

## DETERMINAÇÃO DA SUSCEPTIBILIDADE À DESERTIFICAÇÃO EM BACIA HIDROGRÁFICA DO SEMIÁRIDO PARAIBANO

Hérika Cavalcante (1); Patrícia Silva Cruz (2); Leandro Gomes Viana (3); José Etham de Lucena Barbosa (4)

<sup>1,2</sup>Doutoranda Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Estadual da Paraíba – UEPB, E-mail: herikacavalcante@yahoo.com; patriciacruz\_biologa@hotmail.com; <sup>3</sup>Ms. Em Ciência e Tecnologia Ambiental, Universidade Estadual da Paraíba – UEPB, e-mail: leandrogomesbiologo@gmail.com; <sup>4</sup> Programa de Pós-Graduação em Ciência Tecnologia Ambiental e Engenharia Ambiental, Universidade Estadual da Paraíba –UEPB, E-mail: ethambarbosa@hotmail.com

**Resumo:** A desertificação é um grave problema da atualidade e têm grandes chances de atingir áreas semiáridas, que são caracterizadas pelo desequilíbrio entre oferta e demanda de recursos naturais, submetidas a condições particulares de clima, solo, vegetação, relações sociais de produção e a distintos modos de vida. Portanto identificar a susceptibilidade à desertificação para áreas semiáridas é importante para gestão adequada dos recursos naturais. Para determinação da susceptibilidade à desertificação é possível utilizar o índice de aridez, que considera as características climáticas do local em estudo. Portanto, este trabalho objetivou determinar a susceptibilidade à desertificação da bacia do rio Paraíba, localizada no semiárido do estado da Paraíba. Para tanto foram obtidos dados climáticos de estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET e realizado o balanço hídrico de quatro estações, uma para cada sub bacia. Por meio do balanço foi possível obter a evapotranspiração real e potencial, esta última, utilizada, juntamente com a precipitação, para o cálculo do índice de aridez. E por fim, com base no índice de aridez, foi determinada a susceptibilidade à erosão da bacia, sendo encontrada alta susceptibilidade em algumas regiões, concentradas nas sub bacias alto curso e Taperoá, e susceptibilidade moderada em regiões da sub bacia médio curso. Além disso, foi verificado, através do balanço hídrico, um alto déficit hídrico durante todo o ano para quase toda a bacia, com exceção para a região da sub bacia baixo curso do rio Paraíba, localizada na zona litorânea do estado, que apresentou não susceptibilidade à desertificação e uma classificação climática, pelo índice de aridez, subúmido úmido, em contraposição com as demais áreas que apresentaram classificação semiárida, como esperado.

**Palavras-chave:** Índice de Aridez, Balanço Hídrico, Secas.

### Introdução

A exploração dos recursos naturais pode desencadear vários problemas ambientais, como a desertificação, que tem se intensificado em todo mundo, provocando efeitos que atingem a ordem política, econômica, social, cultural e ambiental (BARROS, 2010). A desertificação é resultante de inúmeros fatores, que compreendem variações climáticas e atividades humanas, sendo que esta última diz respeito, principalmente, ao uso inadequado dos recursos naturais, solo, água e vegetação (BRASIL, 2004).

No mundo há muitas áreas já desertificadas e outras em processo de desertificação. No Brasil, as áreas consideradas susceptíveis encontram-se no polígono das secas, que abrange o nordeste brasileiro e uma pequena parte do sudeste. O Ministério do Meio Ambiente organizou um documento com o mapeamento das áreas susceptíveis à desertificação no Brasil, que concentram-se

principalmente nas zonas de clima semiárido, dos estados: Pernambuco, Alagoas, Sergipe e Bahia; mas também em subúmido seco, como o norte de Minas Gerais (SCIENTEC, 2011).

As áreas semiáridas são mais susceptíveis ao processo de desertificação devido às suas características peculiares, tais como: solos rasos com pouca cobertura devido a vegetação esparça característica (OYAMA; NOBRE, 2004), além de chuvas intensas que ocorrem de forma concentrada em poucos dias do ano, promovendo uma maior erosão, altas temperaturas, seca prolongada e as altas taxas de evapotranspiração (BARBOSA et al., 2012).

A utilização do índice de aridez, desenvolvido por Thornthwaite, para caracterização da susceptibilidade à desertificação já é um consenso mundial. Tal índice considera a pluviosidade e a perda máxima possível de água pela evaporação e transpiração. É considerado o melhor indicador de áreas vulneráveis à desertificação, uma vez que trabalha com variáveis quantitativas (SAMPAIO, 2003). O índice de aridez é calculado a partir de dados anuais do balanço hídrico climatológico – BCH, é considerado um instrumento agrometeorológico de utilidade e praticidade na caracterização do clima (CAVALCANTI ET AL., 2006).

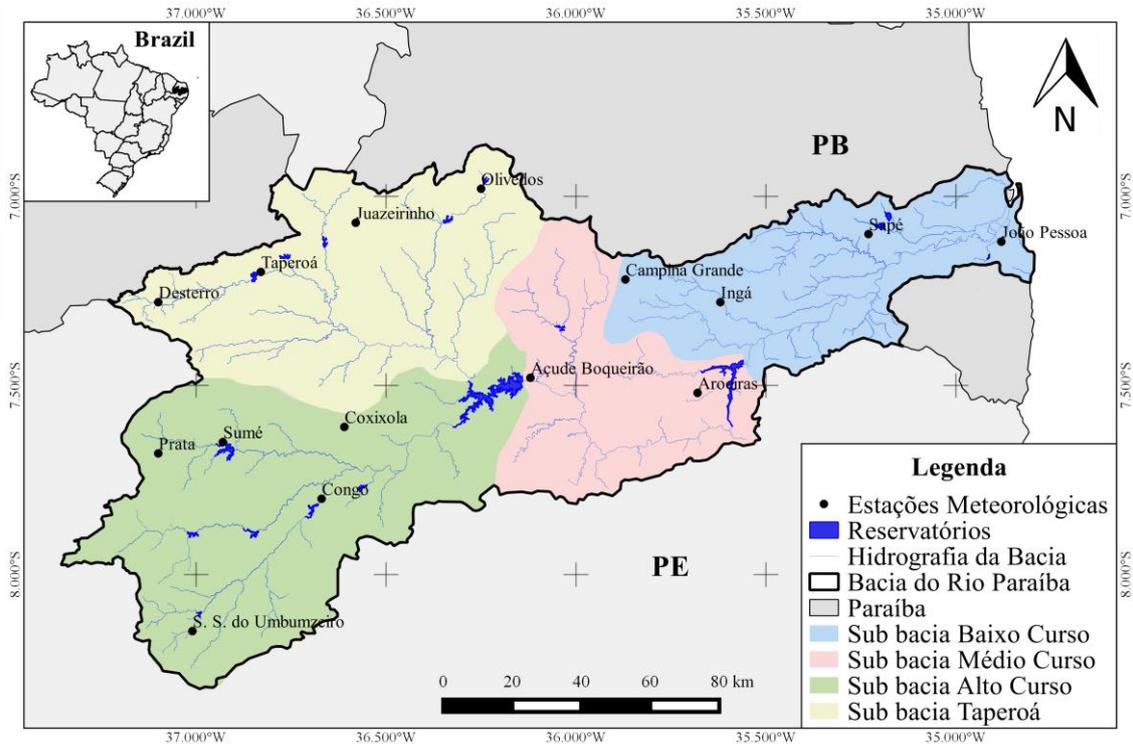
A identificação das áreas de maior susceptibilidade à desertificação a partir do clima vem colaborar na elaboração e direcionamento de políticas públicas e demais projetos para estas áreas. Portanto, este trabalho objetiva determinar a susceptibilidade à desertificação da bacia hidrográfica do rio Paraíba, através do índice de aridez e de dados climáticos, para que seja possível auxiliar com informações e dados para os processos de planejamento e gestão desta bacia.

## **Metodologia**

O estudo foi conduzido na bacia hidrográfica do rio Paraíba (Figura 1), localizada no estado da Paraíba. Com uma área de aproximadamente 20.070 km<sup>2</sup>, abrange cerca de 38% do território paraibano. A bacia do rio Paraíba possui 86 municípios, sendo a segunda maior bacia hidrográfica do estado, atrás apenas da bacia do rio Piranhas (AESAs, 2017).

A área que envolve a bacia possui diversidade de climas e características físicas, além de uma grande extensão geográfica, dividida em quatro regiões, sendo elas: Alto Curso, Médio Curso e Baixo Curso do rio Paraíba além da Sub-bacia do rio Taperoá. A bacia inclui grandes cidades do estado, como a capital João Pessoa e Campina Grande, segundo maior centro urbano, isso proporciona à bacia alta densidade demográfica, abrigando cerca de 52% da população total do estado (AESAs, 2017).

Os dados utilizados no trabalho foram obtidos de estações meteorológicas localizadas no estado da Paraíba, dados estes disponíveis no site do Monitoramento por Satélite da Embrapa, sendo constituinte de uma banco de dados tanto da Embrapa quanto do INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. A tabela 1 e a figura 1 mostram os dados das estações que estão localizadas na área de abrangência da bacia do rio Paraíba.



**Figura 1:** Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba, bem como das Estações Meteorológicas localizadas nela.

**Tabela 1:** Dados das estações meteorológicas pertencentes à bacia do rio Paraíba.

<b>Estações</b>	<b>Longitude</b>	<b>Latitude</b>	<b>Altitude</b>
Coxixola	-36,61	-7,61	465
Desterro	-37,1	-7,28	590
Juazeirinho	-36,58	-7,07	570
Taperoá	-36,83	-7,2	500
Olivados	-36,25	-6,98	545
Açude Boqueirão	-36,12	-7,48	380
Campina Grande	-35,87	-7,22	508
Ingá	-35,62	-7,28	144
Sape	-35,23	-7,1	125
S.S.do Umbuzeiro	-37,01	-8,15	600
Sumé	-36,93	-7,65	510
Congo	-36,67	-7,8	500
Prata	-37,1	-7,68	600
Aroeiras	-35,68	-7,52	340
João Pessoa	-34,88	-7,12	5

(EMBRAPA, 2017)

### **Balanço Hídrico Climatológico**

Foi calculado o balanço hídrico climatológico – BHC, através do programa BHnorm, desenvolvido em planilha eletrônica por Rolim et al. (1998), onde determina-se o exedente e déficit anual através da avaliação da precipitação anual, a avapotranspiração potencial (ETP) e a evapotranspiração real (ETR). A capacidade de água disponível (CAD) adotada foi de 100 mm. Em virtude da grande quantidade de estações ao longo da bacia, foram escolhidas apenas quatro para o cálculo do balanço hídrico. Para melhor representatividade foram escolhidas uma estação representativa de cada sub bacia (Figura 1): da sub bacia baixo curso foi escolhida a estação de João Pessoa; da médio curso, a de Aroeiras; da alto curso, Sumé; e da sub bacia Taperoá, a estação Taperoá.

### **Cálculo do índice de Aridez**

O índice de aridez foi calculado para todas as estações meteorológicas inseridas na bacia. Este índice pode ser calculado pela Equação 1, em que  $I_a$  é o índice de aridez,  $P$  a precipitação anual e  $ETP$  a evapotranspiração potencial anual.

Equação 1:

$$I_a = \frac{P}{ETP}$$

Por meio do índice de aridez é possível determinar a classificação climática do local, através da classificação de Matallo (2003), em que aponta o índice de aridez para os vários climas do planeta (Tabela 2).

**Tabela 2:** Classificação Climática através do Índice de Aridez ( $I_a$ ).

<b>Classes Climáticas</b>	<b>Índice de Aridez</b>
Hiperárido	< 0,05
Árido	0,05 < 0,21
Semiárido	0,21 < 0,50
Subúmido seco	0,51 < 0,65
Subúmido úmido	0,65

(MATALLO JUNIOR, 2003)

### **Susceptibilidade à Desertificação**

Determinada a partir da classificação apontada pelo Plano Nacional de Combate à Desertificação, de acordo com três categorias que variam em conformidade com uma escala do índice de aridez (MATALLO JÚNIOR, 2003) apontada na Tabela 3.

**Tabela 3:** Nível de Susceptibilidade à Desertificação (Sd) através do Índice de Aridez (Ia).

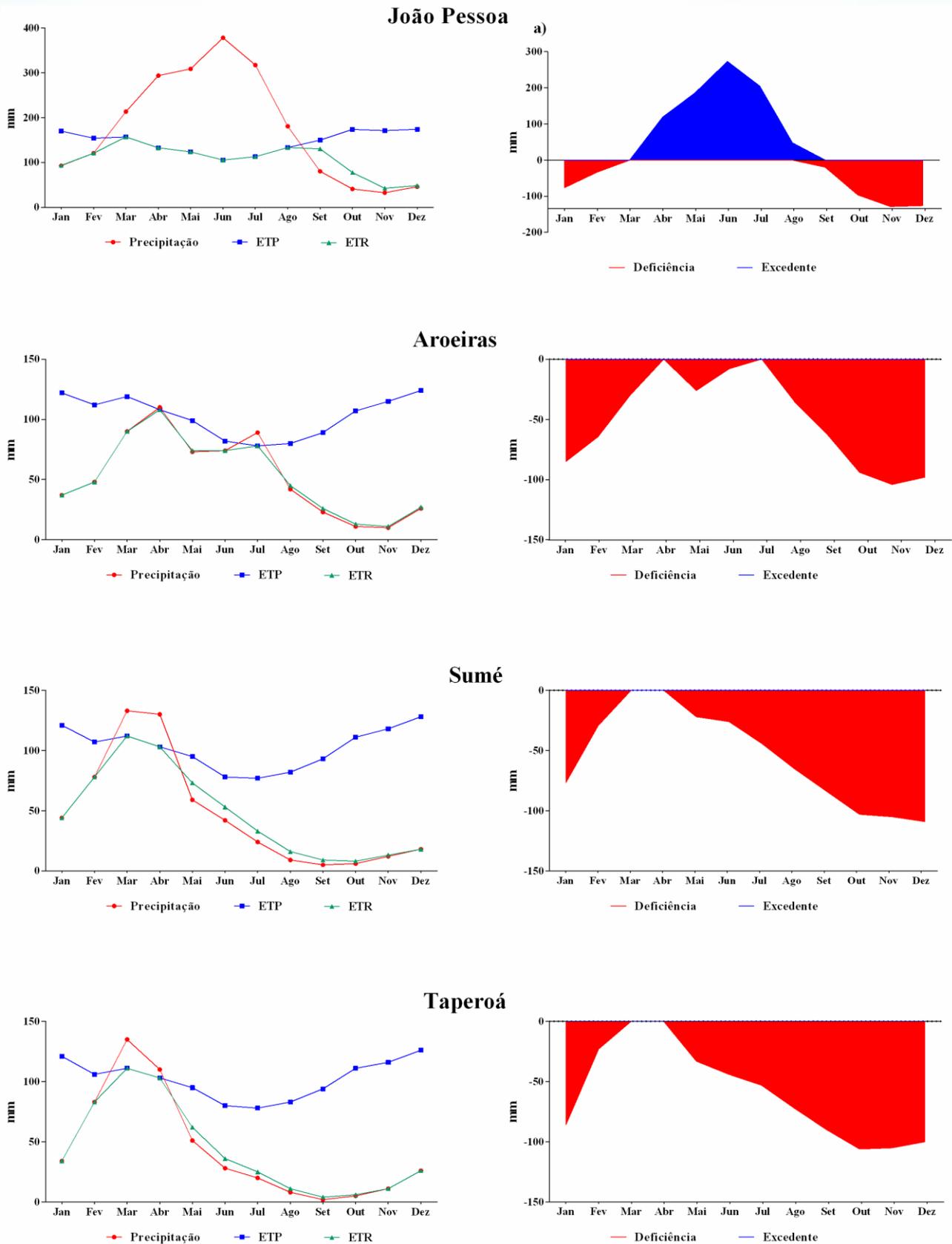
<u>Nível de Susceptibilidade</u>	<u>Índice de Aridez</u>
Muito Alta	0,05 – 0,20
Alta	0,21 – 0,50
Moderada	0,51 – 0,65

(MATALLO JUNIOR, 2003)

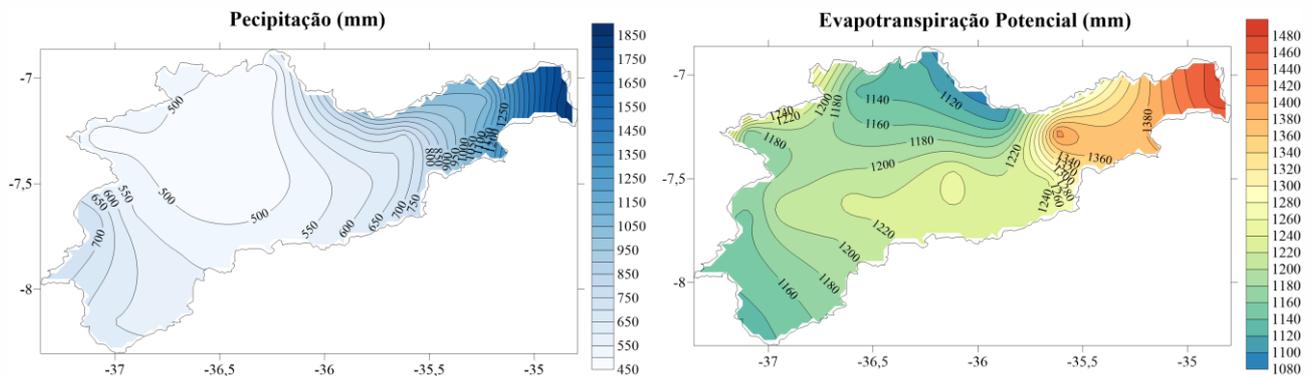
## Resultados e discussão

A plantas são um meio físico passível de transportar água do solo para atmosfera. Por isso, a classificação climática relacionada com a sua característica seca ou úmida parte da exigência hídrica da planta, sendo então necessário o cálculo do balanço hídrico (ROLIM, 2007). O balanço hídrico climatológico (BHC) é um indicador climatológico da disponibilidade hídrica na região, por meio da variação sazonal das condições do BH ao longo de um ano médio (cíclico), ou seja, dos períodos com deficiências e excedentes hídricos (SENTELHAS ET AL, 1999). Através do cálculo do balanço hídrico climatológico quatro estações pertencentes à bacia (Figura 2), pode-se perceber que em grande parte do ano as estações encontram-se em déficit hídrico, alcançando maior valor em meados de novembro. É possível perceber um gradiente de crescimento do déficit com a interiorização da bacia, ou seja, na estação de João Pessoa (Figura 2), localizada na zona litorânea do estado, no baixo curso da bacia, percebemos um déficit menor e conseqüentemente um excedente maior, de acordo com o período de maiores precipitações. Enquanto as estações Aroeiras, Sumé e Taperoá, localizadas no médio curso, alto curso e sub bacia Taperoá, respectivamente, não possuem excedente, caracterizando s regiões de dominância com uma localidade marcada por um grande déficit durante todo o ano (Figura 2).

Estes comportamentos de déficit ou excedente hídrico estão, em primeiro lugar, relacionados diretamente com a pluviosidade registrada por cada estação porém também recebem influência dos valores de temperatura e evapotranspiração potencial (BARROS, 2010). As Figuras 3 a e b mostram, respectivamente a precipitação e a evapotranspiração na bacia do Rio Paraíba. Pode-se perceber que as chuvas (Figura 3 a) são maiores no baixo curso da bacia e bem inferiores no alto curso, corroborando com os dados obtidos no balanço hídrico: valores relativamente altos de excedente hídrico na estação de João Pessoa, chegando a zero nas estações meteorológicas de Aroeiras, Sumé e Taperoá, com déficita bastante elevada. Já a evapotranspiração (Figura 3 b) é maior no baixo curso (Estação de João Pessoa), entretanto, ainda é elevada nas outras subbacias, superando as precipitações ocorridas na região e portanto proporcionando um alto déficit.

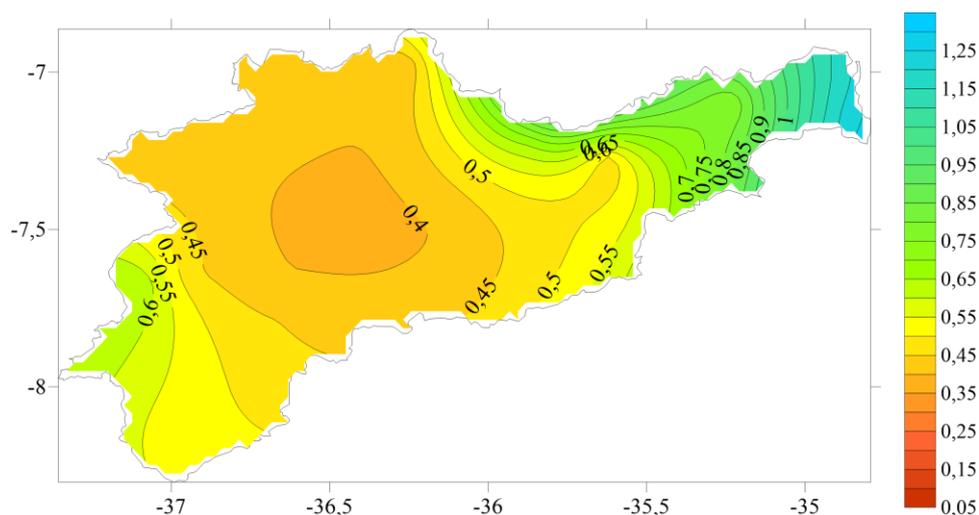


**Figura 2:** Balanço Hídrico Climatológico Normal para as Estações Climatológicas pertencentes à bacia hidrográfica do rio Paraíba.



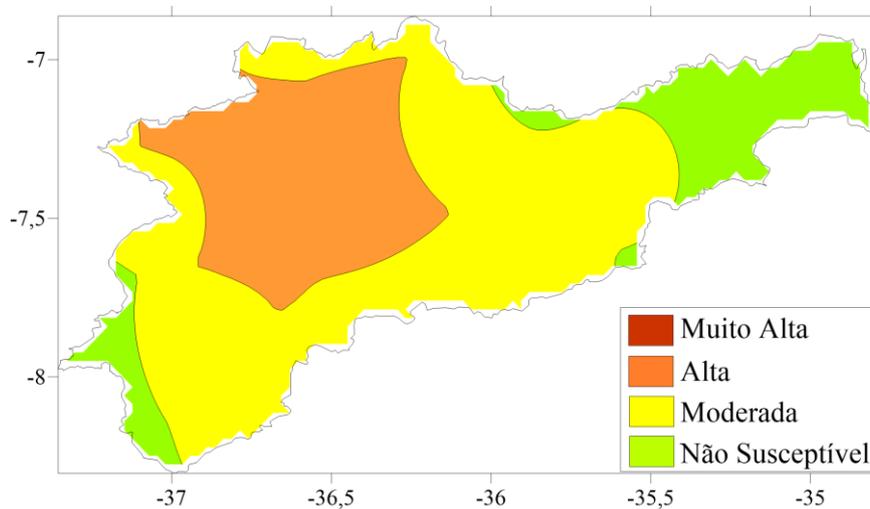
**Figura 3:** (a) Precipitação média anual e (b) Evapotranspiração Potencial na bacia hidrográfica do rio Paraíba.

Após o cálculo dos índices de aridez para as estações, a informação foi espacializada para análise com comportamento do índice no território (Figura 4). Como já esperado, as estações com maior regime pluviométrico anual apresentam um maior índice de aridez, enquanto as estações com menores índices pluviométricos, apresentam menores índices de aridez. A estação de João Pessoa apresentou um índice de aridez de 1,2, logo, pela tabela 2, é classificado como Subúmido Úmido ( $I_a > 0,65$ ); já a estação de Campina Grande apresentou um índice de 0,58, se enquadrando em Subúmido seco; e a estação de Monteiro apresentou um índice de 0,4, enquadrando-se em Semiárido.



**Figura 4:** Espacialização do índice de aridez

Com base nmo índice de aridez é possível inferir sobre a susceptibilidade à desertificação (Tabela 3). A susceptibilidade também foi espacializada (Figura 5), assim como o índice de aridez. Além disso, na Tabela 4 é possível observar o resumo dos dados de cada estação. De acordo com a tabela 2, elaborada por Matallo Junior (2003) quanto menor o índice de aridez, maior a susceptibilidade ao processo de desertificação, o que coloca parte da região do medio curso do rio paraíba e da sub-bacia Taperoá as áreas com maior probabilidade de ocorrência de desertificação, sendo classificada como susceptibilidade alta. Enquanto parte outra porção do médio e do alto cursos foi classificada como susceptibilidade moderada. E por fim, o baixo curso, localizado na zona litorânea, foi classificado como não susceptível, como já era esperado devido às altas pluviosidades e ao maior percentual de excedente hídrico em relação às demais regiões.



**Figura 5:** Susceptibilidade à desertificação da bacia do rio Paraíba.

A importância da determinação do índice de aridez para a desertificação está no fato de a ocorrência deste processo se limitar a áreas secas, e o cálculo deste índice indica exatamente esta condição climática (BARROS, 2010). O índice de aridez é considerado de grande precisão na determinação das áreas vulneráveis à desertificação, já que é o único que utiliza variáveis quantitativas para tal análise (SAMPAIO, 2003).

Em um diagnóstico realizado pela Superintendência do Meio Ambiente da Paraíba (SUDEMA-PB, 2017), em torno de 57,06 % do território Paraibano possui um grau muito alto de suscetibilidade a desertificação, que se estende do Seridó Ocidental, nos municípios de Várzea, São Mamede, até a microrregião de Sousa. Na prática a desertificação se espalha lentamente a partir de pequenos núcleos até atingir grandes superfícies (ALVES ET AL., 2009). Em estudo sobre núcleos

de desertificação no estado da Paraíba, Alves et al (2009) determinaram um núcleo presente em região entre as sub bacias médio Paraíba, alto Paraíba e Taperoá, corroborando com este estudo, que encontrou a maior susceptibilidade nessa região, como mostrado na figura 5.

**Tabela 4:** Resumo dos dados obtidos por estação.

Estações	Precipitação (mm)	Evapotranspiração (mm)	Índice de Aridez	Classificação Climática	Susceptibilidade à Desertificação
Coxixola	487	1226,1	0,40	Semiárido	Alta
Desterro	471	1162,1	0,41	Semiárido	Alta
Juazerinho	497,6	1136,5	0,44	Semiárido	Alta
Taperoá	511,9	1215,4	0,42	Semiárido	Alta
Olivedos	469,2	1123,9	0,42	Semiárido	Alta
Aç Boqueirão	508,7	1247,6	0,41	Semiárido	Alta
Campina Grande	747,5	1116,5	0,67	Subúmido úmido	Não Susceptível
Ingá	667,9	1414,4	0,47	Semiárido	Alta
Sapé	1033,7	1361,9	0,76	Subúmido úmido	Não Susceptível
S.S.do Umbuzeiro	599,6	1141,3	0,53	Subúmido seco	Moderada
Sumé	560	1215,6	0,46	Semiárido	Alta
Congo	543,5	1198,7	0,45	Semiárido	Alta
Prata	744,6	1152,8	0,65	Subúmido seco	Moderada
Aroeiras	630,8	1227,3	0,51	Subúmido seco	Moderada
João Pessoa	1770,8	1468,1	1,21	Subúmido úmido	Não Susceptível

A bacia hidrográfica do rio Paraíba é uma das bacias mais importantes do estado, e portanto é necessário impedir que esses núcleos de desertificação se espalhem e/ou desenvolvam-se. Para evitar essa probleática, ou mesmo mitigá-la, Alves et al (2009), assim como o Programa de Ação Estadual de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca no Estado da Paraíba: PAE-PB, sugerem, inicialmente ter consciência da problemática da região semiárida:

1. Aceitação dos fatos geocológicos: (i) precipitações fracas e irregulares; (ii) recorrência imprevisível de longos períodos secos; (iii) potencial fraco por unidade de superfície; (iv) ecossistemas frágeis e instáveis naturalmente; (v) graves riscos de erosão, de acumulação e de salinização dos solos.

2. Percepção adequada dos critérios econômicos e sociais;

3. A disposição de bons estudos capazes de fornecer uma sólida avaliação de cada unidade ecológica em função das estratégias de desenvolvimento e dos investimentos possíveis.

## Conclusões

As características peculiares da região semiárida, tornam-na frágil às problemáticas como a desertificação. Neste trabalho foi possível verificar um alto déficit hídrico, devido à alta evapotranspiração e baixas precipitações, em todo o ano. Além disso, foi encontrada uma alta susceptibilidade ao processo de desertificação de regiões da bacia do rio Paraíba, principalmente nas sub-bacias alto curso e Taperoá. Devido à grande importância da bacia do rio Paraíba, faz-se extremamente necessário a tomada de providências contra o desenvolvimento do processo de desertificação. Documentos como o Programa de Ação Estadual de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca no Estado da Paraíba: PAE-PB e o Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca dão diretrizes para a tomada de ações que mitiguem os efeitos da desertificação.

## Referências

AESA – Agência Executiva de Gestão das Águas. Disponível em: <http://www.aesa.pb.gov.br>. Acesso em Outubro de 2017.

ALVES, J. J. a.; DE SOUZA, E. N.; DO NASCIMENTO, S. S. Nucleous of Desertification in Paraíba State. **RA'E GA: O ESPAÇO GEOGRÁFICO EM ANÁLISE**, n. 17, p. 139–152, 2009. Disponível em: <<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-83255166554&partnerID=40&md5=0c4f9b1a1960dfeb0670213b4eaaf670>>.

BARBOSA, J. E. de L.; MEDEIROS, E. S. F.; BRASIL, J.; CORDEIRO, R. da S.; CRISPIM, M. C. B.; SILVA, G. H. G. da. Aquatic Systems in Semi-Arid Brazil : Limnology and Management. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 24, n. 1, p. 103–118, 2012.

BARROS, K. de O. **Índice de aridez como indicador da Susceptibilidade à desertificação na mesoregião norte de Minas**. 2010. Universidade Federal de Viçosa, 2010.

BRASIL. Programa de Ação Nacional de Combate À Desertificação E Mitigação Dos Efeitos Da Seca Pan-Brasil. p. 220, 2004.

OYAMA, M. D.; NOBRE, C. A. Climatic Consequences of a Large-Scale Desertification in Northeast Brazil : A GCM Simulation Study. **Journal of Climate**, v. 17, p. 3203–3213, 2004.

[CSL STYLE ERROR: reference with no printed form.]

ROLIM, G.S.; SENTELHAS, P.C.; BARBIERI, V. Planilhas no ambiente Excel para os cálculos de balanços hídricos: normal, seqüencial, de cultura e de produtividade real e potencial. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v.6, p. 133 – 137,1998.

ROLIM, G. S.; CAMARGO, M. B. P.; LANIA, D. G.; MORAES, J. F. L. Classificação climática de Köppen e de Thornthwaite e sua aplicabilidade na determinação de zonas agroclimáticas para o Estado de São Paulo. *Bragantia*. Campinas. v.66, n.4, p.711-720, 2007.

SAMPAIO, E. V. S. B.; SAMPAIO, Y.; ARAÚJO, T. V. S. B.; SAMPAIO, G. R.. Desertificação



no Brasil: conceitos, núcleos e tecnologias de recuperação e convivência. Recife: Editora Universitária da UFPE, 2003. 202 p.

SENTELHAS, P. C. ; PEREIRA, A. R. ; MARIN, F. R. ; ANGELOCCI, L. R. ; ALFONSI, R. R. ; CARAMORI, P. H. ; SWART, S. . Balanços Hídricos Climatológicos do Brasil. Piracicaba: Departamento de Ciências Exatas, 1999 (Boletim Técnico).

SUDEMA. Superintendência de Desenvolvimento e Meio Ambiente da Paraíba. Disponível em: <http://www.sudema.pb.gov.br>. Acesso em: Outubro de 2017.