

AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE SOCIOAMBIENTAL À DESERTIFICAÇÃO NO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO, BRASIL

EVALUATION OF DESERTIFICATION VULNERABILITY IN THE STATE OF ESPÍRITO SANTO, BRAZIL

**Aurélio Azevedo
Barreto-Neto** 

Professor efetivo do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental do Instituto Federal do Espírito Santo (IFES) – Vitória (ES), Brasil.

Anthony Fabríz Marchesi 

Mestrando em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) – Vitória (ES), Brasil.

Endereço para correspondência:

Aurélio Azevedo Barreto-Neto –
Rua Odete de Oliveira Lacourt, 259,
ap. 301 – Jardim da Penha –
CEP 29060-050 – Vitória (ES), Brasil –
E-mail: aurelio@ifes.edu.br

Recebido em: 14/11/2018

Aceito em: 14/03/2019

RESUMO

O processo de desertificação é caracterizado pela influência do clima, que em regiões secas (áridas e semiáridas) é o fator preponderante de fragilidade do ambiente, que provoca déficits sociais e econômicos, que por sua vez retroalimentam o processo por meio da pressão da população sobre o meio ambiente. O índice de vulnerabilidade socioambiental à desertificação (IVSD) foi desenvolvido em um sistema de informações geográficas utilizando dados ambientais e socioeconômicos, tais como taxa de analfabetismo, crescimento populacional, produto interno bruto, rendimento médio da população, precipitação, evapotranspiração, temperatura da superfície, índice de aridez e monitoramento da qualidade da água. No desenvolvimento do IVSD foi realizada uma análise estatística dos dados preparados e calculados. Essa análise consistiu na eliminação dos valores de pico e na divisão de três classes por percentis (classes de vulnerabilidade alta, média e baixa), com percentis de 0 a 33,33%; 33,33 a 66,66%; e 66,66 a 100%, respectivamente. O objetivo desta pesquisa foi desenvolver e avaliar um índice para determinação da vulnerabilidade socioambiental à desertificação no estado do Espírito Santo, visando identificar as regiões mais vulneráveis a esse processo. O IVSD evidenciou uma área localizada no norte-noroeste, que já é considerada oficialmente como uma área susceptível à desertificação, e uma área localizada no extremo sul, que embora possua as mesmas características, não é considerada oficialmente uma área susceptível à desertificação. O IVSD permitiu evidenciar a necessidade de implantação e de melhorias das políticas públicas para promover o avanço no desenvolvimento das regiões mais fragilizadas do Espírito Santo, visando torná-las menos vulneráveis aos processos de desertificação.

Palavras-chave: desertificação; áreas susceptíveis à desertificação; causas da desertificação.

ABSTRACT

The desertification process is characterized by the climate influence, that in dry regions (arid and semi-arid) is the preponderant factor of environmental fragility, which causes social and economic deficits, that turn back to feed the process through population pressure over the environment. The Socio-Environmental Vulnerability Index to Desertification (IVSD) was developed in a Geographic Information System using environmental and socioeconomic data as illiteracy rate, population growth, gross domestic product, average income of population, precipitation, evapotranspiration, surface temperature, aridity Index and water quality monitoring. A statistical analysis of the prepared and evaluated data was used in the development of IVSD. The analysis consisted of eliminating the peak values and dividing the values in three classes by percentiles (high, medium, and low vulnerability classes),

with the percentiles of 0–33.33%; 33.33–66.66%; and, 66.66–100%, respectively. The main objective of the study was to develop and analyze an index to determine the socio-environmental vulnerability to desertification in order to identify the most vulnerable regions to the desertification process in the state of Espírito Santo. The IVSD evidenced an area in the North-Northwest that was officially considered as a susceptible area to desertification, and an area on the South, that although having the same characteristics, isn't officially considered as a susceptible area to desertification. The IVSD permitted to highlight the need of implementing and improving public policies to promote progress in the development of the most fragile regions of Espírito Santo, to make them less vulnerable to desertification processes.

Keywords: desertification; desertification susceptible areas; desertification causes.

INTRODUÇÃO

A falta de planejamento no uso e ocupação do solo, a prática de atividades agropecuárias sem o uso de técnicas conservacionistas do solo e água, e a não observância e consideração da aptidão natural do meio ambiente têm levado muitas áreas rurais a sofrerem um processo de degradação dos solos e dos recursos hídricos. A degradação desse capital natural tem como consequência a perda da fertilidade dos solos, apresentando como consequências a dificuldade para fixação das vegetações, intensos processos erosivos, assoreamento de corpos d'água e decréscimo da disponibilidade de água no solo. Esses fatores, alinhados às alterações climáticas tais como falta de chuva, redução da umidade do ar e aumento da incidência solar, têm contribuído para a intensificação dos processos de desertificação (KASSAS, 1995; D'ODORICO *et al.*, 2013; ZHANG *et al.*, 2015).

Os processos de desertificação nos espaços semiáridos brasileiros começaram a ser formalmente identificados nos anos 1970 (BRASIL, 2005), sendo o semiárido brasileiro configurado como “um deserto atípico, diferenciado do típico deserto saariano pela incidência de precipitações e natureza do solo, mas com as mesmas implicações de inabitabilidade das terras”, segundo Vasconcelos Sobrinho (1974 *apud* BRASIL, 2005).

Na América Latina, mais de 516 milhões de hectares são afetados pela desertificação. Como resultado desse processo, perdem-se 24 bilhões de toneladas por ano da camada arável do solo, o que afeta significativa-

mente a produção agrícola e o desenvolvimento econômico (FAO, 1998).

Alguns sistemas têm sido desenvolvidos para avaliar a vulnerabilidade à desertificação de algumas regiões no planeta, tais como o *Environmental Sensitive Area*, que monitora a região mediterrânea utilizando quatro indicadores ambientais (clima, solo, vegetação e tipo de ocupação do solo) (FERRARA *et al.*, 2012). O índice de risco à desertificação desenvolvido para a região de Gansu, China, consiste em uma técnica de modelagem estatística que utilizou 20 fatores socioeconômicos visando explorar a variabilidade temporal e espacial da desertificação (DANFENG; DAWSON; BAOGUO, 2006). Feoli *et al.* (2003) desenvolveram um índice de risco à desertificação com bons resultados utilizando imagens de satélite com índice de vegetação, índice de aridez e parâmetros ecofisiológicos da região. Dharumarajan *et al.* (2018), utilizando dados de clima, uso do solo, solos e dados socioeconômicos, criaram um índice de vulnerabilidade à desertificação para uma região da Índia utilizando um modelo de análise multivariada com resultados bem satisfatórios. Um estudo no Brasil, em Ouricuri, Pernambuco, desenvolvido para a identificação dos processos de desertificação a partir da modelagem de séries temporais de imagens de satélite Landsat (TM), usando índice de vegetação e um método de estimação de tendência de séries temporais, apresentou-se viável para a região estudada (SOUSA *et al.*, 2013).

O estado do Espírito Santo sofreu nas últimas décadas um processo acelerado de desmatamento, restando

atualmente apenas 12% de remanescentes da mata atlântica, que se encontram dispersos em pequenos fragmentos florestais (FSOSMA & INPE, 2011).

Ainda, conforme dados apresentados pela Cedagro (2012) para o ano base de 2010, 8,54% das terras do estado estão degradadas, sendo que desses, 16,65% correspondem ao percentual de áreas agrícolas degradadas. Essas áreas tornaram-se degradadas principalmente devido às atividades de cultura do café e pastagens, tanto na fase do desmatamento para a sua implantação como também no manejo inadequado.

Em 1997 o Brasil tornou-se signatário da Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação (UNC-CD), que considera desertificação como a degradação da terra nas regiões áridas, semiáridas e subúmidas secas, em resposta às variações climáticas e às atividades antrópicas, principalmente as relacionadas com o uso inadequado dos recursos naturais (solo, vegetação e água) (BRASIL, 2007; 2011). A metodologia estabelecida pela UNCCD para a delimitação dessas áreas foi o índice de aridez (IA) definido por Thornthwaite (1941), o qual é calculado pela razão entre a precipitação (P) e a evapotranspiração potencial (EP) (Equação 1). A UNCCD considera como zonas áridas, semiáridas e subúmidas secas, todas as áreas, com exceção das polares e das subpolares, com índice de aridez entre 0,05 e 0,65.

$$IA = \frac{P}{EP} \quad (1)$$

As áreas secas ($0,05 < IA < 0,65$) atualmente cobrem 41% da superfície do planeta e são habitadas por 35%

da população global. Essas áreas possuem uma população de mais de dois bilhões de habitantes, com 90% dessa população vivendo em países em desenvolvimento. Algumas dessas regiões estão sob insegurança alimentar e apresentam baixa qualidade de vida, estando propensas a uma desertificação acelerada (D'ODORICO *et al.*, 2013).

Ainda, a susceptibilidade à desertificação de uma determinada área pode variar de “muito alta” a “moderada”, conforme variação do IA de 0,20 a 0,65, respectivamente. Quanto mais seca a localidade e maior for a demanda descontrolada por recursos naturais, maior será a sua susceptibilidade à desertificação. O IA classifica o clima de uma região conforme a Tabela 1.

Atendendo ao compromisso básico dos países signatários da UNCCD, em 2004 o Brasil elaborou o Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca (PAN-Brasil). O PAN-Brasil é um instrumento norteador para a implantação de ações de controle e combate à desertificação que atua prioritariamente em áreas que estão sujeitas a processos de desertificação, denominadas áreas susceptíveis à desertificação (ASD).

Especificamente no Brasil, as ASD correspondem a áreas de climas subúmido seco, semiárido e áreas do entorno (áreas no entorno das áreas semiáridas e subúmidas secas). Essas regiões ocupam cerca 1.340.000 km² e afetam aproximadamente 30 milhões de pessoas. Aproximadamente 15% dessas áreas já se encontram em processo grave e muito grave de desertificação, estando situadas no nordeste e sudeste do país (BRASIL, 2007).

Tabela 1 – Classificação climática conforme o índice de aridez.

Classe	Valor do índice
Hiper árido	< 0,03
Árido	0,03–0,2
Semiárido	0,21–0,5
Subúmido e seco	0,51–0,65
Subúmido e úmido	> 0,65

Fonte: Brasil (1997).

Historicamente, essas áreas, geralmente pertencentes a um ecossistema mais sensível, como é o caso da Caatinga, têm sofrido um desgaste excessivo e desenfreado dos recursos naturais, particularmente da vegetação nativa, que tem provocado uma série de problemas ambientais, destacando-se:

- as queimadas;
o excesso de pastoreio e extrativismo;
- os processos erosivos, principais protagonistas no desencadeamento da desertificação, principalmente quando associados a um déficit hídrico (TRAVASSOS & SOUZA, 2011; SOUZA; ARTIGAS; LIMA, 2015).

As ASD no Brasil ocupam áreas dos estados do Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia, Minas Gerais, Maranhão e Espírito Santo. No estado do Espírito Santo, 24 municípios situados ao norte e a noroeste do estado são considerados como ASD. Essas áreas possuem extensão de 16.680 km², representando 36% do território estadual (BRASIL, 2005).

Os impactos ambientais provocados pelas secas influenciam diretamente a sociedade e sua economia. As secas reduzem as atividades geradoras de riquezas, diminuindo o poder de compra da população envolvida e proporcionando um baixo nível de desenvolvimento dessas forças produtivas, levando essa população a um déficit social, cultural e de saúde. Toda essa problemática apresentada contribui também para a continuidade da degradação ambiental e, conseqüentemente, dos processos de desertificação (CARVALHO & EGLER, 2002).

Pedroso e Lima (2012), em análise realizada no núcleo de desertificação de Gilbués, no Piauí, observaram que o analfabetismo, a fome e a falta de infraestrutura e de trabalho locais não podem ser justificados apenas pelo clima da região, mas derivam da postura da sociedade e do Estado diante dessa situação. Esses autores ainda recomendam uma atuação mais presente do Estado para mudar a conjuntura da região, observando-se a necessidade de desenvolvimento educacional e técnico dos agropecuaristas, além da importância de se ampliar as ações do Estado aos municípios do entorno.

Para avaliação da situação e do desempenho econômico de uma região, utiliza-se principalmente o produto

interno bruto (PIB), que infere sobre o montante de valorização econômica produzido pela agricultura, indústria e serviços. Porém, uma vez que o PIB não se traduz automaticamente em desenvolvimento humano, o mesmo apresenta-se limitado para avaliações sociais (BARBOSA *et al.*, 2015).

Mas nesse caso, para gerar um desenvolvimento econômico são necessários investimentos em educação para promoção de profissionais qualificados e tecnologia para aumentar a competitividade de um país no mercado internacional (BARBOSA *et al.*, 2015). Nesse sentido, um índice básico de educação, a taxa de alfabetização, mede o grau de instrução de uma amostra pela avaliação da capacidade das pessoas de 15 anos ou mais, que por própria declaração, afirmam saber ler e escrever um bilhete simples no seu idioma. Sendo assim, a taxa de analfabetismo representa o número de pessoas que declaram não saber ler ou escrever aceitavelmente (IBGE, 2015).

Cadaval (2010) buscou identificar, por meio de um estudo empírico, a relação entre a qualidade da educação e o PIB *per capita* brasileiro. Identificou que a educação brasileira apresentou avanços tanto no número de matrículas quanto na taxa de alfabetização, porém o país ainda convive com uma educação deficitária se comparada à de outros países com o mesmo perfil de desenvolvimento. O Brasil apresentou redução frequente na taxa de analfabetismo, tendo atingido 9,21% em 2007 (CADAVAL, 2010) e estando em torno de 8,65% em 2012 (IBGE, 2015). O Espírito Santo apresentava 93% da população alfabetizada em 2012 e a Região Sudeste apresentava em média 94,5% (IBGE, 2015).

Em complemento aos parâmetros já citados, temos também o rendimento médio mensal, que expressa a renda média mensal da população com mais de 15 anos de idade, e a taxa de crescimento populacional (IBGE, 2015).

Silva *et al.* (2014) utilizaram o índice de desenvolvimento humano (IDH) e o índice de pobreza humano municipal (IPHM) para descrever a situação socioeconômica da região do Cariri, na Paraíba. Nesse trabalho, observaram a importância desses índices para o aprofundamento do conhecimento sobre o processo de desertificação no Cariri, identificando a população absoluta como responsável pela pressão sobre os recursos naturais. Quanto ao IDH nas ASD, foi verificado que 99%

dos municípios encontram-se abaixo do valor nacional e que 96% apresentavam taxa de mortalidade infantil acima da média nacional em 2002 (BRASIL, 2005).

Em princípio, Sousa *et al.* (2008) buscaram avaliar a vulnerabilidade socioeconômica e ambiental na região de desertificação do Cariris Velhos, na Paraíba. Para tanto, utilizou-se dados adquiridos por meio de questionários aplicados aos produtores rurais, posteriormente processados em *software* estatístico de vulnerabilidade. Como resultado, concluiu-se que as famílias dos municípios investigados estão altamente vulneráveis à ausência de desenvolvimento sustentável, alegando que a ausência de políticas públicas, agravos do clima com estiagens e a retirada das coberturas vegetais com posterior uso de técnicas não conservacionistas, diminuindo a fertilidade dos solos, como sendo os principais fatores e impactos.

Tavares (2014) também utilizou questionários para avaliação socioeconômica e ambiental, para um mesmo município que Sousa (2008), São João do Cariri, e atingiu 10% da população rural local, tendo avaliado fatores de vulnerabilidade social (demografia, participações sociais etc.), econômica (produção agropecuária etc.), tecnológica (tecnologias, máquinas etc.), e secas (manejo da caatinga, ocupação nas estiagens etc.). Entretanto, como resultado, o mesmo identificou vul-

nerabilidade social alta, associada à falta de estrutura no campo e de educação, mas vulnerabilidade moderada para os eixos tecnologias e secas, e baixo para a questão econômica.

Enquanto isso, Lima e Borges (2014) já buscaram uma espacialização de indicadores sociais envolvidos com o processo de desertificação em dois municípios, Pedro Alexandre e Uauá, na Bahia, tendo trabalhado com dados de renda *per capita*, taxa de alfabetização e densidade demográfica. Como resultado, constatou-se, partindo-se do princípio da já existente vulnerabilidade ambiental pelo clima, que ocorrem agravos de ordem social pelo mau uso dos recursos naturais, associados a problemas sociais e econômicos da região.

Silva (2011) concluiu que, nas regiões de desertificação, a pressão da população sobre os recursos naturais leva à degradação do ambiente que já é frágil, que por sua vez degradado retroalimenta o ciclo de pobreza e miséria na região, tornando-a cada vez mais vulnerável a uma degradação ambiental, econômica e social.

Dessa forma, este trabalho teve como objetivo desenvolver e avaliar um índice acessível e aplicável para determinação da vulnerabilidade socioambiental à desertificação no estado do Espírito Santo, utilizando dados socioeconômicos e ambientais.

MATERIAIS E MÉTODOS

Materiais

Os materiais utilizados nesta pesquisa foram: imagens do sensor MODIS contendo a temperatura da superfície terrestre, obtidos na Agência Espacial Americana (NASA); dados pluviométricos adquiridos no portal Hidroweb (2018), disponibilizados pela Agência Nacional de Águas (ANA); dados do índice de qualidade da água (IQA), adquiridos na Agência Estadual de Recursos Hídricos do Espírito Santo (AGERH); o mapa político do

estado, adquirido na plataforma online do Sistema Integrado de Bases Geoespaciais do estado do Espírito Santo (GEOBASES); os dados socioeconômicos municipais referentes ao produto interno bruto (PIB); taxa de alfabetização, crescimento populacional e rendimento médio da população, adquiridos na plataforma online de dados municipais do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

Método

Preparação e cálculos dos dados

Os valores de temperatura utilizados neste trabalho foram obtidos do sensor MODIS que está a bordo do satélite Terra. Os dados de temperatura da superfície terrestre referiram-se ao produto MOD11C3, que re-

presenta a média mensal da temperatura da superfície. Esses dados foram processados e mosaicados no *software* MRT (*MODIS Reprojection Tool*), desenvolvido pela NASA e disponibilizado para uso de forma gratuita.

Como existe uma diferença entre a temperatura da superfície terrestre (imagens MODIS LST) e as temperaturas medidas em estações climatológicas (essas estações registram a temperatura do ar acima da superfície), foi necessária a realização de um ajuste, conforme desenvolvido por Barreto Neto e Marchesi (2012), visto que a metodologia utilizada para o cálculo do IA utiliza dados de temperatura do ar e não da superfície do solo.

Com os dados de temperatura ajustados, a evapotranspiração foi calculada utilizando o método de Thornthwaite (1941), definido como padrão pela UNCCD e que utiliza a Equação 2.

$$EP = 16,2 \left(10 \times \frac{T}{I} \right)^a \quad (2)$$

Em que:

EP = a evapotranspiração potencial (mm/mês);

T = a temperatura média mensal ($^{\circ}C$);

I = o índice de calor anual, obtido pelo somatório dos 12 índices i (um para cada mês do ano), utilizando a Equação 3.

$$I = \sum i_j \quad (\text{com valores de "j" entre 1 e 12}) \quad (3)$$

Em que:

i_j = calculado pela Equação 4, com t_j sendo a temperatura mensal, e a definido pela Equação 5.

$$i_j = \left(\frac{t_j}{5} \right)^{1,514} \quad (4)$$

$$a = 675 (I \cdot 10^{-3})^3 - 77,1 (I \cdot 10^{-3})^2 + 1,792 (I \cdot 10^{-5}) + 0,49329 \quad (5)$$

Para o cálculo da evapotranspiração de cada mês, foi necessário gerar um mapa do índice de calor (I) e um mapa do parâmetro a para cada ano. Posteriormente foram gerados mapas anuais da evapotranspiração a partir das evapotranspirações mensais, que posteriormente resultaram em um mapa final gerado pela média da evapotranspiração dos 13 anos em análise.

Em seguida, as informações de precipitação foram adquiridas da base nacional de estações pluviométricas e passaram por uma avaliação, em planilha eletrônica, para identificação de falhas nos dados, ou seja, ausências de medições. Para ajuste das planilhas, com o preenchimento das falhas, utilizou-se o método da ponderação regional, definido por Tucci (2015). Na sequência, os dados foram interpolados pelo método de interpolação inverso do quadrado da distância, pelo fato desse método apresentar menor erro médio quadrático para dados de precipitação (MAGALHÃES *et al.*, 2013), gerando assim mapas de pluviosidade espacial.

Com a obtenção dos mapas de pluviosidade e evapotranspiração para um mesmo período de análise, realizou-se o cálculo do IA do estado do Espírito Santo, conforme metodologia adotada pela UNCCD, expressa na Equação 1.

Os pontos de monitoramento do IQA do programa de monitoramento das águas superficiais da AGERH (2015) foram espacializados no mapa de divisão política visando identificar os municípios que contêm pontos de análise de qualidade da água e os que não contêm.

A taxa de crescimento populacional, que infere sobre a média percentual de incremento da população, foi avaliada pelo método da taxa média geométrica de crescimento, que é calculada para duas populações conhecidas de tempos determinados, conforme Equação 6 (IBGE, 2015). Nesta pesquisa, os tempos determinados referiram-se aos períodos de censo demográfico de 2000 e de 2010.

$$i = \sqrt[n]{\frac{P(t+n)}{P(t)}} - 1 \quad (6)$$

$P(t)$ = população num tempo inicial;

$P(t+n)$ = população no tempo final;

n = número de anos de diferença entre o ano inicial (t) e final ($t+n$), resultando na taxa de crescimento geométrico (i) em percentual.

Os demais dados de PIB, analfabetismo e rendimento médio foram obtidos do censo demográfico nacional, realizado em 2010, e foram organizados em planilhas e lançados em ambiente do Sistema de Informações Geográficas (SIG), expressando um valor a cada município.

Desenvolvimento do índice de vulnerabilidade socioambiental à desertificação

O desenvolvimento do índice de vulnerabilidade socioambiental à desertificação (IVSD) iniciou-se com a análise estatística dos dados preparados e calculados. Essa análise consistiu na eliminação dos valores de pico (*outlier*) e na divisão de classes por percentis. Os dados utilizados nesta pesquisa foram divididos em três classes: de alta, média e baixa vulnerabilidade, formadas pelos percentis de 0 a 33,33%; 33,33 a 66,66%; e 66,66 a 100%, respectivamente, do valor da amplitude amostral de cada parâmetro sem seus respectivos valores de pico (*outliers*). Uma reclassificação em ambiente SIG categorizou as classes em 1, 2 e 3, conforme a Tabela 2, representando a valoração do índice para cada classe de cada parâmetro.

Essa reclassificação foi realizada como artifício para permitir uma álgebra entre os oito mapas (um para cada parâmetro) utilizados. Os oito mapas foram somados, obtendo um mapa final com categorias variando de 8 a 24. Na sequência, esse mapa final foi classificado em três classes de 0 a 33,33% (classe baixa); 33,33 a 66,66% (classe média); e 66,66 a 100% (classe alta), referentes à amplitude total dos valores do índice de vulnerabilidade socioambiental.

Para a análise de comparação final optou-se, nesta pesquisa, por dividir os municípios em duas classes:

- municípios pertencentes às ASD (24 municípios);
- municípios não pertencentes às ASD (54 municípios), denominados de NASD.

APLICAÇÃO DO ÍNDICE DE VULNERABILIDADE À DESERTIFICAÇÃO NO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

Interpretação dos resultados dos dados preliminares

No mapa da precipitação (Figura 1A), observa-se que os municípios com as menores precipitações estão lo-

calizados no norte e noroeste do estado, justamente na área de limite das ASD onde as precipitações são infe-

Tabela 2 – Classes dos parâmetros analisados para composição do índice de vulnerabilidade socioambiental à desertificação.

Mapa	Parâmetro	Definição das classes		
		Alta vulnerabilidade (classe 3)	Média vulnerabilidade (classe 2)	Baixa vulnerabilidade (classe 1)
E	Precipitação (P) (mm)	$P < 1.255$	$1.255 < P < 1.440$	$P > 1.440$
F	Evapotranspiração (Evp) (mm)	$Evp > 1.200$	$1.000 < Evp < 1.200$	$Evp < 1.000$
H	Índice de aridez (IA)	$IA < 1,15$	$1,15 < IA < 1,5$	$IA > 1,5$
B	Taxa de analfabetismo (TA) (%)	$TA > 14,75$	$11 < TA < 14,75$	$TA < 11$
D	Rendimento médio (Rm) (R\$)	$Rm < R\$ 1.675$	$R\$ 1.675 < Rm < R\$ 2.080$	$Rm > R\$ 2.080$
A	Produto interno bruto (PIB) (R\$)	$PIB < R\$ 990.000$	$R\$ 990.000 < PIB < R\$ 1.920.000$	$PIB > R\$ 1.920.000$
C	Crescimento populacional (CP) (%)	$CP < 0,55$	$0,55 < CP < 1,45$	$CP > 1,45$
G	Pontos de índice de qualidade da água	Não Possui	Possui	
	IVSD	$I \geq 17$	$13 \leq I \leq 16$	$I \leq 12$

riores a 1.000 mm de média anual. As maiores precipitações ocorrem ao sul e a leste do estado, embora se tenham detectado, no sul do estado, dois municípios com taxas de precipitação semelhantes às encontradas nas ASD.

No mapa de evapotranspiração média (Figura 1B), observa-se que as maiores taxas de evapotranspiração estão localizadas ao norte e a noroeste nos limites das ASD e no seu entorno, apresentando valores maiores que 1.500 mm. Analisando a porção sul do estado, observam-se também alguns municípios com altas taxas de evapotranspiração, similares às encontradas nas ASD.

Os dados socioeconômicos apresentaram características distintas. O PIB, apresentado na Figura 2A, evidenciou a disparidade de produção econômica entre a região litorânea e o interior do estado por conta da

presença da atividade industrial mais intensa no litoral. No entanto, a taxa de analfabetismo evidenciou o déficit educacional existente nas ASD, indicando que estão no noroeste do estado as maiores vulnerabilidades existentes referentes a essa situação, conforme a Figura 2B.

O crescimento populacional, apresentado na Figura 2C, mostrou-se predominante nas regiões litorâneas, porém adentrando o interior do estado por eixos norte, centro e sul, mas se apresentou baixo para grande parte das ASD. Também na região litorânea, o rendimento médio da população (Figura 2D) apresentou valores maiores (vulnerabilidade baixa), diferente da área central do estado.

Os mapas contendo as classificações dos municípios quanto aos valores de precipitação e da evapotranspiração encontram-se nas Figuras 2E e 2F, respectivamente,

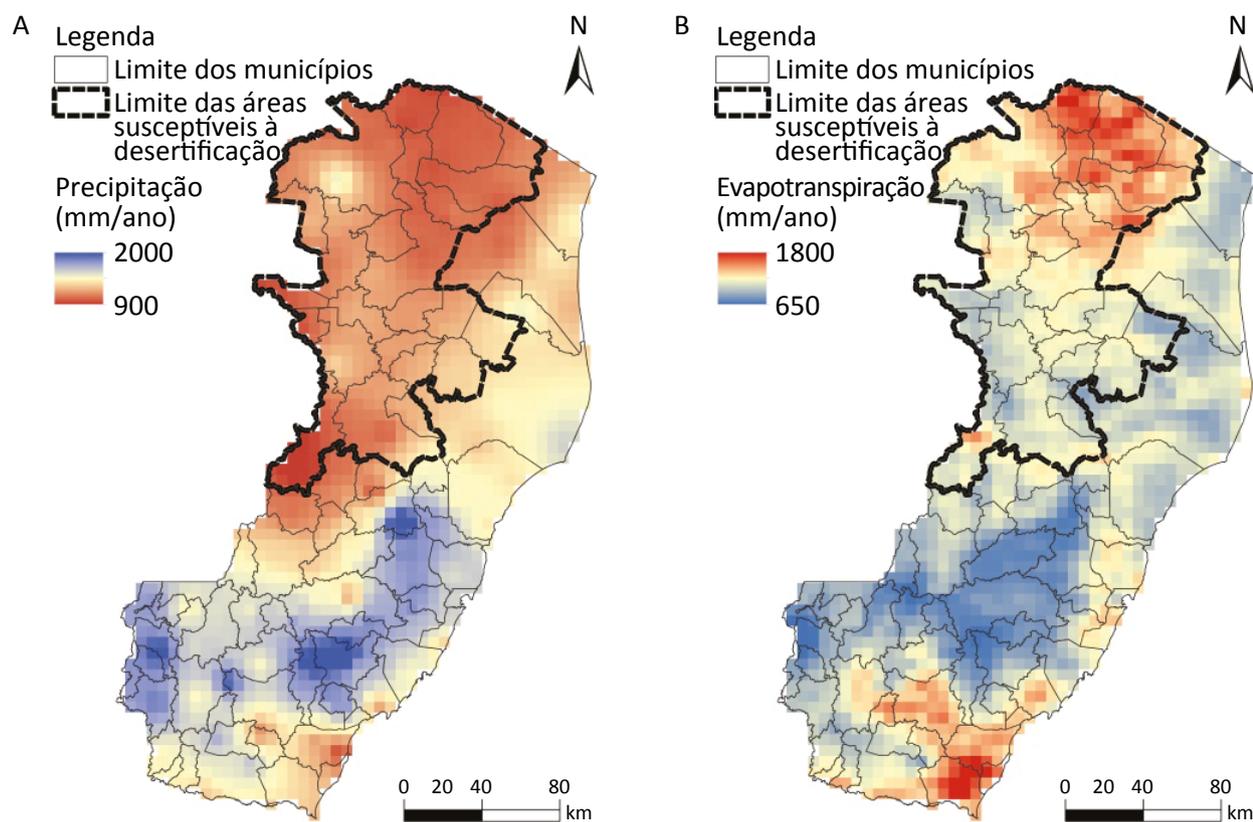


Figura 1 – Mapas de precipitação (A) e evapotranspiração média (B) em mm/ano entre 2001 e 2013 para o estado do Espírito Santo.

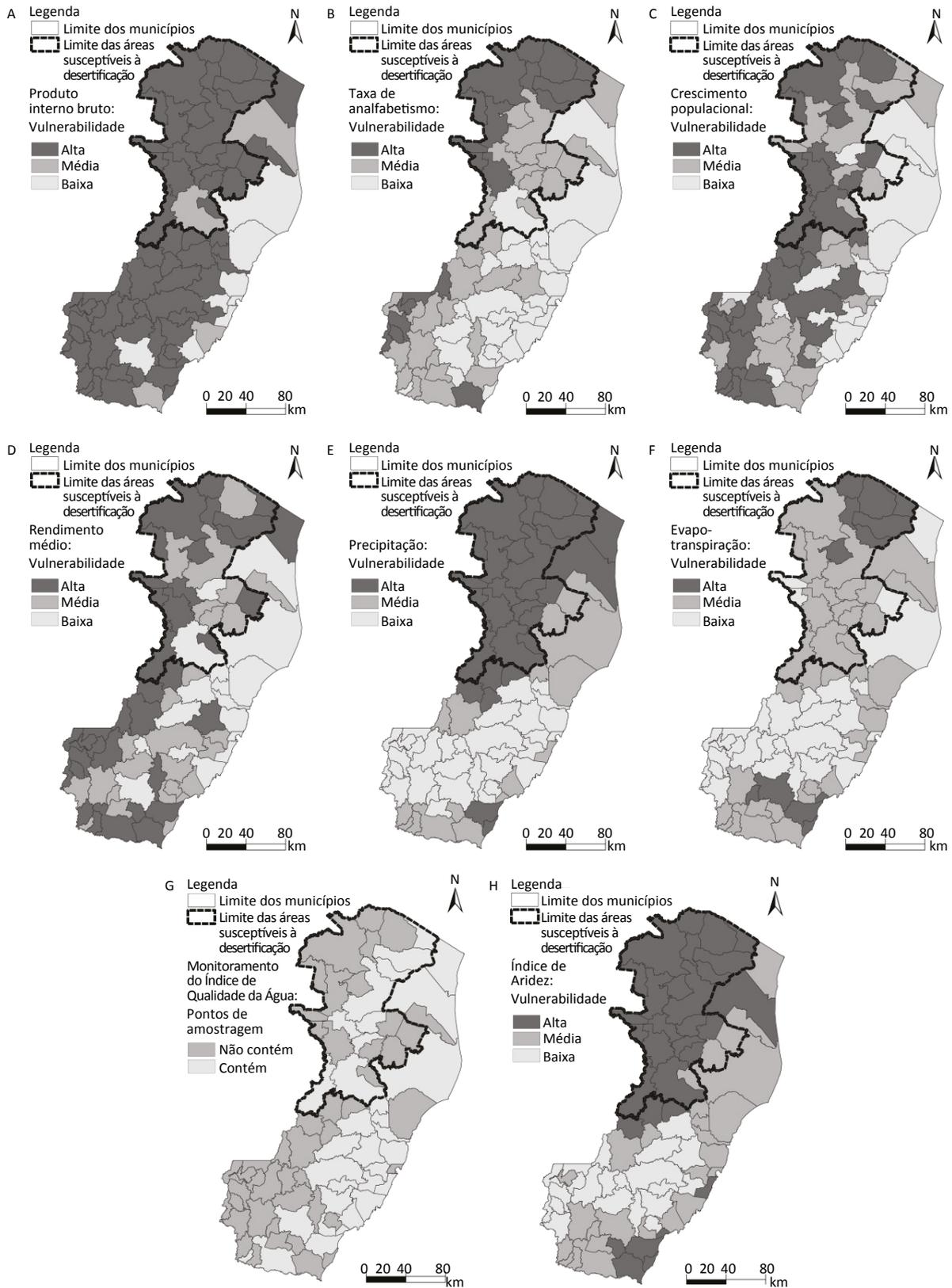


Figura 2 – Mapas da vulnerabilidade dos parâmetros de análise: (A) produto interno bruto; (B) analfabetismo; (C) crescimento populacional; (D) rendimento médio; (E) precipitação; (F) evapotranspiração; (G) índice de qualidade da água; (H) índice de aridez.

onde se observa uma maior concentração da vulnerabilidade alta na região noroeste.

Referente ao monitoramento da qualidade das águas superficiais, um número significativo de municípios pertencentes às ASD não possui pontos monitorados pelo órgão ambiental estadual para o cálculo do IQA (Figura 2G). Considerando que as ASD representam 36% da área do estado, os números de pontos monitorados nessas áreas apresentaram-se insuficientes. Essa ausência também pode ser observada em municípios no sul e sudoeste do estado.

O mapa do IA calculado para o estado do Espírito Santo apresentou apenas o clima subúmido úmido ($IA > 0,65$). Entretanto, considerando os valores do IA encontrados, os valores mais próximos a 0,65 (categoria alta) foram registrados nas ASD, no seu entorno e em uma porção ao sul do estado, enquanto os valores mais superiores a 0,65 (categoria médio e baixa) se lo-

calizaram no restante do estado. O mapa do IA encontra-se classificado na Figura 2H.

Aplicação do índice de vulnerabilidade a desertificação no estado do Espírito Santo

A álgebra realizada entre os oito mapas que representaram os dados preliminares para o desenvolvimento do IVSD (Figura 2) permitiu a criação de um mapa final com três classes (baixa, média e alta), representando os valores do índice de vulnerabilidade socioambiental para cada município do estado, conforme apresentado na Figura 3.

O IVSD indica, por fim, os municípios com as menores, as médias e as altas taxas de vulnerabilidade a processos de desertificação, considerando os diversos fatores elencados de representação desse fenômeno, as características ambientais e socioeconômicas das regiões.

Analisando a Figura 3, observa-se que foram identificados pelo IVSD muitos municípios com alta e média

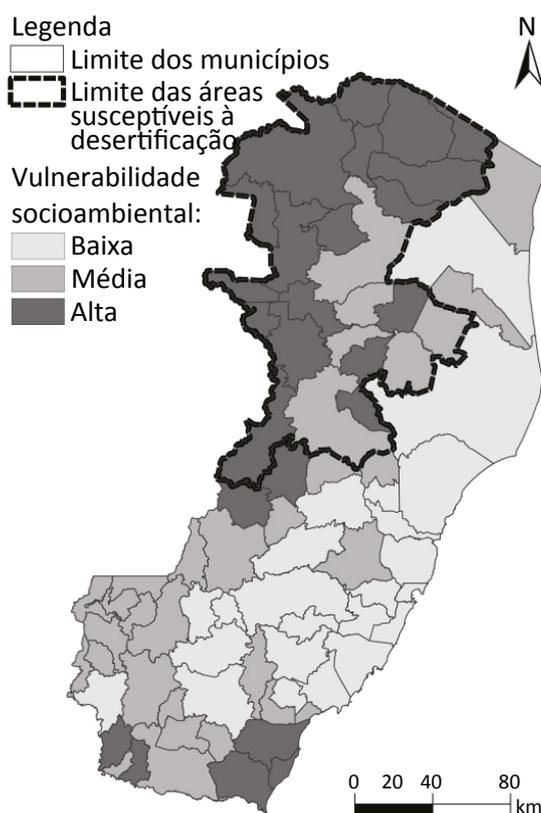


Figura 3 – Mapa do índice de vulnerabilidade socioambiental à desertificação para o estado do Espírito Santo.

vulnerabilidade à desertificação localizados principalmente ao norte e a noroeste do estado. Essas áreas identificadas pelo IVSD coincidem com a delimitação oficial das ASD para o estado do Espírito Santo, validando dessa forma o índice desenvolvido nesta pesquisa.

O IVSD também identificou, ao sul do estado, quatro municípios com alta vulnerabilidade à desertificação,

bem como outros municípios com média vulnerabilidade. Embora não sejam considerados oficialmente ASD do estado, os dados indicam que na prática essas áreas têm sofrido com um déficit hídrico ao longo dos anos. Vale salientar que as autoridades ambientais do estado já apresentaram manifestação ao governo federal para a inclusão dessas áreas como ASD.

CONCLUSÃO

Referente aos dados preliminares, o uso das imagens do sensor MODIS apresentou-se viável para o monitoramento do IA, tanto pela aquisição gratuita, periodicidade do tempo da pesquisa, abrangência e qualidade das informações.

O IVSD desenvolvido com os dados ambientais e socioeconômicos permitiu a identificação de áreas com maior vulnerabilidade à desertificação no Espírito Santo. A área localizada no norte e noroeste já é considerada oficialmente como uma ASD, entretanto a área localizada no extremo sul, embora possua as mesmas características, não é considerada oficialmente como ASD, o que a deixa mais vulnerável em razão da falta

de políticas públicas já existentes nacionalmente para as ASD oficiais.

A acessibilidade de aquisição dos dados base, juntamente com o uso de tecnologias básicas como os sistemas de informações geográficas, permite o uso do IVSD por outras regiões, a partir de adaptações e incrementos regionais.

O IVSD permitiu evidenciar a necessidade de implantação e de melhorias das políticas públicas socioambientais para promover o avanço no desenvolvimento das regiões mais fragilizadas do Espírito Santo, tornando-as menos vulneráveis ao processo de desertificação.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS (AGERH). *Diretoria de Planejamento e Gestão Hídrica*. Vitória: AGERH, 2015.

BARBOSA, M. S. M.; LIMA, K. dos S. C.; FRIEDE, R. R.; MIRANDA, M. G. de. A relação entre pobreza e degradação ambiental no Brasil sob a ótica dos indicadores PIB/IDH. *Semioses*, v. 9, n. 1, p. 17-35, 2015. <http://dx.doi.org/10.15202/1981996X.2015v9n1p17>

BARRETO NETO, A. A.; MARCHESI, A. F. Application of MODIS LST Data for Calculation of Evapotranspiration in the State of Espírito Santo, Brazil. In: EARSEL SYMPOSIUM, 32., 2012. *Anais eletrônicos* Grécia: European Association of Remote Sensing Laboratories, 2012. p. 325-332. Disponível em: <http://www.earsel.org/symposia/2012-symposium-Mykonos/Proceedings/11-01_EARSEL-Symposium-2012.pdf>. Acesso em: 1º abr. 2018.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente (Conama). *Resolução CONAMA nº 238, de 22 de dezembro de 1997*. Dispõe sobre a aprovação da Política Nacional de Controle da Desertificação. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 1997.

_____. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. *Desertificação e mudanças climáticas no semiárido brasileiro*. Campina Grande: Instituto Nacional do Semiárido, 2011. Disponível em: <<https://portal.inpa.gov.br/images/acervo-livros/Desertifica%C3%A7%C3%A3o%20e%20Mudan%C3%A7as%20Clim%C3%A1ticas%20no%20Semi%C3%A1rido%20Brasileiro.pdf>>. Acesso em: 2 mar. 2019

_____. Ministério do Meio Ambiente. *Atlas das áreas susceptíveis a desertificação do Brasil*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2007. 134 p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. *Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca (PAN-Brasil)*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2005. 213 p.

CADAVAL, A. F. *Qualidade da educação fundamental e sua relação com o crescimento econômico*. 213 f. Tese (Doutorado em Economia) – Programa de Pós-Graduação em Economia, Faculdade de Ciências Econômicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

CARVALHO, O. de; EGLER, C. A. G. *Alternativas de desenvolvimento para o Nordeste semi-árido: relatório final*. Fortaleza: Ministério da Fazenda, Banco do Nordeste do Brasil, 2002.

CENTRO DO DESENVOLVIMENTO DO AGRONEGÓCIO (CEDAGRO). *Levantamento de áreas agrícolas degradadas no estado do Espírito Santo*. Vitória: CEDAGRO, 2012. Disponível em: <http://www.cedagro.org.br/artigos/A_Areas_Degradadas_Doc_Completo.pdf>. Acesso em: 7 ago. 2018.

DANFENG, S.; DAWSON, R.; BAOGUO, L. Agricultural causes of desertification risk in Minqin, China. *Journal of Environmental Management*, v. 79, n. 4, p. 348-356, 2006. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2005.08.004>

DHARUMARAJAN, S.; BISHOP, T. F. A.; HEGDE, R.; SINGH, S. K. Desertification vulnerability index – an effective approach to assess desertification processes: A case study in Anantapur District, Andhra Pradesh, India. *Land Degradation & Development*, v. 29, n. 1, p. 150-161, 2018. <https://doi.org/10.1002/ldr.2850>

D'ODORICO, P.; BHATTACHAN, A.; DAVIS, K. F.; RAVI, S.; RUNYAN, C. W. Global desertification: drivers and feedbacks. *Advances in Water Resources*, v. 51, p. 326-344, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2012.01.013>

FERRARA, A.; SALVATI, L.; SATERIANO, A.; NOLÈ, A. Performance evaluation and cost assessment of a key indicator system to monitor desertification vulnerability. *Ecological Indicators*, v. 23, p. 123-129, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.03.015>

FEOLI, E.; GIACOMICH, P.; MIGNOZZI, K.; OZTÜRK, M.; SCIMONE, M. Monitoring Desertification risk with an index integrating climatic and remotely-sensed data: an example from the coastal area of Turkey. *Management of Environmental Quality*, v. 14, n. 1, p. 10-21, 2003. <https://doi.org/10.1108/14777830310460351>

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). *A new framework for: conservation-effective land management and desertification control in Latin America and the Caribbean*. Roma: FAO, 1998. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/W9298E/W9298E00.htm>>. Acesso em: 12 ago. 2018.

FUNDAÇÃO S.O.S. MATA ATLÂNTICA (FSOSMA); INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). *Atlas das Remanescentes Florestais da Mata Atlântica: período de 2008-2010*. São Paulo: INPE, 2011. Disponível em: <<http://www.inpe.br/noticias/arquivos/pdf/atlasrelatoriofinal.pdf>>. Acesso em: 12 ago. 2018.

HIDROWEB. *Sistema de Informações Hidrológicas*. Hidroweb. Disponível em: <<http://www.snirh.gov.br/hidroweb/publico/apresentacao.jsf>>. Acesso em: 9 ago. 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Indicadores de desenvolvimento sustentável*. Rio de Janeiro: IBGE, 2015. 352 p.

KASSAS, M. Desertification: a general review. *Journal of Arid Environments*, v. 30, n. 2, p. 115-128, 1995. [https://doi.org/10.1016/S0140-1963\(05\)80063-1](https://doi.org/10.1016/S0140-1963(05)80063-1)

LIMA, E. de J. S.; BORGES, E. F. Espacialização de indicadores sociais e sua associação com o processo de desertificação no polo de Jeremoabo-BA. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOPROCESSAMENTO E SENSORIAMENTO REMOTO, 7., 2014. *Anais...* Aracaju: Rede Sergipe de Geotecnologias (RESGEO), 2014.

MAGALHÃES, I. A. L.; ALMEIDA, K. L. de; THIAGO, C. R. L.; GARDIMAN JUNIOR, B. S.; ZANETTI, S. S.; CECILIO, R. A. Análise de métodos de interpolação para espacialização da precipitação pluvial na região Norte do estado do Espírito Santo. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO*, 16., 2013. *Anais...* Foz do Iguaçu: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2013.

PEDROSO, C.; LIMA, M. A. A. de. Perspectivas de redução da vulnerabilidade no núcleo de Gilbués, PI: ação governamental e sociedade civil. *In: ENCONTRO DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA EM AMBIENTE E SOCIEDADE*, 6., 2012. *Anais...* Belém: Universidade Federal do Pará, 2012. Disponível em: <<http://www.anppas.org.br/encontro6/anais/ARQUIVOS/GT11-774-488-20120806171426.pdf>>. Acesso em: 7 ago. 2018.

SILVA, T. B. Análise integrada de indicadores socioeconômicos e socioambientais na avaliação do processo de desertificação na região nordeste do estado da Bahia. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO*, 15., 2011, Curitiba. *Anais...* Curitiba: INPE, 2011. p. 9252-9260.

SILVA, V. dos S. *Os aspectos socioeconômicos associados ao processo de desertificação na microrregião do Cariri PB*. 70 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Geografia) – Universidade Estadual da Paraíba, Paraíba, 2014. Disponível em: <<http://dspace.bc.uepb.edu.br/jspui/bitstream/123456789/4816/1/PDF%20-%20Valdenize%20dos%20Santos%20Silva.pdf>>. Acesso em: 6 ago. 2018.

SOUSA, W. R. N.; COUTO, M. S.; CASTRO, A. F.; SILVA, M. P. S. Evaluation of desertification processes in Ouricuri-PE through trend estimates of times series. *IEEE Latin American Transactions*, v. 11, n. 1, p. 602-606, 2013. <https://doi.org/10.1109/TLA.2013.6502869>

SOUSA, R. F. de; BARBOSA, M. P.; MORAIS NETO, J. M. de; MENESES, L. F. de; GADELHA, A. G. Vulnerabilidades e impactos socioeconômicos e ambientais em municípios do Cariri paraibano. *Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia*, v. 5, n. 3, p. 63-78, 2008.

SOUZA, B. I. F.; ARTIGAS, R. C.; LIMA, E. R. V. Caatinga e Desertificação. *Revista de Geografia da Universidade Federal do Ceará*, v. 14, n. 1, p. 131-150, 2015. <https://doi.org/10.4215/RM2015.1401.0009>

TAVARES, V. C. *A desertificação em São João do Cariri (PB): uma análise de vulnerabilidades*. 109 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional) – Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional, Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2014.

THORNTHWAITE, C. W. *Atlas of climatic types in the United States*. Estados Unidos: Department of Agriculture, Forest Service, 1941. 250 p. n. 421.

TRAVASSOS, I. S.; SOUZA, B. I. de. Solos e desertificação no sertão paraibano. *Cadernos do Logepa*, v. 6, n. 2, p. 101-114, 2011.

TUCCI, C. E. M. (org.). *Hidrologia: ciência e aplicação*. 4. ed. Porto Alegre: Ed. da UFRGS e ABRH, 2015. 943 p.

VASCONCELOS SOBRINHO, J. *O deserto brasileiro*. Recife: UFPE/Imprensa Universitária, 1974.

ZHANG, F.; TIYIP, T.; JOHNSON, V. C.; KUNG, H.; DING, J.; ZHOU, M.; FAN, Y.; KELIMU, A.; NURMUHAMMAT, I. Evaluation of land desertification from 1990 to 2010 and its causes in Ebinur Lake region, Xinjiang China. *Environmental Earth Sciences*, v. 73, n. 9, p. 5731-5745, 2015. <http://dx.doi.org/10.1007/s12665-014-3830-4>

