

V. 11, n. 2, p. 111-121, Abr - Jun, 2015.

UFCG - Universidade Federal de Campina Grande.
Centro de Saúde e Tecnologia Rural - CSTR. Campus
de Patos-PB. www.cstr.ufcg.edu.br

Revista ACSA:

<http://www.cstr.ufcg.edu.br/acsa>

Revista ACSA - OJS:

<http://150.165.111.246/ojs-patos/index.php/ACSA>

Paulo Roberto Megna Francisco^{1*}

Raimundo Mainar de Medeiros²

Rigoberto Moreira de Matos³

Djail Santos⁴

Thiago Pereira de Sousa⁵

*Autor para correspondência

Recebido para publicação em 28/04/15. Aprovado em 19/05/2015.

¹D.Sc. Pesquisador Bolsista DCR CNPq/FAPESQ, CCA/UFPB - Universidade Federal da Paraíba, Areia-PB, e-mail: paulomegna@ig.com.br

²Meteorologista, Doutorando em Meteorologia, UFCG - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande-PB, e-mail: mainarmedeiros@gmail.com

³Mestrando em Engenharia Agrícola, UFCG - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande-PB. e-mail: rigobertomoreira@gmail.com

⁴Profº. D.Sc. Dpto. Solos e Eng. Rural, CCA/UFPB - Universidade Federal da Paraíba, Areia-PB, e-mail: santosdj@cca.ufpb.br

⁵Graduado em Ciências Agrárias, Mestrando em Agronomia/Fitotecnia, UFRSA - Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró-RN, e-mail: tiagojd2009@hotmail.com



ACSA
AGROPECUÁRIA CIENTÍFICA NO SEMIÁRIDO

ISSN 1808-6845

Artigo Científico

Análise e mapeamento da evaporação para o estado da Paraíba

RESUMO

A evapotranspiração potencial é um elemento macrometeorológico, fundamental, como é a precipitação pluvial. A evaporação é uma variável conceitual que não pode ser medida diretamente. Este trabalho objetivou estimar e mapear as oscilações da evaporação e suas flutuações espaço temporal mensal, anual e os trimestres de menos e maior poder evaporativo no Estado da Paraíba utilizando-se do método empírico de Thornthwaite. Para estimativa das séries de temperatura média mensal do ar utilizou-se do Estima T. Estimou-se a evaporação para os 223 municípios gerando-se planilhas. Para a análise da distribuição espacial da precipitação foi utilizado software Surfer 9.0 pelo método de interpolação de krigagem para produzir os mapas. Os valores médios da evaporação mensais variaram de 19,3mm no mês de novembro a 113mm no mês de março, ao passo que os valores anuais têm sua variabilidade fluindo entre 332 a 1.212,7mm.

Palavras-chave: krigagem, pluviosidade, temperatura, balanço hídrico.

Analysis and mapping of evaporation for the State of Paraíba

ABSTRACT

The potential evapotranspiration is a micrometeorological element, essential, as is the rainfall. Evaporation is a conceptual variable cannot be measured directly. This study aimed to estimate and map the fluctuations of evaporation and its monthly timeline fluctuations, annual and quarters less and greater evaporative power in the state of Paraíba using the empirical method of Thornthwaite. To estimate the average monthly temperature series of air was used the Estima T. Estimated by evaporation to 223 municipalities by generating spreadsheets. To analyze the spatial distribution of precipitation was used Surfer 9.0 software by kriging interpolation method to produce the maps. The mean values of monthly evaporation varied from 19,3mm in November to 113mm in March, while the annual figures have their variability flowing between 332 to 1.212,7mm.

Keywords: kriging, rainfall, temperature, water balance.

INTRODUÇÃO

A evapotranspiração potencial (ETP) é o fenômeno associado à perda simultânea de água do solo pela evaporação e da planta pela transpiração. A estimativa da ETP mostra a máxima perda de água possível ocorrer em uma comunidade vegetada. Ela significa a demanda máxima de água pela cultura e vem a tornar-se o referencial de máxima reposição de água à cultura, seja pela irrigação ou pela precipitação pluviométrica de acordo com Barros et al. (2012).

A evaporação é uma variável conceitual que não pode ser medida diretamente (THORNTHWAITE, 1948; 1955). Muitos métodos diferentes de estimar evaporação potencial a partir de uma ou mais variáveis foram desenvolvidos de acordo com as condições climáticas locais e disponibilidade de dados adequados de conformidade com os autores Shuttleworth (1993), Singh e Xu (1997), Xu & Singh (2000; 2001). Thornthwaite (1948; 1955), usa uma única variável, a

temperatura do ar, que está relacionada com o potencial dos índices evaporativos através de relações empíricas.

A evapotranspiração potencial é um elemento macrometeorológico, fundamental, como é a precipitação pluvial. Representa a chuva teoricamente necessária para não faltar nem sobrar água no solo. Com o balanço contábil entre esses dois elementos opostos pode-se caracterizar bem o fator umidade do clima e estimar a umidade disponível no solo, através do balanço hídrico climático de conformidade com Camargo et al. (1999).

A agricultura é uma das atividades econômicas que apresenta uma dependência do tempo e do clima. As condições atmosféricas afetam todas as etapas das atividades agrícolas, desde o preparo do solo para o plantio até o armazenamento dos produtos e seu transporte. As condições meteorológicas adversas levam constantemente a graves impactos sociais sem precedentes segundo Souza et al. (2004).

A agricultura é uma atividade econômica que por estar sujeita à variabilidade do clima e entre todas as atividades econômicas, é a que mais depende das condições climáticas, sendo a evaporação responsável por 60 a 70% da variabilidade final da produção conforme os autores Ortolani & Camargo (1987).

Diante da necessidade de se obter informações a respeito da variável evaporação, este trabalho objetiva estimar e mapear as oscilações da evaporação e suas flutuações espaço temporal mensal, visando à delimitação de regime que caracterize o trimestre com mais e menos poder evaporativo para o Estado da Paraíba, assim como demonstrar a variabilidade da Evaporação (EVP) mês a mês e também a anual.

MATERIAL E MÉTODOS

O Estado da Paraíba está localizado na região Nordeste do Brasil (Figura 1), apresenta uma área de 56.372 km², que corresponde a 0,662% do território nacional. Seu posicionamento encontra-se entre os paralelos 6°02'12" e 8°19'18"S, e entre os meridianos de 34°45'54" e 38°45'45"W (FRANCISCO, 2010).

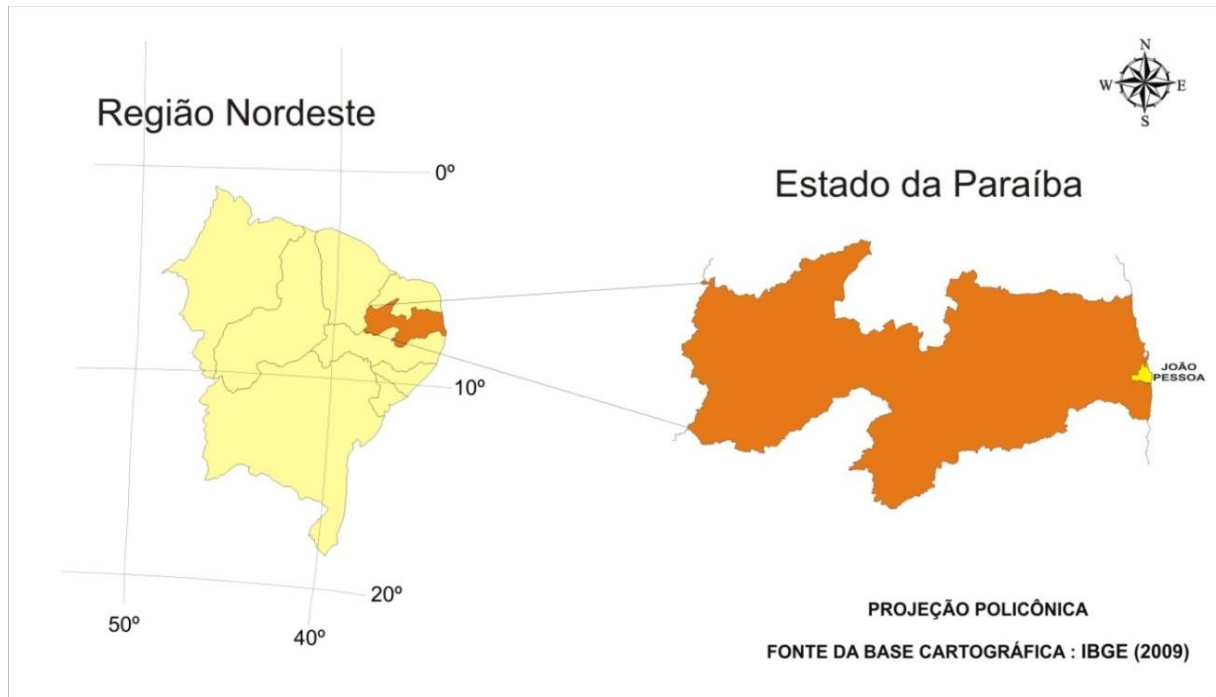


Figura 1. Localização da área de estudo no mapa temático da região nordeste. Fonte: Adaptado de IBGE (2009).

Para a análise do comportamento climático do Estado da Paraíba foram utilizados dados de precipitação adquiridos do banco de dados coletado pela Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado

da Paraíba (AESAs), para uma série especificada de anos que compreende o período de 30 a 102 anos com base em 223 postos pluviométricos localizados por todo o Estado (Figura 2).

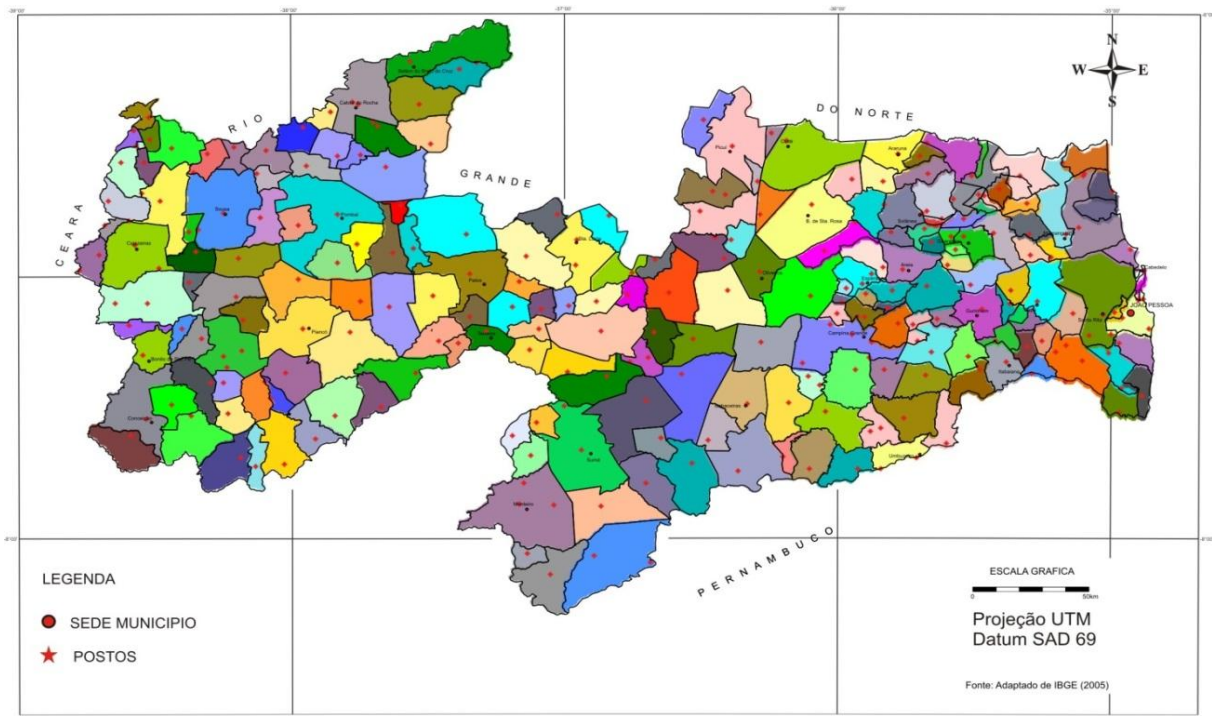


Figura 2. Distribuição espacial dos postos pluviométricos da área de estudo. Campina Grande-PB, 2015.

A estimativa da evaporação potencial mensal, anual e dos seus trimestres de mínimos e máximos foi

efetuada a partir das equações empíricas para a estimativa da temperatura do ar para o Estado da

Paraíba de acordo com Medeiros (2013). O autor utilizou séries históricas de valores mensais da temperatura do ar de períodos uniformizados com 30 anos de observações, para os 223 municípios que engloba o Estado.

As equações de regressão linear múltipla para estimar a temperatura do ar (máxima, mínima e média) foram obtidas a partir de dados de algumas estações climatológicas do INMET situadas no Estado e suas complementações utilizou-se do software denominado “Estima T” (CAVALCANTI et al., 1996; 2006), desenvolvido pelo Núcleo de Meteorologia Aplicada da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) para estimativa das séries de temperatura média mensal do ar de todos os 223 postos meteorológicos devido à ausência de dados em alguns postos na região.

Por essas equações, as temperaturas máximas, mínimas e médias do ar são estimadas com base na latitude, longitude e altitude locais. Obtiveram-se os dados de latitude, longitude e altitude do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e com os dados de temperatura média do ar estimados, procedeu-se à estimativa da evaporação potencial para todo o Estado, pelo método empírico de Thornthwaite (1948; 1955).

A estimativa da evapotranspiração potencial (ETP) utilizada na metodologia requer apenas dados de temperatura média mensal do ar e da insolação máxima expresso em mm/mês. Define-se a evapotranspiração potencial da seguinte forma, de acordo com Thornthwaite (1948; 1953).

Equação A:

$$(ETP)_j = F_j \cdot E_j$$

Onde: E_j representa a evapotranspiração potencial (mm/dia) não ajustada resumida da seguinte forma:

Equação B:

$$E_j = 0,553 \left(\frac{10 \cdot T_j}{I} \right)^a$$

Em que: representa a temperatura média mensal do ar do mês ($^{\circ}\text{C}$); I é o índice anual de calor definido através de:

Equação C:

$$I = \sum_{j=1}^{12} i_j$$

Sendo, o índice térmico de calor no mês dado por:

Equação D:

$$i_j = \left(\frac{T_j}{5} \right)^{1,514}$$

Por fim, o expoente “a” da equação (2) é uma função cúbica desse índice anual de calor, expresso da seguinte forma:

Equação E:

$$a = 6,75 \times 10^{-7} - 7,71 \times 10^{-5} I^2 + 1,79 \times 10^{-2} I + 0,49$$

O fator de correção da equação (A) é definido em função do número de dias do mês D_j (em janeiro, $D_j = 31$; em fevereiro $D_j = 28$; etc.) e da insolação máxima do dia 15 do mês J (N_j), considerado representativo da média desse mês, definido por:

Equação F:

$$F_j = \frac{D_j \cdot N_j}{12}$$

Para o cálculo da insolação máxima do dia 15, utilizou-se a seguinte expressão:

Equação G:

$$N_j = \left(\frac{2}{15} \right) [\text{arc. cos}(-\text{tag} \varnothing \cdot \text{tag} \delta)]$$

Onde: \varnothing Latitude do local; δ Declinação do Sol em graus, para o dia considerado; definido por:

Equação H:

$$\delta = 23,45^{\circ} \text{sen}[360(284 + d)/365]$$

Em que, “d” é o número de ordem, no ano do dia considerado (dia Juliano). A estimativa da evapotranspiração potencial por meio da equação (1) só é válida para valor de temperatura média do ar do mês inferior a $26,5^{\circ}\text{C}$. Quando a temperatura média desse mês for igual ou superior a $26,5^{\circ}\text{C}$, Thornthwaite e Mather (1948; 1953) assumiu que E_j independe do

índice anual de calor e utiliza-se para sua estimativa uma tabela apropriada.

Com o intuito de homogeneizar as classes de evaporação potencial, quando em determinado município ocorressem duas ou mais classes de evaporação potencial, estabeleceram-se duas situações: 1 - Mudança de classe inferior para classe superior, quando a porcentagem de ocorrência de uma classe inferior à de outra classe fosse = a 20%, a área de ocorrência da classe inferior seria incorporada à da classe imediatamente superior; 2 - Mudança de classe superior para classe inferior, quando a porcentagem de ocorrência de uma classe superior à de outra classe fosse = a 20%, a área de ocorrência da classe superior

seria incorporada à da classe imediatamente inferior. Este procedimento possibilitou a obtenção de mapas de evaporação potenciais mais uniformes e homogêneos.

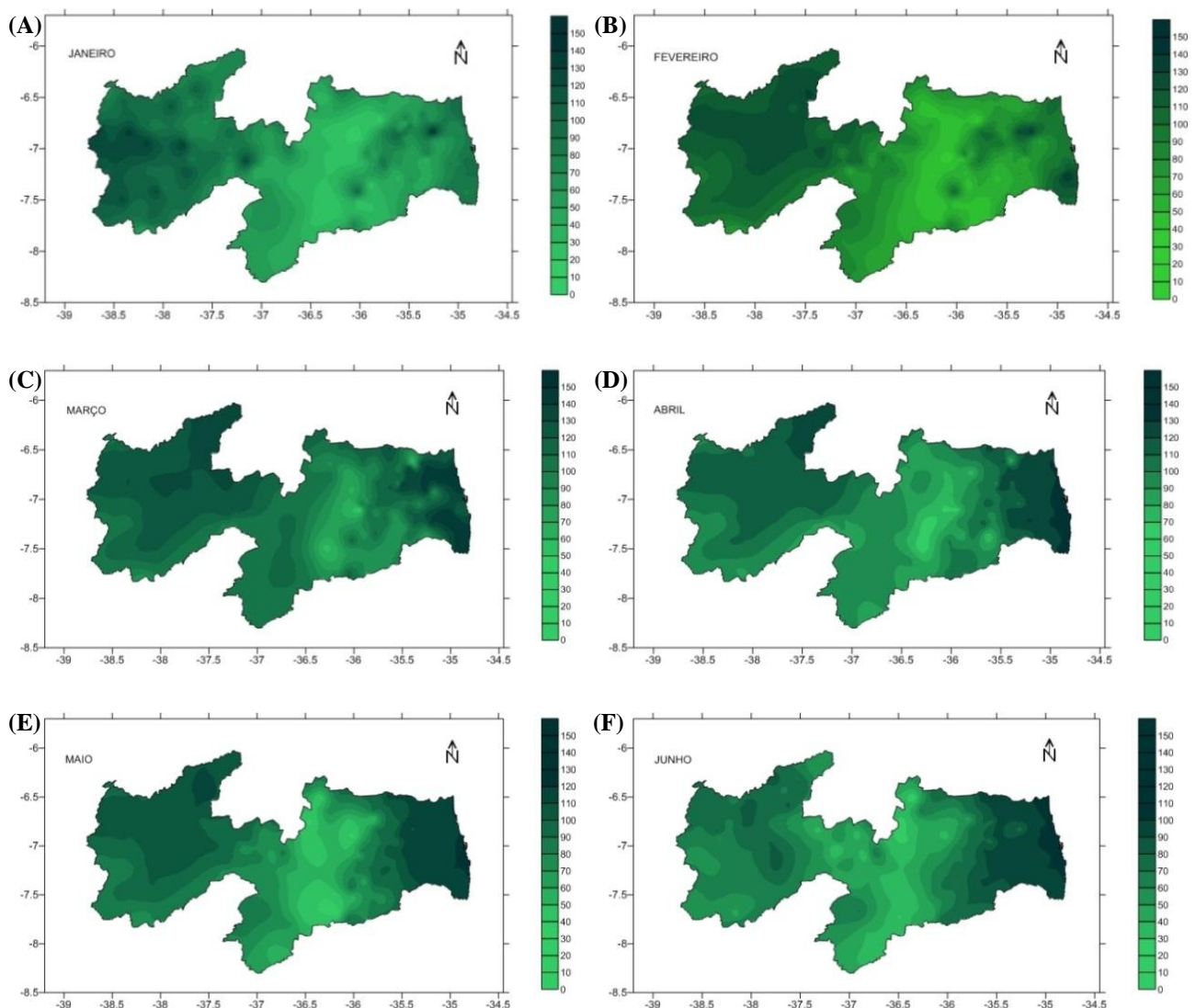
O balanço hídrico foi calculado a partir do modelo matemático proposto por Thornthwaite e Mather (1948,1955) e o programa utilizado foi desenvolvido por Medeiros (2013). Tomou-se o valor de capacidade de água disponível no solo (CAD) de 100mm.

Para a análise da distribuição espacial da precipitação foi utilizado software Surfer 9.0 pelo método de interpolação de krigagem para produzir os mapas e recortados utilizando-se o limite do Estado da Paraíba (IBGE, 2009).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 3 (A,B,C,D,E,F,G,H,I,J,L,M) representam a distribuição espacial da evaporação mensal (A=Janeiro...M=dezembro) no Estado da Paraíba.

Observa-se que de Janeiro a Junho (Figura 3A à 3F) os índices evaporativos possui elevação no sentido oeste-leste. Já na Figura 3G à 3M ocorrem redução nos índices evaporativos no mesmo sentido.



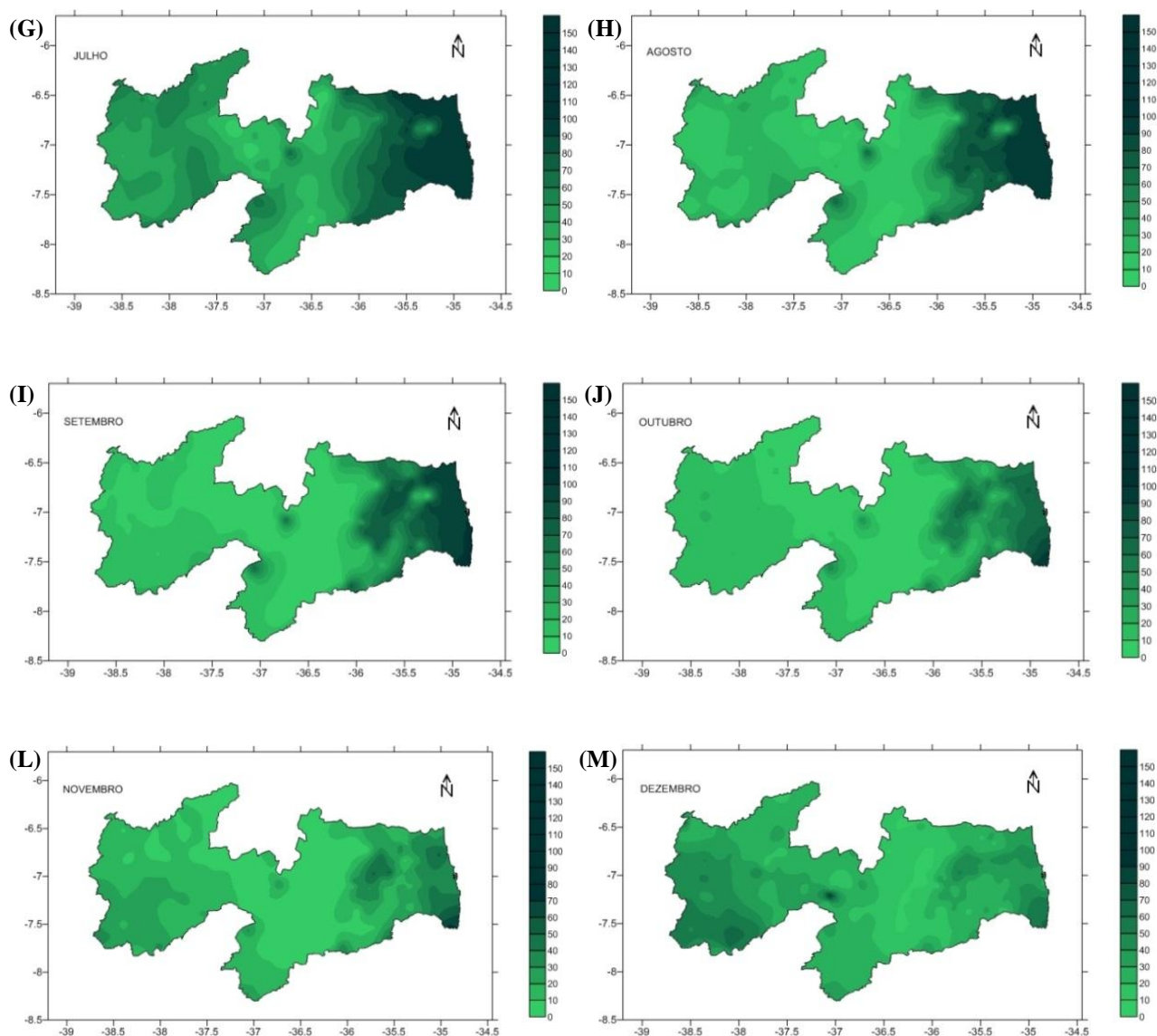


Figura 3. Distribuição mensal da evaporação no estado da Paraíba. Campina Grande-PB, 2015.

O Estado da Paraíba encontra-se dividido em quatro mesorregiões as quais apresentam grandes variabilidades climáticas entre elas, sendo classificadas como: Sertão, Borborema, Agreste e Litoral Paraibano.

Verifica-se que para todos os meses do ano a mesorregião conhecida como Agreste paraibano localizada nos paralelos de 35,5 a 36,5° S aproximadamente permanece com uma tonalidade clara durante o ano todo, ou seja, esta região apresenta os menores índices evaporativos quando comparada com as demais regiões do estado. Isto possivelmente está relacionado ao tipo de vegetação que ocupa esta área, que não proporciona ao solo condições favoráveis de armazenamento de água, para que seja evaporada aos poucos e ao baixo índice de precipitação ocorrido na

região que não permite que haja um maior volume de água evaporado por mais tempo.

Matos et al. (2014) constataram em estudo sobre aptidão climática, através do balanço hídrico, conforme Thornthwaite e Mather (1948, 1955), que a evaporação se comportou de forma semelhante a precipitação pluvial, os mesmos salientam que quando houve um maior índice pluviométrico também se observou aumento da evaporação. A influência da precipitação gera como consequências menores índices de evaporação, menor umidade relativa do ar e consequentemente um clima mais seco.

Pereira et al. (2012) relatam que a mesorregião do Sertão Paraibano apresenta uma maior taxa de água evapotranspirada quando comparada as outras regiões, isto pode estar associado aos grandes cultivos irrigados

nas várzeas do município de Sousa, os mesmos descrevem que as mesorregiões do Sertão, Borborema e Agreste possuem um baixo índice de precipitação quando comparada a alta evapotranspiração anual ocorrida, sendo o maior volume pluviométrico advindo na região Litoral.

A região do Litoral Paraibano localizada nos paralelos de 35,5 a 35,0° S aproximadamente apresenta altos índices evaporativos que se estende de março a setembro, coincidindo com os meses chuvosos da região. Já de outubro a fevereiro ocorrem os mínimos valores hídricos evaporados.

O semestre composto pelos meses de janeiro a junho, é possível verificar que a mesorregião do sertão paraibano, apresenta durante este período, os maiores

valores de evaporação. O volume evaporado nos meses de agosto, setembro e outubro nesta região é aproximadamente nulo.

Observa-se que a mesorregião da Borborema, a tonalidade mais intensa, indicando aumento na evaporação, inicia-se no mês de fevereiro atingido valores máximos no mês de março, diminuindo a intensidade no mês de abril e ficando aproximadamente nulo em maio.

Na Figura 4 tem-se a distribuição anual da evaporação onde se destaca as áreas litorâneas, agreste e brejo com evaporação anual oscilando entre 900 a 1200mm, a região do Cariri/Curimataú com flutuação entre 0 a 500mm, e na região do sertão e alto sertão a flutuabilidade anual ocorre na faixa de 500 a 900mm.

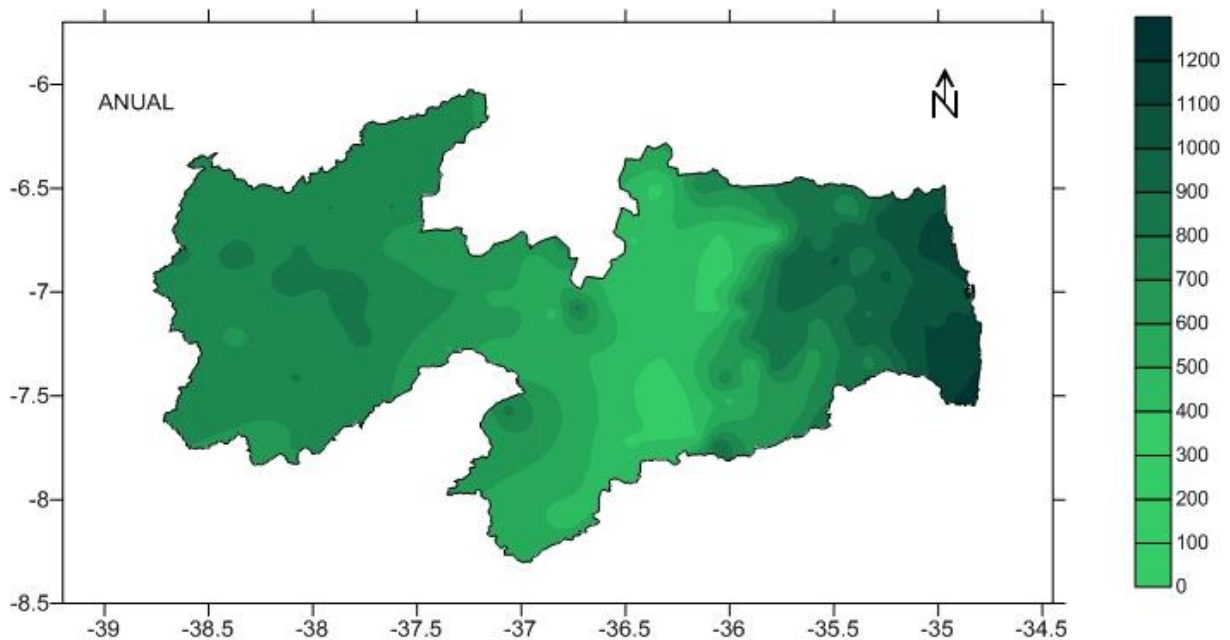


Figura 4. Distribuição anual da evaporação no estado da Paraíba. Campina Grande-PB, 2015.

Em suma, tem-se que a região do litoral, agreste e brejo, têm altas taxas evaporativas anuais. As regiões do sertão e alto sertão com taxas moderadas de evaporação e a região do Cariri/Curimataú com baixa taxa evaporativa. Estas flutuações estão interligadas aos lençóis de água, a incidência da radiação solar, ao índice de precipitação pluviométrica e a distribuição dos ventos seguido do seu relevo.

Os mínimos e máximos valores evapotranspirados encontram-se na Figura 5 (A, B). Observa-se que os mínimos valores ocorridos na Figura 1A no Litoral Paraibano é aproximadamente igual aos valores máximos ocorridos na região do Agreste e da

Borborema. Já parte da mesorregião do sertão apresenta índices evaporativos máximos, aproximadamente iguais aos valores obtidos no Litoral da Paraíba.

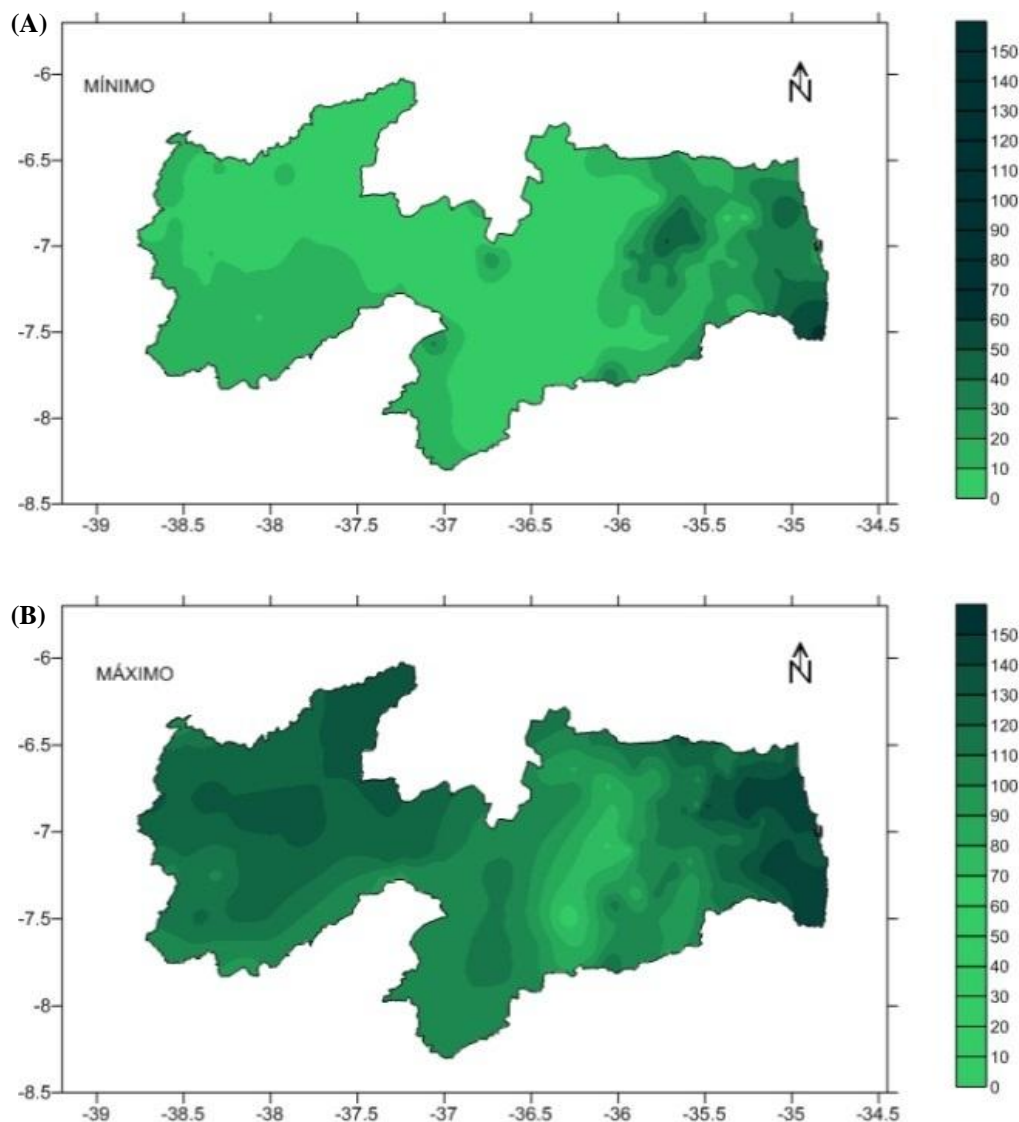


Figura 5. Distribuição mínima e máxima da evaporação no estado da Paraíba. Campina Grande-PB, 2015.

O trimestre de maior taxa evaporativa centra-se nos meses de junho, julho e agosto (Figura 6B) que coincidem com o final do período chuvoso para as regiões do litoral, agreste e brejo. Nas regiões do Cariri/Curimataú, sertão e alto sertão o período chuvoso termina por volta da segunda quinzena de junho e a incidência da radiação solar, a variabilidade da intensidade do vento e da cobertura de nuvens contribuem para a ocorrência de maiores índices evaporativos, salienta-se ainda que os restos das culturas de sequeiro já estão em fase de termino de coleta e sua contribuição evaporativa são as máximas.

Na Figura 6A, tem-se o trimestre de menor taxa evaporativa para o Estado da Paraíba que se centra nos meses de outubro, novembro e dezembro. Observa-se que nas regiões do Alto Sertão, Sertão, Cariri/Curimataú tem uma fluabilidade evaporimétrica de 10 a 60mm. Na região do brejo, agreste e litoral centram-se os índices evaporativos com variações entre 70 a 130mm.

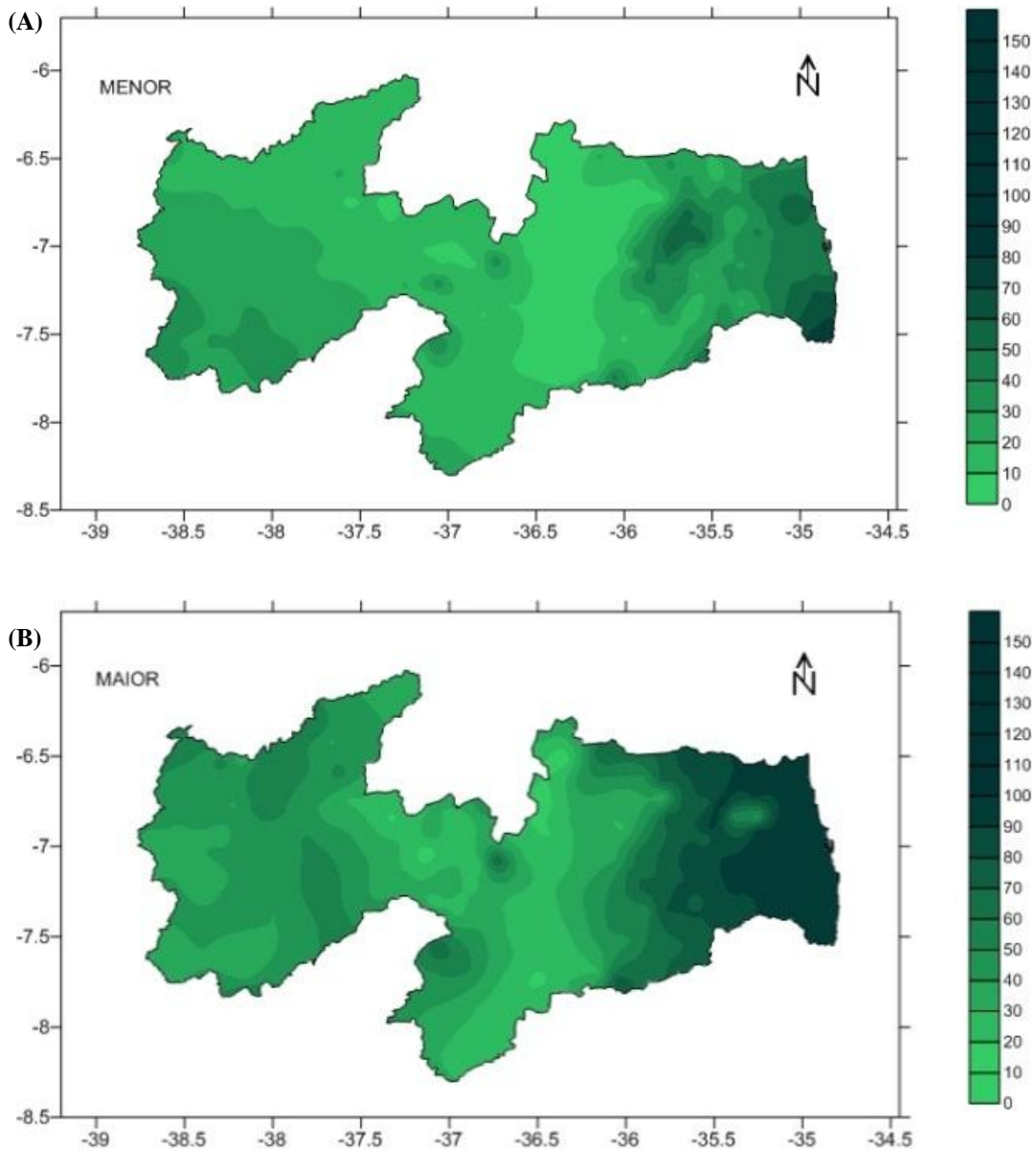


Figura 6. Distribuição do trimestre de maior e menor evaporação no estado da Paraíba. Campina Grande-PB, 2015.

Conforme Tabela 1, pode-se observar os demonstrativo estatístico e a fluabilidade dos parâmetros da evaporação no Estado da Paraíba.

A evaporação média flui entre 19,6mm no mês de novembro a 113,18mm em fevereiro com uma média anual de 753,38mm. Os índices evaporativos mínimos fluem entre 1,2mm no mês de outubro a 60,77mm no mês de abril com uma valor anual de

332mm. Na evaporação máxima observa-se suas oscilações ocorrem entre 71,39 a 149,70mm/mês⁻¹. A mediana é o valor mais representativo de ocorrência da evaporação para os anos. A variância e o coeficiente de variância representam a possibilidade de ocorrerem índices evaporativos entre a média e o desvio.

Tabela 1. Variabilidade estatística dos parâmetros da evaporação para o estado da Paraíba. Campina Grande-PB, 2015.

Mês	Variabilidade dos parâmetros (mm)						
	Mínimo	Mediana	Máxima	Média	DP	Variância	CV
Janeiro	13,18	72,56	150,34	71,14	28,14	791,97	0,39
Fevereiro	33,23	93,57	141,94	89,58	25,63	657,30	0,28
Março	4,70	113,97	149,70	113,18	19,62	385,01	0,17
Abril	60,77	105,79	134,63	105,42	15,28	233,65	0,14
Mai	36,49	95,97	123,22	91,71	21,33	455,28	0,23
Junho	20,92	70,44	103,49	70,36	19,91	396,70	0,28
Julho	9,73	51,49	98,37	57,10	24,56	603,40	0,43
Agosto	4,91	25,14	97,13	43,17	31,48	991,12	0,72
Setembro	1,35	14,95	103,10	35,45	34,02	1157,83	0,95
Outubro	1,2	14,36	97,47	25,37	22,26	495,66	0,87
Novembro	0,64	16,71	71,39	19,60	13,54	183,34	0,69
Dezembro	7,25	28,13	94,03	31,23	13,76	189,38	0,44
Anual	332	760,9	1212,68	753,38	192,43	37032,3	0,25

DP= Desvio Padrão, CV= Coeficiente de Variância.

CONCLUSÕES

As estimativas dos índices evaporativos mensais para o Estado da Paraíba apresentam dependência da localização geográfica (latitude e longitude), sobretudo, da topografia local (altitude).

Os fatores meteorológicos como radiação solar, cobertura de nuvens, temperatura do ar, velocidade do vento e pressão de saturação do vapor durante o período de outubro, novembro, dezembro fazem com que os índices evaporativos atinjam valores extremos diários.

Os valores médios da evaporação mensais variaram de 19,3mm no mês de novembro a 113mm no mês de março, ao passo que os valores anuais têm sua variabilidade fluindo entre 332 a 1.212,7mm.

AGRADECIMENTOS

A CAPES pela concessão de bolsa de estudo ao primeiro autor e ao CNPq/FAPESQ ao segundo autor.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Barros, A. H. C.; Araújo Filho, J. C. de; Silva, A. B. da; Santiago, G. A. C. F. Climatologia do Estado de Alagoas. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, n.211. Recife: Embrapa Solos, 2012. 32p.

Cavalcanti, E. P.; Silva, V. de P. R.; Sousa, F. de A. S. Programa computacional para a estimativa da temperatura do ar para a região Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, n.1, p.140-147, 2006.

Cavalcanti, E. P., Silva, E. D. V. Estimativa da temperatura do ar em função das coordenadas locais. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 8, 1994. Belo Horizonte, **Anais...** Belo Horizonte: SBMET, v.1, p.154-157, 1994.

Francisco, P. R. M. Classificação e mapeamento das terras para mecanização do Estado da Paraíba utilizando sistemas de informações geográficas. 2010. 122f. Dissertação (Mestrado em Manejo de Solo e Água). Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2010.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2009. Disponível em <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em 12 de março de 2011.

Matos, R. M.; Silva, J. A. S.; Medeiros, R. M. Aptidão climática para a cultura do feijão caupi do município de Barbalha-CE. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.8, n.6, p.422-431, 2014.

Medeiros, R. M. Planilhas do Balanço Hídrico Normal segundo Thornthwaite & Mather (1955). s.n. 2013.

- Ortolani, A. A.; Camargo, M.B.P. Influência dos fatores climáticos na produção. In: Castro, P.R.C.; Ferreira, S.O.; Yamada, T. Ecofisiologia da produção agrícola. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa do Potássio e do Fósforo, 1987, p.71-81.
- Pereira, M. C. A.; Melo, D. F.; Meló, R. G. C.; Silva, R. F. B.; Farias, S. A. R. Mesorregiões da Paraíba e suas necessidades de captação de água de chuva. In: Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de Água de Chuva, 8., 2012, Campina Grande. **Anais...** Campina Grande: FIEP, 2012. p.01-06.
- Shuttleworth, W. J. Evaporation. In: Maidment, D. R. (Ed.) Handbook of Hydrology. New York, McGraw-Hill Inc. 1993.
- Singh, V. P.; Xu, C. Y. Evaluation and Generalization of 13 Equations for Determining Free Water Evaporation, Hydrol. Processes, 11, p.311–323, 1997.
- Souza, W. G. de; Ribeiro, A.; Amorim, R. C. F.; Souza, M. J. H. de; Ribeiro, C. A. A. S.; Facco, A. G. Geoespacialização da evapotranspiração potencial e real Para a bacia do rio Doce, Minas Gerais. In: **Anais...** Congresso Brasileiro de Meteorologia, 13, Fortaleza, 2004.
- Thornthwaite, C.W. An approach toward a rational classification of climate. Geogr. Rev, v.38, p.55-94, 1948.
- Thornthwaite, C.W.; Mather, J.R. The water balance. Publications in Climatology. New Jersey: Drexel Institute of Technology, 104p. 1955.
- Xu, C.Y.; Singh, V. P. Evaluation and Generalization of Radiation-based Methods for Calculating Evaporation, Hydrolog. Processes, 14, p.339–349, 2000.
- Xu, C.Y. Singh, V. P. Evaluation and Generalization of Radiation-based Methods for Calculating Evaporation, Hydrolog. Processes, 15, p.305–319, 2001.