

## XV SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE

# **AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA TEMPERATURA EM JUAZEIRO DO NORTE SEGUNDO MODELOS GLOBAIS DO IPCC.**

*Jefferson Hannover Faustino Magalhães<sup>1</sup>; Maria de Jesus Delmiro Rocha<sup>1</sup>; Iran Eduardo  
Lima Neto<sup>2</sup> & Cleiton da Silva Silveira<sup>2</sup>*

**RESUMO** – As variabilidades climáticas exercem forte influência sobre diversas atividades, como a agricultura e a geração de energia. Diante disso, para estimar as alterações no clima emprega-se o uso de modelos climáticos globais que, por meio de cenários de emissões de gases do efeito estufa, estimam as mudanças climáticas que possam ocorrer no futuro. Este trabalho, portanto, visou a analisar as tendências climáticas de índices de temperatura no município de Juazeiro do Norte, Estado do Ceará, utilizando-se, para isso, dados obtidos a partir do Coupled Model Intercomparison Project – 6th phase (CMIP6), avaliando-se desde comportamentos históricos, a tendências desses índices para diferentes cenários futuros propostos pelo IPCC. Concluiu-se que a temperatura apresentou, historicamente, um aumento considerável, possivelmente, associado ao desenvolvimento urbano da região. Além disso, foi perceptível que, independente da cenarização futura empregada, há uma previsão de aumento nas temperaturas médias e máximas anuais.

**Palavras-Chave:** Mudanças climáticas. Temperatura. IPCC.

**ABSTRACT** – Climatic variability has a strong influence on various activities, such as agriculture and energy generation. Therefore, in order to estimate changes in the climate, the use of global climate models is used, which, through scenarios of greenhouse gas emissions, estimate the climate changes that may occur in the future. This work, therefore, aimed to analyze the climate trends of temperature indexes in the municipality of Juazeiro do Norte, State of Ceará, using, for this, data obtained from the Coupled Model Intercomparison Project - 6th phase (CMIP6), evaluating from historical behavior to trends in these indices for different future scenarios proposed by the IPCC. It was concluded that the temperature has historically presented a considerable increase, possibly associated with the urban development of the region. In addition, it was noticeable that, regardless of the future scenario employed, there is a forecast of an increase in average and maximum annual temperatures.

**Keywords:** Climate change. Temperature. IPCC.

---

1) Mestrando, Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental. Av. Mister Hull, bloco 713, Pici, (85) 33669776, j.hannover97@gmail.com

2) Professor Adjunto. Afiliação: Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental. Av. Mister Hull, bloco 713, Pici, (85) 33669776, cleitonsilveira@deha.ufc.br

## INTRODUÇÃO

É inegável que, nas últimas décadas, muito se tem discutido, principalmente no âmbito científico, sobre as mudanças climáticas, suas origens e seus impactos sociais, econômicos e ambientais. Diante disso, Qian e Lin (2005) destacam que oscilações na temperatura podem ser responsáveis pela introdução de eventos extremos e que, conseqüentemente, acabam por afetar negativamente diversos setores da sociedade. A mudança climática pode ser causada por processos naturais da própria Terra ou por forças externas, incluindo variações na intensidade da luz solar, ou ainda, mais recentemente, pela ação do homem (Oliveira et al., 2018; Silva; Colombo, 2019).

Nesse contexto, o Quinto Relatório Científico do IPCC (IPCC, 2013) traz fortes evidências da influência do homem no processo das mudanças climáticas, majoritariamente condicionada pelo aumento das concentrações de gás carbônico na atmosfera advindo das diferentes atividades antrópicas, como também das mudanças no uso e ocupação do solo. As mudanças climáticas antropogênicas estão associadas às atividades humanas com o aumento da emissão de gases de efeito estufa, com o desmatamento, a formação de ilhas urbanas de calor, dentre outros fatores (Wei et al., 2020). Paralelamente a isso, as mudanças climáticas influenciam, fortemente, nas alterações de temperatura média que, por sua vez, impactam nos valores e na variabilidade de eventos de precipitação, trazendo, portanto, implicações para o ciclo hidrológico e para os recursos hídricos (Santos; Brito, 2007).

A análise da tendência de séries históricas de temperatura é uma das maneiras de se determinar a ocorrência de mudança climática local, possibilitando a avaliação de suas conseqüências sobre as bacias hidrográficas e, conseqüentemente, sobre a sociedade (Silva; Montenegro; Souza, 2017).

Este trabalho objetivou analisar as séries de temperatura média e máxima anual para o município de Juazeiro do Norte no Estado do Ceará, utilizando-se os dados obtidos do Coupled Model Intercomparison Project – 6th phase (CMIP6) do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas, e analisar através de regressão linear a tendência de aumento dessas variáveis para os dados históricos e para os cenários futuros propostos para o RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 6.0 e RCP 8.5.

## METODOLOGIA

### Área de abrangência dos estudos e aquisição dos dados

Este estudo abrange a região que compreende o município de Juazeiro do Norte, Estado do Ceará apresentando Figura 1. O referido município apresentou crescimento populacional e econômico substancial nos últimos trinta anos que ocasionaram, conseqüentemente, grandes

mudanças em seu entorno com ampliação das áreas das zonas urbana a transformam na terceira maior cidade do estado bem como em um polo de desenvolvimento regional. O clima na região é classificado como BSw<sup>h</sup>, clima semiárido com chuvas máximas de outono.

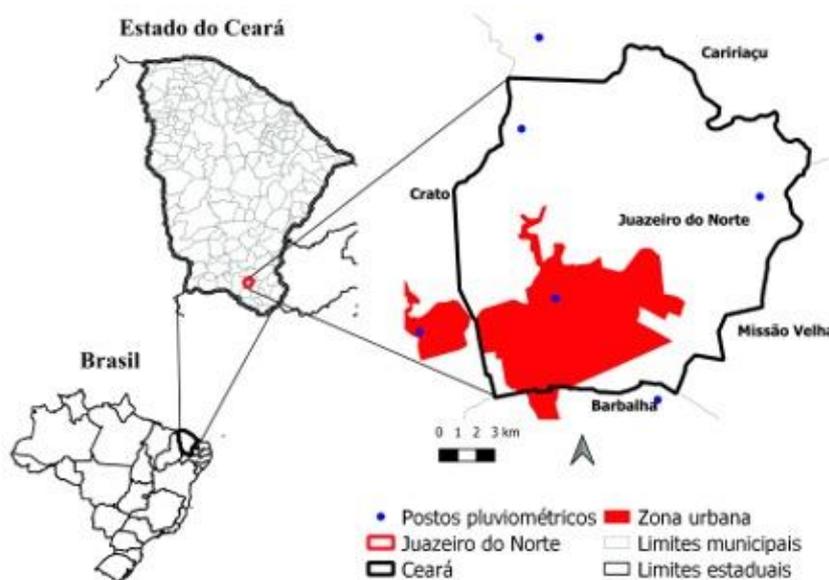


Figura 1 – Localização espacial do município de Juazeiro do Norte.

### **Aquisição dos dados de temperatura**

Para analisar o impacto sofrido na temperatura advindo das mudanças climáticas foram utilizados os dados de temperatura disponibilizados pelo IPCC, via CMIP6, do modelo CESM2 para os cenários históricos e para cenários futuros. Os dados configuram-se entre dois períodos de tempo. O cenário histórico abrange o período compreendido entre 1850 e 2014. Já os cenários futuros compreendem o período de 2015 a 2100. Foram utilizados os dados de cenários futuros para os quatro níveis estimados nos RCPs, *Representative Concentration Pathway*, combinados aos cenários SSP, *Shared Socioeconomic Pathways*. Utilizaram-se os dados das combinações de cenários SSP1 2.6, SSP2 4.5, SSP3 7.0 e SSP5 8.5. Ressalta-se, porém, que os dados dispostos nos arquivos disponibilizados pelo IPCC encontram-se espacialmente distribuídos. Assim, para se analisar apenas a região de interesse, é necessário extrair os dados na coordenada desejada. Para este trabalho extraiu-se os dados nas coordenadas (-7; -40), latitude e longitude respectivamente nos dados do IPCC, mais próximas da área de estudo.

### **Avaliação das mudanças e impactos**

Para avaliar as mudanças que podem vir à região no que se refere à temperatura nos cenários de previsão do IPCC, esta variável foi analisada em suas características média e máxima. Além disso, realizou-se uma análise de regressão linear para se avaliar a tendência do potencial de

mudança desta em cada cenário avaliado bem como a comparação entre os coeficientes de regressão de cada cenário.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Avaliação dos dados obtidos do IPCC

Uma vez que os dados obtidos do IPCC foram tomados para as coordenadas mais próximas, realizou-se uma avaliação bastante simplificada com vistas a mensurar a qualidade dos dados históricos na coordenada aproximada para representar a área estudada. Utilizou-se para comparação a média das variáveis analisadas nas Normais Climatológicas (NC) para a estação 82784, em Barbalha, com a média do período histórico estimada pelo IPCC. A estação de Barbalha foi escolhida por ser a região muito mais próxima da área de estudo. Obteve-se que as temperaturas médias se apresentam em grande proximidade para os dados históricos do IPCC, 26,67 °C, e a média das normais climatológicas, 26,7 °C, configurando-se o desvio entre elas satisfatório.

### Avaliação da temperatura histórica

Na Figura 2 encontra-se os históricos das temperaturas médias e máximas, compreendendo o período de 1850 a 2014, para o município de Juazeiro do Norte. É possível perceber, qualitativamente, que as temperaturas máximas e médias não se modificaram muito ao longo dos anos, vindo a apresentar um aumento, relativamente maior, nas últimas três décadas, possivelmente associado, ao desenvolvimento urbano na região.

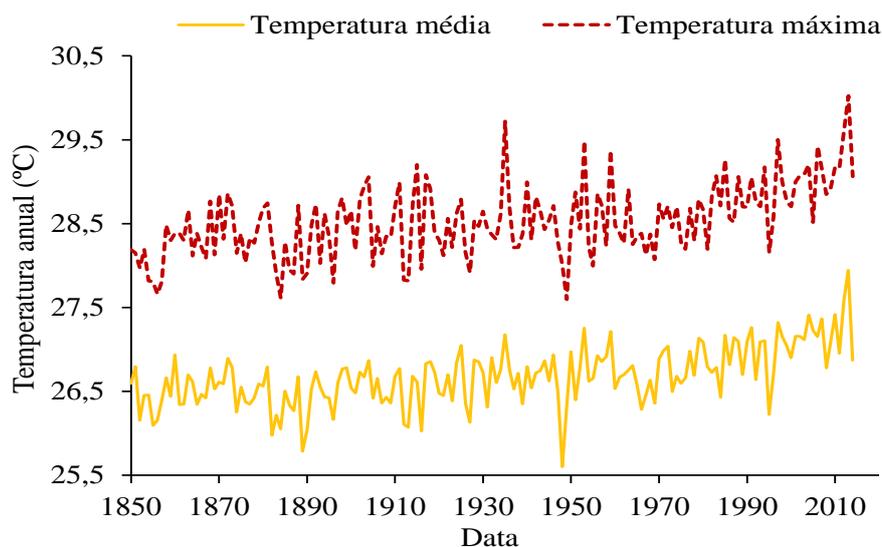


Figura 2 – Temperaturas máximas e médias anuais (°C) no município de Juazeiro do Norte entre 1850 e 2014.

A Figuras 3 apresenta as análises de regressão realizada para as duas séries da Figura 2. Observa-se que as temperaturas médias e máximas apresentaram valores de coeficiente angular de

0,005 e 0,004. Ao analisar, ademais, os coeficientes angulares considerando somente as últimas três décadas, estes coeficientes já se elevam, respectivamente, para valores de 0,02 e 0,012, representando, assim, valores mais expressivos e possivelmente associados à hipótese de desenvolvimento urbano, evidenciando o aumento significativo e contínuo da temperatura nas últimas décadas.

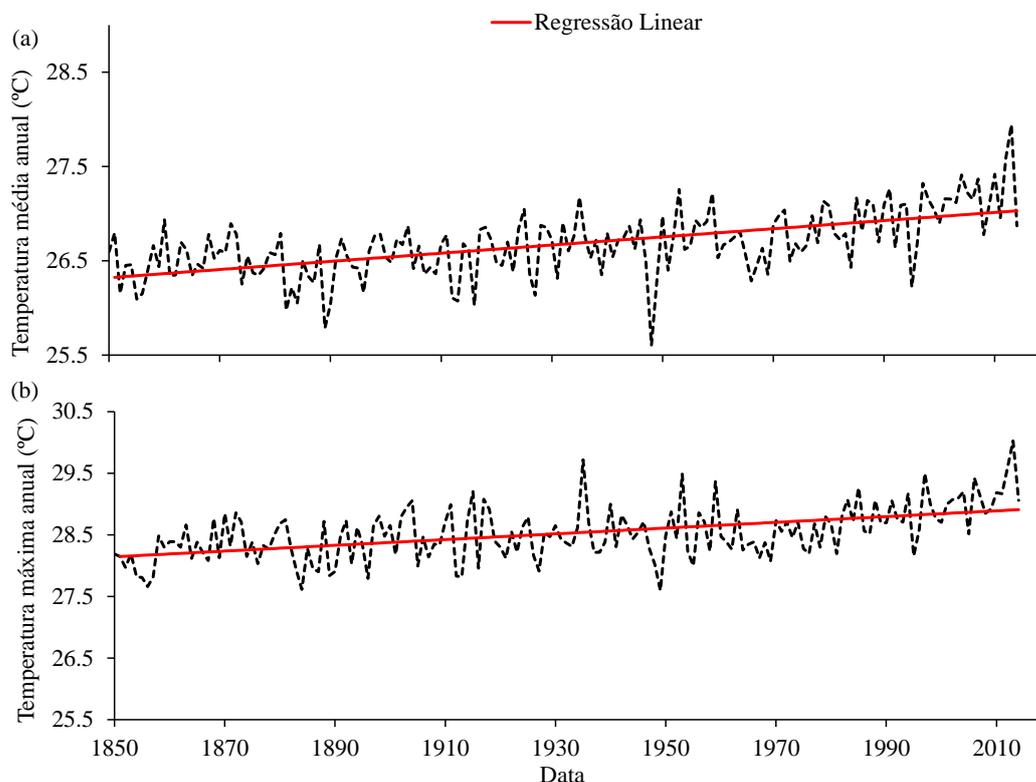


Figura 3 – Tendências das Temperaturas (a) médias e (b) máxima (°C) no município de Juazeiro do Norte entre 1850 e 2014.

### Projeções de temperatura

A partir dos dados coletados da plataforma do CMIP6 para os cenários RCP2.6, 4.5, 6.0 e 8.5, plotaram-se as previsões de temperatura média para cada cenário na Figura 4, com período de 2015 a 2100. Iniciando-se as análises para o cenário RCP2.6, percebe-se que este é o que apresenta a menor evolução da temperatura média para o próximo século, pois este cenário prevê uma estabilização da forçante radiativa em meados do século. Para o cenário RCP4.5, já observa-se um aumento maior na temperatura média relativamente ao cenário RCP2.6. O cenário RCP6.0, por sua vez, por representar uma situação com uma emissão relativamente maior de gases do efeito estufa, em uma primeira instancia, mostra um aumento bastante considerável da temperatura. Por fim, o cenário mais extremo de emissões gasosas, RCP8.5, é o que apresenta a maior evolução nas temperaturas.

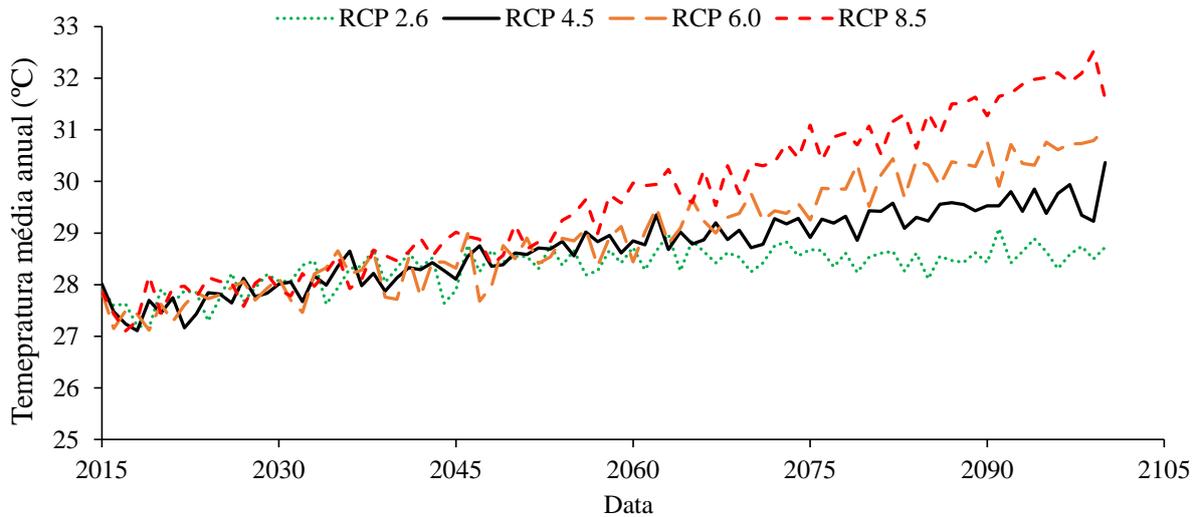


Figura 4 – Previsão de Temperaturas médias (°C) no município de Juazeiro do Norte para o período entre 2015 e 2100.

Na Figura 5, observa-se a série histórica completa, de 1850 a 2100, integrando o período histórico e o cenário futuro. É possível observar, em um primeiro momento, que há uma previsão, para todos os cenários estudados, de um aumento nas temperaturas médias para o próximo século. Dessa forma, apesar de nos primeiros 40 anos, em todos os cenários, a temperatura aumentar de forma semelhante, a partir desse período, nota-se que as temperaturas médias evoluíram de forma diferente. O fato, portanto, de o cenário RCP2.6 não evoluir tanto em sua temperatura deve-se a este forçante atingir o pico até meados do século e estabilizar, enquanto os outros três cenários apresentam maiores emissões de gases do efeito estufa por mais tempo.

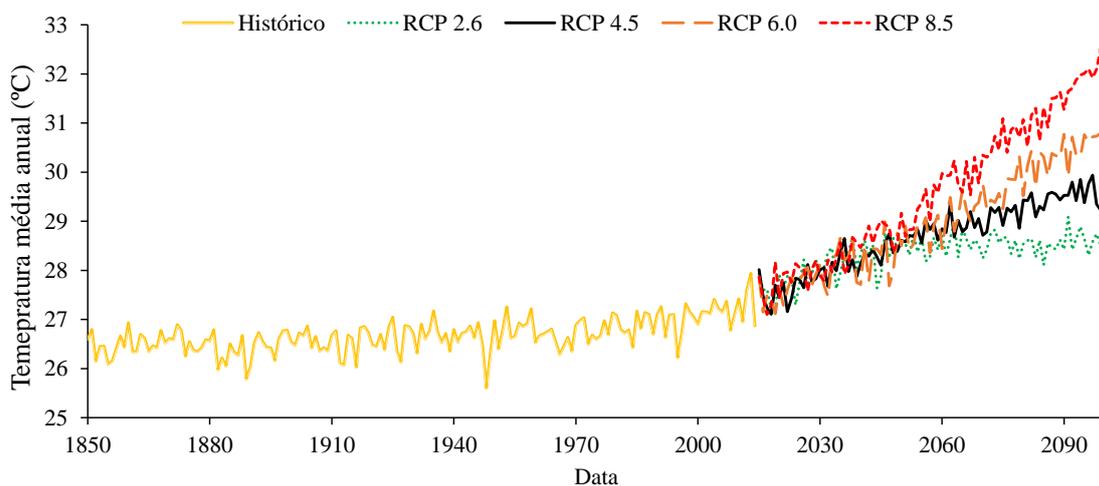


Figura 5 – Histórico e previsão das temperaturas médias (°C) para Juazeiro do Norte

Diante disso, percebe-se que para os cenários levados em consideração há uma tendência de aumento das temperaturas médias anuais, de forma que, para melhor avaliar comparativamente o histórico de temperatura e as previsões, elaborou-se a Figura 6 contendo um bloxplot onde são enquadrados, para as temperaturas médias anuais, os valores das temperaturas mínimas, máximas e

os percentis de 25%, 50% e 75% encontrados, garantindo, assim, uma melhor percepção estatística para a avaliação de possíveis cenários.

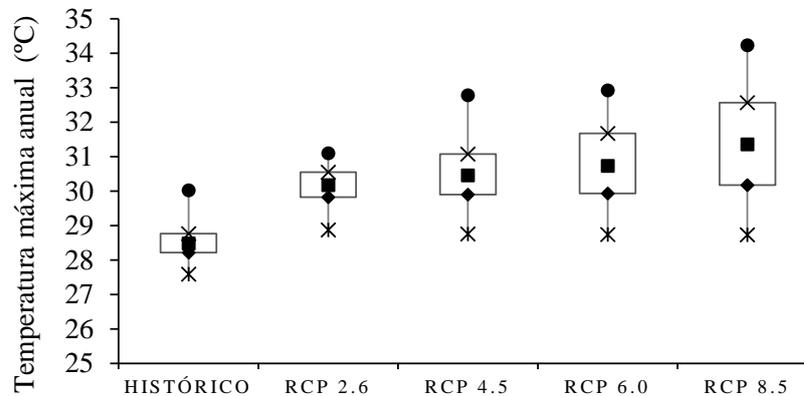


Figura 6 – Boxplot para temperaturas médias anuais (°C) de Juazeiro do Norte em diferentes cenários

Da Figura 6, tem-se que os modelos com maiores forçantes climáticas possuem maior efeito sobre as mudanças nas temperaturas. Entretanto, apesar de se notar um aumento considerável para os valores encontrados de temperatura média anual máxima nesse sentido, os de temperatura média anual mínima, mesmo tendo aumentado em relação ao histórico, permanecem semelhantes para os quatro modelos de previsão avaliados.

Além disso, quando se parte para avaliar os percentis, percebe-se, novamente que, mesmo esses fatores tendo aumentado em relação ao histórico, os percentis de 25% e 50% tendem a permanecer semelhantes em todos os cenários, enquanto que para cenários com maiores forçantes climáticas o percentil de 75% apresenta um leve aumento. A partir desse fato é possível perceber que para os modelos propostos será, enormemente, percebida uma elevação de temperaturas maiores, ao passo que menores temperaturas permanecerão constantes.

### Impactos na temperatura

Os resultados das análises de regressão linear simples para estimar a tendência linear presente nas séries, destacando-se que as análises dessas tendências se baseiam com uma significância estatística igual ou superior a 95%, estão sintetizados na Tabela 1 e na Figura 7. Pela Tabela 1, é possível visualizar os resultados das análises de tendências aplicadas tanto às séries históricas quando para os cenários futuros RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 e RCP8.5.

Tabela 2 –Análise de tendências de Temperaturas máximas e médias (°C).

Cenário	Período	Tendência - coeficiente angular	
		T <sub>máxima</sub>	T <sub>média</sub>
Histórico	1850-2014	0.005	0.004
RCP2.6	2015-2100	0.008	0.011
RCP4.5	2015-2100	0.027	0.028
RCP6.0	2015-2100	0.041	0.041
RCP8.5	2015-2100	0.057	0.057

Verifica-se, portanto, que para todos os cenários avaliados, as tendências de temperatura média e máxima foram positivas, levando destaque os cenários RCP6.0 e 8.5 que apresentaram os maiores aumentos, dado que estes são os cenários que estão relacionados a emissões de gases do efeito estufa por mais tempo.

Além disso, o cenário RCP2.6 é o que apresenta a menor evolução das temperaturas médias e máximas para o próximo século observado pelas linhas de tendência das Figuras 7 (a) e (b) que, conforme a Tabela 2, apresenta valores bem pequenos para o coeficientes angulares, sendo de 0,011 e 0,008, respectivamente, para a temperatura média e a temperatura máxima. Mesmo com uma elevação na temperatura relativamente pouco acentuada, entretanto, destaca-se que quando se analisa os primeiros próximos dez anos e os últimos dez anos da previsão por este cenário, tem-se que a temperatura média anual sai de um valor médio de 27.6°C para um valor de médio de quase 28.6°C o que representa um aumento de 1,0°C.

Para o cenário RCP4.5, já se espera um aumento maior nas temperaturas médias e máximas relativamente ao cenário RCP2.6. Das análises das tendências nas Figuras 7(c) e (d) complementadas pela Tabela 4, nota-se um aumento das inclinações das linhas de tendência, que para as previsões de temperatura máxima apresentou um coeficiente angular de 0,027 e de temperatura média de 0,028. Assim, as médias das temperaturas médias dos primeiros dez anos de previsão vão de 27,5°C para uma média de 29,6°C nos últimos dez anos o que, em valores absolutos, representa um aumento de 2,1°C na temperatura média.

Para o cenário RCP6.0, por este representar uma situação com uma emissão relativamente maior de gases do efeito estufa, nota-se um aumento bastante considerável das temperaturas máximas e médias para o futuro. Por meio da Figura 7(e) e (f) e da Tabela 4 extrai-se que há uma maior inclinação das linhas de tendência que apresenta o mesmo coeficiente angular de 0,041 tanto pra a tendência da temperatura máxima quanto para a temperatura média, esse fato garante que a média das temperaturas anuais médias dos dez primeiros anos da série seja de 27,5°C e dos dez últimos anos de 30.6°C o que traz um aumento de 3,1°C na temperatura.

Por fim, no cenário mais extremo de emissões gasosas RCP8.5, visualmente da Figura 7(g) e (h) é o que apresenta a maior evolução nas temperaturas, tendo, portanto a maior inclinação da linha de tendência dada por um valor da Tabela 4 de 0,057 para o coeficiente angular tanto da temperatura máxima, quanto da temperatura média, de forma que a média das temperaturas anuais médias dos dez primeiros anos da série seja de 27,7°C e dos dez últimos anos de aproximadamente de 32,0°C o que traz um aumento bastante considerável de 4,3°C na temperatura.

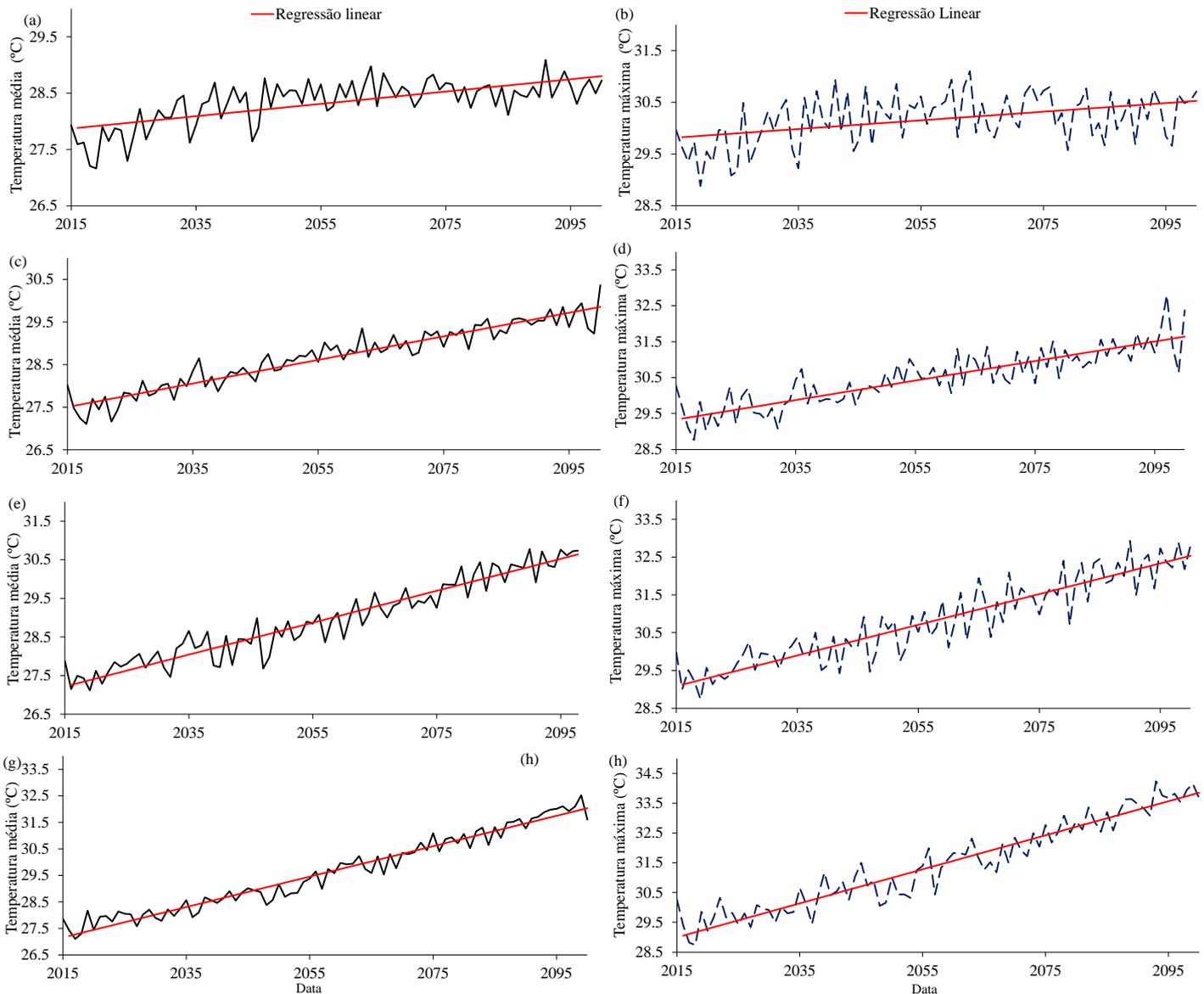


Figura 7 – Tendências das temperaturas média e máxima, respectivamente, para os cenários (a) e (b) RCP 2.6, (c) e (d) RCP 4.5, (e) e (f) RCP 6.0 e (g) e (h) RCP 8.5

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho foi capaz avaliar para o município de Juazeiro do Norte o impacto sofrido na variável de temperatura advindo das mudanças climáticas por meio do uso de dados de

temperatura dos modelos globais disponibilizados pelo IPCC, CMIP6, para os cenários histórico e para cenários RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 6.0 e RCP 8.5.

Pelos resultados, a temperatura apresentou, historicamente, um aumento considerável, principalmente, nas últimas três décadas, fenômeno este, possivelmente, associado ao desenvolvimento urbano da região. Além disso, foi perceptível que, independente da cenarização futura, todos os modelos identificaram uma previsão de aumento nas temperaturas médias e máximas anuais, esta evolução fica cada vez mais perceptível a medida que o modelo intensifica suas forçantes climáticas. Ademais, notou-se também que, para os modelos propostos, será, principalmente, percebido uma elevação de temperaturas maiores, ao passo que menores temperaturas permanecerão constantes.

## REFERÊNCIAS

CESM. Community Earth System Model. Disponível em: <http://www.cesm.ucar.edu/models/cesm2/>. Acesso em: 02/04/2020.

IPCC, 2013: Resumo para Decisores. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribuição do Grupo de Trabalho I para o Quinto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Alterações Climáticas* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido e Nova Iorque, NI, EUA.

OLIVEIRA, M. J.; CARNEIRO, C. R.; VECCHIA, F. A. S. e BAPTISTA, G. M. M. (2018) “*Ciclos climáticos e causas naturais das mudanças do clima*”. Terra e Didática, v. 13, n. 3, p. 149-184.

QIAN, W., LIN, X. “*Regional trends in recent precipitation indices in China*”. Meteorology and Atmospheric Physics, v. 90, p. 193-207, 2005.

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

SILVA, K. Z.; COLOMBO, R. (2019) “*Mudanças Climáticas: influência antrópica, impactos e perspectivas: Influência Antrópica, Impactos e Perspectivas*”. Fronteiras: Journal of Social, Technological and Environmental Science. v. 8, n. 3, p. 47-68. doi: 10.21664/2238-8869.2019v8i3.p47-68.

SILVA, R. O. B.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; SOUZA, W. M. (2017) “*Tendências de mudanças climáticas na precipitação pluviométrica nas bacias hidrográficas do estado de Pernambuco*”. Engenharia Sanitaria e Ambiental. v. 22, n. 3, p. 579-589. doi: 10.1590/s1413-41522017142481.

WEI; ZHAO, H.; ZHANG, J.; QI, Y.; WANG, X. (2020) “*Human activities alter response of alpine grasslands on Tibetan Plateau to climate change*”. Journal of Environmental Management, v. 262, p. 110335. doi: 10.1016/j.jenvman.2020.110335.