

IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO PARA O MUNICÍPIO DE IGUATU-CEARÁ

**EUGENIO PACELI DE MIRANDA¹; JHON LENNON BEZERRA DA SILVA²;
EVERTON KAUAN ELIAS BATISTA³ E VICTOR LIMA ARAÚJO⁴**

¹ Departamento de Engenharia Agrícola, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – IFCE Campus Iguatu, Brasil, e-mail: paceli.miranda@gmail.com; ORCID (<https://orcid.org/0000-0002-1390-1639>)

² Pós-Graduação em Irrigação no Cerrado, Instituto Federal Goiano – Campus Ceres, GO-154, km 218 – Zona Rural, 76300-000, Ceres, Goiás, Brasil, e-mail: jhon.silva@ifgoiano.edu.br; ORCID (<https://orcid.org/0000-0002-2611-4036>)

³ Graduando em Engenharia Agrícola, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – IFCE Campus Iguatu, Brasil, e-mail: everton.kauan08@aluno.ifce.edu.br ORCID (<https://orcid.org/0009-0002-7151-8379>)

⁴ Graduando em Engenharia Agrícola, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – IFCE Campus Iguatu, Brasil, e-mail: lima.victor07@aluno.ifce.edu.br ORCID (<https://orcid.org/0009-0007-9796-5675>)

1 RESUMO

Objetivou-se mensurar os impactos de alterações climáticas no Balanço Hídrico Climatológico (BHC) para o município de Iguatu/Ceará. O BHC foi feito pelo método proposto por Thornthwaite e Mather (1955) para o cenário atual e mais seis cenários de mudanças climáticas propostos pelo Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (2012). O BHC do cenário atual apresentou excedente hídrico apenas em março e abril. Já os demais cenários (C1–C6) obtiveram aumento significativos na temperatura além da redução da precipitação, ambos apresentando déficit hídrico acentuado ao longo da normal climatológica, inviabilizando a agricultura de sequeiro. A mudança climática local influenciou diretamente o BHC em Iguatu-Ce.

Palavras-chave: semiárido brasileiro, agricultura de sequeiro, deficiência hídrica.

**MIRANDA, E. P.; SILVA, J. L. B.; BATISTA, E. K. E.; ARAÚJO, V. L.
IMPACTS OF CLIMATE CHANGE ON THE CLIMATOLOGICAL WATER
BALANCE FOR THE MUNICIPALITY OF IGUATU-CEARÁ**

2 ABSTRACT

This study aimed to estimate the impacts of climate change on climatological water balance (BHC) in the city of Iguatu/Ceará. The BHC was created via the method proposed by Thornthwaite and Mather (1955) for the current scenario and six other climate change scenarios proposed by the Brazilian Panel on Climate Change (2012). The BHCs in the current scenario presented a water surplus only in March and April. The other scenarios (C1–C6) had significant increases in temperature in addition to a reduction in precipitation, both presenting a marked water deficit throughout the climatological normal, making rainfed agriculture unfeasible. Local climate change directly influenced the BHC in Iguatu-Ce.

Keywords: brazilian semiarid, rainfed agriculture, water deficiency.

3 INTRODUÇÃO

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) em seu sexto Relatório de Avaliação (AR6), apontou nos últimos anos um aumento de 1,1 °C na temperatura global (IPCC, 2022). O IPCC alerta para mudanças climáticas mais severas, com projeções de aumento da temperatura global podendo atingir ou ultrapassar 1,5 °C até 2040. Analisando mais especificamente estes cenários atuais e futuros para a região Nordeste e o semiárido brasileiro sob condições de semiaridez, aridez e seca, o estudo de Marengo e Bernasconi (2015) projetou um aumento de temperatura de 2 °C entre 2041 e 2070.

Em atualização das projeções climáticas para o Nordeste Brasileiro, o estudo de Marengo *et al.* (2020) alerta para condições de redução da precipitação pluviométrica, que vem influenciando no aumento do déficit hídrico em mais da metade da região, com probabilidade de aquecimento de 4 °C até 2100. Nesse contexto, essas regiões em um curto, médio e longo prazo enfrentarão o aumento na frequência, intensidade e duração de eventos extremos, como a seca severa (Barbosa, 2023; Barbosa, 2024).

É fundamental aperfeiçoar a gestão dos recursos hídricos, devido às crescentes demandas de ações que visam garantir a segurança hídrica em um contexto de mudanças climáticas, com ênfase em medidas de adaptação que considerem o agravamento de problemas crônicos, como a maior ocorrência e severidade de períodos de seca (Dias, 2020). Tal problemática evidencia a carência inadiável, de aprimorar a forma de gerenciamento da água disponível, com as constantes mudanças climáticas em todo o mundo, tem sido creditada a variância da temperatura global,

consequentemente repercute na disponibilidade hídrica, sendo esse o fator a receber uma influência franca do aumento de temperatura. O balanço hídrico climatológico é obtido a partir de dados de precipitações e evapotranspirações mensais para mensurar a quantidade de água disponível para uma região ao longo do ano.

Fazendo-se necessário a compreensão sobre os impactos causados pelos cenários de mudanças climáticas, onde tal conceito já se sobrepõe da ideia abstrata, e passou a ser fatídico. Segundo Souza e Cruz (2024), a água é um recurso indispensável para a sobrevivência humana, sendo ligada a questões complexas que envolvem a sociedade, e a crescente demanda por água, que relacionada à escassez em regiões e a degradação dos recursos hídricos aumenta o risco de conflitos de interesse. As mudanças climáticas estão intensificando problemáticas como secas, desertificação, inundações, tempestades, relacionado a escassez de água, esse ponto não fica limitado apenas a quantidade como a qualidade, tornando por vezes a água imprópria para consumo humano e utilização para outras atividades (Dias, 2020).

Este estudo objetiva mensurar os impactos das alterações climáticas para o Balanço Hídrico Climatológico no município de Iguatu – CE.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O município de Iguatu, pertencente ao estado do Ceará, está localizado na latitude de 06°27'48" S e longitude de 39°24'42" W, cuja classificação climática de Koeppen é do tipo BSw'h', caracterizado

climaticamente como quente e seco (Alvares *et al.*, 2013).

Fez-se o Balanço Hídrico Climatológico (BHC) para o município de Iguatu/CE, para o cenário atual, a partir da série de dados de 1961 a 2020, obtidos a

partir do portal do Instituto Nacional de Meteorologia e para seis cenários de mudanças climáticas (Tabela 1) propostos pelo Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (2012).

Tabela 1. Cenários de alterações na evapotranspiração de referência (ETo) e precipitação (P) propostos pelo PBMC.

Cenário	T (°C)	P (mm/ano)
++Atual	28,1 ¹	951,7 ²
C1	+0,5	-10%
C2	+1,0	-20%
C3	+1,5	-25%
C4	+2,5	-35%
C5	+3,5	-40%
C6	+4,5	-50%

Fonte: ¹Temperatura média anual, ²Precipitação anual, adaptado do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (2012).

O BHC foi feito pelo método proposto por Thornthwaite e Mather em 1955 (Pinheiro *et al.*, 2013) a partir de valores mensais da evapotranspiração de referência (ETo) e das precipitações, considerando a capacidade de água disponível no solo (CAD) de 100 mm. As evapotranspirações de referência foram obtidas pelo método de Thornthwaite (Equação 1).

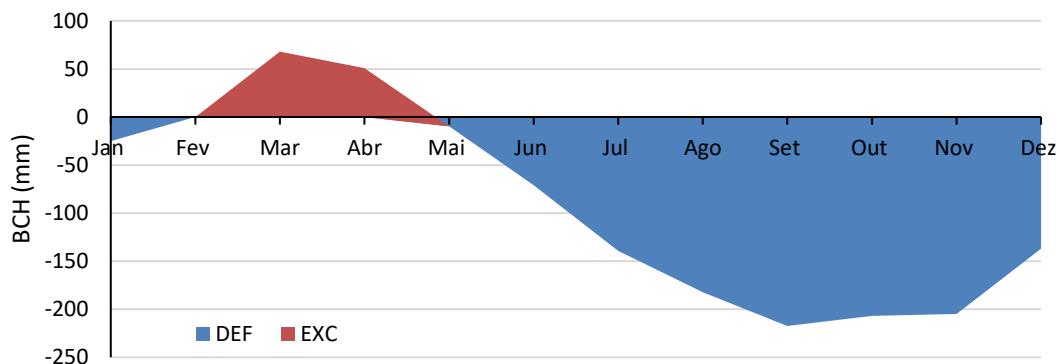
$$ETo = F \cdot 16 \left(10 \cdot \frac{T_i}{I} \right)^a \quad (01)$$

Em que: ETo – Evapotranspiração de referência (mm/mês); F – fator de correção (tabelado); Ti – Temperatura média mensal do ar (°C); I – índice térmico; a – coeficiente.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Somente o BHC atual, com as normais climatológicas de 1961 a 2020, Figura 1, mostra que há excedente apenas nos meses março e abril, e que somente nesses dois meses recomenda-se plantar uma cultura de sequeiro.

Figura 1. Balanço Hídrico Climatológico (BCH) de Iguatu/CE para o cenário atual (normais climatológicas de 1961 a 2020).



A Tabela 2 destaca todos os cenários com os respectivos níveis de deficiências e excedentes hídrico anual. A partir do cenário 1 (C1) observou um aumento de 0,5°C na temperatura do ar e uma redução de 10% na precipitação. Portanto, não há mais excedente hídrico. As deficiências

aumentam conforme aumentam as temperaturas e reduzem as precipitações nos outros cenários (C2–C6), o que indica que para um aumento de apenas 0,5°C na temperatura do ar e uma redução de 10% na precipitação, a agricultura na região é dependente de irrigação.

Tabela 2. Níveis de deficiências e excedentes hídrico anual do BHC do município de Iguatu/Ceará conforme todos os cenários.

Cenário	Déficit	Excedente
Atual	954,9	100,62
C1	1258,5	0,00
C2	1419,1	0,00
C3	1620,7	0,00
C4	2045,5	0,00
C5	2453,3	0,00
C6	2944,8	0,00

Na Tabela 3 é possível observar os déficits e excedentes mensais para os cenários atual, C1, C2, C3 e C4. Como pode ser observado, somente o cenário atual apresenta excedente hídrico nos meses de março e abril e a partir do C1, todos os meses

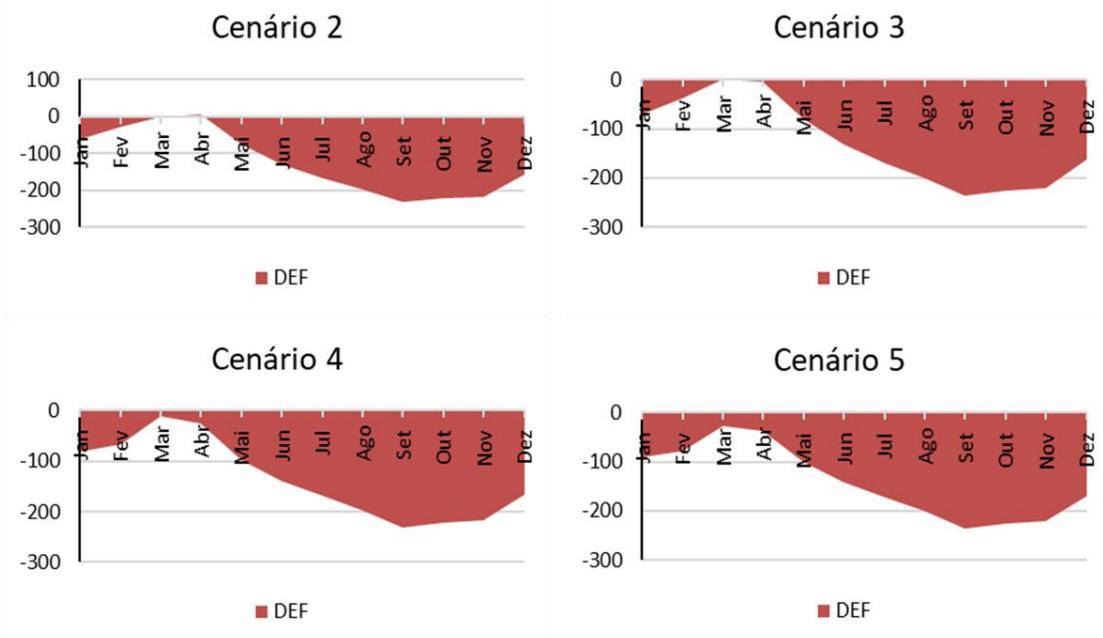
do ano apresentaram déficit. Comparando o cenário atual e o C1, o aumento de 0,5°C na temperatura do ar e uma redução de 10% na precipitação resultou no aumento do déficit hídrico anual de aproximadamente 32%.

Tabela 3. Balanço Hídrico Climatológico para Iguatu-CE, segundo todos os cenários.

	Atual		C1		C2		C3		C4	
	DEF	EXC	DEF	EXC	DEF	EXC	DEF	EXC	DEF	EXC
	(mm)		(mm)		(mm)		(mm)		(mm)	
Jan	45,9	0	85,6	0	99,6	0	121,1	0	166,3	0
Fev	0,0	0	12,9	0	22,4	0	41,1	0	85,1	0
Mar	0,0	49,4	0,0	0	2,3	0	22,6	0	72,1	0
Abr	0,0	51,2	0,0	0	0,0	0	26,1	0	72,6	0
Mai	0,4	0	37,1	0	60,0	0	79,9	0	120,4	0
Jun	0,4	0	87,9	0	109,3	0	124,6	0	154,0	0
Jul	88,0	0	115,7	0	130,9	0	144,3	0	171,7	0
Ago	130,4	0	150,3	0	164,2	0	178,3	0	208,2	0
Set	162,3	0	178,4	0	192,5	0	207,3	0	239,3	0
Out	183,9	0	203,0	0	218,7	0	236,1	0	273,7	0
Nov	194,0	0	211,4	0	227,2	0	244,3	0	281,2	0
Dez	149,5	0	176,1	0	192,0	0	194,9	0	200,6	0
Total	954,9	100,6	1258,5	0	1419,1	0	1620,7	0	2045,5	0

A Figura 2 destaca o aumento dos déficits nos cenários C2, C3, C4 e C5, que retrata basicamente os efeitos severos da seca e a alta variabilidade climática. O excedente hídrico foi afetado significativamente com o aumento da

temperatura e consequente redução da precipitação ao longo do tempo. Portanto, os gráficos apresentam que a deficiência hídrica predominou ao longo do tempo, com aumento significativo em todos os meses do ano.

Figura 2. Balanço Hídrico Climatológico de Iguatu/CE para os cenários 2, 3, 4 e 5.

6 CONCLUSÕES

Os cenários de mudanças climáticas tiveram influência significativa no BHC para o município de Iguatu/Ceará, onde apenas o cenário atual mostrou a possibilidade de implantação de uma agricultura de sequeiro de ciclo curto, em dois meses.

Nos demais cenários (C1–C2), todos os meses do ano apresentaram déficits hídrico, o que inviabiliza a agricultura de sequeiro, trazendo um impacto social e econômico de grande magnitude, principalmente para os pequenos agricultores.

7 REFERÊNCIAS

- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; MORAES GONÇALVES, J. L.; SPAROVEK, G. Köppen's Climate Classification Map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, Stuttgart, n. 22, v. 6, p. 711-728, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>. Disponível em: <https://www.schweizerbart.de/papers/metz/detail/22/82078>. Acesso em: 12 fev. 2025.
- BARBOSA, H. A. Flash Drought and Its Characteristics in Northeastern South America during 2004–2022 Using Satellite-Based Products. *Atmosphere*, Basel, v. 14, n. 11, p. 1-23, 2023. DOI: <https://www.mdpi.com/2073-4433/14/11/1629>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4433/14/11/1629>. Acesso em: 12 fev. 2025.
- BARBOSA, H. A. Understanding the rapid increase in drought stress and its connections with climate desertification since the early 1990s over the Brazilian semi-arid region. *Journal of Arid Environments*, Amsterdam, v. 222, article 105142, p. 1-19, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2024.105142>.

142. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140196324000223>. Acesso em: 12 fev. 2025.

DIAS, E. M. S. **Mudanças climáticas e recursos hídricos:** percepções sobre riscos climáticos e capacidade adaptativa na região semiárida do Rio Grande do Norte, Brasil. 2020. Dissertação (Mestrado em Estudos Urbanos e Regionais) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2020.

IPCC, 2022: **Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability.** Geneva: IPCC, 2022. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-ii/>. Acesso em: 24 mar. 2025.

MARENGO, J. A.; CUNHA, A. P. M.; NOBRE, C. A.; RIBEIRO NETO, G. G.; MAGALHÃES, A. R.; TORRES, R. R.; SAMPAIO, G.; ALEXANDRE, F.; ALVES, L. M.; CUARTAS, L. A.; DEUSDARÁ, K. R. L.; ÁLVALA, R. C. Assessing Drought in the Drylands of Northeast Brazil under Regional Warming Exceeding 4 °C. **Natural Hazards**, Berlin, v. 103, p. 2589-2611, 2020. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s1069-020-04097-3>. Acesso em: 12 fev. 2025.

MARENGO, J. A.; BERNASCONI, M. Regional Differences in Aridity/Drought Conditions over Northeast Brazil: Present State and Future Projections. **Climate Change**, Berlin, v. 129, p. 103-115, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10584-014-1310-1>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10584-014-1310-1>. Acesso em: 07 mar. 2025.

PAINEL BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS. Sumário Executivo: Base

Científica das Mudanças Climáticas: Contribuição do Grupo de Trabalho 1 ao Primeiro Relatório de Avaliação Nacional do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. Rio de Janeiro: PBMC, 2012.

PINHEIRO, A. G.; SILVA, M. G.; MACÊDO, K. G.; LEDO, E. R. F.; ARRAES, F. D. D.; LIMA JÚNIOR, J. C. Balanço hídrico climatológico com diferentes cenários de mudanças climáticas no município de Barbalha-CE. In: CONGRESSO NORTE NORDESTE DE PESQUISA E INOVAÇÃO, 2013, Salvador. *Anais* [...]. Palmas: CONNEPI©2012, 2013. p. 1–6. Disponível em: https://www.academia.edu/7796676/PINHEIRO_and_ET_AL_2013_BALAN%C3%87O_H%C3%88DRICO_CLIMATOL%C3%93GICO_COM_DIFERENTES_CEN%C3%A7AO_DE_MUDAN%C3%87AS_CLI%81TICAS_NO_MUNIC%C3%88PIO_DE_BARBALHA_CE?hb-g-sw=58765181. Acesso em: 24 mar. 2025.

SOUZA, C. E. L. D.; CRUZ, R. C. Balanço hídrico climatológico do município de Cacequi/RS de 1985 a 2020: Efeitos do fenômeno Enos e da mudança na cobertura da terra. *Revista Caminhos de Geografia*, Recife, v. 25, n. 100, p. 15-33, 2024. DOI: <https://doi.org/10.14393/RCG2510071000>. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/71000>. Acesso em: 07 mar. 2025.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. **The water balance**. 1. ed. Centerton: Drexel Institute of Technology, Laboratory of Climatology, 1955. v. 3.