

## BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO E ANÁLISE DA VULNERABILIDADE A DESERTIFICAÇÃO EM DIFERENTES MUNICÍPIOS DE PERNAMBUCO

Jéssica Vanessa Góis de Siqueira<sup>(1)</sup>; Yara Panta de Araújo<sup>(1)</sup>; Davi Santos Tavares<sup>(1)</sup>; Thieres George Freire Silva<sup>(2)</sup>; Luciana Sandra Bastos Souza<sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup>Graduando na Universidade Federal Rural de Pernambuco/Unidade Acadêmica de Serra Talhada/UFRPE-UAST, 59300-000, Serra Talhada-Pernambuco, Brasil, e-mail:jessicasiqueira@hotmail.com

<sup>(2)</sup>Docente na Universidade Federal Rural de Pernambuco/Unidade Acadêmica de Serra Talhada/UFRPE-UAST, 59300-000, Serra Talhada-Pernambuco, Brasil.

**Resumo do artigo:** O objetivo deste trabalho foi analisar o balanço hídrico climatológico e com base neste, calcular o índice de aridez, como indicador da vulnerabilidade à desertificação em diferentes municípios do estado de Pernambuco. Foram consideradas as cinco Mesorregiões do estado de Pernambuco, sendo doze localidades no total, como segue: São Francisco - Belém do São Francisco e Petrolândia; Sertão – Ibimirim e Mirandiba; Agreste – Caruaru, Garanhuns, Pesqueira e Santa Cruz do Capibaribe; Zona da Mata – Barreiros, Rio Formoso, Vitória do Santo Antão e Metropolitana – Recife. Utilizaram-se pelo menos trinta anos de dados mensais de temperatura e precipitação anual, obtidos por meio da Agência Nacional das Águas (ANA) e do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), na indisponibilidade dos dados de temperatura, estes foram estimados por meio do software EstimaT (DCA/UFCG). Foi realizado o balanço hídrico pelo método de Thornthwaite-Mather (1955) para as localidades. E na análise da susceptibilidade a ocorrência de desertificação considerou-se o índice de aridez (Ia), por meio da relação entre a precipitação e a evapotranspiração potencial. Os resultados indicaram que os municípios da Mesorregião do Agreste, Caruaru e Garanhuns, também Petrolândia apresentam susceptibilidade climática muito alta a desertificação, em detrimento aos demais locais. Os municípios da Mesorregião da Zona da Mata, não apresentaram vulnerabilidade climática à desertificação. Estudos como esses são importantes para orientar nas práticas de conservação do meio ambiente e mesmo o desenvolvimento de políticas públicas para minimizar os efeitos da desertificação.

**Palavras-chave:** Desertificação, Evapotranspiração, Índice de aridez, Precipitação, Pernambuco.

### Introdução

A desertificação representa uma problemática atual, cuja ocorrência pode ser constatada em diversos tipos de clima da Terra, e que resulta da interação dos fatores climáticos e da ação antropológica sobre o ambiente, podendo culminar com a alteração do meio e degradação dos recursos naturais (BRASIL, 2006; SANTOS & GALVÍNIO, 2013).

De acordo com Sampaio (2003) o processo de desertificação tem início com a degradação ambiental e posteriormente atinge as condições sociais e econômicas das populações. Dentre as principais consequências desse processo estão: Redução da fertilidade do solo; favorecimento dos processos de perdas físico-químicas dos solos; redução de áreas agricultáveis, o que pode acarretar na diminuição da produtividade e na renda agropecuária; além de instigar a migração da população dessas localidades (FERREIRA et al., 2014).

Dentre os indicadores utilizados para analisar o grau de susceptibilidade de uma região a desertificação em decorrência do clima está o índice de aridez (Ia) proposto pela Organização das Nações Unidas (ONU), o qual consiste na razão entre a precipitação anual e a evapotranspiração potencial, e que tem sido aplicado com sucesso em vários estudos (SANTOS & GALVÍNIO, 2013; FERREIRA et al., 2014; LOPES et al., 2015). Ainda de acordo com este índice a classificação climática tem sido efetuada, de modo que, o local tem sido considerado como árido quando seus valores oscilarem entre 0,05 e 0,20; semiárido quando estiver entre 0,21 e 0,50; subúmido a seco entre 0,51 e 0,65; e subúmido úmido e úmido quando os valores forem superiores à 0,65 (BRASIL, 2007).

No Brasil, maior parte das áreas suscetíveis à desertificação está concentrada no Nordeste, região esta onde podem se constatar algum grau de deterioração ambiental em aproximadamente 55% do seu território (FERREIRA et al., 2014). No estado de Pernambuco encontram-se 135 municípios com áreas suscetíveis, onde vivem, de acordo com o censo demográfico de 2000, 2.622.519 milhões de habitantes, com uma densidade demográfica de 35,34 hab/km<sup>2</sup> (PERNAMBUCO, 2011). Neste contexto, as análises do balanço hídrico climatológico são importantes por permitir uma melhor compreensão das oscilações da atmosfera e da determinação do (Ia), condicionando a compreensão do grau de susceptibilidade climática ao processo de desertificação, possibilitando o desenvolvimento de estratégias e práticas de manejo que podem garantir a conservação do meio, com utilização dos recursos naturais de maneira racional e sustentável. Diante disto, o objetivo deste trabalho foi analisar o balanço hídrico climatológico e com base neste, indicar a vulnerabilidade de desertificação a qual diferentes municípios do estado de Pernambuco.

## Metodologia

O Estado de Pernambuco abrange uma área de 98.146,3 km<sup>2</sup>, subdividida em 185 municípios, que representa 6% do território do Nordeste brasileiro (IBGE, 2016; SUDENE, 2016). Para a realização deste estudo, foram consideradas doze localidades distribuídas em cinco Mesorregiões do estado, conforme Tabela 1.

**Tabela 1.** Mesorregiões, municípios, localização geográfica: latitude, longitude e altitude, período analisado e fonte de dados dos municípios estudados no estado de Pernambuco.

Mesorregião	Municípios	Lat.	Long.	Alt (m)	Período (anos)	Fonte
<b>São Francisco</b>	Belém de São Francisco	-8°45'	-38° 58'	305	1950-1983	ANA
	Petrolândia	-9°4'	-38°18'	282	1950-1993	ANA
<b>Sertão</b>	Ibimirim	-8°23'	-37°38'	445	1950-1991	ANA
	Mirandiba	-8°7'	-38°44'	425	1963-1993	ANA
<b>Agreste</b>	Caruaru	-8°28'	-35°97'	545	1960-1991	INMET
	Garanhuns	-8°88'	-36°52'	823	1960-1991	INMET
	Pesqueira	-8°37'	-36°70'	650	1960-1991	INMET
	Santa Cruz do Capibaribe	-8°83'	-36°20'	472	1960-1991	INMET
<b>Zona da Mata</b>	Barreiros	-8°83'	-35°20'	23	1960-1991	INMET
	Rio Formoso	-8°67'	-35°15'	39	1960-1991	INMET
	Vitória de Santo Antão	-8°12'	-35°30'	137	1960-1991	INMET
<b>Metropolitana</b>	Recife	-8°03'	-34°92'	4	1960-1991	INMET

No caso dos municípios localizados na mesorregião do São Francisco e do Sertão do estado, os dados de precipitação pluviométrica foram obtidos por meio de estações meteorológicas pertencentes à Agência Nacional das Águas (ANA). Os dados de temperaturas médias (T<sub>m</sub>), máximas (T<sub>x</sub>) e mínimas (T<sub>n</sub>), foram estimados pelo software Estima\_T, desenvolvido pelo Departamento de Ciências Atmosféricas da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, para o intervalo de 1950 a 1993. Para as demais regiões, os dados utilizados referem-se a Normal Climatológica do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), cujos dados de precipitação e temperatura mensais foram compatibilizados, para o período entre 1961 e 1990. Para elaboração do balanço hídrico climatológico foi adotado o método proposto por Thornthwaite-Mather (1955), por meio da

planilha eletrônica elaborada por Rolim et al. (1998). Estes dados foram aplicados no cálculo do índice de aridez ( $I_a$ ), que foi utilizado neste estudo para a análise da susceptibilidade do clima a desertificação das localidades estudadas, conforme proposto por Thornthwaite (1948) e modificado por Penman (1953):

$$I_a = \frac{Prec}{ETp}$$

em que:  $I_a$  corresponde ao índice de aridez,  $Prec$  é a precipitação média anual do local e a  $ETp$  representa a evapotranspiração potencial, calculada conforme Thornthwaite-Mather (1955). Neste caso, quanto menor for o valor da relação, maior será o índice de aridez.

Segundo Santos & Galvêncio (2013) o índice de aridez ( $I_a$ ) indica o grau de susceptibilidade das regiões, a desenvolverem processos de desertificação de acordo com as condições climáticas. Para análise da classificação climática foi adotada dos procedimentos preconizados pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (UNEP, 1992). Adicionalmente, para análise do grau de susceptibilidade climática à ocorrência de desertificação foram utilizados os critérios propostos por Matallo Júnior (2003) e utilizados por Lopes & Leal (2015) (Tabela 2):

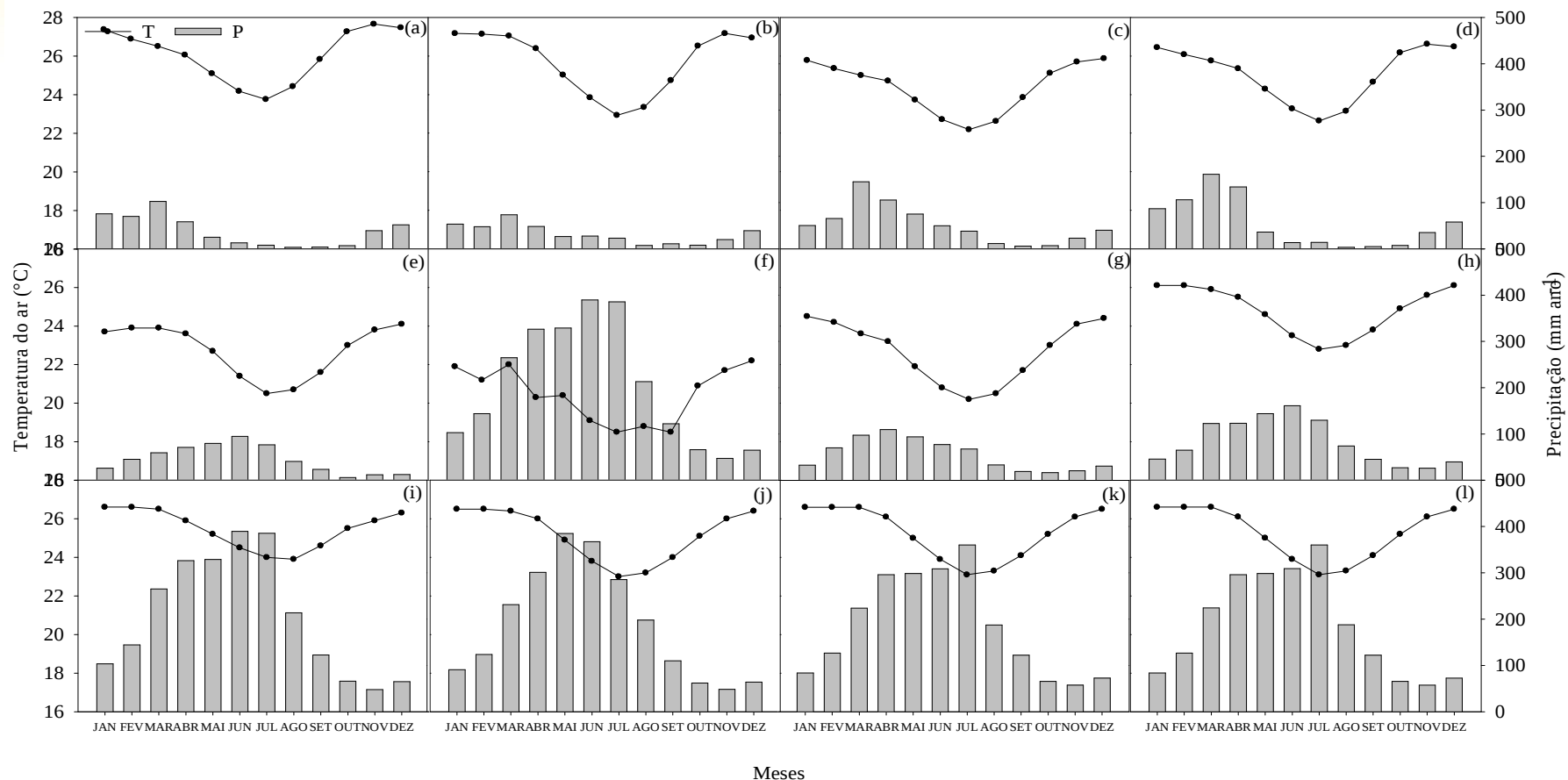
**Tabela 2.** Classificação climática e susceptibilidade de ocorrência da desertificação com base no índice de aridez ( $I_a$ ).

Classificação	Índice de Aridez ( $I_a$ )	Susceptibilidade à desertificação
Hiperárido	< 0,05	-
Árido	0,051 a 0,20	Muito Alta
Semiárido	0,21 a 0,50	Alta
Subúmido seco	0,51 a 0,65	Moderada
Subúmido úmido a úmido	> 0,65	-

## Resultados e Discussão

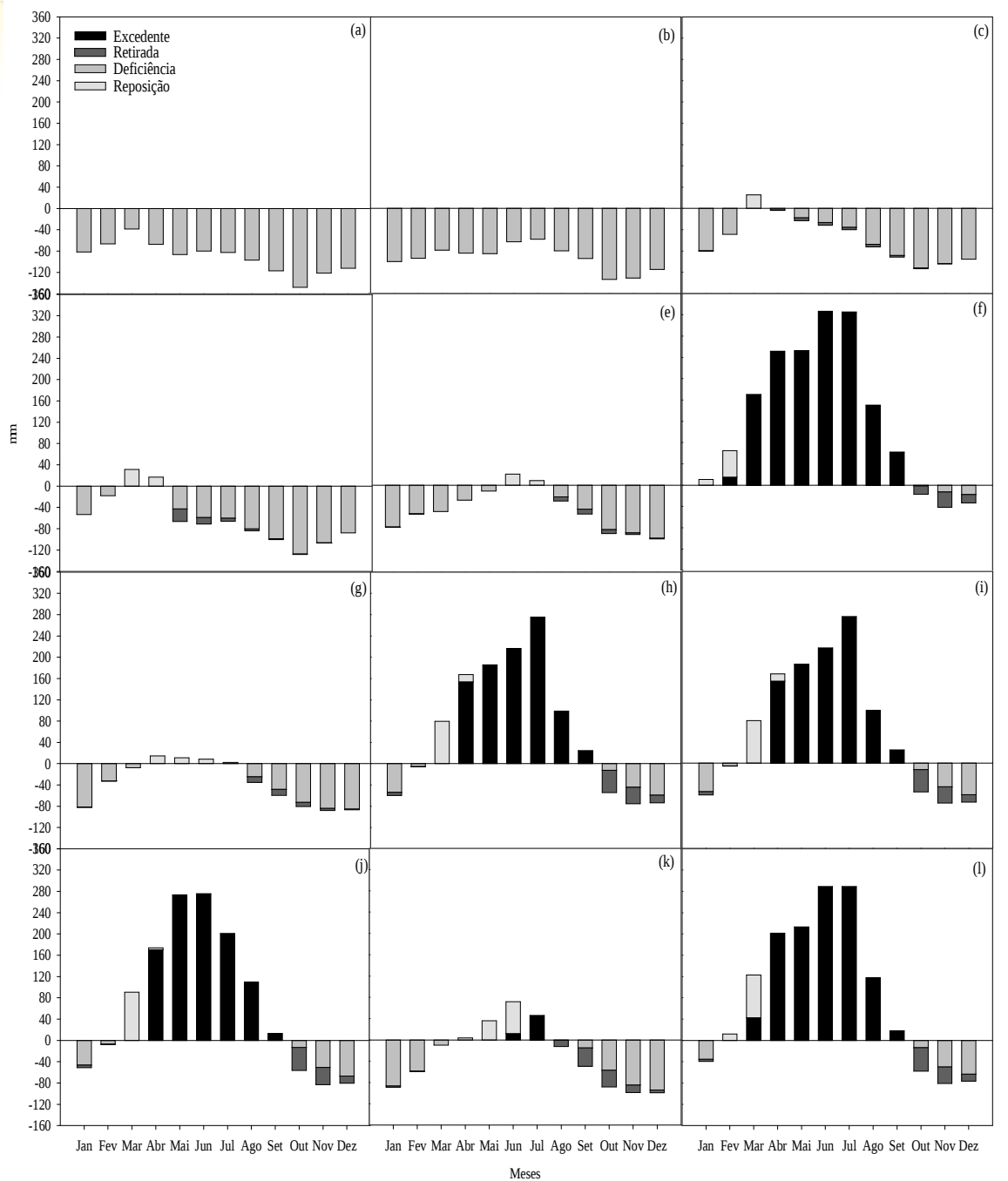


No município de Belém do São Francisco a precipitação média anual foi de 463,6 mm, valor superior ao município de Petrolândia que apresenta precipitação anual de 389,3 mm, sendo este o menor valor de precipitação da Mesorregião do São Francisco, que foram inferiores as observadas no Sertão (Figura 1 a e b). Mirandiba apresenta precipitação anual de 663,8 mm. Na região Agreste os volumes de precipitação foram bastante variáveis, onde pode-se observar Garanhuns com 870,4 mm anuais e os municípios de Pesqueira, Caruaru e Santa Cruz do Capibaribe apresentam precipitações anuais inferiores de 670,6; 549,7 e 472,5 mm, respectivamente (Figura 1 e, f, g e h). Na medida em que se aproximou da região da Zona da Mata e da região Metropolitana percebeu-se um incremento dos volumes, sendo observados em Rio Formoso de 2265,7 mm de chuva e 2457,9 mm de chuva na Região Metropolitana de Recife. Em relação às temperaturas médias mensais dos municípios estudados, na Mesorregião do São Francisco, o município de Belém do São Francisco apresenta o maior valor de temperatura em relação aos municípios das demais Mesorregiões, com temperatura média de 26°C, próximos aos observados na Mesorregião do Sertão. Na Mesorregião do Agreste, Santa Cruz do Capibaribe constitui-se o município que apresenta maior valor de temperatura média com 23,4°C e eventualmente é também o que apresenta menor precipitação. Embora os municípios da Mesorregião da Zona da Mata possuam os maiores valores de precipitação dentre as Mesorregiões do estado de Pernambuco, com exceção da região Metropolitana, apresentam ao mesmo tempo altas temperaturas em torno de 25°C.



**Figura 1.** Comportamento dos elementos meteorológicos temperatura e precipitação pluviométrica para as cinco Mesorregiões do estado de Pernambuco: São Francisco - Belém do São Francisco (a) e Petrolândia (b); Sertão – Ibimirim (c) e Mirandiba (d); Agreste – Caruaru (e), Garanhuns (f), Pesqueira (g) e Santa Cruz do Capibaribe (h); Zona da Mata – Barreiros (i), Rio Formoso (j), Vitória do Santo Antão (k) e Metropolitana – Recife (l).

Fatores como a baixa precipitação e a alta temperatura média explicam a alta demanda hídrica exigida pela Mesorregião do São Francisco, que resultam em maiores taxas de evapotranspiração potencial (ETP) nos municípios de Belém do São Francisco e Petrolândia quando comparadas as demais Mesorregiões. Esses fatores culminam com o déficit hídrico da região, sem excedentes e reposição de chuva concentradas apenas em alguns meses do ano, especialmente no período de verão (Figura 2). Nestas Mesorregiões os baixos valores de chuvas, quando associados à alta demanda atmosférica culminam com balanço hídrico negativo durante praticamente todo o ano. Segundo Patrício et al. (2014) a aridez é característica do clima Semiárido, devida a insuficiência de água para manter a vegetação, e, depende da disponibilidade hídrica oriunda da precipitação e da máxima perda de água pela evapotranspiração potencial. Nas regiões Zona da Mata e Metropolitana por outro lado, a precipitação supera as taxas de evapotranspiração potencial, neste caso, são observados excedentes hídricos especialmente durante o período chuvoso, que nesta situação é observado no inverno.



**Figura 2.** Comportamento do excedente, deficiência hídrica, reposição e retirada de água para as consideradas as cinco Mesorregiões do estado de Pernambuco: São Francisco - Belém do São Francisco (a) e Petrolândia (b); Sertão – Ibimirim (c) e Mirandiba (d); Agreste – Caruaru (e), Garanhuns (f), Pesqueira (g) e Santa Cruz do Capibaribe (h); Zona da Mata – Barreiros (i), Rio Formoso (j), Vitória do Santo Antão (k) e Metropolitana – Recife (l).



Utilizando-se os dados do balanço hídrico climatológico foram obtidos os índices de aridez para cada município estudados das cinco Mesorregiões do estado de Pernambuco. Segundo Matallo (2003), quanto menor o índice de aridez mais árida será a classificação climática do local e maior será a categoria de susceptibilidade a desertificação do local. Os municípios situados na Mesorregião do São Francisco: Belém do São Francisco e Petrolândia e os municípios situados na Mesorregião do Sertão: Ibimirim, Mirandiba, apresentam índice de aridez de 0,21 a 0,50; do mesmo modo que o município de Caruaru. No caso dos municípios, Pesqueira e Santa Cruz do Capibaribe, também localizados na Mesorregião do Agreste são classificados como Subúmido seco, já que possuem índice de aridez entre 0,51 a 0,65. Já os locais estudados na Mesorregião da Zona da Mata: Barreiros, Rio Formoso e Vitória do Santo Antão e o município de Recife situado na Mesorregião Metropolitana de Pernambuco, apresentam índices de aridez acima de 0,65, logo, possuem tipologia climática Subúmido úmido a úmido.

Em conformidade com o índice de aridez (Ia) de cada localidade estudado nas Mesorregiões do São Francisco, Sertão e parte do Agreste, apresentam um nível muito alto de susceptibilidade com base no clima à desertificação: Mesorregião do São Francisco: Belém do São Francisco (0,29) e Petrolândia (0,25); Mesorregião do Sertão: Ibimirim (0,47) e Mirandiba (0,47); Mesorregião do Agreste: Caruaru (0,24), Garanhuns (0,26), com exceção do município de Pesqueira, que apresentou índice de aridez (0,60), se enquadrando na categoria de susceptibilidade a desertificação moderada. Ainda na Mesorregião do Agreste pernambucano, o município de Santa Cruz do Capibaribe com índice de aridez (1,54), semelhantemente aos municípios estudados da Mesorregião da Zona da Mata: Vitória de Santo Antão, Barreiros, Rio Formoso, com os respectivos índices de aridez (0,74; 1,54; 1,61) e Recife situado na Mesorregião Metropolitana, com respectivo índice de aridez (1,69), não apresentaram vulnerabilidade climática a desertificação, já que o índice de aridez destas é superior aos descritos por Matallo (2003). Lopes et al. (2015) estudando o índice de aridez e a tendência a desertificação em algumas localidades de Pernambuco também constataram maiores possibilidades de ocorrência à este processo em outros municípios do Sertão e também em Garanhuns. Esta constatação está relacionada às condições climáticas destes locais com menores volumes de precipitação e rigidez nos

climática a este processo. Do mesmo modo, Dourado et al. (2015) utilizaram variáveis climáticas e o índice de aridez, indicando que Mesorregiões do estado da Bahia apresentam potencial ao processo de desertificação. Esse indicativo é apresentado devido aos baixos valores de precipitação e evapotranspiração potencial local, o que implicará numa alta aridez da região e será prejudicial para alguns polos agrícolas do estado da Bahia.

O índice de aridez tem sido muito utilizado, com sucesso para estimativa da susceptibilidade à desertificação (Lopes et al., 2015; Santos e Galvêncio, 2013; Soares et al., 2011; Ferreira et al., 2014; Silva et al., 2011). Todavia, de acordo com Silva et al. (2011) este índice resulta da combinação de elementos meteorológicos e o desencadeamento do processo em função da variação nestes, e, desta forma, pode ser intensificado em decorrência das ações antrópicas no meio. Assim esta análise pode ser melhorada com a inserção de outros índices de desertificação, como os citados por Brandt e Geeson (2016) como análises de seca, consumo de água, erosão do solo, densidade demográfica, uso do solo, processos erosivos, dentre outros.

## **Conclusões**

Pode-se constatar que os municípios com maior susceptibilidade climática a ocorrência do processo de desertificação foram Caruaru, Garanhuns, localizados na Mesorregião do Agreste e Petrolândia, localizado na Mesorregião do São Francisco. Estas análises podem ser melhoradas em função da utilização de outros índices como que permitam análises das modificações do meio e os impactos das ações antrópicas sobre os recursos naturais. Estudos desta natureza são importantes por permitirem uma melhor compreensão do meio e fornecerem bases para elaboração de políticas públicas.

## **Referências Bibliográficas**

- ANA – Agência Nacional das Águas. Disponível em :  
<http://www2.ana.gov.br/Paginas/default.aspx>. Acesso em: 5 de setembro de 2016.
- BRANDT, J.; GEESON, N. Desertificação e Indicadores. Disponível em:  
[http://www.icnf.pt/portal/naturaclas/ei/unccd-PT/ond/lucinda/a2\\_booklet\\_final\\_pt\\_rev3](http://www.icnf.pt/portal/naturaclas/ei/unccd-PT/ond/lucinda/a2_booklet_final_pt_rev3). Acesso em 15 de outubro de 2016.

BRASIL – Ministério do Meio Ambiente. **Atlas das áreas susceptíveis a desertificação no Brasil**. Organizador do texto: Marcos Oliveira Santana. Brasília, 2007. 134p.

BRASIL – Ministério do Meio Ambiente. **Convenção Internacional de Combate a Desertificação nos países afetados por seca e/ou desertificação**. Brasília, 1994. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/gestao-territorial/combate-a-desertificacao/convencao-da-onu>. Acesso em 15 de setembro de 2016.

DOURADO, C. S.; OLIVEIRA, S. R. M.; AVILA, A. M. H. Indicadores climáticos das áreas com potencial de risco de desertificação no estado da Bahia. Lavras, MG, Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 14. 2015, Lavras, MG. **Anais..** Brasil: O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros, 2015. p. 297.

FERREIRA, P. S.; GOMES, V. P.; SANTOS, A. M.; MORAIS, Y. C.B.; MIRANDA, R. Q.; FERREIRA, J. M. S.; GALVÍNCIO, J. D. Análise do cenário de suscetibilidade à desertificação na bacia hidrográfica do rio Pajeú - Estado de Pernambuco. **Scientia Plena**, v. 10, n. 10, 105401, 2014.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em <http://www.inmet.gov.br/portal/>. Acesso em: 5 setembro de 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. CENSO 2010

LOPES, I.; LEAL, B. G. Índice de aridez e tendência à desertificação para estações meteorológicas. **Revista Brasileira de Climatologia**. Vale do São Francisco. Ano 11, v. 17, jul-Dez. 2015.

MATALLO, J. H. **Desertificação**. 2. ed. Brasília: UNESCO, 2003. 80 p.

PATRÍCIO, M. C. M.; SILVA, V. M. A.; ARAÚJO, S. M. S. Índices de aridez e processo de desertificação em Cabaceiras, In: ENCONTRO DE MEIO AMBIENTE UVA/UNAVIDA, 3. 2014, Campina Grande. Paraíba: Desertificação: Implicações socioambientais no Semiárido Brasileiro, 2014.

PEREIRA, A. R. et al. **Agrometeorologia: Fundamentos e aplicações práticas**, Guaíba: Agropecuária, 2002. 478p.

PERNAMBUCO. **Plano estadual de mudanças climáticas**. Secretaria de Meio Ambiente e Sustentabilidade. Recife, 2011.

ROLIM, G.S.; SENTELHAS, P.C.; BARBERI, V. Planilhas no ambiente Excel para os

potencial. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 6, n.1, p.133 – 137, 1998.

SAMPAIO, E.V.S.B.; SAMPAIO, Y.; VITAL, T.; ARAÚJO, M.S.B. & SAMPAIO, G.R. **Desertificação no Brasil: conceitos, núcleos e tecnologias de recuperação e convivência**, Recife, BRA: Editora universitária da UFPE; 2003.

SANTOS, A. M.; GALVÍNCIO, J. D. Mudanças climáticas e cenários de susceptibilidade ambiental à desertificação em municípios do estado de Pernambuco. **Revista Eletrônica de Geografia**, v.5, n.3, p. 66-83, jun. 2013.

SILVA, E. R. A. C.; MELO, J. G. S.; GALVÍNCIO, J. D. Identificação das áreas susceptíveis a processos de desertificação no médio trecho da bacia do Ipojuca - PE através do mapeamento do estresse hídrico da vegetação e da estimativa do índice de aridez. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 03, p. 629-649, 2011.

SUDENE – SUPERINTENDÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE. Região Nordeste. Disponível em: <http://www.sudene.gov.br/acesso-a-informacao/institucional/area-de-atuacao-da-sudene/regiao-nordeste>. Acesso em: 04 de outubro de 2016.

UNEP. United Nations Environment Programme. **Word Atlas off Desertification**. Londres: UNEP/Edward Arnold, 1992. 69p.

