

XI SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE

INFLUÊNCIA DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO CÁLCULO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO NO SEMIÁRIDO DA PARAÍBA

João Dehon A. Pontes Filho¹ ; Rodolfo F. Queiroga Pita² & Ana Cláudia F. Medeiros Braga³

RESUMO - Este trabalho tem por objetivo avaliar o impacto das mudanças climáticas na evapotranspiração (EVT) de uma região semiárida no estado da Paraíba. Com esse propósito, estimou-se a evapotranspiração para o clima atual (com base em dados observados), foram avaliadas as anomalias de temperatura e umidade relativa do ar projetadas por três Modelos de Circulação Global – MCGs utilizados pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas – IPCC no cenário A1B para três períodos de climas futuros (2010-2039, 2040-2069 e 2070-2099) e verificou-se o uso dos métodos de Thornthwaite, Blaney-Criddle e Hargreaves no cálculo das anomalias percentuais de EVT para os climas futuros. Entre os resultados, encontrou-se que o método de Thornthwaite superestima a EVT já no clima atual, que os três modelos do IPCC mostram tendências crescentes do aumento da temperatura para os climas futuros e que as anomalias percentuais de EVT futuras são influenciadas pelo método de cálculo da evapotranspiração. As anomalias estimadas a partir de Thornthwaite foram bastante elevadas e as estimadas por Blaney-Criddle e Hargreaves ficaram bastante semelhantes, indicando aumento médio da evapotranspiração ao longo dos períodos de climas futuros de 2,2% (2010-2039), 4,3% (2040-2069) e 6,3% (2070-2099).

ABSTRACT – This paper aims to assess the impact of climate changes in evapotranspiration in a semiarid region the State of Paraíba. For this purpose, it was estimated the evapotranspiration for the current climate (based on observed dates), it was evaluated the anomalies of temperature and relative humidity projected by three Global Circulation Models – MCGs used by Intergovernmental Panel on Climate Changes – IPCC using A1B scenario for three periods of future climates (2010-2039, 2040-2069, 2070, 2099) and also evaluated the use of Thornthwaite, Blaney-Criddle e Hargreaves methods in the calculation of evapotranspiration rates of anomalies for future climates. Among the results, it was found that: the Thornthwaite method overestimates evapotranspiration already in current climate, the three IPCC models show increasing trends of temperature for the next years and future anomalies percentages are influenced by the calculating method of the evapotranspiration. Anomalies estimated from Thornthwaite was high and estimated by Blaney-Criddle and Hargreaves were very similar, indicating an average increase of evapotranspiration over the periods of future climates of 2.2% (2010-2039), 4.3% (2040-2069) and 6.3% (2070-2099).

Palavras-chave: mudanças climáticas; evapotranspiração; semiárido.

1) Aluno de graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal da Paraíba (UFPB). Centro de Tecnologia, Campus I, João Pessoa/PB. CEP: 58.059-900 - dehonambiental@gmail.com

2) Engenheiro Civil. Rua Santos Coelho Neto, 854, Manaíra, João Pessoa/PB. 3246-1177. rodo.pita@hotmail.com

3) Professora Adjunta da Universidade Federal da Paraíba (UFPB). Centro de Tecnologia, Campus I, João Pessoa/PB - anacmedeiros@yahoo.com.br

INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas englobam alterações na precipitação, temperatura e demais variáveis atmosféricas, seus impactos são sentidos em diversos setores da sociedade. São aspectos econômicos, sociais e ambientais que estão sendo estudados para que se possa planejar frente a essas mudanças do clima, que podem impactar ainda mais áreas já vulneráveis às variabilidades naturais do clima, como o semiárido do Nordeste do Brasil.

Segundo CEDEPLAR/UFGM e FIOCRUZ (2008) essa região semiárida demonstra sinais de grande vulnerabilidade frente às mudanças no clima. Os autores preveem encolhimento de 65% de quase 80% das terras cultiváveis nos estados do Ceará, Piauí, Paraíba e Pernambuco, o que provocaria um aumento de até 24% na taxa de migração das áreas mais carentes para os grandes centros. O resultado da diminuição das terras cultiváveis, no cenário mais dramático, seria uma redução média de 11,4% no PIB do Nordeste até 2050 que o esperado no cenário futuro com ausência das alterações climáticas.

Diversos são os estudos que avaliam os impactos das mudanças no clima nos sistemas hídricos (Assad et al., 2007, Abdulla et al., 2009; Nyenje e Batelaan, 2010). Em geral, esses estudos fazem estimativas dos impactos a partir de cenários futuros gerados por Modelos Climáticos Globais, seguidos por métodos de *downscaling* dos dados para a escala da bacia hidrográfica. As alterações nas variáveis climáticas (temperatura, precipitação e umidade relativa) são usadas então como dados de entrada em modelos hidrológicos para estimar os impactos na vazão dos sistemas hídricos bem como no volume de água armazenado nos reservatórios. Nesse arcabouço estão presentes incertezas provenientes dos cenários de emissões, da modelagem atmosférica e da modelagem hidrológica.

No entanto, pouca atenção tem sido dispensada à evapotranspiração e como ela pode ser influenciada pelas alterações nos fatores climáticos (por exemplo, Bae et al., 2011 e Gondim et al., 2011). A evapotranspiração é um componente importante do ciclo hidrológico e que depende fortemente do balanço de radiação da atmosfera, da umidade relativa do ar, dos ventos, da vegetação e da temperatura. É considerada na modelagem dos sistemas atmosférico e hidrológico, no balanço hídrico dos reservatórios e no cálculo da necessidade de água das culturas.

A evapotranspiração é a forma pela qual a água da superfície terrestre passa para a atmosfera no estado de vapor. Esse processo envolve a evaporação da água de superfícies de água livre (rios, lagos, represas, oceanos), dos solos e da vegetação úmida (que foi interceptada durante uma chuva) e a transpiração dos vegetais (Sentelhas, 2009). Segundo Costa (1989), a realização plena do fenômeno da evapotranspiração é condicionada por fatores climáticos, do solo e da própria planta. Cita ainda que os fatores climáticos são reconhecidamente os que apresentam maior

influência nas perdas hídricas por evapotranspiração, o que torna bastante relevante o estudo dos impactos das mudanças climáticas sobre esse fenômeno.

Desta forma, o presente estudo se propõe a fazer uma avaliação sobre o impacto das mudanças climáticas sobre a evapotranspiração de uma região localizada no semiárido do estado da Paraíba.

METODOLOGIA

Área de estudo e base de dados

O estudo foi realizado na região do Alto Piranhas, localizada no oeste do estado da Paraíba. A área possui perímetros irrigados e reservatórios de água, utilizados para abastecimento de água, irrigação e geração de energia. O reservatório Coremas-Mãe-d'água é um desses, sendo o de maior volume no estado da Paraíba, com 1,358 bilhões de m³ de água.

Segundo Paraíba (1997), a região apresenta alto índice de degradação por interferência humana (agricultura e pastagens), com um nível de intervenção antrópica de aproximadamente 80% da área total. Essa realidade acrescentada das mudanças no clima pode diminuir a vazão afluente aos açudes e, conseqüentemente, comprometer a disponibilidade de água nesses reservatórios restringindo os usos da água. Nesta conjuntura, a evapotranspiração tem um papel preponderante e é fundamental analisá-la no contexto das mudanças climáticas.

O clima da região é do tipo Bsh da classificação de Köppen, semiárido quente. A precipitação média anual registrada na região gira em torno de 870 mm (Braga, 2001), com distribuição no tempo e espaço irregular, estando concentrada em quatro meses do ano (fevereiro a maio). A taxa de evaporação potencial na região assume valor de 1554,4 mm por ano, tomando como base o posto de São Gonçalo e considerando para o cálculo da evaporação potencial, um coeficiente do tanque Classe A igual a 0,75.

Os dados observados de temperatura e umidade relativa do ar foram coletados no Departamento de Ciências Atmosféricas da Universidade Federal de Campina Grande – DCA/UFCG (Tabela 1 - www.dca.ufcg.edu.br/clima/urpb.htm). A Tabela 2 apresenta os dados da evapotranspiração média calculada com base nos dados de evaporação de São Gonçalo.

Tabela 1 - Dados climatológicos dos postos de São Gonçalo e Cajazeiras

Dados	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Temperatura (°C)	27,5	26,5	26,2	26,0	25,8	25,3	25,3	26,3	27,2	27,8	27,8	27,9
Um. Relativa* (%)	60,3	57,7	72,1	71,4	68,4	64,6	60,3	55,8	54,0	53,3	54,8	56,0

* Média da umidade relativa nos três horários

Fonte: www.dca.ufpb.br

Tabela 2 – Evapotranspiração média.

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
ETP (mm)	130,45	89,67	92,26	78,13	114,0	109,41	131,7	159,40	164,08	169,78	160,38	155,04

Modelos de circulação geral da atmosfera

Modelos de Circulação Geral da Atmosfera (MCGs) são ferramentas que simulam os processos físicos da atmosfera, oceano e superfície da terra em escala global com objetivo de simular as condições de tempo e clima. Estas simulações permitem que se possa prever o comportamento da atmosfera e estimar as variáveis atmosféricas como temperatura, chuva e umidade relativa do ar, permitindo que se antecipem os impactos.

Em geral, esses MCGs concordam com a tendência de aumento da temperatura no Nordeste do Brasil (embora com valores diferentes), já que a temperatura é uma das variáveis bem simuladas por esses modelos. No entanto, no que concerne à precipitação não existe uma tendência única, o que é decorrente da formulação de cada modelo (Ramos et al., 2006). Por isso, Silveira et al. (2011) apresentaram uma forma de classificação desses modelos no que tange à precipitação com a premissa de que os modelos que representassem melhor o clima atual também representariam o clima futuro.

No presente trabalho, foram selecionados três modelos disponibilizados pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas –IPCC (AR4, IPCC-TGICA, 2007), a partir da classificação feita por Silveira et al. (2011): BCM2 (BCCR-BCM2.0, Bjerknes Centre for Climate Research, Noruega), MIMR (MIROC3.2 - medres, Center for Climate System Research, The University of Tokyo, National Institute for Environmental Studies, and Frontier Research Center for Global Change - JAMSTEC, Japão) e GIAOM (GISS-AOM, NASA / Goddard Institute for Space Shuttles, Estados Unidos). Esses modelos ocupam a primeira colocação (o que melhor representou), a nona e a vigésima terceira colocação (o penúltimo colocado), respectivamente. Não foram selecionados apenas os primeiros colocados, pois era desejado avaliar o efeito na evapotranspiração da seleção de um modelo que não representa bem o clima da região, ou seja, o efeito de se tomar o modelo não recomendado para a projeção futura.

Os modelos disponibilizados pelo IPCC (AR4) são rodados com diferentes cenários, que são definidos de acordo com a emissão de gases de efeito estufa na atmosfera. Aqui foi utilizado um cenário intermediário, o A1B que é o cenário que parte do princípio de haver um equilíbrio entre os combustíveis fósseis e outras fontes de energia. Sendo, portanto, um cenário intermediário entre o A2, pessimista, e o B2, otimista (Marengo, 2007).

Extração dos dados

Os MCGs são rodados em uma resolução bastante grosseira, que varia entre 200 e 300 km, visto que são feitas simulações para todo o globo terrestre. Para trazer a informação para a escala da bacia hidrográfica é preciso realizar o processo conhecido como desagregação dos dados ou *downscaling*.

Neste trabalho, para o *downscaling* foi utilizado um arcabouço computacional montado em licença GPL2 (<http://mudancasclimaticas.seghidro.lsd.ufcg.edu.br>) pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), através do Projeto SegHidro II (CT-Info/FINEP- Financiadora de Estudos e Projetos), para facilitar e gerar cenários de impactos regionais a partir dos cenários de mudanças climáticas do IPCC. Nesta aplicação, foi feito um *downscaling* estatístico através de um script de interpolação bilinear que permite a extração de múltiplas séries sintéticas de variáveis climáticas selecionadas (por exemplo, temperatura e precipitação) para regiões de interesse (informando as coordenadas geográficas).

As variáveis extraídas foram temperatura e umidade relativa do ar, selecionadas de acordo com os métodos de cálculo da evapotranspiração selecionados (como será mostrado a seguir). Essa etapa permite a avaliação das anomalias de temperatura e umidade relativa do ar para o clima futuro.

Cálculo da Evapotranspiração

Para o cálculo da evapotranspiração foram utilizados métodos simples, que utilizavam apenas a temperatura e a umidade relativa do ar. Métodos que utilizam mais variáveis, como o de Penman-Monteith, embora estimem mais precisamente a evapotranspiração, requerem maior quantidade de dados, dificultando seu uso.

Os métodos selecionados foram o de Thornthwaite, Blaney-Criddle e Hargreaves. Num primeiro momento foram aplicados os dados observados para se avaliar as incertezas envolvidas na estimativa das variáveis por cada método.

Método de Thornthwaite

A equação de Warren Thornthwaite é uma das mais antigas expressões de estimativa da evapotranspiração potencial. Constitui-se em um modelo simples baseado em dados de temperatura média do ar e do fotoperíodo (comprimento do dia) de áreas secas dos Estados Unidos.

Para a evapotranspiração potencial de cada mês o modelo escreve-se com a seguinte notação matemática (Equação 1):

$$ETP = F_c \cdot 16 \cdot \left(10 \cdot \frac{T}{I} \right)^a \quad (1)$$

Onde ETP é a evapotranspiração potencial (mm/mês); F_c é o fator de correção em função da latitude e mês do ano; $a = 6,75 \cdot 10^{-7} \cdot I^3 - 7,71 \cdot 10^{-5} \cdot I^2 + 0,01791 \cdot I + 0,492$ (mm/mês); I é o índice anual de calor, correspondente à soma de doze índices mensais; T é a temperatura média mensal ($^{\circ}\text{C}$).

O índice anual de calor é calculado pela Equação (2):

$$I = \sum_{i=1}^{12} \left(\frac{T_i}{5} \right)^{1,514} \quad (2)$$

Método de Blaney-Criddle

Foi desenvolvido originalmente para estimativas de uso consultivo em regiões semi-áridas, e utiliza a Equação 3:

$$ETP = (0,457 \cdot T + 8,13) \cdot p \quad (3)$$

Onde, p é a percentagem de horas diurnas do mês sobre o total de horas diurnas do ano.

Método de Hargreaves

O Método de Hargreaves tem sido comumente utilizado no Nordeste Brasileiro para o cálculo da evapotranspiração potencial. De fácil utilização, o método fornece a ETP em função da temperatura média compensada, da umidade relativa do ar e de um coeficiente de correção que depende da latitude do local considerado, conforme Equação 4:

$$ETP = F \cdot (100 - U)^{1/2} \cdot 0,158 \cdot (32 + 1,8T_{comp}) \quad (4)$$

Onde, F é um fator dependente da latitude (adimensional)); T_{comp} é a temperatura média compensada em $^{\circ}\text{C}$; U é a umidade relativa do ar (%) (Equação 5):

$$U = (U_{12:00} + U_{18:00} + 2 \times U_{24:00})/4 \quad (5)$$

Onde $U_{12:00}$, $U_{18:00}$ e $U_{24:00}$ representam os valores de umidade relativa do ar em cada período de tempo.

Cálculo da Evapotranspiração Futura

A evapotranspiração futura foi estimada a partir das anomalias (diferença entre os valores do clima futuro e clima presente) da temperatura e umidade relativa do ar extraídas dos MCGs. Isso faz com que se diminuam as incertezas provenientes da modelagem atmosférica. De posse dos grupos de dados já extraídos, estimou-se a temperatura futura para os meses de janeiro a dezembro, somando as anomalias aos dados observados. O mesmo foi realizado para a umidade relativa do ar. Os novos valores de temperatura e umidade relativa foram usados como dados de entrada nos métodos de evapotranspiração listados no item anterior.

ANÁLISE DE RESULTADOS

Cálculo da evapotranspiração com base nos dados observados

Para o cálculo da evapotranspiração atual foram coletados dados de temperatura e umidade relativa do ar no site do Departamento de Ciências Atmosféricas da Universidade Federal de Campina Grande.

Os dados observados foram utilizados para estimar a evapotranspiração potencial pelos métodos de Thornthwaite, Blaney-Criddle e Hargreaves e os resultados são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Evapotranspiração calculada com base nos dados observados

Método*	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1	413,0	310,7	318,3	292,3	286,5	249,7	258,1	318,1	370,0	435,8	429,2	452,8
2	178,8	172,4	171,2	164,4	161,2	159,3	159,3	165,5	168,9	177,4	177,4	180,4
3	195,3	186,5	147,9	132,5	129,7	125,5	142,2	169,5	188,4	210,8	204,2	208,0

* 1 – Thornthwaite; 2 – Blaney-Criddle e 3 - Hargreaves

A Figura 1 ilustra o comportamento da evapotranspiração calculada ao longo do ano para os três métodos. O método de Hargreaves é o que melhor representa a evapotranspiração em termos de grandeza de valores e na distribuição dos valores ao longo do ano. O método de Thornthwaite, superestima de forma demasiada os dados. Já o método de Blaney-Criddle, embora acerte a grandeza dos valores, coloca uma variação muito pequena da evapotranspiração ao longo do ano, o que não é condizente com os valores observados.

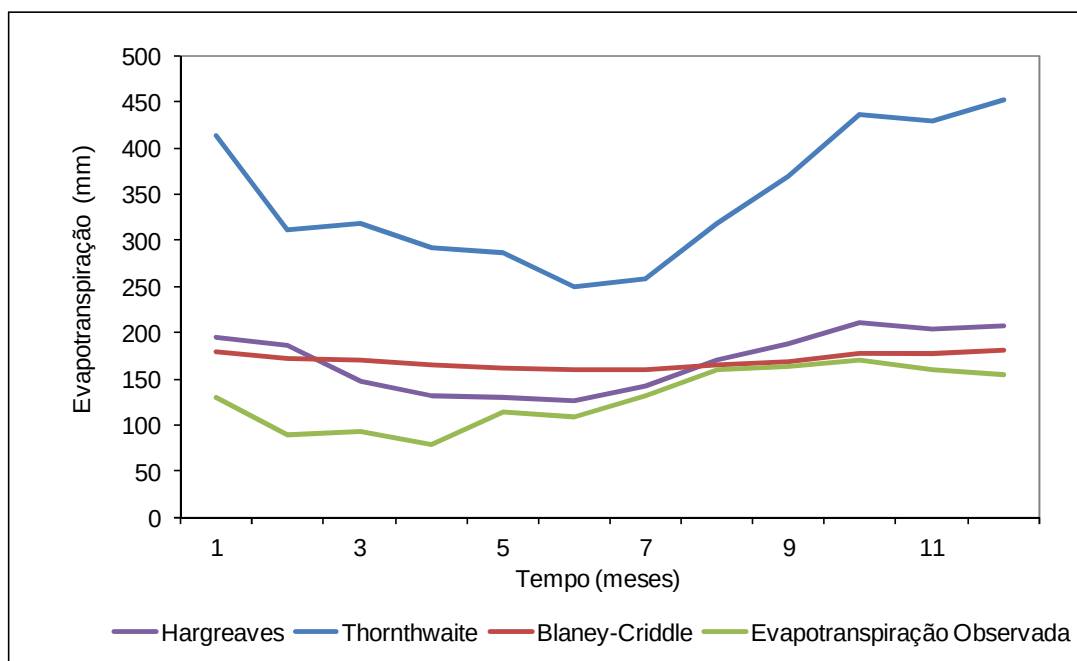


Figura 1 – Comparação entre as evapotranspirações calculadas pelos diferentes métodos

Os métodos aqui utilizados levam em consideração apenas a temperatura ou no máximo a temperatura e a umidade relativa do ar. Percebe-se que a utilização da umidade relativa em Hargreaves já melhora consideravelmente a evapotranspiração calculada em comparação aos dois outros métodos apenas baseados na temperatura.

Análise da temperatura e umidade do ar

A extração dos dados foi feita com a utilização da plataforma SegHidro, com o cenário SRA1B, para três climas futuros: 2010 a 2039, 2040 a 2069 e 2070 a 2099, para os modelos: BCM2, GIAOM e MIMR.

As temperaturas foram analisadas em termos de suas anomalias. Todos os modelos indicam aumento da temperatura para os três climas futuros. A Figura 2 mostra as anomalias de temperatura para o período de 2010 a 2039. Todos os modelos apresentam anomalias positivas de temperatura, ou seja, indicam que irá haver aumento de temperatura no período 2010-2039.

O modelo BCM2, que melhor representou a chuva no clima atual, apresentou anomalias média da ordem de 0,92°C. As anomalias do modelo MIMR foram superiores aos demais, da ordem de 1,89°C. Isso revela que o fato de o modelo representar melhor a chuva no clima atual não é indício de uma anomalia menor de temperatura no clima futuro.

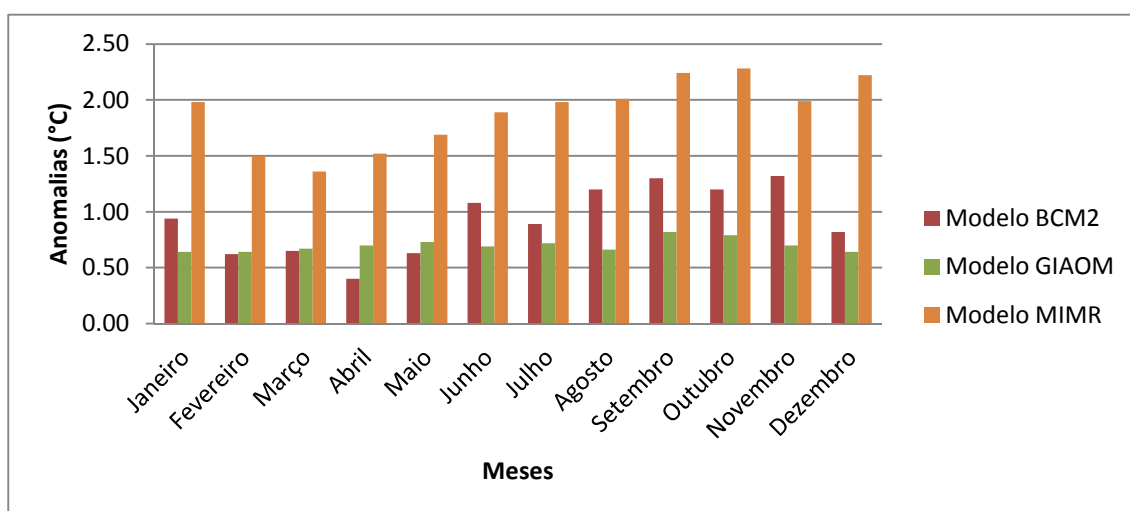


Figura 2 – Anomalias de temperaturas para o período 2010-2039

A Tabela 4 mostra as temperaturas futuras para cada um dos modelos e seus valores médios e também os dados atuais. Pode-se observar um aumento considerável na média das temperaturas futuras, em cada modelo, em relação à temperatura atual. O período de 2070-2099 foi o que apresentou os maiores aumentos de temperatura.

Tabela 4 – Temperaturas para os três climas futuros.

Temperaturas (°C)		JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	MÉDIA
2010 a 2039	BCM2	28,4	27,1	26,9	26,4	26,4	26,4	26,2	27,5	28,5	29,0	29,1	28,7	27,3
	MIMR	29,5	28,0	27,6	27,5	27,5	27,2	27,3	28,3	29,4	30,1	29,8	30,1	28,2
	GIAOM	28,1	27,1	26,9	26,7	26,5	26,0	26,0	27,0	28,0	28,6	28,5	28,5	27,1
2040 a 2069	BCM2	29,6	28,1	27,7	27,1	27,0	27,1	27,2	28,5	29,7	30,2	30,2	29,8	28,3
	MIMR	30,8	29,1	28,6	28,6	28,8	28,3	28,4	29,4	30,6	31,4	31,1	31,3	29,2
	GIAOM	28,8	27,8	27,5	27,4	27,2	26,7	26,8	27,8	28,9	29,3	29,3	29,3	27,8
2070 a 2099	BCM2	30,3	28,8	28,4	28,3	28,3	28,2	28,1	29,4	30,5	31,0	31,2	30,9	29,1
	MIMR	31,9	30,2	29,6	29,5	29,7	29,3	29,4	30,3	31,3	32,2	32,1	32,3	30,3
	GIAOM	29,5	28,5	28,2	28,1	27,9	27,4	27,4	28,5	29,6	30,0	29,9	30,0	28,5
DADOS OBSERVADOS														MÉDIA
Temperaturas (°C)		27,5	26,5	26,2	26,0	25,8	25,3	25,3	26,3	27,2	27,8	27,8	27,9	26,4

A Figura 3 mostra as anomalias de umidade do ar para o período de 2040 a 2069. Os modelos BCM2 e GIOM apresentam anomalias positivas de umidade do ar, o que representa um aumento na umidade do ar no período futuro. Já o modelo MIMR, apresenta algumas anomalias negativas em alguns meses, o que representa uma queda na umidade do ar no período futuro. Esse comportamento também foi detectado no período 2010-2039, no entanto, para o período 2070-2099, todos os modelos apresentaram anomalias positivas da umidade relativa do ar.

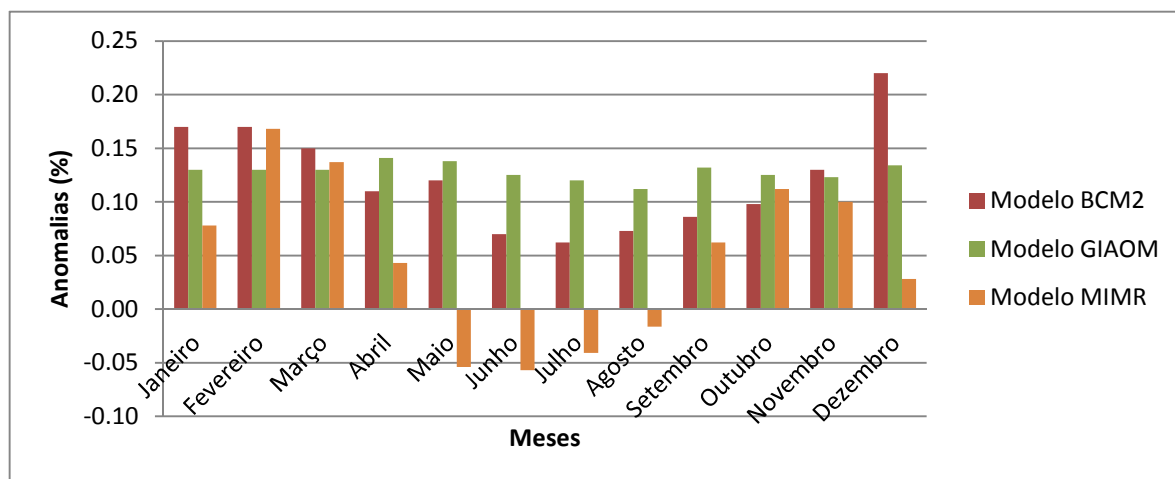


Figura 3 – Anomalias de umidade relativa do ar para o período 2040-2069.

Evapotranspiração futura

Após obter os dados de variáveis climáticas futuros, foram aplicadas em cada modelo as equações empíricas de Thornthwaite, Blaney-Criddle e Hargreaves, a fim de obter os valores de evapotranspiração futuros para cada período. Independente do método de cálculo da evapotranspiração, o modelo GIAOM apresentou os menores valores de evapotranspiração futura, o modelo BCM2 valores intermediários e o modelo MIMR apresentou os maiores valores. As Figuras 4, 5 e 6 mostram os gráficos da evapotranspiração futura para o período 2010-2039, para os métodos de Thornthwaite, Blaney-Criddle e Hargreaves.

No entanto, se avaliarmos os métodos de cálculo da evapotranspiração entre si, percebe-se que o método de Thornthwaite foi o que conduziu às maiores diferenças entre os modelos atmosféricos (Figura 4). Isso acontece, pois o método se mostra mais sensível às variações de temperatura que Blaney-Criddle e Hargreaves. Os três métodos representam bem a distribuição da evapotranspiração ao longo do ano, fato que pode ser explicado pela utilização das anomalias em conjunto com as temperaturas observadas. Porém, o método de Hargreaves foi o que melhor conduziu a uniformidade entre os modelos, o que é justificado principalmente pelo fato desse considerar uma variável a mais do que as outras duas equações, que analisam apenas a temperatura, enquanto Hargreaves considera a temperatura e a umidade relativa do ar para efeito de cálculo.

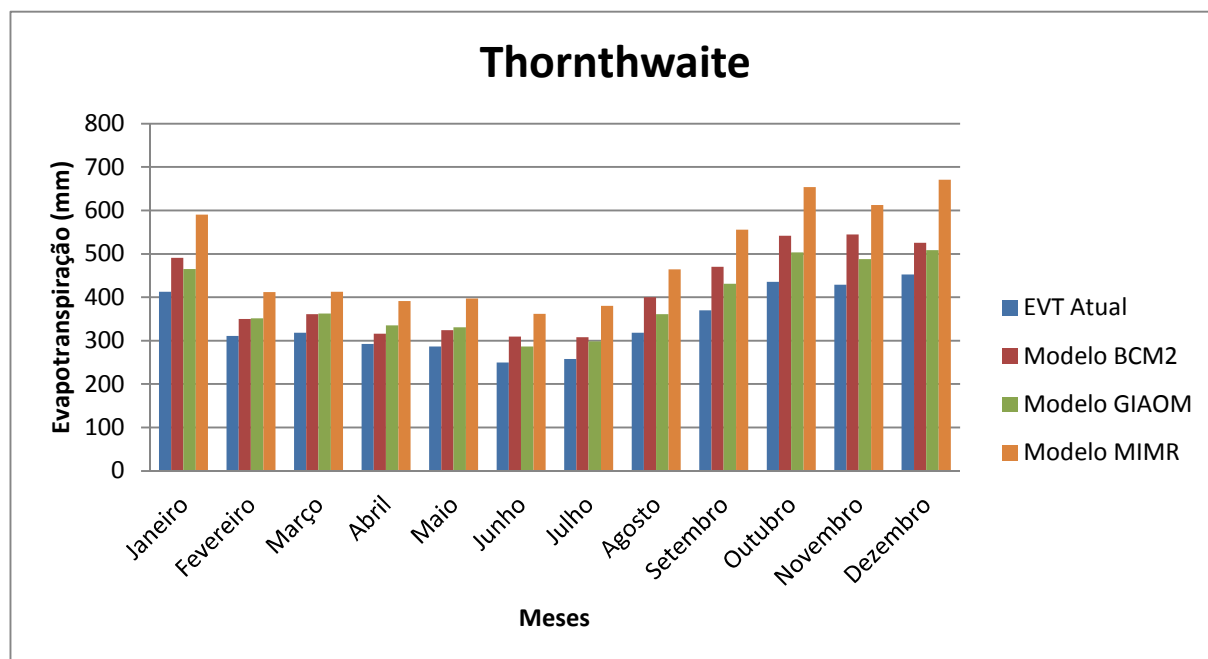


Figura 4 - Comparação entre o cálculo da evapotranspiração futura pelo Método de Thornthwaite no cenário SRA1B, entre os modelos no período 2010-2039.

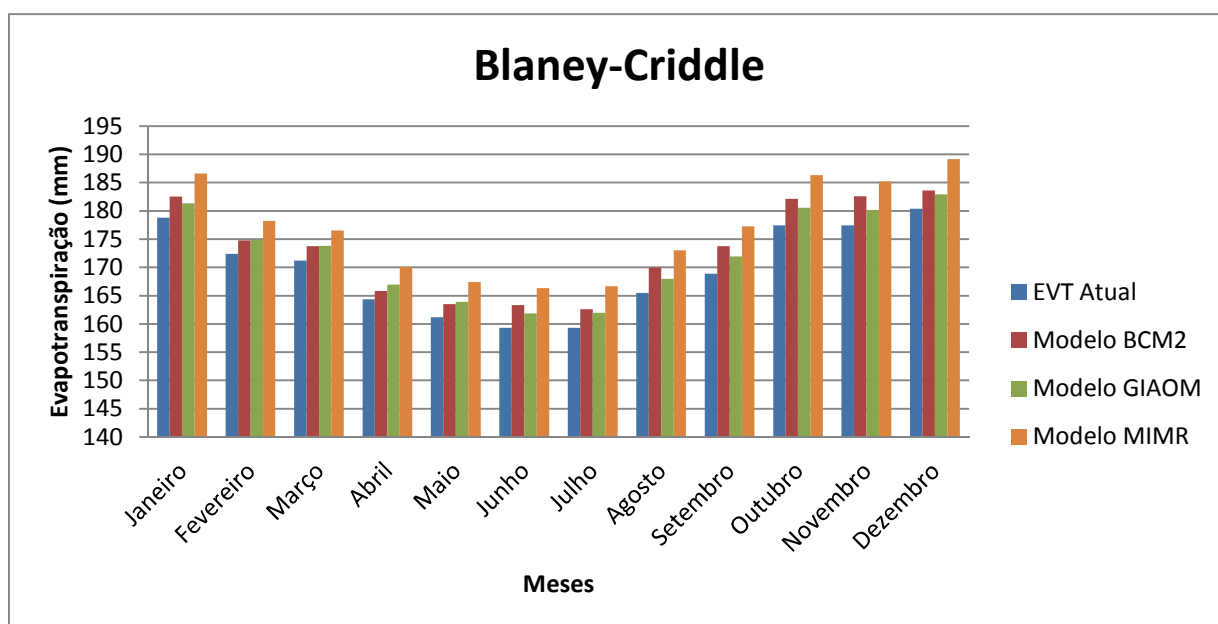


Figura 5 - Comparação entre o cálculo da evapotranspiração futura pelo Método de Blaney-Criddle no cenário SRA1B, entre os modelos no período 2010-2039.

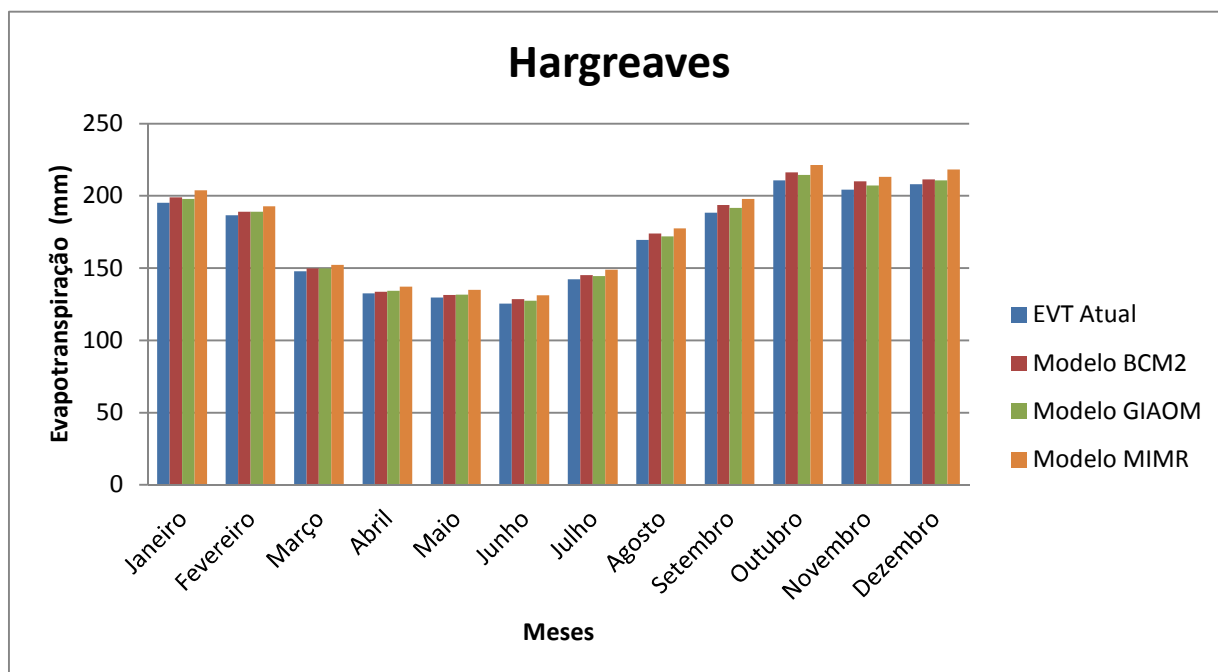


Figura 6 - Comparação entre o cálculo da evapotranspiração futura pelo Método de Hargreaves no cenário SRA1B, entre os modelos no período 2010-2039.

Para mostrar o efeito do uso das diferentes equações sobre a evapotranspiração foram calculadas as anomalias percentuais para o modelo BCM2 (Tabela 5). Podemos observar a que o uso do método de Thornthwaite conduz a grandes variações da evapotranspiração enquanto que os métodos de Blaney-Criddle e Hargreaves apresentam anomalias percentuais menores. Isso pode ser explicado pela sensibilidade de cada modelo à temperatura.

CONCLUSÕES

Esta pesquisa buscou avaliar os efeitos das mudanças climáticas no cálculo da evapotranspiração no semi-árido paraibano, baseados nos resultados gerados por Modelos de Circulação Global (MCGs), disponibilizados pelo IPCC (AR4), para três períodos de climas futuros: 2010-2039, 2040-2069 e 2070-2099, através da utilização do cenário A1B. Foram utilizadas três equações empíricas para o cálculo da evapotranspiração: Thornthwaite, Blaney-Criddle e Hargreaves e três MCGs, sendo um que representa bem as chuvas no Nordeste do Brasil (modelo BCM2), de forma mediana (MIMR) e o terceiro não representado bem (GIAOM), segundo classificação apresentada por Silveira (2011).

Na aplicação aos dados observados, o método de Hargreaves foi o que melhor representou a evapotranspiração atual. Tal explicação é dada pelo fato de Hargreaves ter considerado uma variável a mais em sua equação, a umidade relativa do ar. Thornthwaite superestimou demasiadamente a evapotranspiração e Blaney-Criddle não representou bem a distribuição inter-anual da variável.

Tabela 5 – Anomalias percentuais da evapotranspiração nos diferentes períodos do modelo BCM2.

THORNTHWAITE													
	Meses	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2010-2039	ETP (mm)	18,8%	12,6%	13,4%	8,2%	13,2%	24,0%	19,4%	25,8%	27,1%	24,2%	26,9%	16,0%
2040-2069	ETP (mm)	46,1%	35,3%	31,9%	23,7%	26,3%	41,0%	44,8%	50,5%	56,3%	53,5%	51,7%	39,6%
2070-2099	ETP (mm)	64,0%	53,9%	51,3%	53,5%	61,4%	75,3%	71,8%	77,9%	80,4%	74,2%	81,5%	68,4%
BLANEY-CRIDDLE													
	Meses	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2010-2039	ETP (mm)	2,1%	1,4%	1,5%	0,9%	1,4%	2,5%	2,1%	2,7%	2,9%	2,6%	2,9%	1,8%
2040-2069	ETP (mm)	4,6%	3,6%	3,3%	2,5%	2,8%	4,1%	4,4%	4,9%	5,5%	5,3%	5,2%	4,1%
2070-2099	ETP (mm)	6,1%	5,2%	5,0%	5,2%	5,8%	6,8%	6,5%	7,1%	7,4%	7,0%	7,5%	6,5%
HARGREAVES													
	Meses	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2010-2039	ETP (mm)	1,9%	1,3%	1,4%	0,8%	1,3%	2,4%	2,0%	2,7%	2,8%	2,6%	2,9%	1,7%
2040-2069	ETP (mm)	4,4%	3,4%	3,0%	2,3%	2,5%	4,0%	4,3%	4,9%	5,4%	5,2%	5,0%	3,8%
2070-2099	ETP (mm)	5,7%	4,9%	4,5%	4,7%	5,4%	6,5%	6,4%	6,9%	7,2%	6,8%	7,3%	6,1%

As projeções de temperatura para os três períodos de climas futuros foi crescente, independente do modelo analisado. Já a evapotranspiração futura é bastante influenciada pela equação utilizada para seu cálculo. As anomalias percentuais estimadas por Thornthwaite foram bastante elevadas e as estimadas por Blaney-Criddle e Hargreaves ficaram bastante semelhantes e indicam aumento médio da evapotranspiração ao longo dos climas futuros de 2,2% (2010-2039), 4,3% (2040-2069) e 6,3% (2070-2099). No entanto, a equação de Hargreaves, mostrou-se mais uniforme quando da aplicação dos diferentes modelos atmosféricos. Isso deve acontecer pelo fato de ela ser menos sensível à variações de temperatura e, assim, amorteceu as diferenças nas anomalias climáticas previstas pelos modelos. A equação para o cálculo da evapotranspiração futura influencia fortemente os resultados.

Recomenda-se em trabalhos futuros a aplicação de outros métodos de cálculo da evapotranspiração como o de Penman-Monteith, que utiliza mais variáveis climáticas como dados de entrada e espera-se que represente melhor a evapotranspiração da região e conduza a outros valores de anomalias futuras. Para uma melhor estimativa dos impactos da evapotranspiração sobre o gerenciamento dos recursos hídricos da região, que se faça um balanço hídrico dos reservatórios existentes, para efeitos das mudanças na evapotranspiração isoladamente e depois em conjunto com mudanças da precipitação e vazão.

BIBLIOGRAFIA

- ABDULLA, F., ESHTAWI, T., ASSAF, H. (2009). “*Assessment of the impact of potential climate change on the water balance of a semi-arid watershed*”. Water Resources Management 23, pp. 2051-2068.
- ASSAD, E. D., PINTO, H. S., ZULLO JÚNIOR, J. (2007). “*Impactsof global warming in the brasilian agroclimatic risk zoning. In: DIAS, P. L. S., RIBEIRO, W. C., NUNES, L. H. (eds). A Contribution to Understanding the Regional Impacts of Global Change in South America*”. São Paulo: Instituto de Estudos Avançados da Universidade de São Paulo.
- BAE, D-H., JUNG, H-W., LETTENMAIER, D.P. (2011). “*Hydrologic uncertainties in climate change from IPCC AR4 simulations of the Chungju Basin, Korea*”. Journal of Hydrology 401, pp. 90-105.
- BRAGA, A. C. F. M. (2001). “*Efeitos de fatores climáticos e uso do solo sobre o escoamento em uma região semiárida da Paraíba*”. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. UFPB Paraíba
- CEDEPLAR/UFMG e FIOCRUZ, (2008). “*Mudanças climáticas, migrações e saúde: Cenários para o Nordeste brasileiro, 2000-2050*”. Disponível em: <http://www.cedeplar.ufmg.br/pesquisas/migracoes_saude/MIGRACAO_E_SAUDE_NORDESTE.pdf>.
- COSTA, J. P. R., AQUINO, C. M., MORAES, J. C. (1989). “*Avaliação do comportamento da evapotranspiração em área de floresta tropical úmida da Amazônia*”. Congresso Brasileiro de Meteorologia. CBMET.
- GONDIM, R.S., FUCK JÚNIOR, C.F., EVANGELISTA, S.R.M., CASTRO, M.A.H., TEIXEIRA, A.S. (2011). “*Impactos das mudanças climáticas na evapotranspiração em nível de bacia hidrográfica utilizando um sistema de informações geográficas*”. Revista Brasileira de Recursos Hídricos 16 (2), pp. 5-12.
- IPCC-TGICA. (2007). “*General guidelines on the use of scenario data for climate impact and adaptation assessment. Version 2*”. Prepared by T.R. Carter on behalf of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Task Group on Data and Scenario Support for Impact and Climate Assessment.
- MARENGO, J. A. (2007). “*Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI*”. Série Biodiversidade 26, 2a edição, 212p. Brasília: MMA.
- NYENJE, P. M., BATELAAN, O. (2010). “*Estimating the effects of climate change on groundwater recharge and baseflow in the upper Sezibwa catchment, Uganda*”. Hydrological Sciences Journal 54 (4), pp. 713-726.

- PARAÍBA, Governo do Estado (1997). *“Plano Diretor de Recursos Hídricos do estado da Paraíba, Diagnóstico do Estado – Estudo de Base das Bacias do Rio Piancó e do Alto Piranhas”*. SCIENTEC. João Pessoa/PB. Em CD-ROM.
- RAMOS, A. M.; AZEVEDO, J. R. G.; CABRAL, J. J. S. P. (2006). *“Análise preliminar da influência do efeito estufa na drenagem urbana da Região Metropolitana do Recife”*. In: VIII SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, ABRH: Gravatá.
- SENTELHAS, P. C., ANGELOCCI, L. R. (2009). *“Meteorologia Agrícola – Evapotranspiração – Definições e conceitos”*. ESALQ/USP São Paulo.
- SILVEIRA, C.S., SOUZA FILHO, F.A., COSTA, A. A., COUTINHO, M. M., LÁZARO, Y.M.C., SALES, D.C., (2011). *“Avaliação da sazonalidade da evapotranspiração no Nordeste Brasileiro simulada pelos modelos do IPCC-AR4”*. Anais do XIV Congresso Mundial da Água. IWRA. Porto de Galinhas/PE.