFPB, raphael@cear.ufpb.br.

variando a temperatura do ar, embora seus efeitos absolutos sejam minimizados pelos continentes e oceanos (TORRES; MACHADO, 2011). A variação da temperatura do ar é uma consequência da trajetória diária e a anual aparente do Sol e das alterações interanuais de temperatura, representada pelos parâmetros de tendência e de oscilações térmicas (MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007).

As variações no clima têm chamado atenção e os estudos dos elementos climáticos tem auxiliado na compreensão do clima na atmosfera. Qualquer alteração em um ambiente (físico-químico) provoca oscilações no clima, o equilíbrio climático da Terra depende da diferença entre a energia total recebida do Sol e a energia refletida ao espaço (MUKHOPADHYAY; KARISIDDAIAH; MUKHOPADHYAY, 2018). Ainda que os eventos climáticos extremos particulares (chuva forte, seca intensa, etc.) não sejam atribuídos às mudanças climáticas globais, a estatística mostra que estamos tendo eventos climáticos extremos em todo o planeta (ARTAXO, 2014).

Esses eventos climáticos podem ser compreendidos e visualizados através do estudo dos dados históricos ou dos modelos climáticos. Com os dados históricos é possível obter a caracterização local, assim como as tendências que auxiliam na compreensão do comportamento do elemento climático ao longo de um período de tempo (SILVA *et al.*, 2019). A análise futura é feita através de modelos climáticos. De acordo com o NOAA (2017), os modelos climáticos são sistemas de equações diferenciais com base nas leis da física (como movimento dos fluidos) e da química. Para aplicar um modelo climático, os cientistas dividem o planeta em uma grade tridimensional, aplicam-se fórmulas matemáticas, e avaliam os resultados. Para que haja uma normalização na análise climática desses modelos, são adicionados os cenários RCP (Representative Concentration Pathways), sua classificação varia de acordo com a quantidade de energia absorvida pelos gases de efeito estufa (ASSIS, 2016).

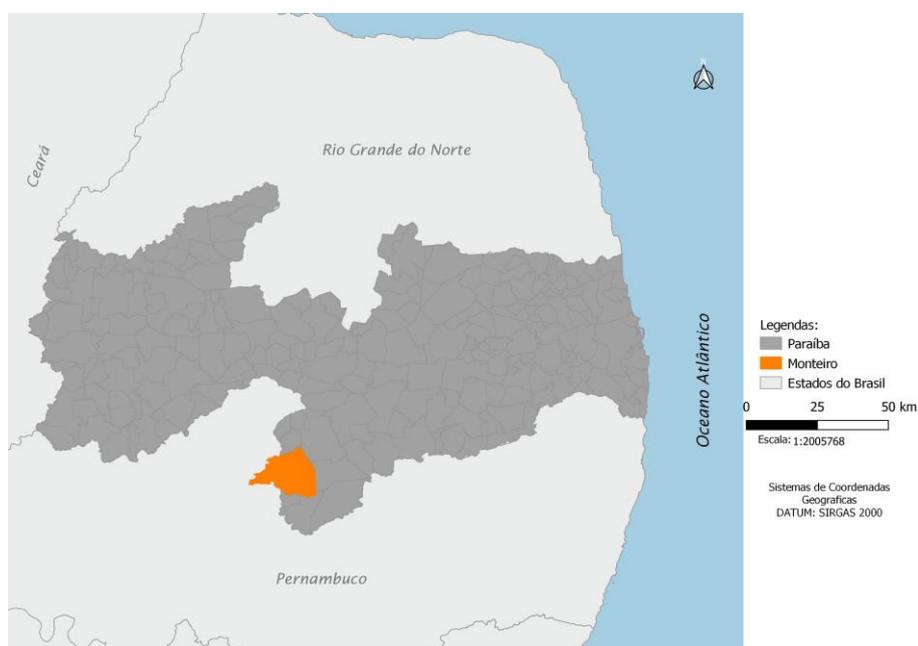
Esses métodos de avaliação do clima corroboram para uma análise temporal mais abrangente, estudando o passado, analisando o presente e estimando o futuro. Foi realizada uma análise climática para a cidade de Monteiro localizada no estado da Paraíba, investigando indícios de tendências nos períodos mensal e anual dos dados históricos. Juntamente com o estudo do comportamento dos dados climáticos ao longo do ano no período histórico e futuro utilizando os cenários RCP4.5 e o RCP8.5.

METODOLOGIA

Área de estudo

O estado da Paraíba está localizado na região Nordeste do Brasil. O estado é dividido em quatro regiões intermediárias: João Pessoa, Campina Grande, Patos e Sousa-Cajazeiras (IBGE, 2017). A cidade selecionada para este estudo faz parte da região intermediária de Campina Grande. Monteiro possui uma área territorial de 986,356 km² e uma população estimada de 33.007 pessoas (IBGE, 2018) (Fig.1).

Figura 1 - Localização do município de Monteiro no estado da Paraíba.



Fonte: Adaptado do IBGE (2018).

Coleta e análise dos dados históricos

Os dados históricos utilizados nesta pesquisa foram disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Os dados coletados são da estação convencional (n^o 82792) da cidade de Monteiro (Paraíba). As informações coletadas são mensais, referentes ao período entre janeiro de 1963 e dezembro de 2018.

Os parâmetros selecionados foram temperatura máxima, temperatura média, temperatura mínima e precipitação. Os dados foram organizados por parâmetro em planilhas e, em seguida, foram submetidos a um processo de controle de qualidade para verificação e eliminação de erros derivados de problemas técnicos e/ou de transmissão dos dados.

A análise das tendências foi realizada através do teste de Mann-Kendall. Este método permite o estudo de funções monótonas, ou seja, examina se os dados estão atuando de forma crescente ou decrescente. A tendência linear é avaliada através do método de Sen, no qual o modelo linear é utilizado para estabelecer a amplitude da tendência e a variação dos dados no tempo (SALMI, 2002).

Coleta e análise dos dados para os modelos climáticos

Os dados de projeção foram gerados a partir do modelo climático global BESM (Modelo Brasileiro do Sistema Terrestre) associado ao modelo climático regional Eta, obtido pelo CPTEC (Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos) e o INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) disponíveis na plataforma Projeta (CHOU *et al.*, 2014a; CHOU *et al.*, 2014b; BRAZIL MCTI, 2016; LYRA *et al.*, 2017). O BESM é um modelo climático brasileiro distinto de outros modelos, por levar em consideração características nacionais para geração de dados, como por exemplo, as queimadas, a dinâmica da vegetação, a influência dos biomas no clima e outros aspectos (BESM, 2019).

Para as condições climáticas futuras foram considerados dois cenários, com concentrações de Gases de Efeito Estufa (GEE) distintas, os chamados RCP. O cenário RCP4.5 (mais otimista) possui uma concentração aproximada de 650 ppm de CO₂ equivalentes, e o RCP8.5 (mais pessimista), corresponde a uma concentração maior do que 1.370 ppm de CO₂ equivalentes na atmosfera (MOSS *et al.*, 2010).

Os dados de projeção desse trabalho tem resolução de 20 km e o período temporal futuro foi de 30 anos (2041-2070) para o RCP4.5 e o RCP8.5. Foram analisadas as projeções para precipitação total, temperaturas máxima, média e mínima do ar para a cidade de Monteiro-PB.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Tendências climáticas

Levando em consideração a informação anual, temperatura máxima, mínima e média apresentaram tendências significativas de aumento ($p < 0,001$ nos três casos), mas o mesmo não ocorreu para a precipitação (Tab. 1). Para temperatura máxima no período mensal foram observadas tendências significativas de aumento entre 0,03 °C/ano e 0,09 °C/ano para os meses de janeiro, março, abril, maio, junho, setembro e dezembro, destaque para o mês de abril ($p < 0,001$). Para a temperatura mínima as tendências mensais foram significativas com

indicativo de crescimento entre 0,03 °C/ano e 0,08 °C/ano, com exceção de janeiro e fevereiro. Os meses de maio, junho, agosto e setembro foram os que tiveram menor probabilidade de erro associada ($p < 0,001$). O período mensal da temperatura média apontou significância em todos os meses, com o crescimento mensal variando entre 0,04 °C/ano e 0,08 °C/ano. Para o parâmetro de precipitação pelo teste de Mann-Kendall nenhum mês apresentou tendência significativa.

Tabela 1 – Tendências detectadas nos dados de temperatura máxima, mínima, média e precipitação através do teste de Mann-Kendall, quantificadas pelo declive de Sen para a estação meteorológica de Monteiro-PB, entre os anos de 1963 e 2018.

Período	Temperatura máxima (°C/ano)	Temperatura mínima (°C/ano)	Temperatura média (°C/ano)	Precipitação (mm/ano)
Jan	0,04 **	0,01 ns	0,04 **	0,49 ns
Fev	0,03 ns	0,02 ns	0,04 +	-1,27 ns
Mar	0,08 *	0,03 +	0,06 **	-1,65 ns
Abr	0,09 ***	0,03 *	0,08 ***	-1,22 ns
Mai	0,05 +	0,06 ***	0,07 **	1,10 ns
Jun	0,04 +	0,05 ***	0,06 ***	-0,19 ns
Jul	0,03 ns	0,05 **	0,05 **	0,17 ns
Ago	0,01 ns	0,08 ***	0,05 ***	0,05 ns
Set	0,03 +	0,07 ***	0,05 **	-0,02 ns
Out	0,01 ns	0,03 +	0,02 *	0,0 ns
Nov	0,02 ns	0,02 *	0,03 **	0,0 ns
Dez	0,03 *	0,03 *	0,04 **	-0,30 ns
Anual	0,04 ***	0,04 ***	0,05 ***	-5,66 ns

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

Fonte: Autores.

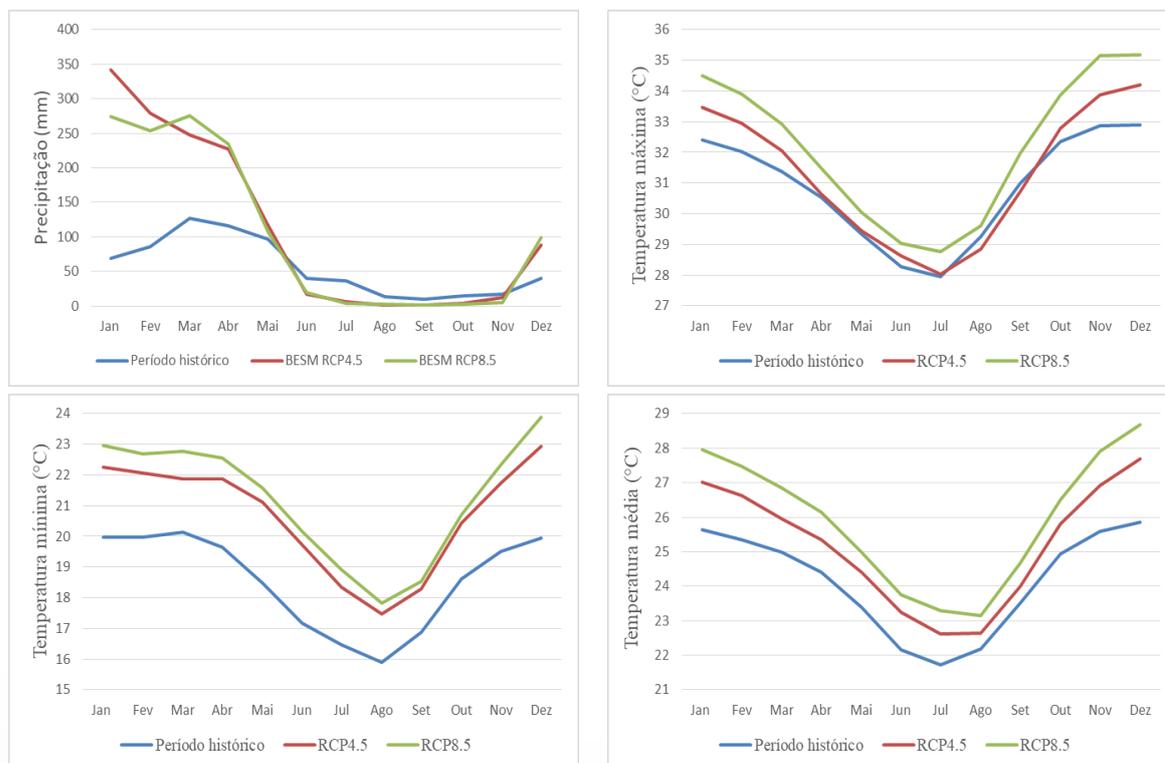
Projeções climáticas futuras

As projeções futuras baseadas nos dois cenários RCP, o RCP4.5 (mais otimista) e o RCP8.5 (mais pessimista) para o modelo Eta-BESM, foi comparada com o período histórico de 1963 a 2018 (Fig. 2). No período histórico há um aumento na precipitação a partir do mês de novembro. Os valores de precipitação continuam aumentando no início do ano, sendo o

maior valor no mês de março com 126,6 mm. Observou-se um aumento significativo da precipitação, nos cenários RCP4.5 e RCP8.5 ao serem comparados com o período histórico, entre os meses de janeiro a maio. Por sua vez, a precipitação no período de junho a novembro no RCP4.5 e no RCP8.5 foram menores relacionado com o período histórico. A precipitação volta a aumentar nos meses de novembro a dezembro e não há uma diferença significativa para o RCP4.5 e o RCP8.5.

As temperaturas máxima, mínima e média no período histórico tiveram comportamento semelhante ao longo do ano, com valores mais elevados no início e no final do ano, e temperaturas mais baixas no meio do ano entre junho e agosto. Nota-se que para as temperaturas máxima, mínima e média o cenário RCP8.5 apresentou valores superiores ao período histórico. Para a temperatura mínima o RCP8.5 teve aumento entre 10% e 20%. O cenário RCP4.5 foi maior do que o período histórico para as temperaturas mínima e média. No caso da temperatura máxima, o RCP4.5 se aproximou em alguns momentos e foi menor do que o período histórico em alguns meses.

Figura 2 – Análise mensal do período histórico (1963-2018) relacionado com o período climático futuro (2041-2070) para os cenários RCP4.5 e RCP8.5 para precipitação, temperatura máxima, temperatura mínima e temperatura média para Monteiro-PB.



Fonte: Autores.

Lima, Menezes e Brito (2010) apontaram um aumento nas temperaturas mínimas e médias absolutas anuais do Nordeste Setentrional através de dados históricos. Este fato foi observado neste estudo para as temperaturas máxima, mínima e média utilizando os dados históricos climáticos de Monteiro-PB.

Artaxo (2014) tem estudado a ocorrência de eventos climáticos extremos no Brasil. Nos últimos 30 anos, tem aumentado a frequência de chuvas fortes no verão e no inverno do Sul e do Sudeste, assim como as intensas secas no Nordeste, com destaque no ano de 2012. Em Monteiro-PB, os cenários climáticos futuros mostraram que a precipitação terá uma redução no segundo semestre, correspondendo ao período da seca. A diminuição da precipitação é semelhante nos dois cenários, RCP4.5 e RCP8.5.

No Nordeste e na Amazônia, as projeções são de que os períodos secos serão mais intensos e longos, podendo virar secas sazonais. As chuvas tenderão a diminuir, sendo as reduções mais intensas no Nordeste (2-2,5 mm/dia) (ARTAXO, 2014). No presente estudo, as projeções foram divergentes a esses resultados, com os modelos projetando aumentos acentuados das chuvas em Monteiro-PB no primeiro semestre do ano para o período de 2041 a 2070.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foi realizada a análise de tendências para a cidade de Monteiro-PB, nos intervalos mensal e anual. No período anual as temperaturas máxima, mínima e média tiveram tendências significativas de aumento, mas para a precipitação não ocorreu o mesmo. Observou-se que para as temperaturas mínima e média os resultados no período mensal foram mais significativos estatisticamente.

Na comparação do período histórico (1963-2018) relacionado com o período climático futuro (2041-2070) para os cenários RCP4.5 e RCP8.5 para precipitação, temperatura máxima, temperatura mínima e temperatura média o comportamento dos dados foram distintos ao longo do ano. Para a precipitação os cenários RCP foram maiores no início do primeiro semestre do ano, e menores entre os meses de junho a novembro, quando comparados com o período histórico. O período histórico das temperaturas máxima, mínima e média foi menor do que o cenário RCP8.5. O cenário RCP4.5 foi maior quando comparado com o período histórico para as temperaturas mínima e média. A temperatura máxima no cenário RCP4.5 ficou próxima ou abaixo do período histórico em alguns meses. A

temperatura mínima foi o parâmetro que mais sofreu variação percentual de aumento dentro do período analisado nos dois cenários RCP.

Dessa forma, observou-se que Monteiro possui tendências históricas de aumento nas temperaturas. Os cenários futuros estimaram que as temperaturas serão maiores em relação ao período histórico ao longo do ano. Não foram observadas tendências históricas para a precipitação, porém, de acordo com os cenários RCP4.5 e o RCP8.5, haverá um aumento expressivo no primeiro semestre do ano.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) por meio dos projetos 401687/2016-3 e 306783/2018-5 e da bolsa 142451/2018-5.

REFERÊNCIAS

ARTAXO, P. **Mudanças climáticas e o Brasil**. Revista USP, n. 103, p. 8-12, 2014.

ASSIS, J. M. O. de. **Variabilidade do clima e cenários futuros de mudanças climáticas no trecho submédio da bacia hidrográfica do rio São Francisco**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco. Recife. 2016. Disponível em: <https://attena.ufpe.br/handle/123456789/22481>. Acesso em: 27/08/2019.

ABDAL, A. **Sobre regiões e desenvolvimento: o processo de desenvolvimento regional brasileiro no período 1999-2010**. Tese (Doutorado em Sociologia) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo. São Paulo, p. 261. 2015.

BESM. **Brazilian Earth System Model**. 2019. Disponível em: Disponível em: <http://www.inpe.br/besm/modelo-besm/>. Acesso em: 26/07/2019.

BRAZIL MCTI. Third National Communication of Brazil to the United Nations Framework Convention on Climate Change – Executive Summary. 2016.

CHOU, S.C. *et al.* Evaluation of the Eta Simulations Nested in Three Global Climate Models. American Journal of Climate Change, 3, 438-454, 2014a. Disponível em: http://www.scirp.org/journal/PaperInformation.aspx?PaperID=52887#.VakHg_IViko. Acesso em: 13/08/2019.

CHOU, S.C. *et al.* Assessment of Climate Change over South America under RCP4.5 and 8.5 Downscaling Scenarios. American Journal of Climate Change, 3, 512-527, 2014b. Disponível em: http://www.scirp.org/journal/PaperInformation.aspx?PaperID=52877#.VakIh_IVikp. Acesso em: 13/08/2019.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Divisão Regional do Brasil em Regiões Geográficas Imediatas e Regiões Geográficas Intermediárias 2017. Rio de Janeiro, IBGE, 2017. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/apps/regioes_geograficas/ Acesso em: 24/06/2019.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Área territorial brasileira. Rio de Janeiro, IBGE, 2018. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pb/monteiro.html>. Acesso em: 24/06/2019.

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, p. 117-124, 2010. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-77862015000400423. Acesso em: 13/08/2019.

LYRA, A. *et al.* Climate change projections over three metropolitan regions in Southeast Brazil using the non-hydrostatic Eta regional climate model at 5-km resolution Theor Appl Climatol. 2017. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00704-017-2067-z>. Acesso em: 13/08/2019.

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. 1a ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

MOSS, R. H. *et al.* **The next generation of scenarios for climate change research and assessment**. Nature, v. 463, n. 7282, p. 747, 2010. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/nature08823>. Acesso em: 11/09/2019.

MUKHOPADHYAY, R.; KARISIDDAIAH, S.; MUKHOPADHYAY, J. **Climate Change: Alternate Governance Policy for South Asia**. Elsevier, 2018.

NOAA. **National Oceanic and Atmospheric Administration**. The First Climate Model. 2017. Disponível em: http://celebrating200years.noaa.gov/breakthroughs/climate_model/welcome.html. Acesso em: 30/07/2019.

SALMI, T. **Detecting trends of annual values of atmospheric pollutants by the Mann-Kendall test and Sen's slope estimates-the Excel template application MAKESENS**. Finlândia, Ilmatieteen laitos, 2002.

SILVA, L. P.; MEDEIROS, S. E. L.; SILVA, W. K. M.; NILO, P. F.; ABRAHÃO, R. **Influência climática na eficiência de painéis fotovoltaicos de telureto de cádmio em João Pessoa**. In: XVII ENEAMB, 2019, João Pessoa. Anais do XVII ENEAMB, 2019.

TORRES, F. T. P.; MACHADO, P. J. de O. **Introdução à Climatologia**. São Paulo: Cengage Learning, 2011.