



VI-614 - APLICAÇÃO DO MÉTODO DE THORNTHWAITTE (1941) PARA ANÁLISE DA EVOLUÇÃO CLIMÁTICAS EM 9 ESTADOS DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

Kaline Muriel de Figueiredo Gomes⁽¹⁾

Engenheira Civil e Doutoranda em Ciências Climáticas pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Engenheira Civil na CAERN-RN.

Jonathan Mota da Silva⁽²⁾

Físico, Doutor e Pós-Doutor em Ciências Atmosféricas pelo Inst. de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da USP (IAG/USP).

Sandra Isay Saad⁽³⁾

Graduada e Mestre em Meteorologia e Doutora em Ciência Ambiental pela Universidade de São Paulo (USP).

Itauan D. G. de Medeiros⁽⁴⁾

Graduando em Meteorologia pelo Departamento de Ciências Atmosféricas e Climáticas, Universidade Federal do Rio Grande do Norte (DCAC-UFRN).

Endereço⁽¹⁾: Av. Salgado Filho, 3000 - Lagoa Nova - Natal - RN - CEP: 59078-970 - Brasil - e-mail: Kmuriel2001@gmail.com

Endereço⁽²⁾: Av. Salgado Filho, 3000 - Lagoa Nova - Natal - RN - CEP: 59078-970 - Brasil - e-mail: halfeld@sc.usp.br

Endereço⁽³⁾: R. Aprígio Veloso, 882 - Universitário, Campina Grande - PB, 58429-900 - Brasil - e-mail: halfeld@sc.usp.br

Endereço⁽⁴⁾: Av. Salgado Filho, 3000 - Lagoa Nova - Natal - RN - CEP: 59078-970 - Brasil - e-mail: itauan.gomes.706@ufrn.edu.br

RESUMO

A utilização do método de Thornthwaite (1941) para fins de estudos climáticos ocorreu pela primeira vez em 1977 com a utilização aplicação do Índice de Aridez (IA). O emprego deste índice permite verificar a relação entre a quantidade de chuva e a perda de água do sistema pela evapotranspiração potencial (FREITAS, 2005; SOUZA, 2004). O Nordeste do Brasil é marcado por uma distribuição irregular espaço-temporal da precipitação. Alterações no índice de aridez podem apontar impactos severos no ciclo hidrológico, no ecossistema e na gestão dos recursos hídricos da região. Assim, o objetivo do trabalho é aplicar o método de Thornthwaite (1941) para analisar a evolução climática em 9 cidades situadas no semiárido Brasileiro, utilizando os dados de Temperatura e Precipitação para as normais climatológicas dos períodos de 1961-1990 e 1981-2010. Com a análise dos resultados, pode-se concluir que houve redução nas chuvas em 9 das 10 estações estudadas situadas no Nordeste, concomitante com o aumento na temperatura e também na evapotranspiração. Provocando por consequência a mudança da classificação do clima nas cidades analisadas e todos os impactos ao clima associados, como por exemplo, as secas extremas ocorridas nos últimos anos no Nordeste Brasileiro.

PALAVRAS-CHAVE: Thornthwaite; Índice de Aridez, semiárido brasileiro.

INTRODUÇÃO

A utilização do método de Thornthwaite (1941) para fins de estudos climáticos ocorreu pela primeira vez em 1977 com a utilização da aplicação do Índice de Aridez (IA). O método foi ajustado posteriormente por Penman (1953) como aplicação ao Plano de Ação de Combate à Desertificação das Nações Unidas. O emprego deste índice permite verificar a relação entre a quantidade de chuva e a perda de água do sistema pela evapotranspiração potencial (FREITAS, 2005; SOUZA, 2004).

A desertificação é um processo de fragilidade dos ecossistemas das terras secas em geral, decorrentes da pressão excessiva das populações humanas, perdem a produtividade e a capacidade de se recuperarem (SILVA, 2019). Galvão (2001) afirma que a desertificação atua direcionando o ambiente a condições que



modificam a paisagem, determinando perda dos solos, escassez dos recursos hídricos, regressão biótica, improdutividade agrícola e abandono das terras.

O Nordeste do Brasil é marcado por uma distribuição irregular espaço-temporal da precipitação, com volumes concentrados em um pequeno intervalo de tempo, além de valores elevados de temperatura e evapotranspiração potencial, caracterizando a região em sua grande parte como semiárida. Alterações no índice de aridez podem apontar impactos no ciclo hidrológico, no ecossistema e na gestão dos recursos hídricos de uma região. Estudar a aridez de uma região é muito importante para se conhecer a dinâmica dela no longo prazo, da estrutura ambiental ali encontrada, suas tendências de mudanças, e os impactos sobre a disponibilidade hídrica para o abastecimento de água em larga escala, de modo que se possam traçar estratégias de convivência com os eventos extremos, como as secas, em virtude da redução das chuvas e o aumento das perdas por evapotranspiração. Regiões suscetíveis à desertificação tendem a ter maiores degradações dos seus recursos naturais (água, vegetação, solo) impondo limitações ao seu manejo e produtividade.

Com isto, este trabalho, teve como objetivo aplicar o método de Thornthwaite (1941) para analisar a evolução climática com os indicadores: a) Susceptibilidade à desertificação, b) Índice de aridez em 9 cidades situadas no semiárido Brasileiro, utilizando os dados de Temperatura e Precipitação para as normais climatológicas dos períodos de 1961-1990 e 1981-2010.

MATERIAIS E MÉTODOS

ÁREA DE ESTUDOS

A área escolhida para este trabalho está inserida no Semiárido Brasileiro, cuja área abrange parte dos estados Maranhão, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe e Bahia do Nordeste Brasileiro (NEB) e parte do estado de Minas Gerais. Ilustrados no Mapa da Figura 01.

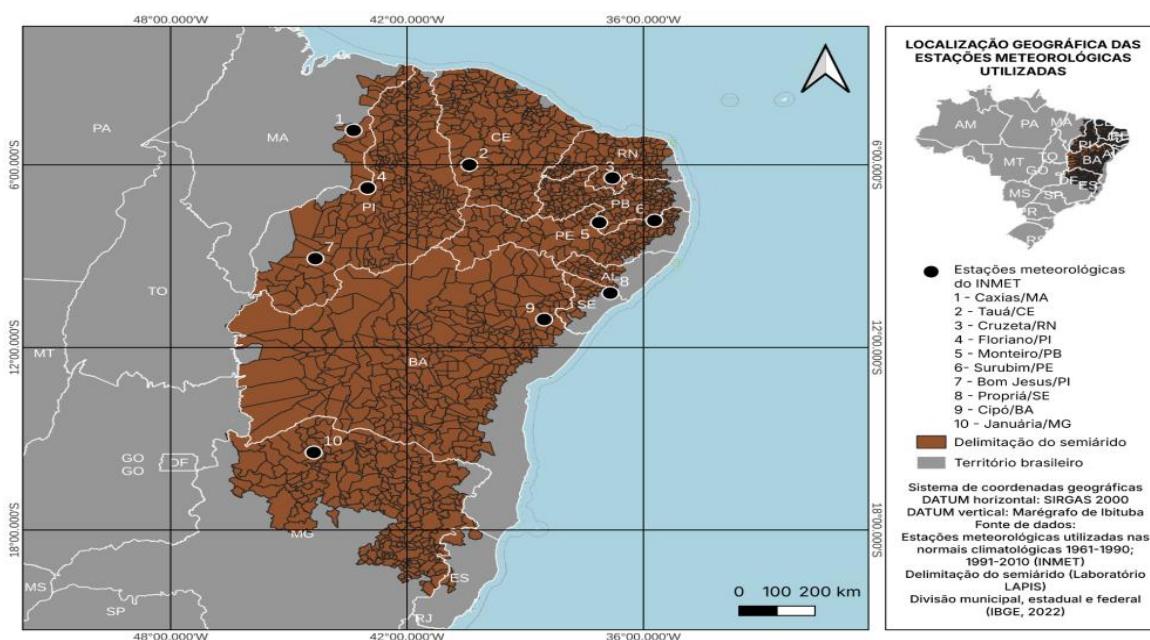


Figura 1: Mapa da área de estudo

A Região semiárida foi classificada e delimitada inicialmente em 2017 e passou por reclassificação em 2022, em que foi atualizada com as normais climatológicas do período 1991-2020. Contudo, em virtude da falta de disponibilidade de dados, foram escolhidas para este trabalho, estações que tinham disponibilidade de dados completos para as duas Normais referentes aos períodos de 1961-1990 e 1981-2010, visto que o período que se estende até o ano de 2020 ainda não estava disponível para as demais estações. Vale ressaltar que todas as estações selecionadas para este trabalho, atualmente estão inseridas na área de abrangência da região do semiárido Brasileiro, contudo, na escala temporal em que estão inseridos os dados disponíveis na análise deste



trabalho, algumas cidades ainda não haviam sido classificadas como semiáridas, tendo sido analisada, apenas, as suas variações de chuvas precipitadas, temperaturas e evapotranspiração.

COLEÇÃO DE DADOS CLIMATOLÓGICOS

Para o desenvolvimento da análise de aridez de que trata este trabalho, foram utilizadas as variáveis Temperatura e precipitação pluviométrica anual das 10 estações selecionadas neste trabalho, as variáveis se referem às normais climatológicas dos períodos 1961-1990 e 1981-2010. Os dados foram coletados gratuitamente no sítio do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET

O MÉTODO DE THORNTHWAITE

O índice de aridez, elaborado por Thornthwaite (1948) e ajustado posteriormente por Penman (1953), é baseado na diferença entre a precipitação pluviométrica (entrada de água no sistema) e a Evapotranspiração (perda de água do sistema), cuja utilização do índice de aridez é de fundamental importância na determinação de um clima, (FREITAS, 2005; SOUZA, 2004) e cuja utilização, foi um dos critérios para delimitar a nova área semiárida no Brasil (BRASIL, 2005), além das áreas integrantes do Polígono das Secas no país. Este índice é considerado de grande precisão na determinação das áreas vulneráveis à desertificação, já que é o único que utiliza variáveis quantitativas para tal análise (SAMPAIO, 2003).

Cálculo do índice de aridez

O cálculo do índice de aridez é feito a partir de dados anuais do balanço hídrico climatológico – BCH. O cálculo do BHC possibilita o acompanhamento da disponibilidade de água no solo com a utilização de valores da precipitação mensal, da evapotranspiração potencial (CAMARGO & CAMARGO, 1993; CARVALHO, 2008). O Método foi inicialmente desenvolvido por Thornthwaite (1948) e ajustado posteriormente por Penman (1953), é ilustrado a seguir:

(Equação 1)

Em que:

Ia = Índice de Aridez

P = Precipitação Pluviométrica Anual

ETPp = Evapotranspiração Potencial Anual

Cálculo da evapotranspiração

Para o cálculo da Evapotranspiração Potencial Thornthwaite (1948) propôs a seguinte equação:

(Equação 2)

Onde:

EP = Evapotranspiração potencial (mm/mês)

T = Temperatura média mensal do ar (°C)

I = Índice de calor anual (resultante da soma de 12 índices mensais i)

$a = 6,75I - 7,71 \cdot 10^{-5}I^2 + 1,7912 \cdot 10^{-2}I + 0,49239$

com:

(Equação 3)

Posto isto, dispendo-se do valor calculado para o índice de aridez (Equação 1) para as estações selecionadas é possível determinar a susceptibilidade à desertificação além da classificação climática, como serão tratados nos tópicos que seguem.

Susceptibilidade à desertificação

Para a análise de susceptibilidade à desertificação, Matallo Júnior (2003), propõe uma classificação dividida em três categorias que variam em conformidade com uma escala do índice de aridez, esta escala é apontada pelo Plano Nacional de Combate à Desertificação, de acordo como metodologia de avaliação.

Tabela 1 - Classificação da Susceptibilidade à Desertificação, em Função do Índice de Aridez.

ÍNDICE DE ARIDEZ	SUSCEPTIBILIDADE À DESERTIFICAÇÃO
0,05 a 0,20	<i>Muito alta</i>
0,21 a 0,50	<i>Alta</i>
0,51 a 0,65	<i>Moderada</i>

Fonte: MATALLO JÚNIOR, 2003

Classificação climática

Matallo Júnior (2003) aponta na Tabela 2 o índice de aridez para os vários climas do planeta (Tabela 8), sendo possível realizar a classificação climática, como ilustrado a seguir.

Tabela 2 - Classificação da Susceptibilidade à Desertificação, em Função do Índice de Aridez.

ÍNDICE DE ARIDEZ	CLASSE CLIMÁTICA
< 0,05	<i>Hiperárido</i>
0,05 < 0,20	<i>Árido</i>
0,21 < 0,50	<i>Semiárido</i>
0,51 < 0,65	<i>Subúmido Seco</i>
> 0,65	<i>Subúmido Úmido</i>

Fonte: MATALLO JÚNIOR, 2003

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 2 apresenta o ciclo anual das variáveis: Precipitação, temperatura e evapotranspiração para as duas normais analisadas em cada estação. Visualmente é possível observar o aumento da temperatura em 9 das 10 estações analisadas, apenas na Estação situada em Januária-MG não é possível identificar padrão visual para este parâmetro. As maiores variações nas temperaturas ocorridas nas estações situadas em Tauá-CE, Bom Jesus do Piauí-PI e Floriano-PI podem ser justificadas pela sua posições geográficas mais próximas à linha do equador, visto que, essas regiões recebem maiores intensidade de radiação solar e juntamente com os impactos climáticos em escalas globais, provocados pelo efeito estufa, podem ter propiciado a maior retenção de calor pela atmosfera. Outras causas provocadas por ações antrópicas mais pontuais, também podem ter gerado a variação acentuada na temperatura, e merecem ser investigadas.

Ainda na Figura 2 é possível ainda, verificar a diminuição dos padrões de chuva, no que se refere ao ciclo anual em 9 estações. A estação que apresentou diminuições mais acentuadas foi a estação de Cipó-BA em todo o seu ciclo anual. Já as estações situadas em Tauá-CE; Caxias-MA; Monteiro-PB, Surubim-PE; Bom Jesus do Piauí-PI; Cruzeta-RN e Propriá- SE apresentaram maiores reduções na precipitação nas suas quadras chuvosas, e no restante do ano não houve variação temporal aparente. Já na Floriano - PI houve um pequeno aumento das chuvas de janeiro a Junho e após o período de estiagem houve a redução nos volumes na precipitação a partir do mês de Setembro que é quando inicia o ano hidrológico no município. Na Estação de Januária-MG, houve aumento na precipitação em sua quadra chuvosa, comparando as duas normais climatológicas.

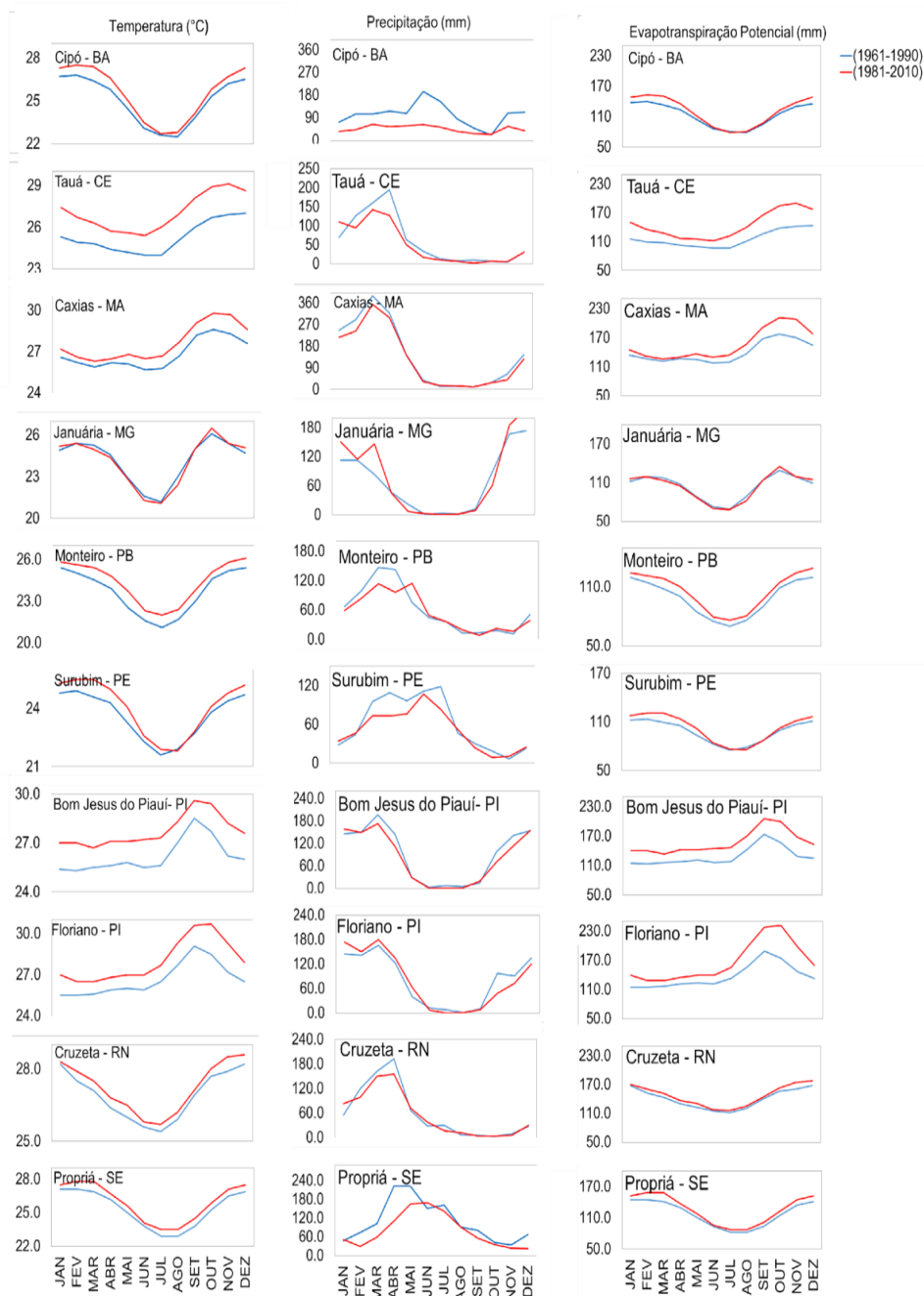


Figura 2: Variação temporal de cada estação para as variáveis: Precipitação, Temperatura e evapotranspiração.

Já no que se refere à Evapotranspiração, 9 estações apresentaram aumento em seus valores comparativos entre as normais. As estações situadas nas cidades mais próximas à linha do equador estão em concordância com as que apresentaram maiores variações de temperatura (Tauá-CE, Bom Jesus do Piauí-PI e Floriano-PI). Isto pode ser justificado pelo mecanismo natural do processo de evapotranspiração, que ocorre quando a energia solar aquece a superfície do solo ou da água, e faz com que a água disponível evapore, isto é, quanto mais aquecida a superfície maior será a evapotranspiração.



A Tabela 01 apresenta um resumo da análise feita para as estações para as duas Normais climatológicas escolhidas, foram descritos os valores médios anuais de Precipitação, Temperatura e evapotranspiração, foram apresentados o índice de aridez, a classificação do clima e a susceptibilidade à desertificação, possibilitando fazer um comparativo de como foi a evolução do clima nestas cidades.

Tabela 3: Resumo da análise dos dados anuais médios de cada estação para a variável: Precipitação (P), Evapotranspiração (EP) e Temperatura (T) e os Indicadores: Índice de Aridez (Ia), Classificação do Clima (CC) e Susceptibilidade à desertificação (SD), para as duas normais climatológica (1961-1990) e (1981-2010).

ANÁLISE DOS DADOS ANUAIS DE CADA ESTAÇÃO							
	Estação	P (mm)	T (°C)	Etp (mm)	Ia	CC	SD
Normal (1961-1990)	Cipó - BA	1235.70	25.02	1362.59	0.91	Subúmido Úmido	
	Tauá - CE	715.90	25.27	1390.41	0.51	Subúmido Seco	Moderada
	Caxias - MA	1690.50	26.83	1675.73	1.01	Subúmido Úmido	-
	Januária - MG	826.70	24.18	1247.49	0.66	Subúmido Úmido	-
	Monteiro - PB	712.60	23.66	1185.55	0.60	Subúmido Seco	Moderada
	Surubim - PE	726.10	23.61	1174.58	0.62	Subúmido Seco	Moderada
	Bom Jesus do Piauí- PI	1093.40	26.18	1543.72	0.71	Subúmido Úmido	-
	Floriano - PI	971.00	26.66	1644.14	0.59	Subúmido Seco	Moderada
	Cruzeta - RN	704.70	26.90	1690.95	0.42	Semiárido	Alta
	Propriá - SE	1302.00	25.37	1416.88	0.92	Subúmido Úmido	-
	Normal (1981-2010)	Cipó - BA	554.40	25.57	1455.52	0.38	Semiárido
Tauá - CE		599.80	27.06	1735.88	0.35	Semiárido	Alta
Caxias - MA		1517.90	27.63	1875.60	0.81	Subúmido Úmido	-
Januária - MG		948.30	24.14	1245.47	0.76	Subúmido Úmido	-
Monteiro - PB		651.50	24.40	1273.72	0.51	Subúmido Seco	Moderada

Surubim - PE	609.00	24.05	1228.24	0.50	Semiárido	Alta
Bom Jesus do Piauí- PI	986.70	27.71	1885.63	0.52	Subúmido Seco	Moderada
Floriano - PI	959.60	28.03	1997.38	0.48	Semiárido	Alta
Cruzeta - RN	667.30	27.24	1769.90	0.38	Semiárido	Alta
Propriá - SE	963.00	25.96	1519.43	0.63	Subúmido Seco	Moderada

As cidades de Bom Jesus do Piauí e Propriá eram classificadas com clima Subúmido Seco na normal de Normal (1961-1990) e passaram a ser classificadas como Subúmido Seco na Normal (1981-2010), tendo moderada susceptibilidade à desertificação nas duas normais. As cidades apresentaram redução na chuva em 106,7mm (-16,4%) e 339,00 mm (-26,0%), respectivamente, tendo havido em paralelo o aumento da temperatura em 1,5°C e 0,6°C em Bom Jesus do Piauí e Propriá, concomitante com o aumento da evapotranspiração 341,9mm (22,1%) e 102,55 (7,2%), respectivamente.

Na cidade de Cipó-BA, houve uma redução de aproximadamente 681,3mm/ano (-55%). É notável uma mudança na classificação do clima nessa região, que na primeira normal climatológica era classificado como Subúmido úmido a úmido para passando para Semiárido (1981-2010) e isso é evidenciado pelo cálculo do índice de aridez dessa região, que apresenta um processo rápido de desertificação e com alta susceptibilidade, visto que a temperatura aumentou em 0,6°C e intensificando o aumento da evapotranspiração em 92,93 mm/ano(+6,8%).

Na cidade de Tauá-CE, percebeu-se a mudança na classificação do clima de Subúmido seco para Semiárido, tendo havido um avanço no processo de desertificação, passando de Susceptibilidade à desertificação moderada para Alta. Com a redução na precipitação anual em 116,10mm (-16,2%), aumento da Temperatura e Evapotranspiração em 1,8°C e 345,47mm(24,8%), tendo apresentado os maiores aumentos dentre as analisadas.

As cidades de Monteiro, Surubim e Florianó também passaram de Subúmido Seco para Semiárido com susceptibilidade Moderada na primeira e Alta para as duas últimas. Apresentaram redução da precipitação em 61,1 mm (-8,6%), 117,1mm(-16,1%) e 11,4mm(-1,2%), respectivamente. Concomitante com o aumento da temperatura em 0,7°C, 0,4°C e 1,4°C, respectivamente e aumento da evapotranspiração 88,18mm (7,4%), 53,66mm (4,6%) e 353,24mm (21,5%).

As cidades de Caxias-MA, Januária e Cruzeta não apresentaram mudanças na classificação climática. Enquanto as duas primeiras não apresentaram susceptibilidade à desertificação no período analisado, a estação de Cruzeta apresentou alta susceptibilidade à desertificação. Apresentaram redução da precipitação em 172,6 mm (-10,2%), 121,6mm(-14,7%) e 37,4mm(-5,3%), respectivamente. Concomitante com o aumento da temperatura em 0,8°C, 0,0°C e 0,3°C, respectivamente e variação da evapotranspiração em 199,87mm (11,9%), -2,01mm (-0,2%) e 78,95mm (4,7%).

O aumento em valores maiores que 1°C na temperatura tem intensificado as ondas de calor extremas, e podem se tornar mais frequentes e prolongadas, os impactos gerados para a sociedade podem ser severos, gerando o aumento de doenças relacionadas ao calor, desidratação, maiores consumos de água e afetando especialmente as populações que vivem em ambientes mais vulneráveis, sobretudo em virtude da baixa disponibilidade hídrica, provocados por períodos de escassez prolongados, e maiores perdas de água por evapotranspiração.

CONCLUSÕES

A partir da análise dos dados apresentados neste trabalho pode-se concluir que houve redução nas chuvas em 9 das 10 estações estudadas, concomitante com o aumento na temperatura e também na evapotranspiração. Provocando por consequência a mudança da classificação do clima nas cidades analisadas e todos os impactos ao clima associado, contudo as cidades de Caxias, Januária e Cruzeta preservaram as suas classificações.



SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO
DE ENGENHARIA SANITÁRIA
E AMBIENTAL



Em escala global, as mudanças climáticas têm sido pauta das agendas de vários países, contudo em escala local, é necessário o desenvolvimento de estudos mais aprofundados no que tange a determinação da magnitude dessas mudanças nos estados e municípios, além da avaliação dos impactos associados às mudanças climáticas, sobretudo nos regimes hídricos e disponibilidade de água para o abastecimento público, visando se tornar também pauta das agendas políticas regionais e locais, sobretudo na região Nordeste que, historicamente já é uma das regiões mais vulneráveis do país.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. DOMINGUES, E. P.; MAGALHÃES, A. S., RICARDORUIZ, R. M. *Cenários de mudanças climáticas e agricultura no Brasil: impactos econômicos na região Nordeste*. Belo Horizonte: CEDEPLAR-UFMG, Texto para discussão 340, 2008.
2. EVANGELISTA, A. W. P.; Pereira, G. M. *Avaliação de dois tipos de evaporímetros na estimativa da evapotranspiração de referência, no interior de casa de vegetação*. *Ciência e Agrotecnologia*, v.27, n.6, p.1348-1353, 2003.
3. FIETZ, C. R.; Fisch, G. F. *Avaliação de modelos de estimativa do saldo de radiação e do método de Priestley-Taylor para a região de Dourados, MS*. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.13, n.4, p.449-453, 2009.
4. FREITAS, M. A. S. *Um Sistema de Suporte à Decisão para o Monitoramento de Secas Meteorológicas em Regiões Semi-Áridas*. *Revista Tecnologia (UNIFOR)*, Fortaleza, v. Suplem, p. 84-95, 2005.
5. GALVÃO, A. L. C. O. *Reconhecimento da susceptibilidade ao desenvolvimento de processos de desertificação no nordeste brasileiro, a partir da integração de indicadores ambientais*. Brasília, UnB. Tese de Doutorado. 298 p. 2001.
7. INMET. *Normais climatológicas do Brasil 1961-1990*. INMET, Brasília. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>>. Acesso em: 01 jul. 2020.
8. INMET. *Normais climatológicas do Brasil 1981-2010*. INMET, Brasília. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>>. Acesso em: 01 jul. 2020.
9. SILVA, I. A. S. *Conexões entre Clima e Desertificação: trajetórias e susceptibilidade no nordeste brasileiro*. *Revista Equador, UFPI*, vol. 8, nº 2, p.468 – 488, 2019.
10. SOUZA, B. I.; SILANS, A. M. B. P.; SANTOS, J. B. *Contribuição ao estudo da desertificação na Bacia do Taperoá*. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. Campina Grande. v.8, n.2/3, p.292-298, 2004.
11. THORNTHWAITE, C. W. 1948. *An approach toward a rational classification of climate*. *Geographical Review*, 38(1), p.55-94.