

AVALIAÇÃO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA EM REGIÃO SEMIÁRIDA DA PARAÍBA, BRAZIL¹

Juliana Rayssa Silva Costa²
Fernando Moreira da Silva³
Bartolomeu Israel de Souza⁴
George Santos Marinho⁵

RESUMO

O trabalho teve como objetivo estimar a evapotranspiração de referência-ET_o para o ano de 2017 em uma área rural do município de Cabaceiras – PB. Como metodologia estimou-se as temperaturas através do software Estima T, os quais foram inseridos nos métodos de Ivanov (1977) e Thornthwaite & Mather (1955) e avaliados pelo índice de concordância ou ajuste de Willmott (1985), tomando por base o que prevê o Relatório AR4 do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC). O ano escolhido foi 2017, uma vez que existem dados disponíveis e validados, através de estação climatológica instalada em campo. Os resultados mostraram o balanço hídrico com um déficit em todos os meses do ano. A evapotranspiração de referência para a região estudada foi considerada pouco significativa para o cenário B2 (otimista) do IPCC, entretanto para o cenário A2 (pessimista) há perdas consideráveis de umidade na superfície, ficando acima de 100 mm. O método de Ivanov, apesar de ser simples de aplicação, carece de calibração local. O método de estimação de temperatura pelo Estima T não apresentou resultados satisfatórios.

Palavras-chave: Balanço hídrico, Déficit Hídrico, Caatinga, Cabaceiras.

INTRODUÇÃO

O aquecimento global é um fato em discussão no Brasil e no mundo, ainda que muitas questões que envolvem esse tema, direta e indiretamente, não permitam até o momento estabelecer algumas relações com grande certeza. O que se sabe é que a elevação do campo térmico atmosférico tem afetado a população de diversas maneiras, a exemplo dos impactos na agricultura e no meio ambiente, com projeções que indicam situações cada vez mais extremas.

¹ Projeto de Pesquisa;

² Discente do Curso de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal da Paraíba - UFPB, julianacosta.rn@gmail.com;

³ Docente do Curso de Geografia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN, fernandoxmoreira@bol.com.br;

⁴ Docente do Curso de Geografia da Universidade da Paraíba - UFPB, bartolomeuisrael@gmail.com;

⁵ Docente do Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN, gmarinho@ct.ufrn.br;

Vários autores apontam que o gás carbônico (CO_2) é o maior responsável pelo aumento de temperatura via efeito estufa, apresentando taxa de elevação em 0,4% ao ano, embora sua concentração seja de 30 a 200 vezes inferior ao vapor d'água (H_2O) (VIANELLO, 2000).

Nesse contexto, a mudança climática atual é caracterizada pela elevação da temperatura e pelas alterações nos padrões de precipitação (BRUNNER *et al.*, 2015). Segundo o IPCC - *Intergovernmental Panel on Climate Change*, em seu IV Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC AR4, 2007), para cenários de precipitação e temperatura média mensal do ar com redução da precipitação de 10% e aumento da temperatura do ar em 1°C (cenário B2) temos uma previsão otimista, enquanto para o cenário com redução da precipitação pluvial de 20% e aumento da temperatura média do ar em 4°C (cenário A2) constitui-se uma previsão pessimista. Indo um pouco mais além, no cenário otimista, a radiação global irá atingir seu ponto máximo no meio desse século, recuando posteriormente, enquanto no cenário pessimista teríamos um aumento constante nessas taxas.

Diante dessa perspectiva, regiões do Brasil que sofrem historicamente com as oscilações naturais do clima podem ter uma situação econômica, social e ambiental agravadas, destacando-se nesse aspecto o espaço abrangido pelo semiárido no país. Para a temperatura do ar, por exemplo, as projeções para essa região revelam um aumento de no mínimo 2°C , podendo chegar até mais de 4°C ao longo do século presente (TEBALDI *et al.*, 2007).

Concebendo a discussão anterior como algo de elevada probabilidade de ocorrer ao longo do tempo, cabe questionar como será o comportamento da evapotranspiração em áreas de caatinga, diante desses cenários. Essa estimativa é de suma importância, pois está agregada a determinação da contabilização de água na relação solo-planta-atmosfera. Em outras palavras, conhecer o balanço hídrico para uma determinada região é de extrema relevância, pois este fornece a contabilização da água do solo, resultante da aplicação do Princípio de Conservação de Massa em um volume de solo vegetado (MOTA, 1987; TUBELIS e NASCIMENTO, 1992; PEREIRA *et al.*, 2002). Portanto, através do balanço hídrico podemos entender a dinâmica da água no sistema, conseqüentemente isso nos permite conhecer melhor como diversos elementos poderão ser afetados com os cenários futuros estimados pelo IPCC.

O solo é o reservatório natural de água para a vegetação. Sua entrada no sistema é feita pela precipitação e/ou irrigação, enquanto a saída se dá pela evapotranspiração. Apresenta uma capacidade de armazenamento de água que uma vez satisfeita, permite a percolação desse excedente para o lençol freático, que é contabilizada pelo balanço hídrico. Nesse contexto, se faz necessária uma breve discussão sobre alguns trabalhos que realizaram estimativas de balanço hídrico aplicados a regiões do Brasil que apresentam elevada sazonalidade pluviométrica.

Amorim *et al.* (1995) analisaram vários métodos de estimativa da evapotranspiração na região semiárida do Rio Grande do Norte, cujo método padrão foi o lisímetro. Os métodos analisados foram: Tanque Classe “A”, Thornthwaite, Hargreaves, Penman, Benavidez & Lopes, Blaney & Criddle, escolhidos por serem bastante usados no semiárido. Todos os métodos estudados superestimaram, em termos de média, os valores da evapotranspiração de referência medidos pelo lisímetro, com exceção do método de Blaney & Criddle que não apresentou diferenças significativas estatisticamente.

Nunes *et al.* (2011) estimaram a Evapotranspiração de Referência (ET_o) através da metodologia proposta por Ivanov (1977) para o município de Palmas – TO. Os resultados indicaram que a ET_o estimada estava próxima dos valores obtidos por outros métodos empíricos para a região de estudo. Dessa forma, foi avaliado que a metodologia proposta por Ivanov (1977) é uma boa alternativa para a estimativa da ET_o e de fácil aplicação.

Medeiros *et al.* (2015) trabalharam com o balanço hídrico e a erosividade a partir de dados de temperatura estimados pelo modelo Estima_T, enfatizando os cenários do IPCC para o município de Cabaceiras - PB. Os resultados demonstraram que o cenário otimista (B2) e o pessimista (A2) indicaram situações críticas das condições do solo que ocasionarão grandes perdas para os recursos hídricos e cultivos de sequeiro. Além disso, os índices pluviométricos para o cenário A2 não seriam suficientes para o desenvolvimento de vários tipos de culturas, ocorrendo também alta erosividade.

O modelo empírico Estima T oferece uma estimativa da temperatura do ar a partir de uma superfície quadrática para as temperaturas média, máxima e mínima mensal, em função das coordenadas locais: longitude, latitude e altitude (CAVALCANTI & SILVA, 2006), sendo amplamente usada em áreas desprovidas de informações medidas por estações climatológicas, situação essa dominante em grande parte do Brasil.

Com base no exposto, esse artigo tem como objetivo a estimativa da Evapotranspiração de Referência em vegetação de caatinga no município de Cabaceiras/PB e sua resposta aos cenários do IPCC, bem como efetuar a validade dos resultados e do modelo Estima T em um município selecionado no semiárido da Paraíba.

METODOLOGIA

Foram utilizados dados mensais de temperatura e umidade relativa do ar para o ano de 2017 coletados na estação climatológica automática do Projeto Cariri, vinculada ao Departamento de Geociências da UFPB, bem como as informações dos cenários previstos pelo IPCC, através do seu 4º relatório - AR4 (IPCC, 2007). O município selecionado para desenvolvimento desse trabalho foi Cabaceiras – PB, o qual passou a contar com uma estação climatológica do referido projeto a partir do ano anteriormente mencionado. A estação climatológica está localizada no perímetro rural de Cabaceiras, Fazenda Salambaia, latitude de 7° 30' Sul, longitude de 36° 17' Oeste, em uma altitude de 390 m.

Cabaceiras apresenta uma área de 400,22 km². Está inserido na mesorregião da Borborema e microrregião do Cariri Oriental, limitando-se com os municípios de São João do Cariri, São Domingos do Cariri, Barra de São Miguel, Boqueirão e Boa Vista (IBGE, 2010). É considerada parte de um dos pólos xéricos do Brasil e o município de menor média histórica de chuvas do país (NIMER, 1979).

De acordo com a classificação de Köppen, o clima da área de estudo é considerado do tipo Bsh - Semiárido quente, precipitação predominante abaixo de 600 mm anuais e temperatura média menor que 26°C (VIANELLO & ALVES, 1990; MEDEIROS, 2015). Essas características fazem desse município uma importante referência para desenvolvimento de trabalhos com a abordagem do presente trabalho, destacando-se ainda o fato de que, desde 2012, a região onde ele está inserido (Cariris Velhos), entre outras do semiárido brasileiro, vem passando por uma forte estiagem.

A estimativa da evapotranspiração de referência foi efetuada através dos métodos desenvolvidos por Ivanov (1977), bem como por Thornthwaite & Mather (1955), descritos a seguir:

a) Ivanov (1977)

$$ET_o = 0,0006 (25 + T)^2 (1 - UR/100) \quad (01)$$

Onde:

ET_o = Evapotranspiração de referência (mm/dia)

T = Temperatura média do ar (°C)

UR = Umidade relativa média do ar (%)

b) Thornthwaite&Mather (1955)

O balanço hídrico é o computo das entradas e saídas de água de um sistema. Várias escalas espaciais podem ser consideradas para se contabilizar o balanço hídrico. Na escala macro, o “balanço hídrico” é o próprio “ciclo hidrológico”, cujo resultado nos fornecerá a água disponível no bioma. Desta forma a variação da água em um volume de controle é dado por:

$$\Delta A = P - ET \pm ES \pm DF \quad (02)$$

Onde:

ΔA => Variação no armazenamento;

P => Precipitação;

ET => Evapotranspiração;

ES => Escoamento superficial;

DF => Drenagem profunda.

Esse é um método clássico utilizado para monitorar a variação do armazenamento de água no solo ao longo do ano. Através da contabilização do suprimento natural de água ao solo, pela chuva (P), pela evapotranspiração potencial (ETP), levando em consideração o nível máximo de armazenamento ou capacidade de água disponível (CAD) apropriada à região em questão. O balanço hídrico fornece estimativas da evapotranspiração de referência (ET_o), da deficiência hídrica (DEF), do excedente hídrico (EXC) e do armazenamento de água no solo (ARM). O modelo hidrológico de Thornthwaite&Mather (1955) pode ser consultado em Tubelis& Nascimento (1990):

$$ET_o = 1,6 (10T/I)^a \quad (03)$$

Onde ET_o é a evapotranspiração de referência (cm), “ a ” é uma constante local, T é a temperatura do ar (°C) e I é o índice térmico dado por:

$$I = (T/5)^{1,514} \quad (04)$$

$$a = 0,000000675 I^3 - 0,0000771 I^2 + 0,01792 I + 0,49239 \quad (05)$$

c) Estima_T

O Estima T, que segundo Cavalcanti, Silva e Souza (2006) é um programa computacional, cujo neste determinaram-se os coeficientes da função quadrática para as temperaturas média, máxima e mínima mensal, em função das coordenadas locais (longitude, latitude e altitude, conforme proposto por Cavalcanti & Silva (1994). Este encontra-se disponível gratuitamente na website do Departamento de Ciências Atmosféricas (DCA) da Universidade Federal de Campina Grande, no endereço: http://www.dca.ufcg.edu.br/estima_t/.

O modelo empírico de estimativa da temperatura do ar elaborado por Cavalcanti & Silva (1994) é uma superfície quadrática, dada por:

$$T_{ij} = a_0 + a_1\lambda + a_2\phi + a_3h + a_4\lambda^2 + a_5\phi^2 + a_6h^2 + a_7\lambda\phi + a_8\lambda h + a_9\phi h \quad (06)$$

d) Teste de concordância

Os resultados das evapotranspirações com base em Ivanov (1977) e Thornthwaite & Mather (1955), bem como as estimativas da temperatura pelo Estima T, foram avaliados pelo índice de concordância ou ajuste de Willmott (WILLMOTT *et al.*, 1985), onde os valores variam de zero, quando não existe concordância, a 1, para a concordância perfeita, sendo dado pelas equações:

$$d = 1 - [\sum(Y_i - X_{med})^2 / \sum(\text{abs}(Y_i - X_{med}) + \text{abs}(X_i - X_{med}))] \quad (07)$$

$$r = \sum[\text{abs}(X_i - X_{med})(\text{abs}(Y_i - Y_{med}))] / [\sum((X_i - X_{med})^2)]^{0,5} [\sum((Y_i - Y_{med})^2)]^{0,5} \quad (08)$$

$$c = r d \quad (09)$$

Onde “d” é o índice de concordância, “r” é o coeficiente de correlação de Pearson, “c” é o coeficiente de confiança ou desempenho, “Xi” e “Yi” são as variáveis de evapotranspiração por Thornthwaite & Mather (1955) e Ivanov (1977), respectivamente. A tabela 01 mostra a interpretação do coeficiente de concordância (HOPKINS, 2000):

Tabela 01 - Coeficiente de concordância

Coeficiente“c”	Desempenho
> 0,85	Ótimo
0,76 – 0,85	Muito bom
0,66 – 0,75	Bom
0,61 – 0,65	Mediano
0,51 – 0,60	Sofrível
0,41 – 0,50	Mau
< 0,40	Péssimo
< 0,40	Péssimo

Fonte: HOPKINS, 2000.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 02 mostra os resultados obtidos para a temperatura, umidade do ar, precipitação, precipitação média histórica e evapotranspiração de referência para três cenários distintos estimados pelo método de Ivanov (1977) para região de Cabaceiras.

Tabela 02 - Dados medidos e estimados da temperatura, umidade do ar, precipitação em 2017, precipitação média histórica e evapotranspiração de referência para três cenários distintos pelo método IVANOV (1977) na cidade de Cabaceiras/PB.

Meses	Temperatura média (°C)	UR (%)	Prec_2017 (mm)	Prec_média (mm)	ETo_COR (mm)	ET0_B2 (mm)	ET0_A2 (mm)
Jan	26,8	52,2	6,0	23,0	140,3	185,9	207,6
Fev	27,0	53,3	0,0	39,2	138,0	165,5	184,8
Mar	27,2	55,6	5,4	59,8	139,1	175,3	195,7
Abr	26,6	58,9	16,6	60,2	136,5	153,3	171,3
Mai	26,1	61,5	21,6	42,3	135,8	145,7	163,0
Jun	23,9	65,6	22,4	43,5	132,1	115,4	129,7
Jul	22,4	79,2	76,6	36,8	126,5	67,8	76,5
Ago	24,2	69,5	1,0	14,9	130,8	107,4	120,6
Set	24,6	59,3	9,6	5,2	135,1	140,4	157,5
Out	26,4	55,0	1,6	3,4	138,6	172,7	193,1
Nov	27,4	50,0	0,0	3,8	141,0	192,0	214,2
Dez	27,3	53,0	2,2	9,3	140,4	186,2	207,8
Total	---	---	163,0	341,4	1.634,3	1.807,7	2.021,7

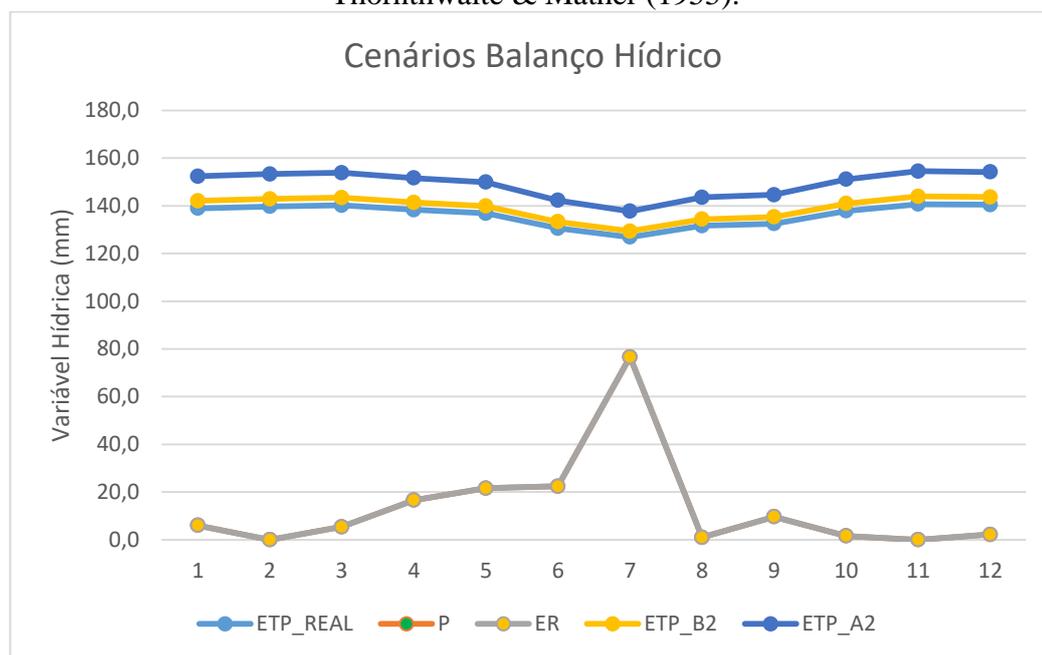
Verifica-se que o acumulado anual da precipitação para o ano de 2017 foi abaixo da média histórica (52%). O trimestre mais chuvoso corresponde a maio, junho e julho. A temperatura média anual ficou em 25,8°C, condizente com a Medeiros *et al.* (2015), enquanto

a umidade relativa de 59,4% traduz uma atmosfera seca. A Evapotranspiração de Referência pelo método de Ivanov (1977) apresentou valor total anual de 1.634,3 mm para o cenário real (ETo_COR), 1.807,7 mm para o cenário B2 (ETO_B2) e 2.021,7 para o cenário A2 (ETO_A2). Portanto, nos três casos temos uma evolução ascendente nas perdas de água na área de estudo, elevando-se no cenário otimista (B2) e ficando ainda pior no cenário pessimista (A2).

Observa-se ainda que em todos os meses a ETo está acima de 100mm, exceto no mês de julho que ficou abaixo da capacidade de campo nos dois cenários, B2 e A2. Vale salientar que os maiores valores de ETo ocorreram nos meses em que a temperatura do ar é bastante elevada e a umidade relativa do ar apresenta seus valores mais baixos. Por outro lado, o mês de julho apresentou a menor ETo em todos os cenários, isso porque a temperatura diminuiu e a umidade relativa do ar aumentou consideravelmente. É importante destacar que no mês de julho, em 2017, foram registradas as maiores chuvas na área de estudo, com 76,6 mm, ainda que, geralmente os maiores eventos pluviométricos ocorram em março (NIMER, 1979). Tal aspecto demonstra a elevada dinâmica existente quanto às chuvas no semiárido brasileiro, no que diz respeito ao total ocorrente, sua distribuição temporal e espacial, caracterizando um sistema complexo.

Na Figura 01 temos o total registrado e a distribuição mensal das chuvas para o ano 2017, juntamente com os três cenários da evapotranspiração estimados pelo balanço hídrico de Thornthwaite & Mather (1955). Observamos, inicialmente, que a estação seca ocorreu praticamente o ano todo, exceto no mês de julho (número 7 da figura), quando choveu 76,6 mm, conforme já mencionamos anteriormente.

Figura 01 - Cenários da evapotranspiração estimados pelo balanço hídrico de Thornthwaite & Mather (1955).



Novamente verificamos que as evapotranspirações estimadas apresentaram aumento conforme a elevação das temperaturas médias do ar. No cenário B2, com aumento de 1°C, ocorre uma elevação pouco significativa de 35,9 mm na ETo, enquanto no cenário A2, aumento de 4°C, existem mudanças expressivas na ETo, com 154,9 mm.

Com base nesses resultados, no cenário B2, ainda que a vegetação mais sensível à perda de umidade seja atingida, levando em consideração que na caatinga temos diversas espécies perenes, é provável que tenha capacidade para suportar essa queda, particularmente as arbóreas e arbustivas, uma vez que, em resposta a esse cenário mais seco elas tenderiam a investir mais biomassa em órgãos de raízes, otimizando a absorção e minimizando as perdas por transpiração, como observado por Markesteijn & Porter (2009) em diversas espécies de árvores tropicais, embora deva haver diminuição das herbáceas, pelo fato das mesmas não apresentarem esse mecanismo evolutivo (MARKESTEIJIN & PORTER, 2009; BRUNNER *et al.*, 2015).

Para o cenário A2 a vegetação melhor adaptada fisiologicamente a esse elevado *stress* hídrica, como cactos e bromélias, deverá ocupar mais espaço, em substituição às espécies arbóreas e arbustivas, uma vez que apresentam maior eficiência em suportar esse tipo de comportamento do balanço hidrológico, tal como observado por Nobre & Oyama (2003) e Salazar *et al.* (2007) para toda a América do Sul, Pinheiro *et al.* (2016) para o bioma Caatinga

e Vico *et al.* (2015) e Raz-Yaseef *et al.* (2010) para os ecossistemas secos em todo o mundo, onde estiagens longas e intensas favoreceriam a expansão das plantas decíduas em detrimento das perenes, com grande mortalidade de árvores, induzindo a ocorrência de mudanças na composição e distribuição geográfica de diversas espécies.

Os solos, por sua vez, ficarão mais desprotegidos, com perdas de umidade na superfície (WETHERALD & MANABE, 2002; JUNG *et al.*, 2010). Nesse caso, mesmo sem mudanças importantes na quantidade de chuva, a elevação da temperatura do ar poderia levar a um aumento da evapotranspiração, gerando diminuição do armazenamento de água no solo (PINHEIRO *et al.*, 2016; SALAZAR *et al.*, 2007).

Com menor cobertura vegetal, os solos ficarão mais aquecidos inclusive internamente. Nesse caso, o aumento dessa temperatura em suas camadas subsuperficiais, onde dominam os processos de germinação de sementes, pode afetar a capacidade de diversas espécies em se reproduzir, haja vista que na Caatinga a temperatura ideal dos solos para que ocorra esse processo para a maioria das espécies vegetais não deve superar os 30°C, limite que já foi ultrapassado em grande parte da região do Cariri paraibano, conforme dados de Souza *et al.* (2015), devido a desmatamentos intensivos que ocorreram e continuam a assolam essa região, o que explicaria o domínio de paisagens com pouca ou nenhuma cobertura vegetal que há muito tempo não reagem positivamente à ocorrência de chuvas nessas terras, mesmo quando a pluviosidade ocasionalmente é abundante, ficando a dúvida se parte do ambiente já não ultrapassou o seu limite crítico, estando totalmente alterado, como alertam Medeiros *et al.* (2017) para o que pode estar ocorrendo em sistemas dinâmicos susceptíveis à desertificação como essa região.

Portanto, diversas consequências negativas do ponto de vista ambiental ocorrerão em virtude do domínio desse cenário, algumas destas já possíveis de serem medidas, implicando em uma série de questões econômicas e sociais, afetando diretamente a qualidade de vida da população local e das adjacências.

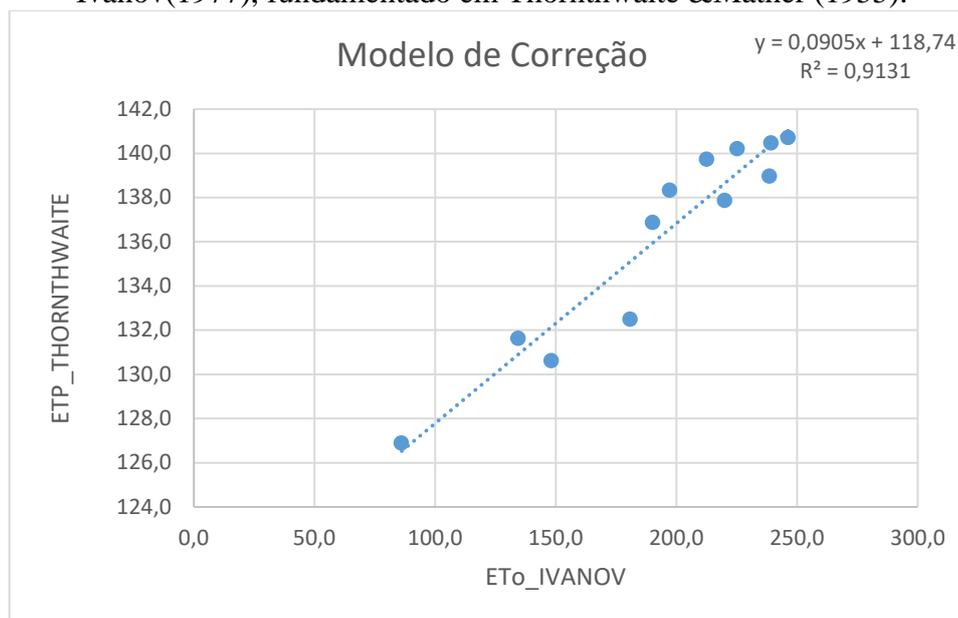
O teste de concordância de Willmott (Tabela 03) para as evapotranspirações apresentou resultados não satisfatórios, sendo necessário uma correção polinomial (Figura 02). Após essa correção o resultado mostrou-se ótimo e, portanto, bastante satisfatório para região de Cabaceiras.

Tabela 03 - Teste de Concordância entre os métodos de

evapotranspiração por Thornthwaite & Mather e Ivanov.

	Ivanov (1977)	Ivanov_Cor
d	0,49	0,98
r	0,96	0,96
c	0,47	0,93
Conclusão:	Mau	Ótimo

Figura 02 - Correção pelo método dos mínimos quadrados do modelo de Ivanov(1977), fundamentado em Thornthwaite &Mather (1955).



O teste de concordância de Willmott aplicado no comportamento do modelo de estimação de temperatura, Estima T, com os dados medidos pela estação climatológica automática instalada na Fazenda Salambaia - ECA (Tabelas04 e 05), mostrou que este não foi capaz de reproduzir satisfatoriamente o desempenho temporal do campo térmico da caatinga em Cabaceiras/PB (Tabela 4).

Tabela 04 - Dados de temperaturas da estação climatológica (ECA) e estimados pelo modelo Estima T.

Temp_ECA(°C)	Temp_Estima_T(°C)
26,8	24,3
27,0	24,3
27,2	25,3
26,6	25,6
26,1	25,6
23,9	25,0
22,4	25,3
24,2	26,5

24,6	28,3
26,4	28,0
27,4	25,5
27,3	24,5

Tabela 05 - Teste de Concordância do método Estima T e dos dados coletados da ECA.

	Estima T
D	0,217393
R	0,96
C	0,21
Conclusão:	Péssimo

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Há um déficit hídrico na área de estudo para todos os cenários do IPCC nos dois métodos aplicados, Ivanov e Thornthwaite & Mather (1955). A Evapotranspiração de Referência sofrerá uma pequena queda para o cenário B2, indicando que nessa situação possivelmente o sistema vegetal atual, no caso das árvores e arbustos, não será grandemente atingido negativamente, dada a capacidade de adaptação a essa condição de diminuição leve de umidade disponível nos solos, a partir de mecanismos relacionados às respostas das raízes a essa condição. A exceção fica por conta das herbáceas, por não apresentarem essas adaptações evolutivas, o que implica, do ponto de vista econômico, que a pecuária dessa região, particularmente o rebanho bovino, será afetado com relativa intensidade, devido a diminuição de pasto disponível.

Para o cenário A2, há perdas consideráveis de umidade na superfície, sendo estas acima de 100mm, com implicações negativas intensas para diversas espécies arbóreas e arbustivas, tanto em número quanto em diversidade, caracterizando um ambiente árido. É importante destacar que parte desse cenário já é observada em algumas áreas do Cariri, inclusive em Cabaceiras, em função de desmatamentos intensivos que, se não tem origem em mudanças climáticas, tem o homem como criador dessa situação ao modificar a entrada de água nos solos e também favorecer a elevação das temperaturas superficiais, com repercussões diretas no balanço hídrico local.

Sobre os métodos utilizados, o de Ivanov (1977), apesar da simplicidade na sua aplicação, carece de calibração local. O Estima T não apresentou resultados satisfatórios,

demonstrando a elevada importância da presença de equipamentos analógicos fixos em regiões como a estudada, para que a captura de dados reais possa ser efetuada e, com base nestes, seja possível a criação de cenários climáticos mais confiáveis e próximos do que poderá acontecer no futuro.

REFERÊNCIAS

AMORIM, M.C.; SOBRINHO, J.E.; NETO, F.B. MAIA NTO, J.M; CORDEIRO, L.G. Análise de métodos para estimativa da evapotranspiração de referência em áreas ribeirinhas do rio Mossoró, na região nordeste do Rio Grande do Norte. In: **IX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia**, 1995, Campina Grande – PB.

BRUNNER, I.; HERZOG, C.; DAWES, M. A.; AREND, M.; SPERISEN, C. How tree roots respond to drought. **Frontiers in Plant Science**, v. 6, article 547, 2015.

CAVALCANTI, E.P. e SILVA, E.D.V. Estimativa da temperatura do ar em função das coordenadas locais. In: VIII Congresso Brasileiro de Meteorologia e II Congresso Latino-Americano e Ibérico de Meteorologia. Sociedade Brasileira de Meteorologia. Belo Horizonte, outubro de 1994.

CAVALCANTI, E. P.; SILVA, V. P. R.; SOUSA, F. A. S. Programa computacional para estimativa da temperatura do ar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, n.1, p.140-147, 2006.

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **ClimateChange–the Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the IPCC. Cambridge: Cambridge Univ. Press., 2007.

JENSEN, M. **Consumptive use of water and irrigation water requirements**. New York: American Society of Civil Engineers, 1973.

JUNG, M.; REICHSTEIN, M.; CIAIS, P.; SENEVIRATNE, S. I.; SHEFFIELD, J.; GOULDEN, M. L.; BONAN, G.; CESCATTI, A.; CHEN, J.; de JESUS, R.; DOLMAN, A. J.; EUGSTER, W.; GERTEN, D.; GIANELLE, D.; GOBRON, N.; HEINKE, J.; KIMBALL, J.; LAW, B. E.; MONTAGNANI, I.; UM, Q.; MUELLER, B.; OLESON, K.; PAPALE, D.; RICHARDSON, A. D.; ROUPSARD, O.; RUNNING, S.; TOMELLERI, E.; VIOVY, N.; WEBER, U.; WILLIAMS, C.; WOOD, E.; ZAEHLE, S.; ZHANG, K. Recent decline in the global land evapotranspiration trend due to limited moisture supply. **Nature**, 467: 951 – 954, 2010.

HOPKINS, W. G. **Correlation coefficient: a new view of statistics**. 2.000. Disponível em: <<http://www.sportsci.org/resource/stats/correl.html>>. Acesso em: 12 set. 2018.

IBGE, INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - **Censo Demográfico**. 2010. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 21 julho 2018.

MARKESTEIJN, I. & PORTER, I. Seedling root morphology and biomass allocation of 62 tropical tree species in relation to drought and shade tolerance. **J. Ecol.** 97, p. 311 – 325, 2009.

MEDEIROS, R. M.; MATOS, R. M.; SILVA, P. F.; SABOYA, L. M.F. SABOYA; FRANCISCO, P. R. M. **Cálculo do balanço hídrico e da erosividade para o município de Cabaceiras-PB.** Enciclopédia Biosfera. Goiânia: Centro Científico Conhecer, v.11 n.21; 2015.

MEDEIROS, E. S.; CALDAS, I. L.; BAPTISTA, M. S.; FEUDEL, U. TRapping phenomenon attenuates the consequences of Tipping Points for limit cycles. **Scientific Reports** 7, 42351, 2017.

MOTA, F.S. **Meteorologia Agrícola.** São Paulo: Livraria Nobel, 1987.

NIMER, E. **Pluviometria e recursos hídricos dos Estados de Pernambuco e Paraíba.** Rio de Janeiro: IBGE/SUPREN, 1979.

NOBRE, A. A. & OYAMA, M. D. A new climate-vegetation equilibrium state for Tropical South America. **Geophysical Research Letters**, v. 30, n. 23, p. 2199 – 2203, 2003.

NUNES, R.G.; SILVA, R.A.; MACIEL, G.F.; SOUSA, E.S.; BORGES, F.W.L.; BRITO, R.S. Estimativa da evapotranspiração de referência para o município de Palmas - TO através do método de Ivanov. In **XVII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia**, 2011, Guarapari - ES.

PEREIRA, A.R.; VILLA NOVA, N.A.; SEDIYAMA, G.S. **Evapo(transpi)ração.** Piracicaba: Livraria FEALQ, 1997.

PINHEIRO, E. A. R.; METSELAAR, K.; van LIER, Q. J.; ARAÚJO, J. C. Importance of soil-water to the Caatinga biome, Brazil. **Ecohydrology** 9: 1313 – 1327, 2016.

RAZ-YASEEF, N.; YAKIR, D.; ROTEMBERG, E.; SCHILLER, G.; COHEN, S. Ecohydrology of a semi-arid forest: partition in among water balance and its components implications for predicted precipitation changes. **Ecohydrology** 3: 143 – 154, 2010.

SALAZAR, L. F.; NOBRE, C. A.; OYAMA, M. D. Climate change consequences on the biome distribution in tropical South America. **Geophysical Research Letters** 34: 1- 6, 2007.

SILVA, V.P.; AZEVEDO, P.V. Capacidade de água disponível nos solos do estado da Paraíba. In **IX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia**, 1995, Campina Grande – PB.

SOUZA, B. I.; MACÊDO, M. L. A.; SILVA, G. J. F. Temperaturas dos solos e suas influências na regeneração natural da caatinga nos Cariris Velhos – PB. **Ra'ega**, v. 35. P. 261 – 287, 2015.

TEBALDI, C.; HAOHOW, K.; ARBLASTER, J.; MEEHL, G. Going to extremes. Na intercomparison of model-simulated historical and future changes in extreme events. **Climatic Change**, v. 79, p. 185 – 221, 2007.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. The water balance. New Jersey: **Drexel Institute of Technology**, 1955.

TUBELIS, A.; NASCIMENTO, F.J.L. **Meteorologia Descritiva: Fundamentos e Aplicações** Brasileiras. São Paulo: Livraria Nobel S/A, 1992.

VIANELLO, R.L.; ALVES, A.R. **Meteorologia Básica e Aplicações**. Viçosa: Livraria UFV, 2000.

VICO, G.; SALLY, E. T.; MANZONI, S.; MOLINI, A.; ALBERTSON, J. D.; ALMEIDA-CORTEZ, J.; FAY, P. A.; FENG, X.; GUSWA, A. J.; LIU, H.; WILSON, T. G.; PORPORATO, A. Climatic, ecophysiological, and phenological controls on planteco hydrological strategies in seasonallydry ecosystems. **Ecohydrology** 8: 660 – 681, 2015.

WETHERALD, R. T. & MANABE, S. Simulation of hydrologic changes associated with global warming. **Journal of Geophysical Research – Atmospheres**, 107, 2002.

WILLMOTT, C.J.; CKLESON, S.G.; DAVIS, R.E. Statistics for the evaluation and comparision of models. **Journal of Geophysical Research**, v. 90, n. C5, p. 8995- 9005, 1985.