



BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO E ÍNDICE DE ARIDEZ PARA MUNICÍPIOS DA MICRORREGIÃO DE GUARABIRA, PARAÍBA

P. L. F. da Silva^{1*}, R. de S. Nascimento²

¹Universidade Estadual de Maringá, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Agronomia, Programa de Pós-graduação em Agronomia, Maringá, PR

²Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Solos e Engenharia Rural, Areia, PB

Article history: Received 24 April 2020; Received in revised form 10 May 2020; Accepted 11 May 2020; Available online 30 June 2020.

RESUMO

O clima é um fator limitante para a agropecuária e o conhecimento da sua variabilidade pode contribuir para minimizar as quebras de safra. Objetivou-se com este trabalho avaliar o balanço hídrico climatológico e estimar o índice de aridez de cidades da microrregião de Guarabira, Paraíba, com série de dados de 2000-2019. Determinou-se o balanço hídrico climatológico pelo método de Thornthwaite & Mather (1955) de 14 cidades da microrregião de Guarabira, no Agreste da Paraíba: Alagoinha, Araçagi, Belém, Caiçara, Cuitegi, Duas Estradas, Guarabira, Lagoa de Dentro, Logradouro, Mulungu, Pilõezinhos, Pirpirituba, Serra da Raiz e Sertãozinho. Adotou-se a capacidade de água disponível de 100 mm na determinação do armazenamento de água no solo. Calculou-se os índices de aridez (I_a) e de umidade do solo (I_u) através da relação entre a precipitação e a evapotranspiração potencial (P/ETP). O período de maior precipitação concentrou-se nos meses de junho e julho, enquanto o déficit hídrico foi pronunciado entre novembro e dezembro. Conclui-se que 42,85% das cidades apresentaram índice de aridez moderado e que sete cidades apresentaram a máxima capacidade de água disponível no solo abaixo de 80 mm ano⁻¹.

Palavras-chave: índice de umidade, evapotranspiração, Agreste paraibano, desertificação.

CLIMATOLOGICAL WATER BALANCE AND ARIDITY INDEX TO MUNICIPALITIES OF THE MICRO-REGION OF GUARABIRA, PARAÍBA

ABSTRACT

The climate is a limiting factor for agriculture and knowledge of its variability can contribute to minimize crop failures. Aimed with this work evaluate the climatological water balance and estimate the aridity index of cities in the micro-region of Guarabira, Paraíba, with data series from 2000-2019. The climatological water balance proposed by Thornthwaite & Mather (1945) was applied to 14 cities in the micro region of Guarabira, in the Agreste of Paraíba: Alagoinha, Araçagi, Belém, Caiçara, Cuitegi, Duas Estradas, Guarabira, Lagoa de Dentro, Logradouro, Mulungu, Pilõezinhos, Pirpirituba, Serra da Raiz and Sertãozinho. The available water capacity of 100 mm was adopted to determine water storage in the soil. Soil aridity (aI) and humidity indexes (uI) were calculated through the relationship between precipitation and potential

¹ pedroluanferreira@gmail.com

evapotranspiration (P/ETP). The period of greatest precipitation was concentrated in the months of June and July, while the water deficit is pronounced between November and December. It was concluded that 42.85% of the cities had a moderate aridity index and that seven cities had the maximum available water capacity in the soil below 80 mm year⁻¹.

Palavras-chave: moisture index, evapotranspiration, Agreste of Paraíba, desertification.

INTRODUÇÃO

As terras áridas representam aproximadamente 41% da superfície da terra, e se caracterizam por apresentar precipitação anual menor que a taxa de evapotranspiração potencial, além de índice de aridez menor que 0,65 (GUAN et al., 2019). No Brasil, o semiárido ocupa uma área de 970.000 km², o que corresponde a aproximadamente 12% do território nacional (MEDEIROS et al., 2020). É uma região que apresenta irregularidades na distribuição de chuvas, vegetação lenhosa, solos pedregosos, baixa capacidade de armazenamento de água no solo e elevada evapotranspiração (ALVALÁ, 2019; LIU et al., 2019).

É um ambiente suscetível às mudanças climáticas, e devido ao aquecimento global, os problemas relacionados ao estresse hídrico tem se tornando cada vez mais recorrentes (ZHANG & SHANGGUAN, 2016). Devido a sazonalidade climática, volumes precipitados de 500 mm ano⁻¹, como o observado no semiárido nordestino (MELO et al., 2007), não será suficiente para a manutenção da população e sobrevivência da fauna e flora, inclusive diante das previsões futuras, que estimam aumento de temperatura e redução no atual volume de chuva precipitado (MEDEIROS et al., 2012).

No estado da Paraíba, a situação mostra-se mais preocupante, pois de acordo com o Programa Estadual de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca no estado da Paraíba (PAE), 93,7% do território do estado encontra-se sob processo de desertificação, sendo que desse total 58% enquadra-se em nível grave. São inúmeros os fatores que ocasionam o processo de desertificação, das mudanças

climáticas a ação antrópica (ALVES et al., 2009). As consequências negativas ao ambiente são inúmeras, pois ocasionam a perda de produtividade biológica ou econômica das terras agrícolas de sequeiro, das pastagens naturais e semeadas, das florestas e arvoredos, por intensificação na deterioração das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (TRAVASSOS & SOUZA, 2011).

Na tentativa de buscar alternativas que visem diminuir o impacto das ações do homem sobre a desertificação do solo, inúmeras pesquisas têm adotado o Balanço Hídrico Climatológico (BHC) como ferramenta para delimitar e classificar as áreas suscetíveis ao processo de desertificação (THORNTHWAITE, 1948). Além disso, através das variáveis que compõem o BHC, é possível realizar o planejamento agropecuário e as práticas de controle de produção das propriedades rurais, disponibilizando informações que permitam os produtores identificar as fragilidades do clima e as melhores épocas de produção (AQUINO & OLIVEIRA, 2013; PASSOS et al., 2018).

A microrregião de Guarabira está localizada no Agreste paraibano, uma área de transição entre a Zona da Mata e o Sertão, com forte tradição na produção de alimentos de base familiar. E, devido a disponibilidade limitada de recursos hídricos, grande parte dessa produção é realizada em sistema de sequeiro, assim, quaisquer alterações nos padrões de precipitação e temperatura podem ter impactos diversos nos serviços ecossistêmicos, incluindo a redução na disponibilidade hídrica nessas regiões (RAMARAO et al., 2019). Nesse caso, o conhecimento da variação climática pode

auxiliar no sistema de produção, de forma que as quebras de safra sejam minimizadas e a implantação de políticas públicas relacionadas ao tema sejam implantadas de forma efetiva, a exemplo do seguro safra.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização do local de estudo

O levantamento do balanço hídrico climatológico foi realizado em 14 cidades que compõem a microrregião de Guarabira, no Agreste da Paraíba (Tabela 1). A microrregião de Guarabira, corresponde a 2,11% do território da Paraíba e sua população a aproximadamente 4,34% do total. Segundo a classificação de Köppen, o clima da

Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar o balanço hídrico climatológico e estimar o índice de aridez de cidades da microrregião de Guarabira, Paraíba, com série de dados de 2000-2019.

microrregião é caracterizado como As-Tropical quente e úmido, com chuvas de verão-outono, temperatura variando de 19 a 29°C e precipitação de 600 a 1200 mm (FRANCISCO et al., 2018). Os solos que predominam nos municípios avaliados são os Argissolos e Neossolos (SANTOS et al., 2018).

Tabela 1. Caracterização política, geográfica e populacional das cidades que integram a microrregião de Guarabira, Paraíba.

Cidade	Coodenadas	Área total	População	Altitude
		Km ²	mil*	m
Alagoinha	06°57'S; 35°32'W	96,980	14.489	133
Araçagi	06°51'S; 35°22'W	231,155	16.987	57
Belém	06°41'S; 35°31'W	100,153	17.676	149
Caiçara	06°36'S; 35°28'W	127,914	7.201	150
Cuitegi	06°53'S; 35°31'W	39,302	6.803	90
Duas Estradas	06°41'S; 35°31'W	26,262	3.596	144
Guarabira	06°57'S; 35°32'W	165,744	58.833	97
Lagoa de Dentro	06°51'S; 35°29'W	84,508	7.719	154
Logradouro	06°37'S; 35°24'W	37,996	4.332	140
Mulungu	06°91'S; 35°27'W	195,314	9.902	99
Pilõezinhos	06°51'S; 35°31'W	43,901	4.976	133
Pirpirituba	06°46'S; 35°29'W	79,844	10.579	99
Serra da Raiz	06°41'S; 35°26'W	29,082	3.204	331
Sertãozinho	06°45'S; 35°26'W	32,798	5.024	135

Fonte: Adaptado de IBGE cid@ades (2020). *Estimativa para o ano de 2019.

Coleta de dados e determinação do balanço hídrico climatológico (BHC)

Os dados de precipitação pluviométrica mensal e anual de cada posto foram coletados no banco de dados da Agência Executiva de Gestão das Águas do estado da Paraíba (AESAs), compreendendo o período de 2000 a 2019. Com relação à temperatura média mensal e anual, adaptou-se os valores médios apresentados por Francisco et al. (2018), de uma série histórica de 30 anos, que foram estimados pelo método das retas de regressão linear

múltipla, utilizando o software Estima_T (CAVALCANTI & SILVA, 1994; CAVALCANTI et al., 2006).

O balanço hídrico climatológico (BHC) de cada município foi estimado pelo método proposto por Thornthwaite (1948) e Thornthwaite e Mather (1955), utilizando planilhas em formato *Excel* elaboradas por Rolim et al. (1999). Para a estimativa da capacidade de armazenamento de água no solo, utilizou-se um valor de capacidade de água disponível (CAD) de 100 mm como referência para os 14 municípios avaliados.

As variáveis obtidas através do BHC foram: Evapotranspiração potencial (ETP), quantidade de água que permanece no solo (P-ETP), negativo acumulado (NEG-AC),

armazenamento de água no solo (ARM), evapotranspiração real (ETR), déficit hídrico (DEF) e excedente hídrico (EXC).

Determinação do índice de aridez e classificação climática

Utilizando os dados de precipitação pluviométrica (mm) e da taxa de evapotranspiração potencial (mm), estimou-se o índice hídrico (I_h), o índice de umidade do solo (I_u) e o índice de aridez

(I_a), utilizando as equações 1, 2 e 3, respectivamente (THORNTHWAITE, 1948; MATALLO JÚNIOR, 2003; PASSOS et al., 2018).

$$I_h = (Exc / ETP) \quad (1)$$

$$I_u = (I_h - I_a) \quad (2)$$

$$I_a = (P / ETP) \quad (3)$$

Em que: Exc - é o excedente hídrico (mm); ETP- é a taxa de evapotranspiração anual (mm); P- é a precipitação pluviométrica (mm); I_h - é o índice hídrico; I_u - é o índice de água; I_a é o índice de aridez.

com metodologia proposta por Thornthwaite (1948) e UNEP (2012). Com relação aos índices de aridez e suscetibilidade à desertificação, as classificações foram realizadas de acordo com metodologia adaptada de UNEP (2012) apresentada na Tabela 2 e Matallo Júnior (2003), Tabela 3.

A classificação climática conforme o índice de umidade foi realizada de acordo

Tabela 2. Classificação Climática de acordo com Thornthwaite (1948).

Classes Climáticas	Índice de aridez (I_a)
Úmido	$I_a \geq 1,00$
Subúmido-úmido	$0,65 < I_a < 1,00$
Subúmido-seco	$0,50 < I_a \leq 0,65$
Semiárido	$0,20 < I_a \leq 0,50$
Árido	$0,05 < I_a \leq 0,20$
Hiperárido	$I_a \leq 0,05$

Fonte: Adaptado de UNEP (2012).

Tabela 3. Índice de suscetibilidade à desertificação com base no índice de aridez.

Suscetibilidade à desertificação	Índice de aridez (I_a)
Superior a moderada	$I_a \geq 0,65$
Moderada	$0,51 < I_a < 0,65$
Alta	$0,21 < I_a < 0,50$
Muito alta	$0,05 < I_a < 0,20$
Inferior a muito alta	$I_a < 0,05$

Fonte: Adaptado de: Matallo Júnior (2003).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A temperatura do ar apresentou baixa variabilidade entre as cidades avaliadas, com valores médios variando de 23,3 a 25,7

°C. A menor média foi verificada na cidade de Alagoinha e a maior média de temperatura na cidade de Belém (Tabela 4).

Tabela 4. Temperatura média (T), evapotranspiração real (ETR) e potencial (ETP) das cidades que compõem a microrregião de Guarabira, PB, no período de 2000-2019.

Cidade	T	Precipitação média	ETR	ETP
	°C	----- mm -----		
Alagoinha	23,3	1041,5	74,1	97,56
Araçagi	25,3	969,3	78,3	119,42
Belém	25,7	892,5	74,4	124,18
Caiçara	25,4	792,5	66,0	120,13
Cuitegi*	25,3	968,4	74,9	119,46
Duas Estradas	25,5	917,2	75,6	121,81
Guarabira	25,6	1054,9	83,4	123,35
Lagoa de Dentro	25,5	754,1	62,8	121,59
Logradouro*	25,6	787,2	65,6	122,95
Mulungu	25,5	844,5	65,6	122,60
Pilõesinhos*	24,5	1305,5	86,7	109,51
Pirpirituba	25,3	892,5	74,4	118,67
Serra da Raiz	24,9	1113,2	83,0	113,97
Sertãozinho	25,4	792,2	55,0	121,02

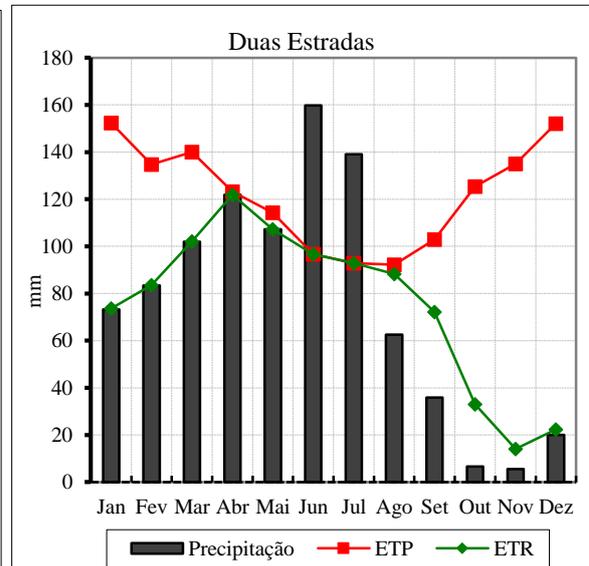
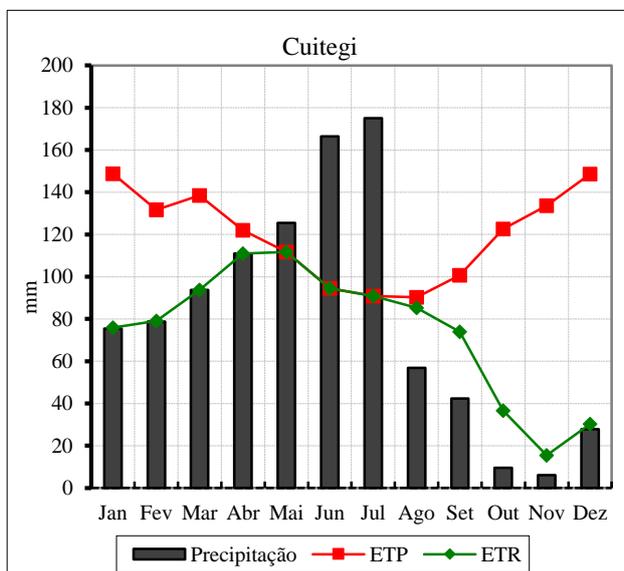
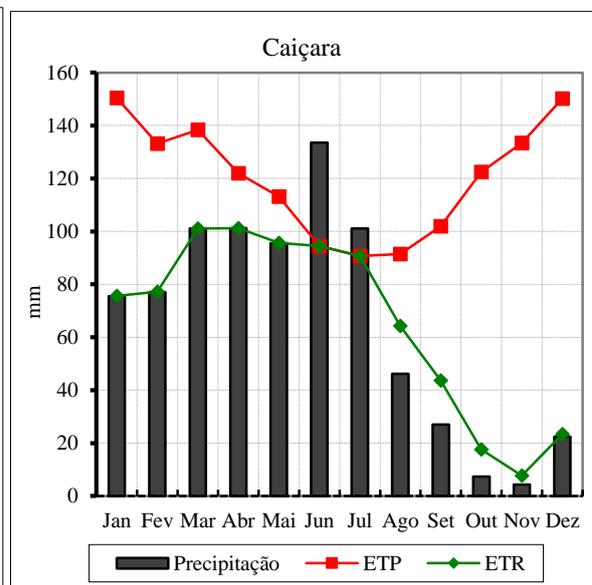
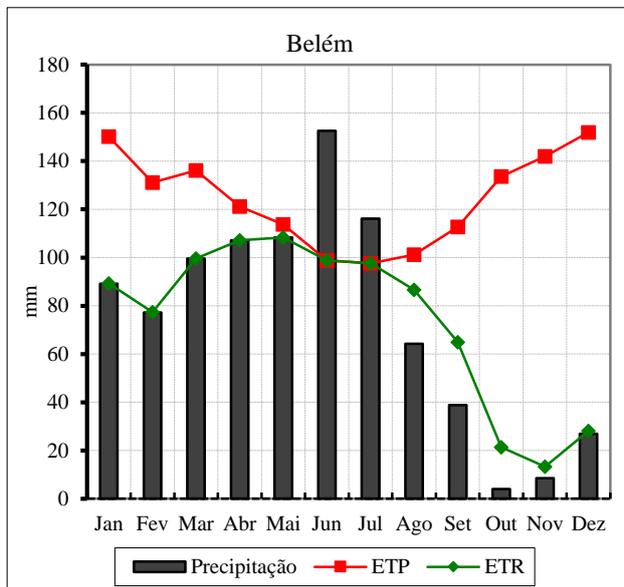
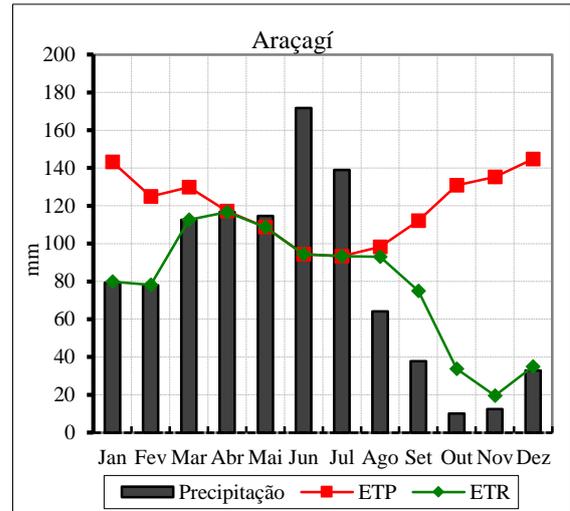
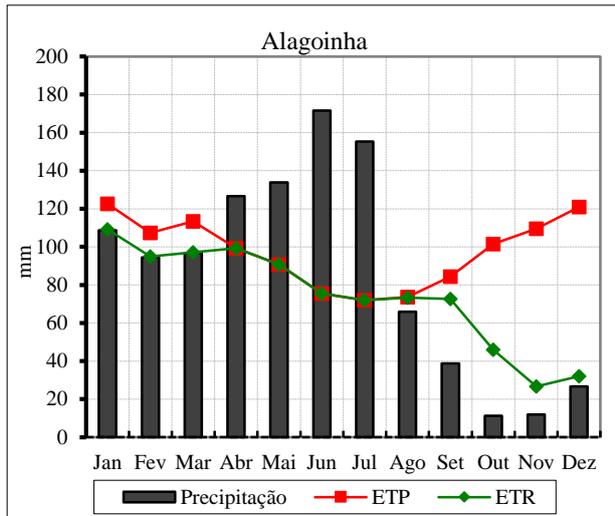
* Dados não informados pela AESA, Pilõesinhos= 2007-2009; Cuitegi= 2003-2010; Logradouro: 2000-2009. Fonte: IBGE (2020)

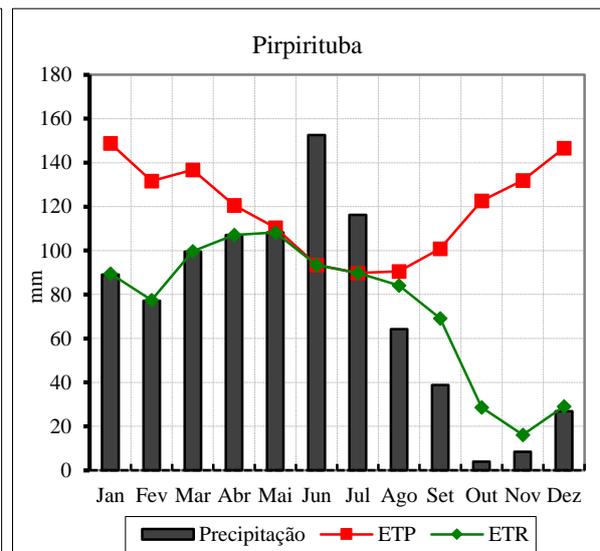
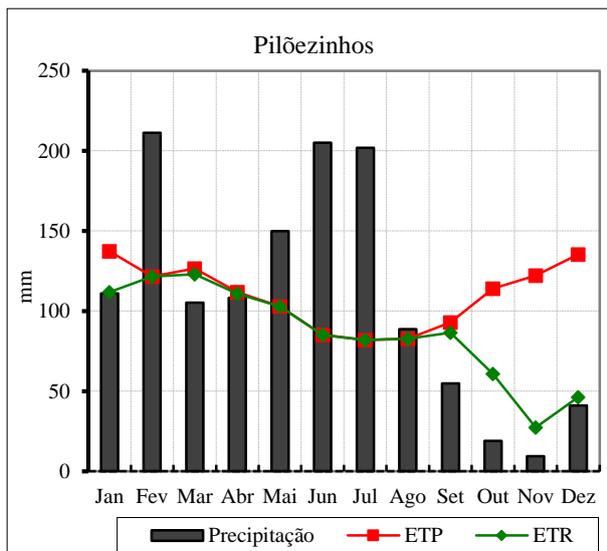
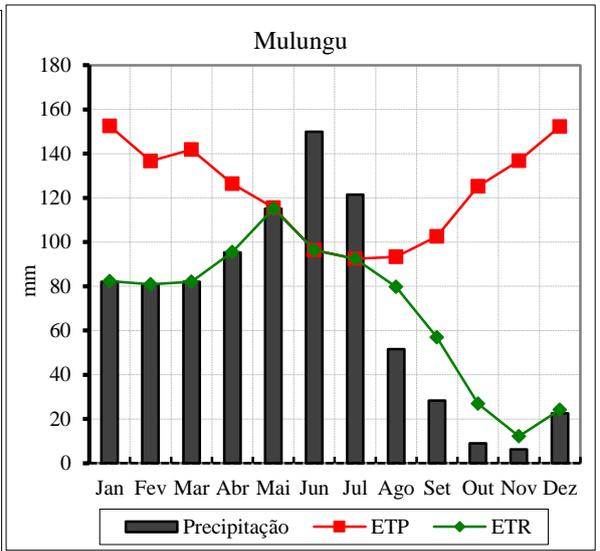
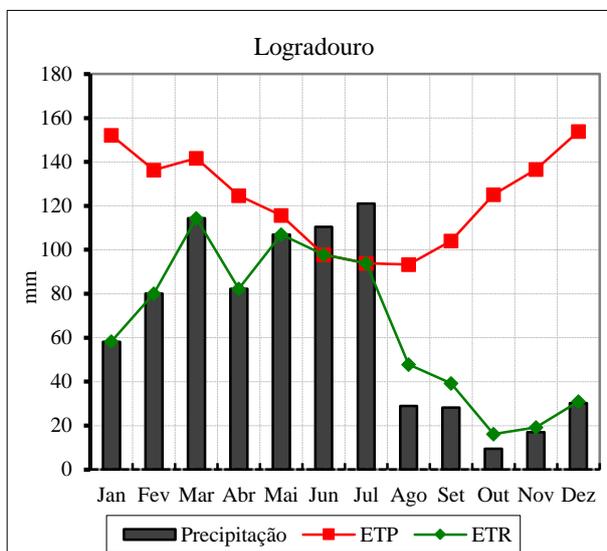
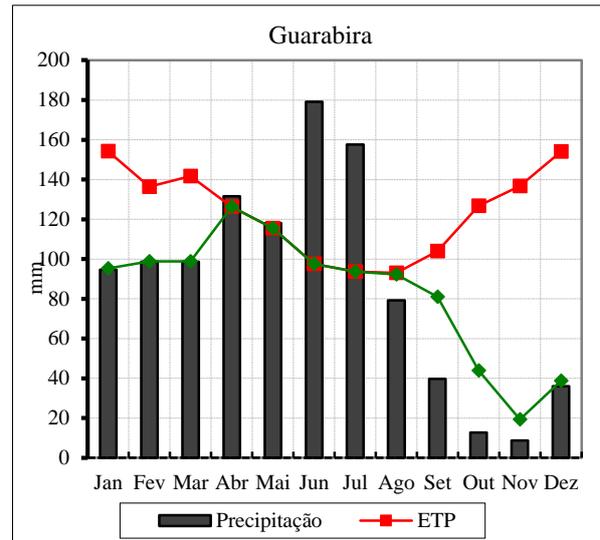
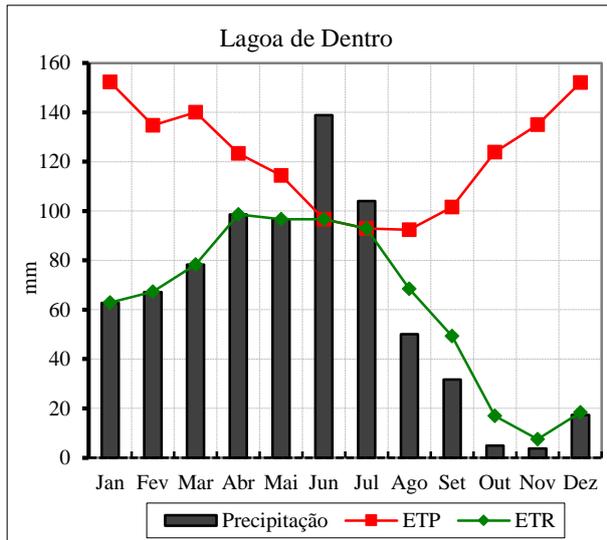
Com relação à precipitação pluviométrica, verifica-se acentuada variabilidade entre as cidades avaliadas, verificando-se 1305,5 mm na cidade de Pilõesinhos e 754,1 mm na cidade de Lagoa de Dentro. É um resultado bastante expressivo para a série de dados de precipitação dos últimos 20 anos. Esse tipo de variabilidade é comum no estado da Paraíba, pois se observa que a distância entre Campina Grande – PB e Cabaceiras – PB não ultrapassa 70 km, contudo a precipitação anual média de Campina Grande é 765 mm e de Cabaceiras apenas 330 mm, mostrando o dobro da precipitação de uma cidade para a outra em uma distância pequena. Na cidade de Pilõesinhos os dados de precipitação dos anos 2007 e 2009 não foram informados pela AESA, bem como os de Cuitegi entre os anos de 2003 e 2010 e Logradouro entre 2000 e 2009. Optou-se pelo descarte desses anos e usou-se apenas os que apresentavam essa informação.

Quatro cidades apresentaram precipitação média acumulada acima dos

1000 mm ao longo dos 20 anos, destacando-se Pilõesinhos com 1305,5 mm, Serra da Raiz com 1113,2 mm, Guarabira com 1054,9 e Alagoinha com 1041,5 mm. Observa-se também que a evapotranspiração real (ETR) ficou bem abaixo da potencial (ETP) em todas as cidades avaliadas, verificando-se menor ETP e ETR na cidade de Alagoinha. Em estudo realizado por Marcos Júnior et al. (2018), estimativas demonstraram aumento no índice de aridez e na ETP em diferentes regiões do país. Ou seja, a perda natural de água do solo vegetado para a atmosfera através da ação conjunta entre a evaporação e a transpiração (CAMARGO & CAMARGO) será intensificado, tornando o solo ainda mais seco nas épocas mais críticas do ano.

Verifica-se na Figura 1, que na maioria das cidades a ETP foi mais pronunciada entre os meses de janeiro e março e de agosto a dezembro, em função da diminuição da precipitação e aumento de temperatura.





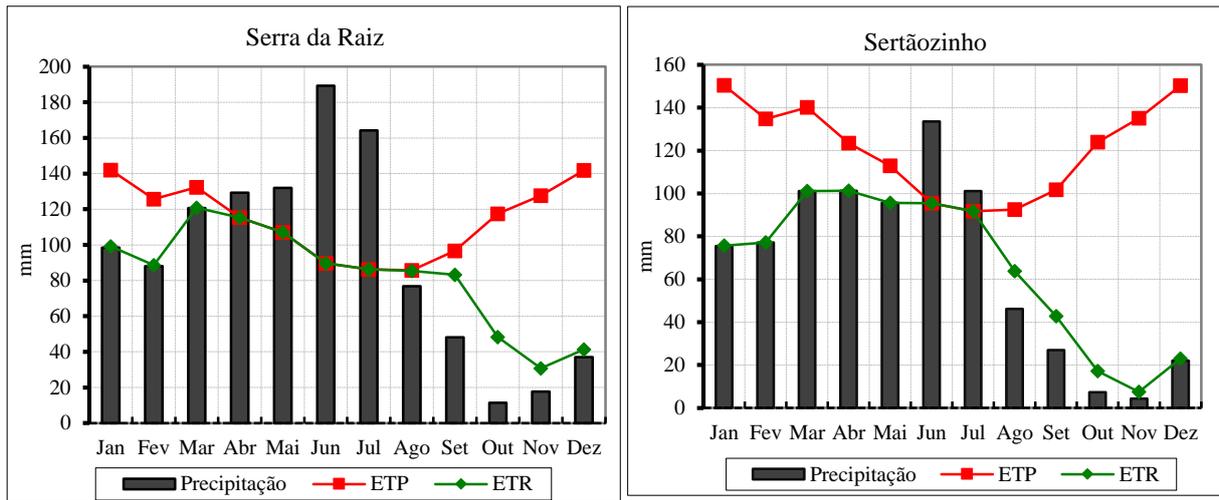


Figura 1. Precipitação pluviométrica, evapotranspiração real (ETR) e potencial (ETP) de cidades da microrregião de Guarabira, PB, no período de 2000-2019.

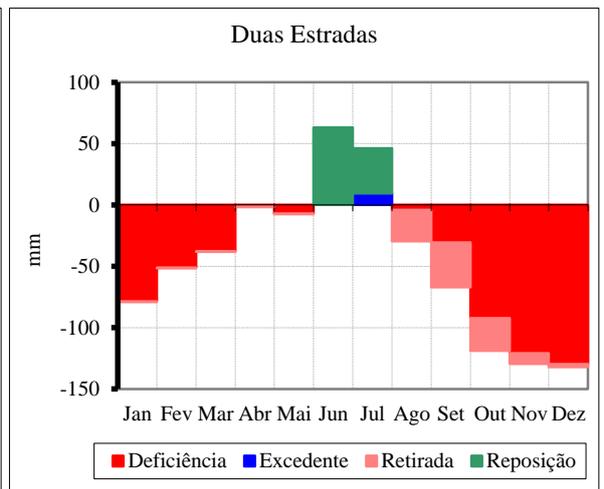
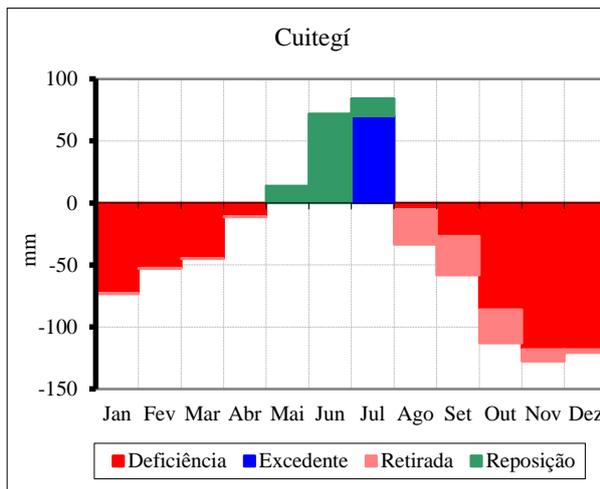
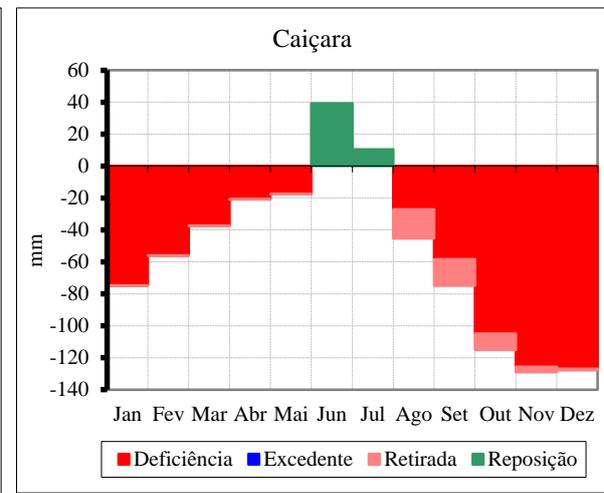
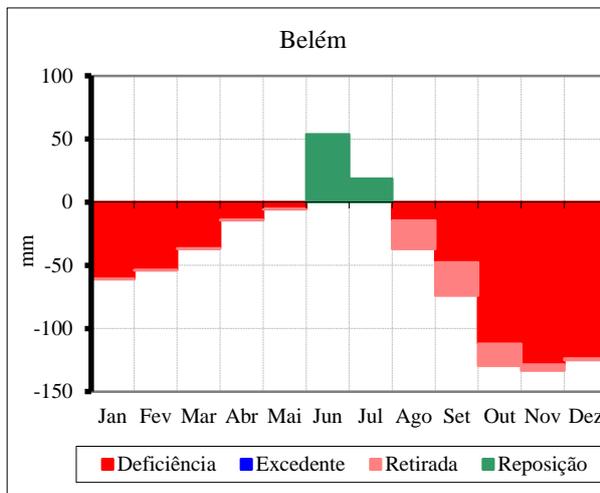
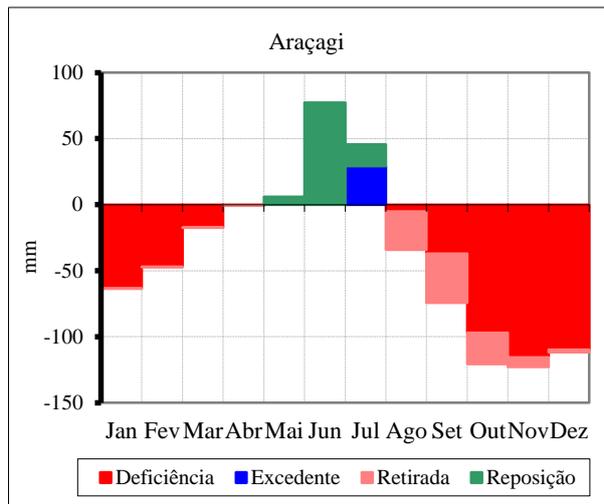
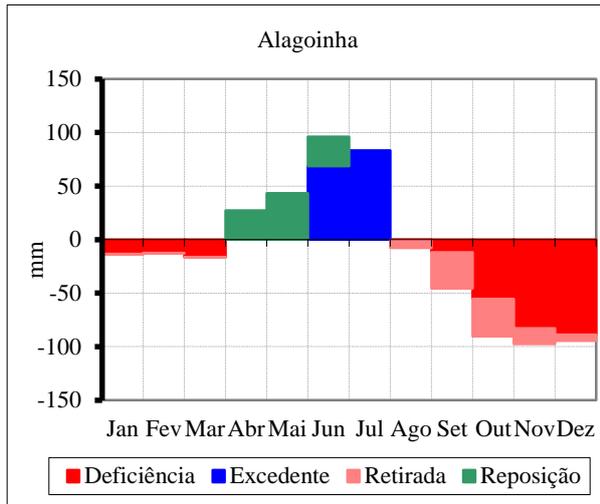
Verifica-se, na Figura 1, que o período de maior precipitação, na maioria das cidades, foi de junho a julho, período esse, também, onde a ETP e ETR se igualaram favorecendo o armazenamento de água no solo. Um fato que se nota entre todas as cidades foi o decréscimo abrupto na precipitação nos meses de outubro e novembro, época mais seca do ano, voltando a amenizar no mês de dezembro por ação de chuvas torrenciais esparsas. O único município com acúmulo de chuvas acima de 150 mm ao ano, por mais de três meses foi Pilõezinhos, provavelmente por estar em uma zona de proximidade ao Brejo paraibano, que geralmente apresenta índices de precipitação acima dos 1200 mm.

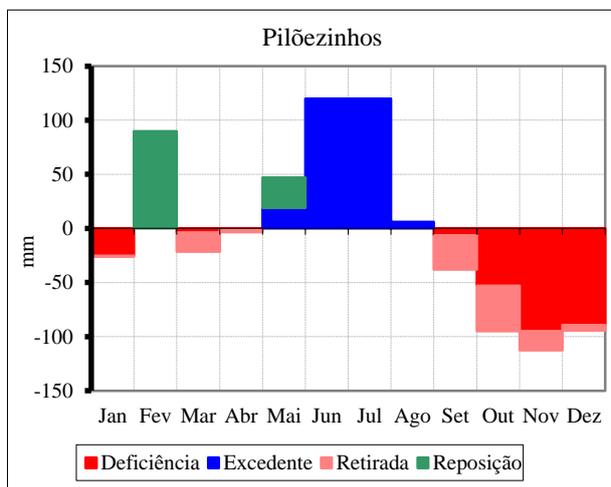
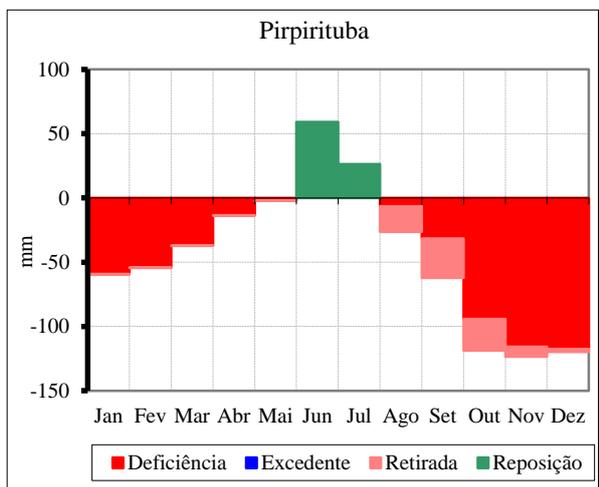
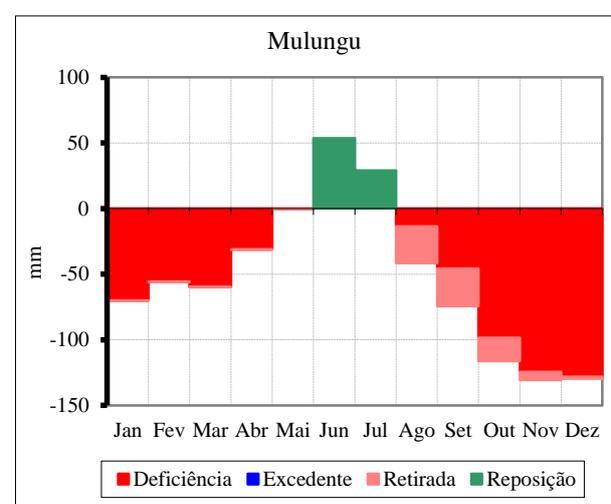
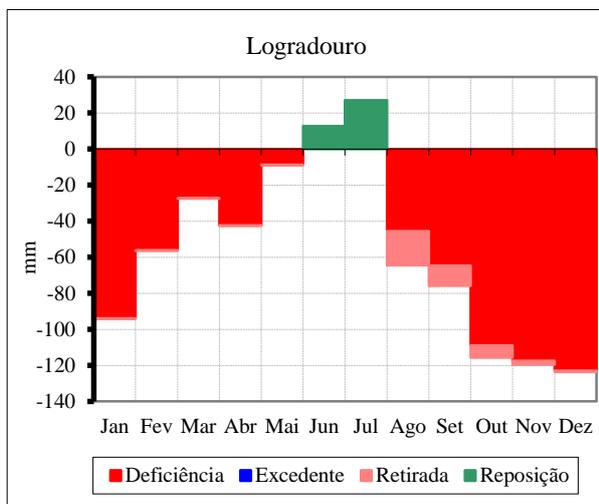
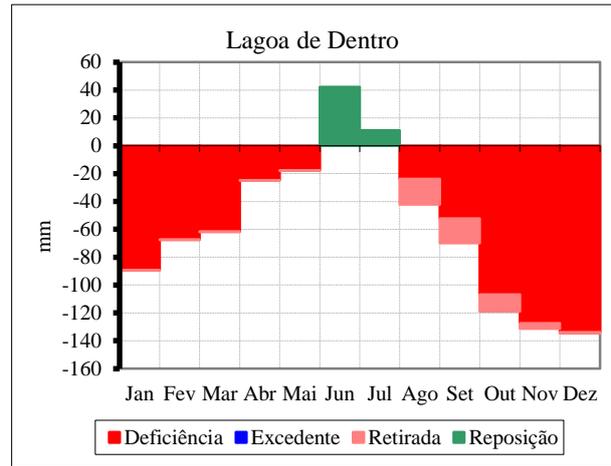
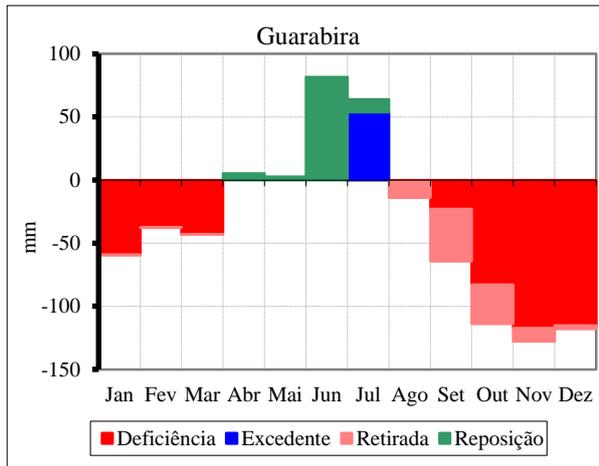
Os resultados do presente estudo corroboram com os de Francisco et al. (2018) para uma série de 30 anos, eles verificaram que nas cidades do Agreste da Paraíba, as precipitações são menores no início e fim do ano, consequentemente a

ETP tende a ser maior, afetando os níveis de água armazenada no solo. E se tratando de ETR igual a ETP, as cidades de Pilõezinhos e Serra da Raiz apresentaram comportamento diferente das demais cidades avaliadas ao longo dos 20 anos.

Em Serra da Raiz a ETP foi igual a ETR durante cinco meses do ano, de abril a agosto, já em Pilõezinhos esse período foi um pouco maior, se estendendo de fevereiro a agosto, sete meses. Geralmente, quando a ETR e ETP ultrapassam a taxa de precipitação, o armazenamento de água no solo encontra-se afetado (ARAÚJO, 2011), nesse caso, as cidades de Serra da Raiz e Pilõezinhos seriam as menos afetadas.

Na Figura 2, verifica-se o comportamento hídrico do solo ao longo dos 20 anos, com as taxas de entrada, retirada, excesso e déficit hídrico, levando-se em consideração a ETP, a ETR, a precipitação e CAD de 100 mm.





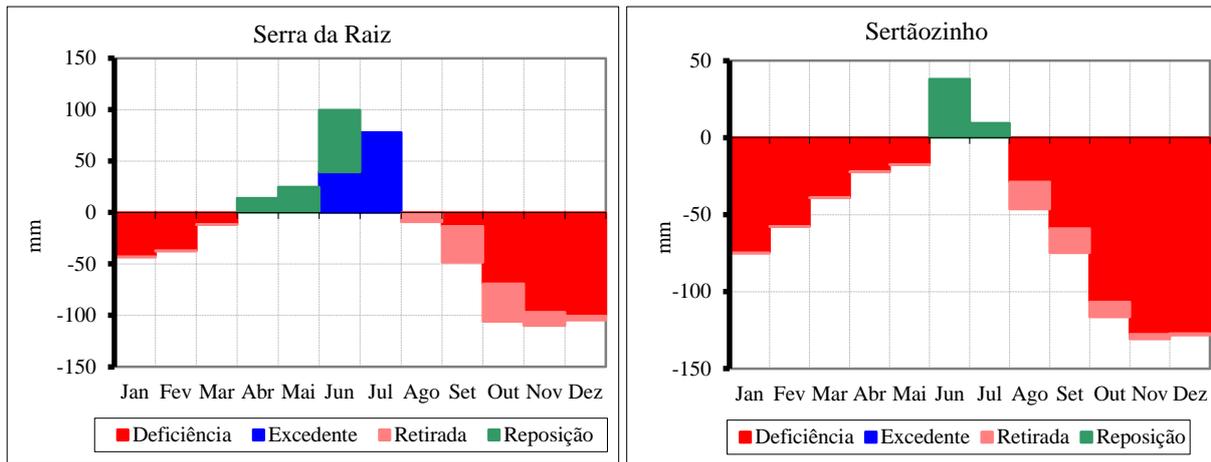


Figura 2. Deficiência, excedente, retirada e reposição de água no solo das cidades que compreendem a microrregião de Guarabira, no período de 2000-2019.

Verifica-se na Figura 2, que o excedente hídrico geralmente ocorre de agosto a abril na maioria das cidades avaliadas, enquanto a reposição de água começa a ocorrer em meados de abril. Em relação ao excedente hídrico, geralmente ocorre entre os meses de junho e julho, com valores ultrapassando a margem de 100 mm no município de Pilõezinhos entre os meses de junho e julho. Em algumas cidades é possível observar que o reposição de água durante o período chuvoso não foi suficiente para elevar o excedente hídrico, nesse caso destacam-se Belém, Caiçara, Sertãozinho, Lagoa de Dentro, Logradouro, Mulungu e Pirpirituba.

Os municípios de Pilõezinhos, Guarabira, Cuitegi, Duas Estradas, Serra da Raiz e Alagoinha apresentaram excesso de umidade no solo por mais de 2 meses ao longo dos anos, refletindo em melhores condições para o desenvolvimento das plantas, por ocasião de redução no déficit hídrico. Nos três últimos meses do ano o déficit hídrico torna-se mais acentuado, com valores médios abaixo de 100 mm. Esse resultado demonstra que durante os últimos meses do ano o produtor deverá optar pela irrigação ou realizar atividades que reduzam ao mínimo o consumo de água.

Com relação ao déficit hídrico, os meses mais críticos foram novembro e dezembro em todas as cidades avaliadas, destacando-se -94,4 mm em Pilõezinhos no

mês de novembro e -133,7 mm na cidade de Lagoa de Dentro, no mês de dezembro. Quanto ao excesso hídrico, apenas 50% das cidades avaliadas apresentaram saldo positivo ao longo dos 20 anos analisados, destacando-se: Alagoinha com o acumulado de 151,9 mm, Araçagi com 29,2 mm, Cuitegi com 70 mm, Duas Estradas com 9,5 mm, Guarabira com 53,7 mm, Pilõezinhos com 264,8 mm e Serra da Raiz com 117,4. As demais cidades não apresentaram excedente hídrico expressivo.

Para a capacidade de armazenamento de água no solo (CAD= 100 mm), verifica-se que na maioria das cidades esse limite foi atingido no mês de julho, com exceção de Mulungu, Caiçara, Sertãozinho, Logradouro, Belém, Pirpirituba e Araçagi, onde a CAD ficou abaixo dos 100 mm nos meses mais úmidos do ano. Nesse caso, deve-se dar maior atenção para essas localidades em que a CAD não atingiu o limite ideal, de forma que se adotem políticas públicas voltadas para o manejo e conservação de solo e água ao longo do ano.

O índice de aridez (I_a), o índice de umidade (I_u), o índice de água (I_h) e a classificação climática encontram-se apresentados na Tabela 5. Verifica-se que, apesar do déficit hídrico apresentado por algumas cidades ao longo dos anos, o índice de aridez foi classificado como úmido, subúmido-seco e subúmido-úmido, com todos os valores acima do limite considerado crítico para a aridez do solo.

Segundo a Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE), para ser enquadrado na classe semiárida, o

Ia da localidade deve ser $\leq 0,5$ e a precipitação pluviométrica anual ≤ 800 mm (BRASIL, 2017).

Tabela 5. Índice de aridez (Ia), índice de umidade (Iu) e classificação climática dos municípios que compõem a microrregião de Guarabira, PB.

Cidade	Ia	Classificação	Iu	Classificação	Ih
Alagoinha	0,96	Subúmido-úmido	-0,79	C1	0,17
Araçagi	0,73	Subúmido-úmido	-0,70	C1	0,02
Belém	0,64	Subúmido-seco	-0,64	C1	0,00
Caçara	0,58	Subúmido-seco	-0,58	C1	0,00
Cuitegi	0,73	Subúmido-úmido	-0,67	C1	0,06
Duas Estradas	0,67	Subúmido-úmido	-0,67	C1	0,00
Guarabira	0,77	Subúmido-úmido	-0,72	C1	0,04
Lagoa de Dentro	0,55	Subúmido-seco	-0,55	C1	0,00
Logradouro	0,56	Subúmido-seco	-0,56	C1	0,00
Mulungu	0,61	Subúmido-seco	-0,61	C1	0,00
Pilõesinhos	1,07	Úmido	-0,81	C1	0,26
Pirpirituba	0,67	Subúmido-úmido	-0,67	C1	0,00
Serra da Raiz	0,88	Subúmido-úmido	-0,76	C1	0,11
Sertãozinho	0,58	Subúmido-seco	-0,58	C1	0,00

C1= subúmido-seco, Ih = índice de água.

Fonte: Os autores (2020)

Os valores do índice de aridez variaram de 0,55 a 1,07, sendo maior no município de Pilõesinhos, que foi classificado como úmido, e menor no município de Lagoa de Dentro, considerado subúmido-seco. Apesar da proximidade geográfica entre as cidades, o fator climático mostrou-se variável ao longo do tempo. Segundo Lopes (2015), o índice de aridez tende a diminuir com o distanciamento do mar. Nesse caso, por Pilõesinhos estar inserido nas proximidades da microrregião do brejo, que apresenta acentuada distribuição de chuvas, esse fato pode ter influenciado na distinção do índice de aridez e na classificação climática pelo (Ia).

Valores de Ia próximos ao limitante (0,5) indicam que o clima apresenta condições extremas de precipitação e evapotranspiração (LOPES, 2015), nesse caso, as cidades classificadas com o clima subúmido-seco foram as que apresentaram as maiores taxas de evapotranspiração e menores excedentes hídricos. É um fato preocupante, já que as mesmas se aproximam da semiaridez e ações antrópicas que elevam o processo de

degradação do solo tendem a reduzir a resiliência, podendo ocasionar a desertificação. Os ecossistemas sob terras secas e semiáridas são altamente dinâmicos, frágeis e sensíveis às mudanças induzidas pelo clima, bem como pelo uso da terra (REED et al., 2012). A falta de estratégias de adaptação e planejamento de mitigação da semiaridez pode comprometer ainda mais o problema. Ramarao et al. (2019), observaram que a falta de estratégias elevou a expansão das áreas semiáridas na Índia em 10% entre os anos de 1951 e 2005.

Ainda segundo Cabral Júnior & Bezerra (2018), o índice de aridez na região Nordeste do Brasil tende a ser influenciado pela sazonalidade climática e distribuição no padrão de chuvas, sendo mais acentuado nos meses de setembro a dezembro em função da redução na precipitação e aumento nas taxas de evapotranspiração.

Em relação a classificação climática pelo índice de umidade (Iu), observa-se, na Tabela 5, que em todas as cidades o clima foi classificado como C1 – Subúmido-seco, com variação de -0,81 em Pilõesinhos a -0,55 em Lagoa de Dentro. Padrão parecido foi seguido pelo índice de água no solo (Ih),

com valores nulos nos ambientes de clima subúmido-seco e valores positivos nos ambientes classificados como úmido e subúmido-úmido.

Marengo & Benasconi (2015) avaliando as diferenças regionais no índice de aridez sob condições de seca para o Nordeste do Brasil no cenário futuro, observaram que o aumento das secas, redução de chuvas, aumento de temperatura e déficit hídrico serão cada vez mais constantes e, que as regiões hoje classificadas como subúmido-secas se tornarão áridas até o ano de 2100. Eles ainda salientam que o aumento de aridez combinado com a degradação do solo podem aumentar o risco de desertificação no Nordeste brasileiro. No presente estudo, as cidades que se enquadrariam na classe de risco por apresentarem classificação

climática subúmida-seca, seriam: Belém, Caiçara, Lagoa de Dentro, Logradouro, Mulungu e Sertãozinho.

Em relação ao índice de suscetibilidade à desertificação (Ia), as cidades da microrregião de Guarabira que se enquadraram na classe de risco moderada foram: Belém, Caiçara, Lagoa de Dentro, Logradouro, Mulungu e Sertãozinho, as demais se enquadraram na classe de risco superior a moderada. Nesse sentido, é importante frisar que as atividades de uso do solo podem acelerar o processo de degradação e desertificação, e estratégias que adotem o manejo adequado do solo, principalmente nas cidades com classificação moderada serão fundamentais para minimizar o impacto provocado pelas mudanças climáticas.

CONCLUSÕES

A obtenção do balanço hídrico climatológico permitiu caracterizar as épocas do ano mais propícias para a prática da agricultura e agrupar os municípios mais sensíveis ao processo de desertificação.

O período de maior precipitação nas cidades avaliadas estende-se de junho a julho, enquanto o de maior deficiência hídrica concentra-se entre novembro e dezembro. 50% das cidades avaliadas apresentaram superávit hídrico (excesso de água no solo) durante dois meses do ano.

Sete cidades apresentaram máxima capacidade de água disponível no solo

(CAD) abaixo de 80 mm ano⁻¹. O índice de aridez variou de úmido a subúmido-seco, com valores de 0,55 a 1,07. A classificação pelo índice de umidade caracterizou o clima das cidades como C1- Subúmido-seco.

O índice de suscetibilidade à desertificação caracterizou 6 cidades como moderadas e 8 como superior a moderada.

O balanço hídrico climatológico e o índice de aridez demonstraram que 42,85% das cidades apresentaram problemas pontuais de umidade do solo ao longo dos 20 anos analisados.

REFERÊNCIAS

AESA. **Meteorologia do estado da Paraíba: chuvas**. 2020. Disponível em: <http://www.aesa.pb.gov.br/aesawebsite/meteorologia-chuvas/>. Acesso em: 13 abr. 2020.

ALVALÁ, R. C. S.; CUNHA, A. P. M. A.; BRITO, S. S. B.; SELUCHI, M. E.; MARENGO, J. A.; MORAES, O. L. L.; CARVALHO, M. A. Drought monitoring in

the Brazilian semi-arid region. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, 91(1): 1-15, 2019.

ALVES, J. J. A.; SOUZA, E. N.; NASCIMENTO, S. S. Núcleos de desertificação no estado da Paraíba. **Revista R' A EGA**, 17(1): 139-152, 2009.

AQUINO, C. M. S.; OLIVEIRA, J. G. B. Emprego do método de Thornthwaite & Mather (1955) para cálculo do balanço hídrico climatológico do núcleo de degradação de São Raimundo Nonato-Piauí. **Revista Brasileira de Geografia Física**, 6(1): 79-90, 2013.

ARAÚJO, S. M. S. A região semiárida do Nordeste do Brasil: Questões ambientais e possibilidades de uso sustentável dos recursos. **Rios Eletrônica**, 5(1): 89-98, 2011.

BRASIL. Resolução N° 115 de 23 de novembro de 2017. **Aprova a resolução n. 113/2017, que acrescenta municípios a relação aprovada pela resolução CONDEL n. 107**. Brasília, DF: Ministério da Integração Nacional. Disponível em: <http://sudene.gov.br/images/arquivos/conse lhodeliberativo/resolucoes/resolucao11523112017delimitacaodosemiárido.pdf>

CABRAL JÚNIOR, J. B.; BEZERRA, B. G. Análises de evapotranspiração de referência e do índice de aridez para o Nordeste do Brasil. **Revista de Geociências do Nordeste**, 4(1): 71-89, 2018.

CAMARGO, A. P.; CAMARGO, M. B. P. Uma revisão analítica da evapotranspiração potencial. **Bragantia**, 59(2): 125-137, 2000.

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

CAVALCANTI, E. P.; SILVA, V. P. R.; SOUSA, F. A. S. Programa computacional para a estimativa da temperatura do ar para a região Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 10(1): 140-147, 2006.

FRANCISCO, P. R. M.; MEDEIROS, R. M.; SANTOS, D. **Balanço hídrico**

climatológico para a capacidade de campo de 100 mm: estado da Paraíba. 1.ed. Campina Grande: EDUFCG, 2018. 257p.

GUAN, Y.; MA, J.; HUANG, J.; HUANG, R.; ZHANG, L.; MA, Z. Impact of oceans on climate changes in drylands. **Earth Sciences**, 62(6): 891-908, 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cidades @**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pb>. Acesso em: 20 abr. 2020

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa - BDMEP**. 2020. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>. Acesso em: 13 abr. 2020.

LIU, Y.; SHISTHA, N.; XU, X.; WANG, S.; LI, Y.; WANG, Q.; SHADANOV, D.; WANG, Z. Effects of contemporary environments and quaternary climates change on drylands plants diversity differ between growth forms. **Ecography**, 42(1): 334-345, 2019.

LOPES, I. Índice de aridez e tendência a desertificação para estações meteorológicas nos estados da Bahia e Pernambuco. **Revista Brasileira de Climatologia**, 17(1): 155-172, 2015.

MARCOS JÚNIOR, A. D.; SILVEIRA, C. S.; VASCONCELOS JÚNIOR, F. C.; GUIMARÃES, S. O.; COSTA, J. M. F. Classificação climática de Thornthwaite para o Brasil com base em cenário de mudanças climáticas do IPCC-AR5. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 33(4): 647-664, 2018.

MARENGO, J. A.; BERNASCONI, M. Regional differences in aridity/ drought condition over Northeast Brazil: present state and future projection. **Climate Change**, 429(1): 103-115, 2015.

MATALLO JÚNIOR, H. **Indicadores de Desertificação: histórico e perspectivas**. Brasília: UNESCO, 2003, 80p.

MEDEIROS, A. S.; MAIA, S. M. F.; SANTOS, T. C.; GOMES, T. C. A. Soil Carbon losses in conventional farming systems due to land-use change in Brazilian semi-arid region. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, 287(1): 1-9, 2020.

MEDEIROS, R. M.; FRANCISCO, P. R. M.; BANDEIRA, M. M. Balanço hídrico climatológico, em decorrência do aquecimento global, no município de Picuí – semiárido paraibano. **Revista Brasileira de Geografia Física**, 1(1): 59-72, 2012.

MELO, R. R.; LIRA FILHO, J. A.; RODOLFO JÚNIOR, F. Diagnóstico qualitativo e quantitativo da arborização urbana no bairro Bivar Olinto, Patos, Paraíba. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, 2(1): 64-80, 2007.

PASSOS, M. L. V.; SOUZA, J. B. C.; MENDES, T. S. Balanço hídrico e classificação climática para o município de Turiaçu- MA. **Agropecuária Científica no Semiárido**, 14(2): 149-155, 2018.

PROGRAMA ESTADUAL DE COMBATE A DESERTIFICAÇÃO. **PAE-PB**. 2017. Disponível em: <https://paraiba.pb.gov.br/diretas/secretaria-de-infraestrutura-dos-recursos-hidricos-e-do-meio-ambiente/programas/pae-pb>. Acesso em: 22 abr. 2020.

RAMARAO, M. V. S.; SANJAY, J.; KRISHNAN, R.; MUJUMDAR, M.; BAZAZ, A.; REVI, A. On observed aridity changes over the semiarid regions of India in a warming climate. **Theoretical and Applied Climatology**, 136(1): 693-702, 2019.

REED, S. C.; COE, K. K.; SPARKS, J. P.; HOUSMAN, D. C.; ZELIKOVA, T. J;

BELNAP, J. Changes to dryland rainfall result in rapid moss mortality and altered soil fertility. **Nature Climate Change**, 2(1): 752–755, 2012.

ROLIM, G. S.; SENTELHAS, P. C.; BARBIERI, V. Planilhas no ambiente ExcelTM para os cálculos de balanços hídricos: Mensal sequencial, de cultura e de produtividade real e potencial. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, 6(1): 133-137, 1998.

SANTOS, H. G. et al. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5.ed. Brasília: Embrapa, 2018. 356p.

THORNTHWAITE, C. W. An approach toward a rational classification of climate. **Geographical Review**, 38(1): 55-94, 1948.

THORNTWAITE, C. W.; MATHER, R. J. **The water balances**. New Jersey: Laboratory of Climatology, 1955. 144 p.

TRAVASSOS, I, S.; SOUZA, B. I. Solos e desertificação no Sertão paraibano. **Cadernos do Logepa**, 6(2): 101-114, 2011.

UNEP. **World Atlas of Desertification**. London: UNEP: Edward Arnold, 1992. 69p.

ZHANG, Y. W.; SHANGGUAN, Z. P. The change of soil water storage in three land use types after 10 years on the Loess Plateau. **Catena**, 147(1): 87- 95, 2016.