



ISSN:1984-2295

# Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: [www.ufpe.br/rbgfe](http://www.ufpe.br/rbgfe)



## Balanco hídrico e classificação climática para as mesorregiões da Paraíba

Sandro Roberto Dias Araújo<sup>1</sup>, José Dantas Neto<sup>2</sup>, Patrícia Ferreira da Silva<sup>3</sup>, Beranger Arnaldo de Araújo<sup>4</sup>, Luciano Marcelo Fallé Saboya<sup>5</sup>, Rigoberto Moreira de Matos<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Mestre em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, Av. Aprígio Veloso, 882 – Bodocongó, CEP 58429-140 - Campina Grande - PB, E-mail: sandrodiasriego@gmail.com. <sup>2,5</sup>Dr. Prof. curso de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, Av. Aprígio Veloso, 882 – Bodocongó, CEP 58429-140 - Campina Grande - PB, E-mail: zedantas195@gmail.com; saboya@hotmail.com. <sup>3</sup>Pós-doutoranda em Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, Av. Aprígio Veloso, 882 – Bodocongó, CEP 58429-140 - Campina Grande - PB. E-mail: patrycyafs@yahoo.com.br. <sup>4</sup>Doutor em Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, Av. Aprígio Veloso, 882 – Bodocongó, CEP 58429-140 - Campina Grande - PB, E-mail: beranger.araujo@gmail.com. <sup>6</sup>Doutorando em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, Av. Aprígio Veloso, 882 – Bodocongó, CEP 58429-140 - Campina Grande - PB, Campina Grande - PB, E-mail: rigobertomoreira@gmail.com.

Artigo recebido em 24/08/2018 e aceite em 20/12/2018

### RESUMO

O estudo do balanço hídrico associado à classificação climática de uma região consiste de fatores essenciais para mitigar o impacto dos fenômenos ambientais sobre as culturas e auxilia no planejamento e tomada de decisão. Objetivou-se, avaliar o balanço hídrico climatológico e a classificação climática para seis mesorregiões do estado da Paraíba utilizando uma série histórica de 1971 a 2017. Utilizaram-se, dados de uma série histórica de 1971 a 2017. Foram coletados dados de 223 postos pluviométricos distribuídos em seis mesorregiões do Estado da Paraíba. O método do balanço hídrico climatológico utilizado foi o proposto por Thornthwaite e Mather (1955) e com os resultados obtidos realizaram-se as classificações climáticas segundo Thornthwaite (1948) e Thornthwaite e Mather (1955). Em todos os meses da série histórica (1971 a 2017), as mesorregiões do Litoral, Brejo e Sertão, apresentam as maiores temperaturas, tendo como consequência maior evapotranspiração potencial. O balanço hídrico climático para o estado da Paraíba evidenciou limitações dos recursos hídricos nas mesorregiões do Alto Sertão, Sertão, Cariri-Curimataú, Agreste e Brejo, com média de 7 meses de deficiência hídrica do solo. A mesorregião do Cariri-Curimataú não possui excedente hídrico em nenhum dos meses estudados. As mesorregiões do Alto sertão, Agreste e Brejo foram classificadas como de clima sub-úmido seco, Megatérmico, com excedente hídrico pequeno (C1da'a'), o Sertão e Cariri-Curimataú como de clima semiárido, Megatérmico, excedente hídrico pequeno ou nulo (Dda'a') e a mesorregião do Litoral como de clima sub-úmido, Megatérmico, com moderada deficiência no período chuvoso (C2SA'a').

Palavras-chave: evapotranspiração, índices climáticos, déficit e excesso hídrico, megatérmico.

## Water balance and climate classification for the mesoregions of Paraíba

### ABSTRACT

The study of the water balance associated with the climatic classification of a region consists of essential factors to mitigate the impact of the environmental phenomena on the cultures and assists in the planning and decision making. The objective was to evaluate the climatological water balance and the climatic classification for six mesoregions of the state of Paraíba using a historical series from 1971 to 2017. Data from a historical series from 1971 to 2017 were used. Data were collected from 223 pluviometric stations distributed in six mesoregions of Paraíba State. The climatic water balance method used was proposed by Thornthwaite and Mather (1955) and the results obtained were the climatic classifications according to Thornthwaite (1948) and Thornthwaite and Mather (1955). In all the months of the historical series (1971 to 2017), the mesoregions of the Litoral, Brejo and Sertão, present the highest temperatures, resulting in greater potential evapotranspiration. The climatic water balance for the state of Paraíba evidenced limitations of the water resources in the mesoregions of Alto Sertão, Sertão, Cariri-Curimataú, Agreste and Brejo, with an average of 7 months of soil water deficit. The Cariri-Curimataú mesoregion has no water surplus in any of the months studied. The mesoregions of Alto Sertão, Agreste

1985

and Brejo were classified as dry sub-humid climate, Megatérmico, with small water surplus (C1dA'a'), Sertão and Cariri-Curimataú as semi-arid climate, Megatérmico, small or null water surplus (DdA'a') and the littoral mesoregion as sub-humid, Megatérmico, with moderate deficiency in the rainy season (C2SA'a').

Keywords: evapotranspiration, climatic indexes, water deficit and excess, megatérmico.

## Introdução

O balanço hídrico climatológico determinado pelo método proposto por Thornthwaite e Mather (1955) se constitui em uma ferramenta importante visando o monitoramento do armazenamento de água no solo, utilizada especialmente como instrumento de planejamento para o manejo de culturas agrícolas (Passos et al., 2017).

Matos et al. (2015), afirmam que a metodologia proposta por Thornthwaite e Mather (1955) contabiliza a água do solo, considerando a precipitação pluvial como entrada e a evapotranspiração representa a saída da umidade do solo, podendo-se estimar os valores correspondentes ao Excedente Hídrico (EXC) e a Deficiência Hídrica (DEF).

Estas informações contribuem para o planejamento agrícola, e as práticas de controle da produção, além de auxiliar na identificação das fragilidades climáticas, consistindo em ferramenta essencial para o sucesso de um empreendimento agrícola, que facilita a tomada de decisão em optar ou não por sistemas de irrigação para suprir a deficiência hídrica no solo (Aquino e Oliveira, 2013).

Após a determinação do balanço hídrico climatológico, classificar o clima de uma região por meio da metodologia Thornthwaite e Mather (1948; 1955), é considerada uma tarefa simples, isto porque os dados necessários são justamente variáveis já determinadas na resolução do BHC (Dantas et al., 2007).

A classificação climática de uma localidade ou região consiste em definir os limites geográficos

dos diferentes tipos de clima e é suficiente para avaliação do crescimento de plantas e animais, porém, não auxilia na previsão do tempo (Cunha e Martins, 2009). Para Medeiros et al. (2013a) a delimitação do clima de uma região, auxilia no estabelecimento de indicadores do potencial da região, assim como delimitar áreas homogêneas.

Cunha e Martins (2009) afirmam que a classificação climática apresenta três objetivos básicos são eles: ordenar grande quantidade de informações, facilitar a rápida recuperação e facilitar a comunicação, assim sendo, faz-se necessário à descrição e o mapeamento das regiões climáticas para identificá-las e classificar em diferentes tipos.

Existem diversos sistemas de classificação climática (SCC), dentre estes o Thornthwaite e Mather (1948; 1955) tem se destacado, pois se utiliza de índices obtidos por meio do balanço hídrico. Este sistema de classificação climática é mais utilizado dentro do contexto agrícola, pois considera a planta como meio físico pelo qual se torna possível transferir água do solo para a atmosfera (Rolim et al., 2007).

Contudo, vale ressaltar que o número de elementos combinados nos SCC, depende essencialmente do propósito a que se destina, desta forma, faz-se necessária a identificação da finalidade a que se destina cada (Cunha e Martins, 2009).

Dada a relevância da temática, objetivou-se com este estudo avaliar o balanço hídrico climatológico e a classificação climática para seis mesorregiões do estado da Paraíba utilizando uma série histórica de 1971 a 2017.

## Material e métodos

### *Caracterização da Área do Estudo*

A área de estudo compreende o Estado da Paraíba que está localizado na região Nordeste do Brasil, e apresenta uma área de 56.372 km<sup>2</sup>, 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 et al., 2015a). O estado possui seis regiões com climatologia bem homogênea, sendo o Alto Sertão (Região 6), Sertão (Região 5), Cariri-Curimataú (Região 4), Agreste (Região 3), Brejo (Região 2) e litoral (Região 1) conforme apresenta a Figura 1.

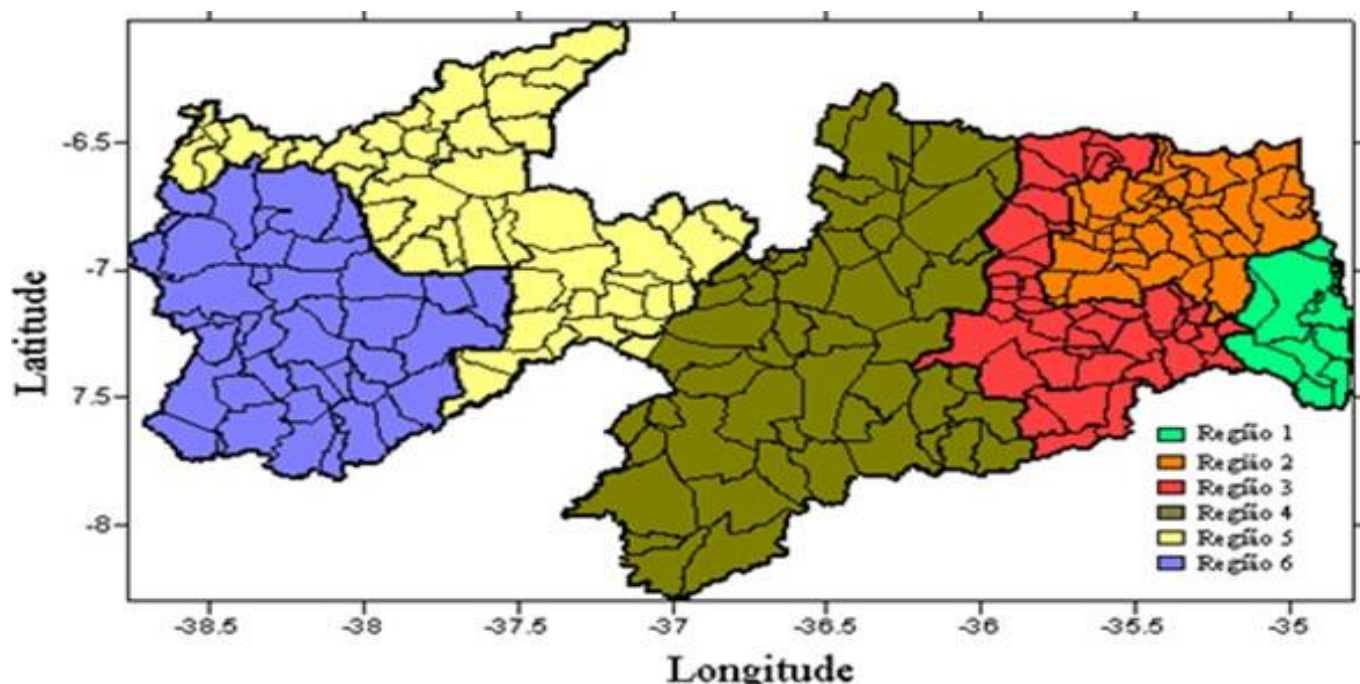


Figura 1. Mesorregiões do estado da Paraíba (Brito e Braga, 2005).

O Estado da Paraíba é caracterizado por dois regimes de chuvas, um de fevereiro a maio (regiões do Alto Sertão, Sertão e Cariri/Curimataú) e o outro de abril a julho (Agreste, Brejo e Litoral).

O clima caracteriza-se por temperaturas médias elevadas (22 a 30 °C) e uma amplitude térmica anual muito pequena, em função da baixa latitude e elevações (< 700 m). A precipitação varia de 400 a 800 mm anuais, nas regiões semiáridas do interior do estado, e no Litoral, mais úmido, pode ultrapassar os 1.600 mm.

Os fatores provocadores de chuvas no estado são a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e as contribuições dos sistemas de Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCANs) quando em atividade sobre o Nordeste Brasileiro, além dos efeitos decorrentes dos ventos alísios do nordeste em conjunto com os efeitos de brisa marítima, auxiliados pela formação dos Vórtices Ciclônicos do Atlântico Sul (VCAS) e das formações das linhas de instabilidade, o Padrão do Dipolo (PD) no Oceano Atlântico Tropical e as perturbações ondulatórias no campo dos ventos alísios (Becker et al., 2013).

#### *Determinação do Balanço Hídrico Climatológico*

Para a elaboração do balanço hídrico climatológico (BHC), utilizaram-se os dados das normais climáticas de precipitação fornecidos pela Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da

Paraíba (AESAs) e pela Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE), coletados em 223 postos pluviométricos distribuídos nas seis mesorregiões estudadas. As médias das precipitações foram referentes à série histórica do período de 1971-2017.

Utilizaram-se séries mensais e anuais de precipitação pluvial do Estado da Paraíba. Essas séries foram selecionadas com base no critério de análise apenas daquelas sem falhas e contínuas, bem como distribuídas homoganeamente na área de estudo.

Utilizou-se o software *estima\_T* desenvolvido pelo núcleo de meteorologia da Universidade Federal de Campina Grande utilizando a técnica da reta de regressão múltipla para medida de temperatura média (Cavalcanti et al., 2006).

O método adotado para obtenção do BHC foi o proposto por Thornthwaite e Mather (1948; 1955) com elaboração de planilhas eletrônicas realizadas por Medeiros et al. (2013b) que contabiliza a água do solo, em que a precipitação representa ganho e a evapotranspiração a perda de umidade do solo, podendo-se estimar os valores correspondentes ao Excedente Hídrico (EXC) e Deficiência Hídrica (DEF).

Adotou-se com base nesta metodologia a capacidade de armazenamento de água disponível no solo (CAD) de 100 mm. A Evapotranspiração Potencial (ETP) foi obtida pela Equação 1, conforme Thornthwaite (1948).

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

Em que:

- ETP – evapotranspiração potencial (mm mês<sup>-1</sup>);
- Fc – fator de correção conforme a (Tabela 1);
- T – temperatura média mensal (°C);
- I – índice anual de calor, correspondente a soma dos doze índices mensais; e
- a – função cúbica do índice anual de calor

(Equação 2).

$$a = 6,75 * 10^{-7} * I^3 - 7,71 * 10^{-5} * I^2 + 0,01791 * I + 0,492 \quad (2)$$

Em que:

- a – função cúbica do índice anual de calor (mm mês<sup>-1</sup>); e
- I – índice anual de calor, correspondente a soma dos doze índices mensais.

Tabela 1. Fator de correção do método de Thornthwaite (1948) em função dos meses do ano e da latitude.

Latitude	Fator de Correção											
	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
2°N	1,02	0,93	1,03	1,00	1,04	1,01	1,04	1,04	1,01	1,03	1,00	1,03
0°	1,03	0,93	1,03	1,00	1,03	1,00	1,03	1,03	1,00	1,03	1,00	1,03
2°S	1,04	0,94	1,04	1,00	1,03	0,99	1,02	1,02	0,99	1,03	1,00	1,04
4°S	1,05	0,95	1,04	1,00	1,03	0,98	1,01	1,02	0,99	1,03	1,01	1,05
6°S	1,06	0,96	1,05	1,00	1,02	0,98	1,00	1,01	0,98	1,03	1,01	1,06
8°S	10,7	0,97	1,06	1,00	1,02	0,97	0,99	1,00	0,98	1,03	1,01	1,06
10°S	1,08	0,97	1,06	1,00	1,01	0,96	0,98	0,99	0,97	1,03	1,02	1,07
12°S	1,09	0,98	1,07	1,01	1,01	0,95	0,97	0,98	0,97	1,02	1,02	1,08
14°S	1,10	0,99	1,07	1,01	1,01	0,95	0,96	0,97	0,96	1,02	1,02	1,09
16°S	1,12	1,00	1,08	1,01	1,00	0,94	0,95	0,96	0,95	1,02	1,03	1,10
18°S	1,13	1,01	1,09	1,01	1,00	1,93	0,94	0,95	0,95	1,02	1,03	1,10
20°S	1,14	1,02	1,09	1,01	0,99	0,92	0,93	0,94	0,94	1,02	1,03	1,11
22°S	1,15	1,03	1,10	1,01	0,99	0,91	0,92	0,93	0,93	1,02	1,04	1,12
24°S	1,16	1,04	1,10	1,01	0,98	0,90	0,91	0,92	0,93	1,02	1,04	1,13
26°S	1,17	1,05	1,11	1,01	0,98	0,89	0,89	0,91	0,92	1,01	1,05	1,14
28°S	1,19	1,06	1,12	1,01	0,98	0,88	0,88	0,89	0,91	1,01	1,05	1,15
30°S	1,20	1,07	1,13	1,02	0,90	0,87	0,87	0,88	0,91	1,01	1,05	1,16

### Determinação dos Índices Climáticos

No cálculo dos índices de aridez, umidade e hídrico, utilizaram-se as Equações 3, 4 e 5. Tais índices são essenciais para a caracterização climática da região segundo o método de Thornthwaite (1948).

$$Ia = 100 \frac{\sum DEF}{\sum ETP} \quad (3)$$

$$Ih = 100 \frac{\sum EXC}{\sum ETP} \quad (4)$$

$$Iu = Ih - 0,6 * Ia \quad (5)$$

Em que:

- Ia – índice de aridez (%);
- Iu – índice de umidade (%);
- Ih – índice hídrico (%);

ΣDEF – somatório da deficiência hídrica anual (mm);

ΣEXC – somatório do excesso hídrico anual (mm); e

ΣETP – somatório da evapotranspiração potencial anual (mm).

### Determinação da Classificação Climática

A classificação climática foi obtida de acordo com a metodologia proposta por Thornthwaite (1948) utilizando-se os valores dos índices de aridez (Ia), umidade (Iu), hídrico (Ih) e da concentração da evapotranspiração potencial na estação mais quente (CETPQ) em conformidade com a concentração da evapotranspiração potencial na estação quente, definida pelos três meses consecutivos de temperatura mais elevada do ano.

A concentração da evapotranspiração potencial

na estação quente foi dada pela Equação 6, a qual representa a porcentagem da evapotranspiração anual que ocorre nos meses *j*, *k*, *l*, de temperatura mais elevada do ano (trimestre mais quente).

$$CETPQ = 100(ETP_j + ETP_k + ETP_l)/(ETP) \quad (6)$$

Em que:

CETPQ – concentração da evapotranspiração na estação mais quente;

ETP<sub>*j*</sub> – evapotranspiração potencial no mês “*j*” (mm);  
 ETP<sub>*k*</sub> – evapotranspiração potencial no mês “*k*” (mm);  
 ETP<sub>*l*</sub> – evapotranspiração potencial no mês “*l*” (mm);  
 ETP – evapotranspiração potencial anual (mm).

Utilizando estes dados, foi avaliado para cada localidade, o tipo de clima segundo a classificação climática de Thornthwaite (1948) e Thornthwaite e Mather (1955) conforme a Tabela 2.

Tabela 2. Tipos climáticos, baseados no índice de umidade, segundo Thornthwaite (1948) e Thornthwaite e Mather (1955).

Tipos climáticos	Índice de Umidade (Iu)	
	Thornthwaite (1948)	Thornthwaite e Mather (1955)
A - Superúmido	100 ≤ Iu	100 ≤ Iu
B4 -Úmido	80 ≤ Iu < 100	80 ≤ Iu < 100
B3 -Úmido	60 ≤ Iu < 80	60 ≤ Iu < 80
B2 - Úmido	40 ≤ Iu < 60	40 ≤ Iu < 60
B1 - Úmido	20 ≤ Iu < 40	20 ≤ Iu < 40
C2 - sub-úmido	00 ≤ Iu < 20	00 ≤ Iu < 20
C1 - sub-úmido seco	-20 ≤ Iu < 00	-33,3 ≤ Iu < 00
D - Semiárido	-40 ≤ Iu < -20	-66,7 ≤ Iu < -33,3
E - Árido	-60 ≤ Iu < -40	-100 ≤ Iu < -66,7

Fonte: Barros et al. (2012); Francisco et al. (2015b).

Para os tipos de clima caracterizados por índice de umidade (Iu) > 0, designados genericamente por “climas úmidos”, isto é, dos tipos, A, B4, B3, B2, B1 e C2, essa subdivisão é efetuada segundo o índice de aridez (Ia); para os demais tipos climáticos, com Iu

< 0, ou seja, os designados pelos símbolos C1, D, e E, genericamente designados como “climas secos”, são enquadrados de acordo com o índice hídrico (Ih). Essas subdivisões são mostradas na Tabela 3.

Tabela 3. Subdivisões dos tipos climáticos, conforme o índice de aridez (Ia) e hídrico (Ih).

Climas úmidos		Índice de Aridez (Ia)	Climas úmidos		Índice hídrico (Ih)
r	Pequena ou nenhuma deficiência hídrica	0 < Ia ≤ 16,7	d	Pequeno ou nenhum excesso hídrico	0 < Ih ≤ 10
S	Moderada deficiência	16,7 < Ia ≤ 33,3	S	Moderado excesso hídrico no inverno	10 < Ih ≤ 20
W	Moderada deficiência	16,7 < Ia ≤ 33,3	W	Moderado excesso hídrico no verão	10 < Ih ≤ 20
S2	Grande deficiência	> 33,3	S2	Grande excesso hídrico no inverno	> 20
W2	Grande deficiência	> 33,3	W2	Moderado excesso hídrico no verão	> 20

Fonte: Barros et al. (2012); Francisco et al. (2015b).

A partir da evapotranspiração potencial anual em função da temperatura e do comprimento do dia, variáveis que refletem as condições térmicas locais,

foi possível determinar a classificação térmica para as mesorregiões do estado da Paraíba (Tabela 4).

Tabela 4. Tipos climáticos em função da evapotranspiração potencial anual (ETP).

Tipos de Clima	Símbolos	Evapotranspiração potencial anual (ETP)
Megatérmico	A'	> 1.140
Mesotérmico	B'4	1.140 a 997
Mesotérmico	B'3	997 a 855
Mesotérmico	B'2	855 a 712
Mesotérmico	B'1	712 a 570
Microtérmico	C'2	570 a 427
Microtérmico	C'1	427 a 285
Tundra	D'	285 a 142
Gelo Perpétuo	E'	< 142

Fonte: Barros et al. (2012); Francisco et al. (2015b).

Conforme a variabilidade da evapotranspiração potencial na estação quente (CETPQ), definida pelos três meses consecutivos de

temperatura mais elevada, foi estabelecida, ainda, outros subtipos climáticos, de acordo com a Tabela 5.

Tabela 5. Subtipos climáticos em função da evapotranspiração potencial na estação quente (CETPQ).

Subtipos Climáticos	CETPQ (%)
a'	< 48,0
b'4	48,0 a 51,9
b'3	51,9 a 56,3
b'2	56,3 a 61,6
b'1	61,6 a 68,0
c'2	68,0 a 76,3
c'1	76,3 a 80,0
d'	> 80,0

Fonte: Barros et al. (2012); Francisco et al. (2015b).

A classificação climática conforme a metodologia de Thornthwaite (1948) para cada mesorregião do estado da Paraíba foi estabelecida pela

fórmula climática identificada por quatro símbolos consecutivos, obtidos das Tabelas 2, 3, 4 e 5.

## Resultados e discussão

### *Balanco Hídrico Climatológico para as Mesorregiões do Estado da Paraíba*

Os resultados obtidos para o balanço hídrico climático médio anual da série histórica 1971 a 2017 das seis mesorregiões da Paraíba encontram-se na

Tabela 6, onde verifica-se a variabilidade dos valores médios anual de temperatura (T), precipitação pluviométrica (P), evapotranspiração potencial (ETP), armazenamento de água no solo (ARM), evapotranspiração real (ETR), excedente hídrico (EXC) e deficiência hídrica (DEF).

Tabela 6. Balanço hídrico climático médio anual da série histórica 1971 a 2017 para as mesorregiões da Paraíba.

Mesorregiões	T (°C)	P (mm)	ETP (mm)	P – ETP (mm)	ARM (mm)	ETR (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
Alto Sertão	24,2	73,5	106,2	-32,7	35,3	63,5	42,7	10,0
Sertão	24,5	63,5	109,2	-45,8	30,9	60,0	49,3	3,5
Cariri-Curimataú	23,0	44,3	95,1	-50,8	3,5	44,3	50,8	0,0
Agreste	24,2	70,3	106,4	-36,1	31,1	69,6	36,8	0,7
Brejo	24,9	89,6	113,8	-24,1	41,5	81,4	32,4	8,2
Litoral	25,5	133,3	121,0	12,3	51,8	93,5	27,5	39,8

T – temperatura do ar, P – precipitação pluviométrica, ETP - evapotranspiração potencial, ARM – armazenamento de água no solo, ETR – evapotranspiração real, DEF - deficiência hídrica, EXC - excedente hídrico.

Nota-se que a região do Cariri-Curimataú possui menor temperatura média anual, precipitação, evapotranspiração potencial, armazenamento de água no solo, evapotranspiração real e não possui excesso hídrico médio anual e maior déficit hídrico médio anual da série histórica. Em contrapartida o litoral possui a maior temperatura média anual, precipitação, evapotranspiração potencial, armazenamento, evapotranspiração real déficit e excedente hídrico médio mensal (Tabela 6).

O Alto Sertão e o Sertão possuem balanço hídrico bem semelhante, porém o Alto Sertão tem maiores índices pluviométricos, de armazenamento e excedente hídrico quando comparado ao Sertão. A região Agreste possui o segundo menor excedente hídrico do estado superando apenas a região do Cariri-Curimataú (Tabela 6).

Medeiros et al. (2015a) concluíram que existem grandes oscilações de temperatura, precipitação, evapotranspiração, armazenamento, deficiência e excedente hídrico nas diferentes cidades que compõem as mesorregiões da Paraíba. Resultados estes condizentes com os obtidos no presente estudo para a mesma região de estudo, no entanto em series históricas diferentes.

Nesse sentido, avaliar o comportamento

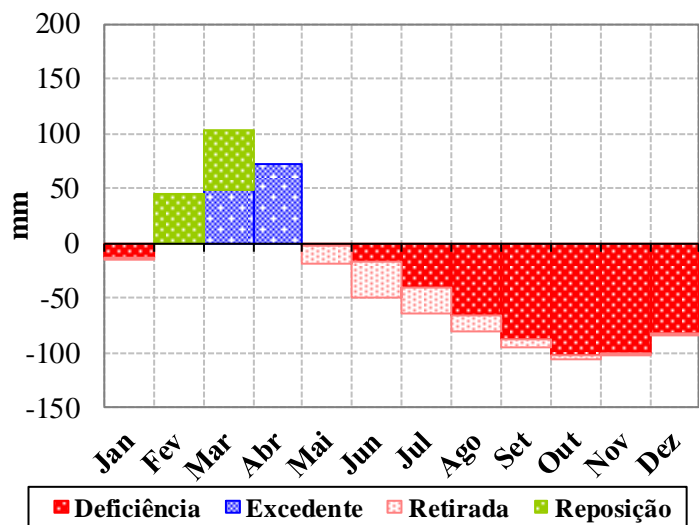
agroclimático por meio do balanço hídrico climatológico de mesorregiões ou estado é a principal etapa do planejamento agrícola (Passos et al., 2016).

De acordo com (Jesus, 2015) o balanço hídrico é uma das várias formas de monitoramento do armazenamento de água no solo, a partir do qual são determinadas as épocas de deficiência e excedente hídrico, a reposição e a retirada da água do solo. Matos et al. (2014) afirmaram que elaborar o balanço hídrico climático para uma região é de suma importância para o planejamento das formas de manejo do solo e água.

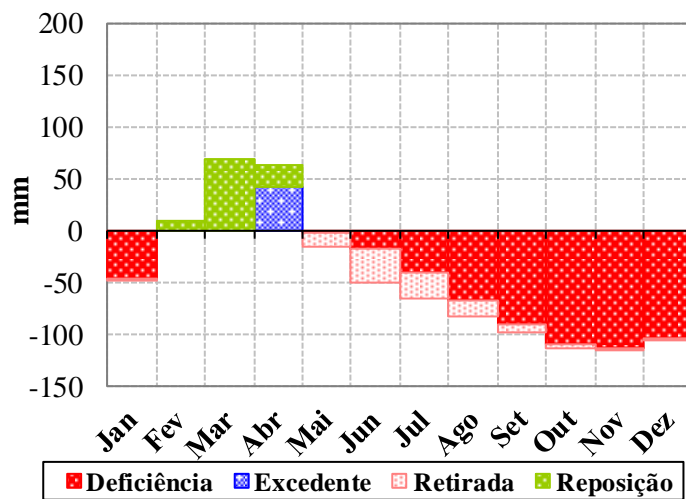
O balanço hídrico climático para as mesorregiões do estado da Paraíba para o período de 1971 a 2017 encontra-se na Figura 2. Na qual é possível verificar diferenças de comportamento entre as mesorregiões. Para as mesorregiões Alto Sertão e Sertão observam-se elevadas deficiências hídricas com início em maio e término em janeiro, com déficit hídrico de 512,3 mm e 591,2 mm no Alto Sertão e no Sertão e um excesso hídrico para o Alto Sertão de 119,9 mm e Sertão 41,9 mm (Figura 2A e B). Nota-se ainda que os meses sem déficit hídrico são aqueles correspondentes aos meses de maiores precipitações pluviométricas nas duas mesorregiões Paraibana.

(A)

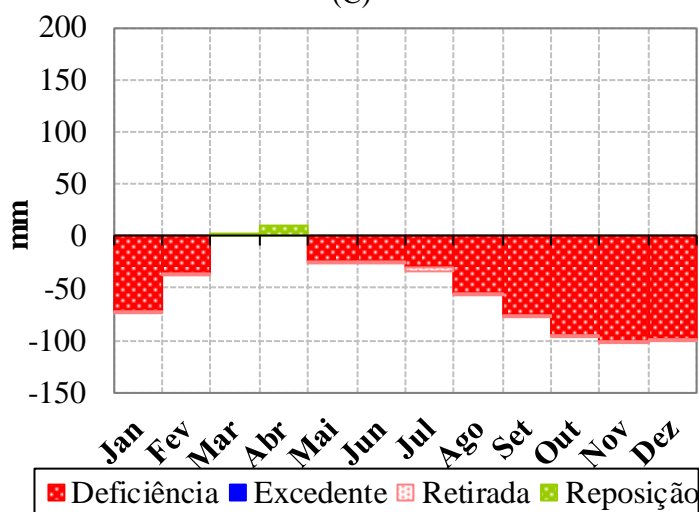
(B)



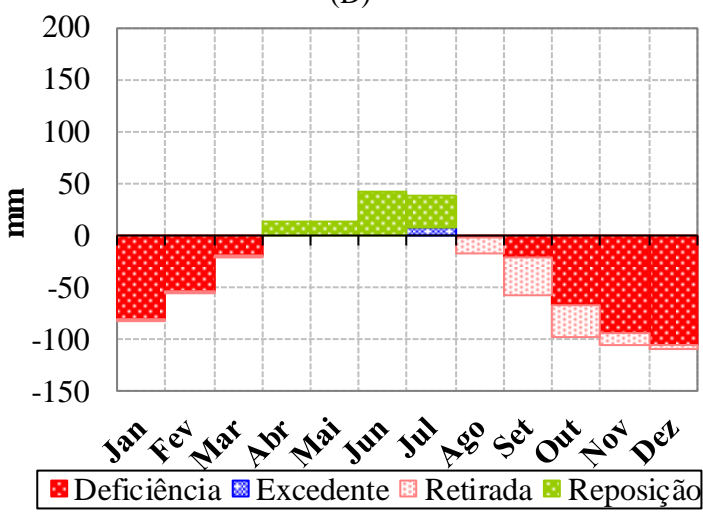
(C)



(D)



(E)



(F)

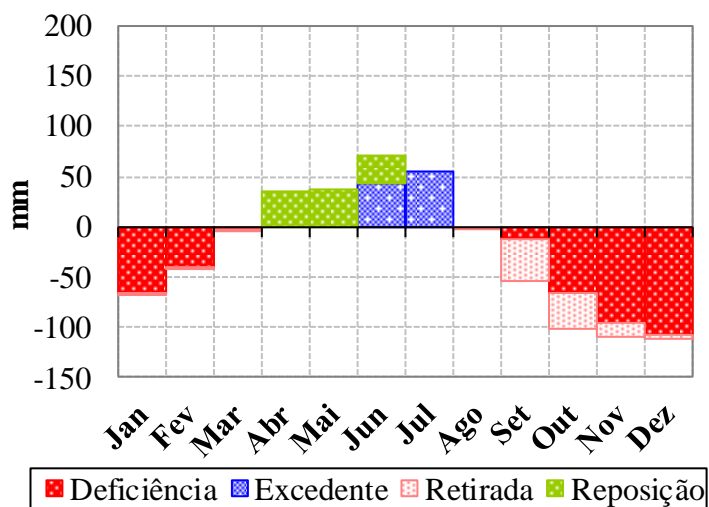


Figura 2. Balanço hídrico climático médio mensal para as mesorregiões do Alto Sertão (A), Sertão (B), Cariri-Curimataú (C), Agreste (D), Brejo (E) e Litoral (F).

Quanto à quantidade de água no solo, observa-se que a partir do mês de fevereiro até abril acontecem as maiores precipitações e, consecutivamente, os maiores volumes de água disponíveis no solo. Nos meses de fevereiro a abril ocorre à reposição de água no solo e em março e abril, o excesso de água, o que é configurado pelo período em que a estação chuvosa abrange as mesorregiões do Alto Sertão e do Sertão Paraibano (Figura 2A e B). Já para os outros meses do ano, evidencia-se a retirada de água e o seu déficit hídrico no solo, o qual tem como influência as estações mais secas do ano (Figura 2A e B).

Passos et al. (2016) ao estudar o balanço hídrico da cidade de Chapadinha - MA, constataram que o período de reposição da água do solo ocorre nos meses de janeiro e fevereiro, resultado este condizente com os obtidos no presente estudo.

De acordo com Passos et al. (2017) nessas regiões a necessidade do uso de irrigação suplementar para as áreas irrigadas é evidente, pois a região passa por oito a nove meses com deficiência hídrica.

O balanço hídrico agroclimático para a mesorregião do Cariri-Curimataú determinou o predomínio do déficit hídrico, verificado em 10 meses, com o total anual de 609,6 mm. A mesorregião não possui excedente hídrico, uma vez que as precipitações são inferiores a evapotranspiração. Os meses de março e abril são os meses de frequente reposição (Figura 2C).

De modo geral, no início da estação chuvosa, as chuvas iniciais são empregadas na reposição da água do solo e na evapotranspiração real, até que o solo esteja plenamente abastecido, quando então aparece excedente hídrico, fato este que não foi observado no presente estudo, visto que o volume precipitado é muito baixo. No início do período de estiagem, verifica-se a retirada de água do solo, época em que começa a ocorrência de deficiência hídrica na mesorregião estudada, estendendo-se de maio a fevereiro (Figura 2C).

Costa Neto et al. (2015) ao estudar o balanço hídrico na cidade de Olivedos - PB pertencente a mesorregião do Cariri-Curimataú, observaram que não ocorrem excedentes hídricos em nenhum período do ano. As deficiências hídricas ocorrem em todos os meses com um total anual de 657,8 mm. Medeiros et al. (2015b) em seu estudo sobre o balanço hídrico em Cabaceiras - PB também verificaram que não ocorre excedente para condição normal, e a deficiência hídrica ocorre em todos os meses, com oscilação entre 56,9 a 166,9 mm mês<sup>-1</sup>, sendo os meses de setembro e outubro com as maiores deficiências hídricas. Estes

dados são bem similares aos obtidos para a mesorregião do Cariri-Curimataú neste estudo levando em consideração o período de 1071 a 2017.

Apesar da região possuir uma quantidade de precipitação acima da necessária ao desenvolvimento das culturas, estas chuvas são mal distribuídas espaço temporal, fazendo com que o solo permaneça com um saldo negativo de água durante alguns meses do ano (Matos et al., 2017). Dessa forma nos meses que apresentam as maiores deficiências hídricas é necessário o planejamento quanto às necessidades de irrigação para diminuir as perdas de produtividade.

Cabe salientar que mesmo não ocorrendo excedentes hídricos na mesorregião do Cariri-Curimataú e a precipitação sendo inferior a evaporação e evapotranspiração é de extrema necessidade que os índices pluviométricos sejam armazenados para a sua utilização no período menos chuvoso, deste modo contribuindo para a sobrevivência humana, animal, vegetal e o desenvolvimento de suas atividades (Costa Neto et al., 2014).

Na análise do balanço hídrico para a mesorregião do Agreste paraibano, nota-se um pequeno excedente hídrico durante o mês de julho, com (8,5 mm). O déficit hídrico começa em setembro e vai até março, atingindo seu maior valor em dezembro (105,3 mm). A reposição da água no solo acontece nos meses abril até julho, com máximo em junho com 43,0 mm (Figura 2D).

Medeiros et al. (2015c) estudando o balanço hídrico climatológico para a cidade de Lagoa Seca - PB Agreste Paraibano, verificaram excedente hídrico entre os meses de maio a agosto. As deficiências hídricas ocorrem entre os meses de setembro a fevereiro, sendo os meses de novembro, dezembro e janeiro com maiores taxas de deficiência, a reposição de água no solo ocorre nos meses de março a maio e a retirada de água no solo ocorre entre os meses de setembro aos primeiros dias de fevereiro. Resultados estes semelhantes aos obtidos no presente estudo para as cidades que fazem parte dessa mesorregião.

O balanço hídrico climatológico para as mesorregiões do Brejo e Litoral segundo Thornthwaite e Mather (1955) Período: 1971 - 2017 levando em consideração uma CAD de 100 mm encontram-se na (Figura 2E e F). Verifica-se ocorrência de excedente hídrico entre os meses de junho a julho do Brejo e maio a agosto no Litoral, com maiores excedentes em julho e junho (55,4 e 194,9 mm mês<sup>-1</sup>) e um total de 98,7 e 477,3 mm ano<sup>-1</sup>, respectivamente para o Brejo e Litoral.

A deficiência hídrica no Brejo ocorre entre os meses de agosto a março, sendo os meses de novembro, dezembro e janeiro com as maiores taxas de deficiência. Já para a mesorregião Litoral a deficiência está presente nos meses de setembro a fevereiro com a maior taxa de deficiência no mês de novembro (Figura 2E e F). Ocorre reposição de água no solo no Brejo nos meses de abril a junho e no Litoral entre março e maio. A retirada de água no solo ocorre no mesmo período de deficiência nas duas mesorregiões (Figura 2E e F).

Medeiros, et al. (2015a) analisando a caracterização agroclimática e aptidão de culturas para Bananeiras - PB, mesorregião do Brejo verificaram que a deficiência hídrica, ocorre nos meses de setembro a fevereiro com os maiores déficits oscilando de 7,4 a 90,2 mm mês<sup>-1</sup>, com total anual de 316,3 mm. Não ocorrendo déficits hídricos de março a agosto, os excedentes hídricos ocorrem nos meses de março a agosto com flutuação entre 18,4 a 96 mm mês<sup>-1</sup> e valor anual de 245,8 mm. Resultado este que difere do observado para a mesma região, no entanto, este fato pode ser em decorrência do município estudado possuir maior volume precipitado quando comparado a outros da mesorregião do Brejo.

Matos et al. (2015) ao estudar a caracterização e a aptidão climática para Alhandra litoral paraibano verificaram que nos meses de novembro, dezembro e janeiro ocorrem os maiores déficits oscilando de 72,7 a 97,6 mm ano<sup>-1</sup>, com um total anual de 322,1 mm.

Não ocorrendo déficits hídricos nos meses de março a agosto, os excedentes hídricos ocorrem nos meses de abril a agosto com flutuação entre 45,2 a 221,5 mm ano<sup>-1</sup> com valor anual de 673,8 mm. Estes dados corroboram com os obtidos para a mesorregião Litoral levando em consideração a série histórica estudada.

*Classificação Climática para as Mesorregiões do Estado da Paraíba*

A primeira chave da classificação climática foi obtida com base no índice de umidade (Iu), para qual foi encontrado a tipologia C1 indicando clima sub-úmido seco para o Alto Sertão, Agreste e Brejo; tipologia D clima do tipo semiárido para as mesorregiões Sertão e Cariri-Curimataú e o tipo C2 indicando clima sub-úmido úmido para o litoral (Tabela 7).

O índice de umidade representa o excesso hídrico expresso em percentagem da necessidade que é representada pela evapotranspiração potencial (Thornthwaite e Mather, 1948; 1955). Freitas et al. (2011) observaram em seu estudo sobre a variabilidade de índices climáticos para o Estado da Paraíba - PB, que o índice de umidade reduz significativamente em partes do Sertão e Alto Sertão. Resultado que se assemelha ao observado no presente estudo, visto que o Iu tem redução não só nessas regiões, como nas demais.

Tabela 1. Classificação climática de Thornthwaite e Mather (1948; 1955) para as mesorregiões do Alto Sertão (A), Sertão (B), Cariri-Curimataú (C), Agreste (D), Brejo (E) e Litoral (F).

Mesorregiões	Iu	Ia	Ih	ETP	CET PQ	Tipo climático em função do índice de umidade (Iu)	Subtipo climático o em função de Ih ou Ia	Tipo climático em função da evapotranspiração Potencial (ETP)	Subtipo climático em função de (CETPQ)
Alto Sertão	-14,7	40,2	9,4	1273,9	29,4	C1	d	A'	a'
Sertão	-23,8	45,1	3,2	1311,0	29,5	D	d	A'	a'
Cariri/Curimataú	-32,0	53,4	0,0	1141,1	29,4	D	d	A'	a'
Agreste	-20,0	34,6	0,6	1276,8	29,8	C1	d	A'	a'
Brejo	-9,8	28,4	7,2	1365,4	29,8	C1	d	A'	a'
Litoral	19,2	22,7	32,8	1452,2	30,4	C2	S	A'	a'

Com base nos índices de aridez (Ia) e hídrico (Ih), determinou-se o subtipo d para as mesorregiões Alto Sertão, Sertão, Cariri-Curimataú, Agreste e Brejo, que indica excedente hídrico pequeno ou nulo. Já para o Litoral o subtipo S indica moderada deficiência hídrica no inverno (Tabela 7).

Segundo Freitas et al. (2011) o estado da Paraíba tem predominância de duas faixas de subdivisão do índice de aridez que seriam de (16,7 < Ia ≤ 33,3) situadas em sua maioria no Litoral, Brejo e Agreste, seguido de (Ia ≥ 33,3) situada no Alto Sertão, Sertão e Cariri-Curimataú.

Quanto ao fator térmico, determinado por meio da evapotranspiração potencial anual (ETP), verificou-se que as seis mesorregiões estudadas, são do tipo A', ou seja, Megatérmico. A partir da relação entre a evapotranspiração potencial de verão e a evapotranspiração potencial anual, obteve-se o subtipo a', para as seis mesorregiões da Paraíba (Tabela 7).

A fórmula climática completa obtida para as mesorregiões do Alto sertão, Agreste e Brejo foi C1dA'a', ou seja, clima subúmido seco, Megatérmico, com excedente hídrico pequeno ou nulo e 29,5%, 29,8% e 29,8%, respectivamente, da evapotranspiração anual concentrada no trimestre mais quente do ano (Tabela 7). Resultado este semelhante ao obtido por Passos et al. (2017) para o município de Balsas - MA na série histórica compreendida entre os anos de 1976 a 2015, período que é bem semelhante ao abordado neste estudo.

Essa caracterização climática para a região do Brejo pode ser explicada pelo surgimento da faixa referente ao clima sub-úmido ( $0 \leq I_h < 20$ ), este tipo de clima pode ser em função do favorecimento da precipitação no local juntamente com a altitude dos postos estudados, em que se tem a diminuição da temperatura do ar e, conseqüentemente, da evapotranspiração potencial em função da altitude.

Medeiros et al. (2015d) definiu o clima da cidade de Barbalha - CE como Seco sub-úmido (C1), através da evapotranspiração potencial anual obteve-se a classificação térmica como sendo um clima Megatérmico (A'), como o  $I_h < 0$  genericamente designados como "climas secos" são enquadrados de acordo com o índice de umidade (Iu) assim originando o subtipo climático (W) Moderado excesso de água no verão, e em conformidade com a concentração da evapotranspiração potencial na estação quente (Cv), definida pelos três meses consecutivos de temperatura mais elevada foi estabelecido outro subtipo climático (a') indicando a percentagem da evapotranspiração potencial anual concentrada no trimestre mais quente do ano. Resultado este semelhante ao observado no presente estudo, mesmo sendo para outra região estudada.

Para as mesorregiões do Sertão e Cariri-Curimataú a fórmula climática obtida foi DdA'a', ou seja, clima semiárido, Megatérmico, excedente hídrico pequeno ou nulo e com 29,5% e 29,4%, respectivamente, da evapotranspiração anual concentrada no trimestre mais quente do ano (Tabela

7). Francisco et al. (2015b) estudando a mesma região classificou como sendo C1S2A'a', possivelmente este fato ocorreu em virtude do presente estudo se utilizar de série histórica e por considerar a mesorregião e não os municípios para a classificação climática.

A mesorregião do Cariri-Curimataú possui destaque em decorrência da faixa correspondente ao clima árido ( $-60 \leq I_h < -40$ ). Medeiros et al. (2018) relatam que o clima do estado da Paraíba é seco e semiárido, resultados estes que corroboram com os obtidos neste estudo.

A mesorregião Litoral possui a fórmula climática C2SA'a', ou seja, clima sub-úmido, Megatérmico, com moderada deficiência no período chuvoso e 30,4% da evapotranspiração anual concentrada no trimestre mais quente do ano (Tabela 7).

Freitas et al. (2011) afirmam que este tipo climático é de se esperar para a mesorregião do Litoral paraibano com predominância de índices hídricos positivos, visto que está mesorregião é favorecida por se localizar próxima ao Oceano Atlântico, com condições atmosféricas favoráveis a precipitação.

Francisco et al. (2015b) afirmam que a classificação climática de Thornthwaite, inédita para o Estado, evidenciou ser muito mais sensível aos montantes de chuva, temperatura e ao relevo das localidades, por resultar em um número maior de tipos de clima, totalizando 6 tipos.

Terassi e Tommaselli (2016) relataram que a metodologia de classificação climática proposta por Thornthwaite mostrou-se mais efetiva para distinguir os tipos de clima, podendo ser utilizada como subsídio específico para o zoneamento agroclimático e gerenciamento dos recursos hídricos de uma determinada região (Ricce et al., 2014; Matos et al., 2018).

Barros et al. (2012) afirmam ainda que qualquer classificação climática contém imprecisões de diferentes gêneros devido à complexidade de reunir diversos fatores inter-relacionados do ambiente em índices puramente matemáticos. Toda classificação de fenômenos naturais, via de regra, não consegue enquadrar dentro de uma sistemática rígida os fenômenos classificados. Além disso, vários outros fatores não climáticos exercem influência sobre o caráter da vegetação, tais como a topografia, o tipo de solo e os efeitos das atividades humanas, como agricultura e exploração vegetal dentre outros.

## Conclusões

Em todos os meses da série histórica (1971 a 2017), as mesorregiões do Litoral, Brejo e Sertão,

apresentam as maiores temperaturas, tendo como consequência maior evapotranspiração potencial.

O balanço hídrico climático para o Estado da Paraíba evidenciou limitações dos recursos hídricos nas mesorregiões do Alto Sertão, Sertão, Cariri-Curimataú, Agreste e Brejo, com média de sete meses de deficiência hídrica do solo. A mesorregião do Cariri-Curimataú não possui excedente hídrico em nenhum dos meses do ano.

As mesorregiões do Alto sertão, Agreste e

Brejo foram classificadas como de clima sub-úmido seco, Megatérmico, com excedente hídrico pequeno (C1dA'a'), o Sertão e Cariri-Curimataú como de clima semiárido, Megatérmico, excedente hídrico pequeno ou nulo (DdA'a') e a mesorregião do Litoral como de clima sub-úmido, Megatérmico, com moderada deficiência hídrica no período chuvoso (C2SA'a').

## Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de

Nível Superior (CAPES) pela concessão das bolsas de mestrado e doutorado aos autores.

## Referências

- Aquino, C.M.S., Oliveira, J.G.B. 2013. Emprego do Método de Thornthwaite e Mather (1955) para Cálculo do Balanço Hídrico Climatológico do Núcleo de Degradação de São Raimundo Nonato-Piauí. *Revista Brasileira de Geografia Física* 6, 79-90.
- Barros, A.H.C., Araújo Filho, J.C., Silva, A.B., Santiago. G.A.C.F. 2012. Climatologia do Estado de Alagoas. *Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento*, n. 211. Embrapa Solos, Recife.
- Becker, C.T., Medeiros, R.M., Francisco, P.R.M., Gomes Filho, M.F. 2013. Climatologia da precipitação de Cabaceiras - PB no período entre 1926-2011. *Revista Educação Agrícola Superior* 28, 132-135. <http://dx.doi.org/10.12722/0101-756X.v28n02a09>
- Brito, J.L.B., Braga, C.C. 2005. Chuvas na Paraíba em 2004. *Boletim da Sociedade Brasileira de Meteorologia* 28, 27-32.
- Cavalcanti, E.P., Silva, V.P.R., Sousa, F.A.S. 2006. Programa computacional para a estimativa da temperatura do ar para a região Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 10, 140-147. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662006000100021>
- Costa Neto, F.A., Medeiros, R.M., Sousa, E.P., Oliveira, R.C.S. 2014. Balanço hídrico como planejamento para a cidade de Olivedos-PB. In: Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia, CONTECC, 2014, Teresina. Anais... Teresina.
- Cunha, A.R., Martins, D. 2009. Classificação climática para os municípios de Botucatu e São Manuel, SP. *Irriga* 14, 1-11. <http://dx.doi.org/10.15809/irriga.2009v14n1p1-11>
- Dantas, A.A.A., Carvalho, L.G., Ferreira, E. 2007. Classificação e tendências climáticas em Lavras, MG. *Ciência e Agrotecnologia* 31, 1862-1866. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542007000600039>
- Francisco, P.R.M., Medeiros, R.M., Matos, R.M., Bandeira, M.M., Santos, D. 2015a. Análise e Mapeamento dos Índices de Umidade, Hídrico e Aridez através do BHC para o Estado da Paraíba. *Revista Brasileira de Geografia Física* 8, 1093-1108. <http://dx.doi.org/10.5935/1984-2295.20150056>
- Francisco, P.R.M., Medeiros, R.M., Santos, D., Matos, R.M. 2015b. Classificação climática de Köppen e Thornthwaite para o Estado da Paraíba. *Revista Brasileira de Geografia Física* 8, 1006-1016.
- Freitas, J. C., Dantas, R. T., Andrade, A. R. S., Pereira, E. R. R. 2011. Análise da variabilidade de índices climáticos para o Estado da Paraíba – PB. *Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias* 4, 63-84.
- Jesus, J.B. 2015. Estimativa do balanço hídrico climatológico e classificação climática pelo método de Thornthwaite e Mather para o município de Aracaju - SE. *Scientia Plena* 11, 1-5.
- Matos, R.M., Medeiros, R.M., Francisco, P.R.M., Silva, P.F., Santos, D. 2015. Caracterização e aptidão climática de culturas para o município de Alhandra - PB, Brasil. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada* 9, 183-192. DOI: 10.7127/RBAI.V9N300288
- Matos, R.M., Silva, J.A.S., Medeiros, R.M. 2014. Aptidão climática para a cultura do feijão caupi do município de Barbalha – CE. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada* 8, 422 - 431. DOI: 10.7127/RBAI.V8N600240
- Matos, R.M., Silva, P.F., Borges, V.E., Medeiro, R.M., Francisco, P.R.M., Dantas Neto, J. 2017.

- Zoneamento agroclimático da palma forrageira para o município de Barbalha – CE. *Revista Espacios* 38, 27-27.
- Matos, R.M.; Silva, P.F.; Borges, V.E.; Sobrinho, T.G.; Saboya, L.M.F.; Dantas Neto, J. 2018. Uso de sistemas de classificação climática para o município de Barbalha - CE. *Revista Brasileira de Geografia Física* 11, 877-885.
- Medeiros, R.M., Azevedo, P.V., Saboya, L.M.F., Francisco, P.R.M. 2013a. Classificação climática e zoneamento agroclimático para o município de Amarante PI. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada* 7, 170-180. DOI: 10.7127/rbai.v7n200011
- Medeiros, R.M., Francisco, P.R.M., Matos, R.M., Santos, D., Sousa, T.P. 2015a. Caracterização agroclimática e aptidão de culturas para diferentes municípios e regiões da Paraíba. *Revista Agropecuária Científica no Semi-Árido* 11, 99-110. <http://dx.doi.org/10.30969/acsa.v11i2.614>
- Medeiros, R.M., Francisco, P.R.M., Matos, R.M., Silva, P.F. 2018. Classificação e aptidão climática para as culturas da banana e abacaxi no estado da Paraíba. *Revista Brasileira de Geografia Física* 11, 1551 - 1663.
- Medeiros, R.M., Matos, R.M., Oliveira, R.C.S., Silva, P.F., Saboya, L.M.F. 2015c. Balanço hídrico climatológico e classificação climática de cultivo de banana em Lagoa Seca – PB. *Revista Verde* 11, 461-476. <https://doi.org/10.18378/rvads.v10i1.2945>.
- Medeiros, R.M., Matos, R.M., Silva, P.F., Saboya, L.M.F., Francisco, P.R.M. 2015b. Cálculo do balanço hídrico e da erosividade para o município de Cabaceiras-PB. *Revista Enciclopédia Biosfera* 11, 2894-2907.
- Medeiros, R.M., Matos, R.M., Silva, P.F., Silva, J.A. S., Francisco, P.R.M. 2015d. Caracterização climática e diagnóstico da aptidão agroclimática de culturas para Barbalha – CE. *Revista Enciclopédia Biosfera* 11, 2894-2907.
- Medeiros, R.M., Silva, J.A.S., Silva, A.O., Matos, R.M., Balbino, D.P. 2013b. Balanço hídrico climatológico e classificação climática para a área produtora da banana do município de Barbalha, CE. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada* 7, 258 - 268. DOI: 10.7127/RBAI.V7N400018
- Passos, M.L.V., Zambrzycki, G.C., Pereira, R.S. 2016. Balanço hídrico e classificação climática para uma determinada região de Chapadinha-MA. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada* 10, 758 - 766. DOI: 10.7127/rbai.v10n400402.
- Passos, M.L.V., Zambrzycki, G.C., Pereira, R.S. 2017. Balanço hídrico climatológico e classificação climática para o município de Balsas-MA. *Revista Scientia Agraria* 18, 83-89.
- Ricce, W.S., Carvalho, S.L.C., Caramori, P.H., Auler, P.A.M., Roberto, S.R. 2014. Zoneamento agroclimático da cultura do abacaxizeiro no Estado do Paraná. *Revista Semina* 35, 2337-2346. 10.5433/1679-0359.2014v35n4Suplp2337
- Rolim, G.S., Camargo, M.B.P., Lania, D.G., Moraes, J.F.L. 2007. Classificação climática de Köppen e de Thornthwaite e sua aplicabilidade na determinação de zonas agroclimáticas para o estado de São Paulo. *Bragantia* 66, 711-720. <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052007000400022>
- Terassi, P.M.B., Tommaselli, J.T.G. 2016. Avaliação de sistemas de classificação climática para a vertente paranaense da bacia hidrográfica do rio Itararé. *Caderno de Geografia* 26, 877-896. <http://dx.doi.org/10.5752/p.2318-2962.2016v26n47p877>
- Thornthwaite, C.W. 1948. An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review* 38, 55-94. DOI: 10.2307/210739
- Thornthwaite, C.W., Mather, J.R. 1955. The water balance. Publication in *Climatology*, n.8, Laboratory of Climatology, Centerton, N. J.