

## Avaliação da Influência do fenômeno El Niño realizada por índice de aridez em áreas suscetíveis à desertificação

Gustavo Felipe Balué Arcoverde<sup>1</sup>  
Eduardo Eiji Maeda<sup>2</sup>  
Arimatêa de Carvalho Ximenes<sup>3</sup>  
Bartolomeu Israel de Souza<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
Unidade Estadual da Paraíba - Rua Irineu Pinto, 94  
CEP 58010-100 - João Pessoa – PB, Brasil  
gustavo.arcoverde@ibge.gov.br

<sup>2</sup> Universidade de Helsink  
Departamento de Geociências e Geografia  
Gustaf Hällströmin katu, 2 - 00014 - Helsink, Finlândia  
eduardo.maeda@helsinki.fi

<sup>3</sup> Universidade Livre de Bruxelas  
Laboratório de Ecossistemas e Manejo de Recursos Naturais  
Av. F.D. Roosevelt 50 - B-1050 - Bruxelas, Bélgica  
arimatea.de.carvalho.ximenes@ulb.ac.be

<sup>4</sup> Universidade Federal da Paraíba  
Departamento de Geociências – Cidade Universitária s/n – Castelo Branco –  
CEP 58051-900 – João Pessoa – PB, Brasil  
bartolomeuisrael@gmail.com

**Abstract.** El Niño is a natural phenomena that causes severe drought in Brazil's semi-arid, which can to develop desertification processes. The objective of this study was to evaluate the influence of El Niño 2009/2010 period by answering the monthly aridity index. The study area consisted of four watersheds ranging between centers of desertification: Seridó (RN-Brazil) and Cariris-Velhos (PB-Brazil). The aridity index was generated on a monthly basis from 2008 to July 2013, using remote sensing images from the MOD16 product (Modis) and interpolations of meteorological stations. We used data from Worldclim (years 1950-2000) for comparative purposes. It was noted that El Niño has great influence on the prolonged decline in the indices of aridity, being more prominent in north and west watersheds ratios of the study area . The return of the index values of historic drought was not detected in the period analyzed. We found concentrated areas with aridity index values below of the historical averages aridity index. These areas did not correspond to the areas of the Spots of Desertification recognized by government. The effect of El Niño by the indices of aridity identified the susceptibility of the region to this phenomenon and inferring new areas susceptible to desertification.

**Palavras-chave:** aridity index, drought, desertification, remote sensing, índice de aridez, seca, desertificação, sensoriamento remoto.

### 1. Introdução

Áreas de deserto são historicamente associados a terrenos arenosos com precipitação média anual inferior a 250 mm (MMA, 2004). Regiões áridas ou desérticas naturais são resultado dos seguintes fatores: alta pressão atmosférica, ventos continentais, efeito colateral de precipitação orográfica, e, correntes oceânicas frias oceânicas (MALIVA, MISSIMER, 2012). As regiões hiperáridas a subúmidas secas (terras secas) compreendem mais de 40% da superfície do planeta, onde habitam mais 42% da população mundial (2,6 bilhões de pessoas). Destas áreas, mais de 70% utilizadas para a agricultura e também encontram-se em processo

de desertificação (MMA, 2004). Este processo é um dos resultados das mudanças globais do clima, pelo qual está estreitamente relacionado à segurança nacional das nações.

A desertificação passou a ser alvo de estudos após uma grande seca nas planícies centrais estadunidenses na década de 1930, levando a grandes perdas agrícolas e migração de milhões de pessoas (USGS, 2014). O termo desertificação foi introduzido por Aubreville em 1949, cujo significado foi relacionado à expansão de desertos, em que frequentemente estava associado ao movimento de areias sobre áreas não desertificadas (HELLDÉN, 2005). Entre 1968 e 1973 acontece um dos maiores processos de desertificação, quando o Sahel africano é castigado por forte seca, resultando entre 100 mil a 250 mil mortes (USGS, 2014). Estes episódios levaram a que uma série de encontros fossem realizados pela ONU (Organização das Nações Unidas). Em 1994, na Convenção das Nações Unidas ao Combate à Desertificação (CNUCD), fica delimitado o termo desertificação como “degradação da terra nas zonas áridas, semi-áridas e sub-úmidas secas, resultante de vários fatores, incluindo as variações climáticas e as atividades humanas”.

Qualquer variável ou indicador de desertificação são decorrentes, a priori, da suscetibilidade à desertificação de uma dada região. No Brasil, o Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca, PAN-Brasil (MMA, 2004), recomenda que a suscetibilidade à desertificação esteja associada ao índice de aridez, desenvolvido por Thornthwaite e Holzman (1941). Este índice tem sido adotado como um dos principais indicadores para avaliar o grau de deficiência hídrica natural disponível em uma determinada região geográfica. O índice de aridez é calculado pela razão entre a precipitação média em um determinado tempo pela evapotranspiração potencial média no mesmo período. Através deste índice podem ser delimitadas diferentes faixas climáticas, de acordo com tabela 1 (UNEP, 1992). No Brasil foram delimitadas como áreas de suscetibilidade à desertificação aquelas que apresentam índice de aridez inferior a 0,65. O grau da desertificação está associado à citada suscetibilidade, acrescentado do rigor do período de estiagens, pressão demográfica e tipo de uso dos recursos naturais, e, nível de desenvolvimento do país e qualidade de medidas preventivas (FAO, 2000).

Tabela 1. Faixas climáticas relacionadas ao índice de aridez (UNEP, 1992)

<b>Clima</b>	<b>Índice de Aridez</b>
Hiperárido	< 0,05
Árido	0,051 – 0,20
Semi-árido	0,21 – 0,50
Subúmido seco	0,51 – 0,65
Subúmido úmido e úmido	> 0,65

Um dos estudos precursores dos processos de desertificação no domínio do semi-árido brasileiro se deu em Carvalho et al. (1973). Neste estudo, dentre outros, ficam delimitadas as áreas suscetíveis à desertificação segundo o grau de intensidade de secas. Vasconcelos (1978) identificou áreas, cuja degradação do solo e da cobertura vegetal, eram irreversíveis, denominando núcleos de desertificação: Gilbués (PI), Inhamuns (CE), Seridó (RN), Cariris Velhos (PB), Sertão Central (PB) e Sertão do São Francisco (BA). Em 1998 foi publicado o Mapa de Ocorrência de Desertificação (MMA, 1998) no qual revela grandes áreas com suscetibilidade à desertificação. Na metodologia deste estudo foram elencados 19 indicadores representando aspectos físicos, bióticos, sociais e econômicos, cuja ocorrência ou ausência destes, definiria o grau hierárquico de risco à desertificação por microrregião. Este estudo

corroborar com as áreas delimitadas por Vasconcelos (1978) e agrega outras consideradas de alto risco.

Um dos riscos à desertificação está relacionado a períodos prolongados de estiagens – secas – os quais contribuem com a deterioração do solo e com a diminuição da resiliência ecológica (DIOUF; LAMBIN, 2001). As secas podem ser consideradas o principal fator natural à desertificação, além de ser considerado o principal elemento de imprevisibilidade, cujos impactos são enaltecidos quando não são considerados estudos preventivos (ZOLOTOKRYLIN, 2009). Um dos fenômenos climáticos que possui estreita relação a episódios de seca no planeta, e especificamente no semi-árido, é o El Niño. Este fenômeno oceânico-atmosférico caracteriza-se pelo aquecimento anormal das águas superficiais no oceano Pacífico Tropical, ocasionando enfraquecimento dos ventos alísios no Pacífico Equatorial e, conseqüentemente, forma-se um ramo ascendente da célula de Walker na parte central do oceano Pacífico (INPE-CPTEC, 2014). Este fenômeno tem sua importância haja vista que não há consenso científico de sua causa, e, sua periodicidade, intensidade e duração possui grande alternância (INPE-CPTEC, 2014). Os últimos cinco El Niño aconteceram entre 15 a 18 meses, nos biênios 2014-2015, 2009-2010, 2004-2005, 2002-2003 e 1997-1998.

Dados de estações meteorológicas e de sensoriamento remoto têm contribuído na produção de registros históricos de períodos de seca e de processos de desertificação. Produtos do sensor MODIS, a bordo do satélite TERRA e lançado no ano de 1999, possibilitam estudos de processos de mudanças globais (RUDORFF et al., 2007). Os seguintes produtos podem ser destacados para estudos de desertificação e secas: MOD13 (índices de vegetação), MOD 17 (fotossíntese líquida e produtividade primária), MOD11 (temperatura e emissividade da superfície terrestre) e MOD16 (evapotranspiração). Em relação aos dados de precipitação, sua obtenção ocorre por meio de satélites meteorológicos, ou, a partir de estações meteorológicas, com o benefício de seu longo registro histórico. Hijmans et al. (2005) reuniram e disponibilizaram dados meteorológicos mensais para quase todo o planeta entre os anos de 1950 a 2000 – WorldClim.

Os dados citados, de forma acoplada, possibilitam correlações com dados de campo, além da geração de indicadores de seca e desertificação com resolução espacial de um quilômetro. O índice de aridez, apesar de sua simples formulação, tem apresentado resultados satisfatórios na análise de seu comportamento histórico, tendo em vista os padrões históricos de aridez estabelecidos (SANTOS, 2012; TSAKIRIS; VANGELIS, 2005).

Considerando os malefícios dos processos de desertificação, acrescentados aos períodos de estiagens do El Niño e as mudanças globais do clima, as áreas no Brasil, atualmente delimitadas como núcleos de desertificação (ND) (VASCONCELOS, 1978), ou como propícias à desertificação (MMA, 1998), devem ser constantemente monitoradas. A delimitação destas áreas e seu entorno também devem passar por revisões, incluindo, novas abordagens metodológicas. O monitoramento do histórico destas áreas e entorno através do sensoriamento remoto propicia que medidas de contenção e de planejamento possam surtir efeito de forma mais abreviada. Desta forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar a influência do El Niño através da resposta do índice de aridez, desenvolvido por Thornthwaite e Holzman (1941), sob a perspectiva histórica e espacial em uma região propícia à desertificação no semi-árido nordestino. A hipótese foi de que, através dos índices de aridez, o efeito do El Niño poderia indicar diminuição na resiliência de áreas sujeitas a secas e apresentar indícios de novas áreas à desertificação.

## 2. Material e métodos

A localização da área de estudo compreendeu dois ND, do “Sérido” (Rio Grande do Norte) e do “Cariris Velhos” (Paraíba) (VASCONCELOS, 1978), além da região que separa

os citados ND. Para tanto, foi considerado um recorte da área de estudo considerando os limites de bacias hidrográficas, no contexto geográfico dos citados ND e entorno. Foram delimitadas quatro bacias hidrográficas, dos respectivos rios: Seridó, Taperoá, Espinharas e Alto Paraíba. A bacia hidrográfica do rio Seridó engloba o núcleo de desertificação do Seridó e as bacias hidrográficas dos rios Taperoá e Alto Paraíba compreendem juntas quase que totalmente o ND Cariris Velhos. A área total de estudo compreende 25602,2 Km<sup>2</sup>, separados em 3303,4 Km<sup>2</sup>, 5677,9 km<sup>2</sup>, 6488,7 Km<sup>2</sup> e 10132,2 Km<sup>2</sup> nas bacias dos rios Espinharas, Taperoá, Alto Paraíba e Seridó. Nesta região a vegetação de caatinga é predominante com solos variando de luvisolos crômicos, neossolos litólicos, neossolos regolíticos e planossolos nátricos, principalmente, os quais, via de regra, são suscetíveis à erosão. A Figura 1 ilustra o posicionamento geográfico da área de estudo.

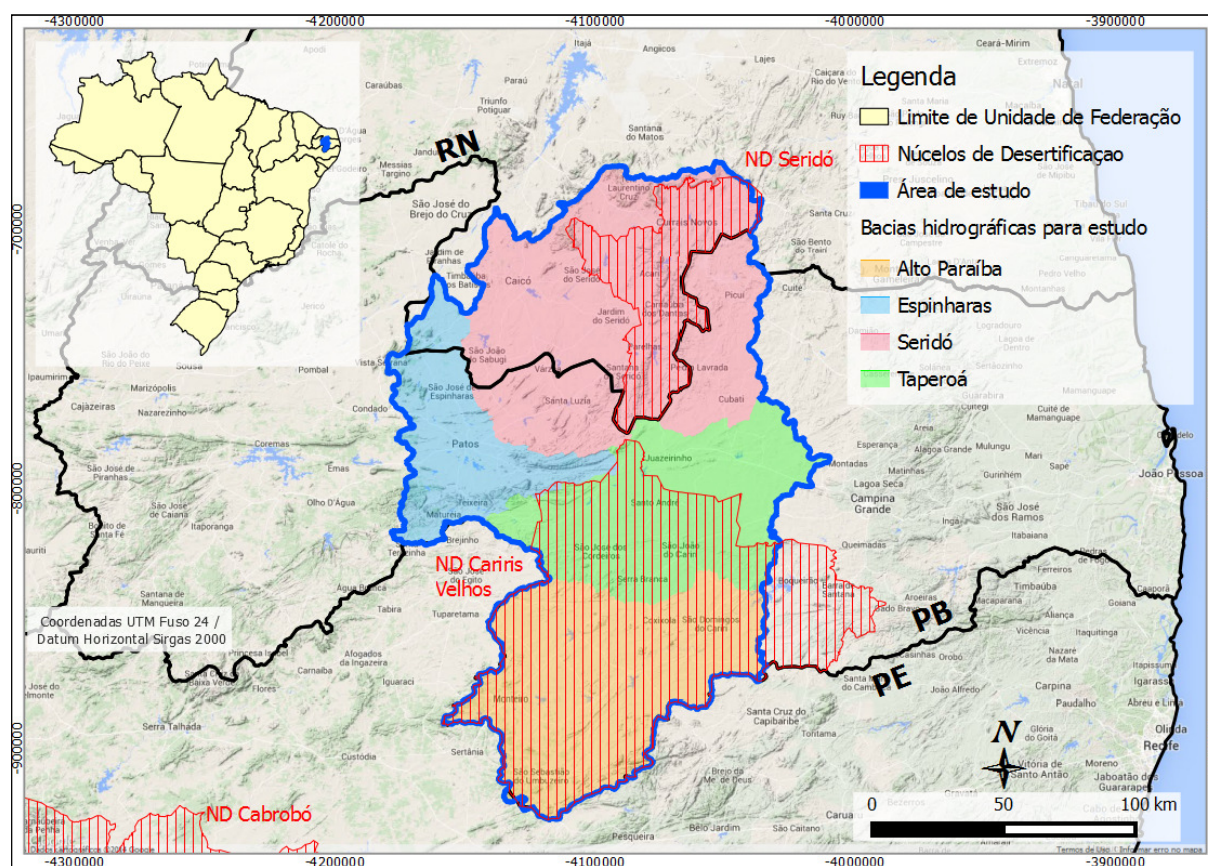


Figura 1 – Localização da área de estudo.

Este estudo considerou a avaliação do comportamento do índice de aridez (THORNTHWAITE, 1941) durante o fenômeno El Niño do período do biênio 2009/2010, dentre cada uma das bacias hidrográficas. Esta avaliação considerou os índices de aridez mensais (IAM) do ano de janeiro de 2008 a julho de 2013 (IAM calculados). A geração dos IAM calculados considerou duas fontes de dados, o produto MOD 16 do sensor MODIS para a geração da evapotranspiração potencial, e as estações meteorológicas para a geração da precipitação. Ambos os dados foram computados em montantes mensais em milímetros (mm) no período citado. Foram consideradas ao todo 13 estações meteorológicas, sendo cinco destas inseridas na área de estudo e as restantes situadas no entorno, em até 200 quilômetros aproximadamente. Os dados de precipitação, necessariamente, tiveram que ser interpolados para a mesma resolução espacial das imagens do MOD16, de 1 Km<sup>2</sup>. Considerando que não houve quantidade suficiente de estações meteorológicas para interpolação por krigagem,

optou-se pela método da curvatura mínima, cujo desempenho foi apresentado em Carvalho e Assad (2005).

Para avaliar os IAM calculados, os mesmos foram comparados, mediante histogramas, com IAM médios históricos, do ano de 1950 ao ano de 2000. Estes foram elaborados por dados de imagens de evapotranspiração potencial e precipitação mensais disponíveis no WorldClim (Hijmans et al. (2005)). A avaliação espacial destes dados foi obtida pela plotagem dos valores médios do IAM calculado do período analisado e do IAM histórico, assim como, pela utilização de um índice de comparabilidade de ambos os IAM (IAC). O IAC trata a comparabilidade dos IAM de forma normalizada, de forma que pequenas diferenças possam também ser notificadas. O IAM é o resultado da subtração dos valores da média dos IAM calculados ( $\mu IAM_{calc}$ ) pela média dos IAM históricos ( $\mu IAM_{hist}$ ), dividido pelo somatório de ambos, conforme Equação 1. O IAC pode variar de -1 a 1, sendo que os valores negativos indicam índices de aridez inferiores à média histórica, os valores positivos, o oposto.

$$IAC = \frac{\mu IAM_{calc} - \mu IAM_{hist}}{\mu IAM_{calc} + \mu IAM_{hist}} \quad (01)$$

### 3 . Resultados e Discussão

Os histogramas mensais entre os IAM calculados e os IAM históricos apresentam o efeito da seca do El Niño em todas as regiões das bacias hidrográficas do estudo (FIGURA 2). Percebe-se que antes do segundo semestre de 2009 os valores de IAM foram superiores à média histórica. No entanto, estas altas taxas podem ser justificadas pelo fenômeno La Niña no biênio 2007/2008, a qual foi considerada forte (CPTEC, 2014). A partir do El Niño, que compreendeu o segundo semestre de 2009 e o primeiro semestre de 2010, os IAM calculados passam, em quase todas ocasiões, a serem inferiores à média histórica. Tal fato representa a importância que o El Niño possui na região de estudo em relação aos períodos de seca. Isto também indica a baixa resiliência da região aos efeitos de estiagem em que a evapotranspiração potencial é fortemente prejudicada. Tal situação pode ter retroalimentação com a degradação dos solos, retirada da cobertura da caatinga ou o tipo de uso do solo.

As bacias hidrográficas mais sensíveis ao fenômeno foram as do Seridó e Espinharas. No primeiro trimestre de 2013 o padrão dos IAM destas bacias começam a ter uma recuperação. As bacias do Taperoá e Paraíba apresentaram menor sensibilidade à seca do El Niño. Curiosamente, o período de menores IAM foram apresentados somente a partir de 2012. Todas as regiões, a partir do ano de 2012, apresentaram IAM médios inferiores ao limiar de regiões semi-áridas, 0,5. Tal fato deve ser melhor estudado com outras variáveis, incluindo uso e cobertura da terra, além de elencar um maior período de tempo.

A perspectiva espacial do El Niño pode ser observada na Figura 3. Figura 3a apresenta a espacialização do IA médio histórico (1950 -2000) em observação às bacias hidrográficas do estudo e os ND do Seridó e Cariris Velhos. Observa-se que os ND estão bem compreendidos com as faixas de menor IA, inclusive abaixo de 0,5. A Figura 3b representa a espacialização do IA calculado no período analisado deste estudo. Neste período, entretanto, os IA mais baixos compreenderam porções a noroeste-oeste e sudeste da área de estudo. As áreas dos ND, não apresentaram os valores de IA mais baixos. A Figura 3c apresenta a espacialização do IAC, onde ficam demonstradas as áreas com maiores diferenças do IAM calculado e do IAM histórico. As áreas a oeste, norte e sul da área de estudo foram as que mais apresentaram concentração de IAM inferiores à média histórica. Neste sentido, estas

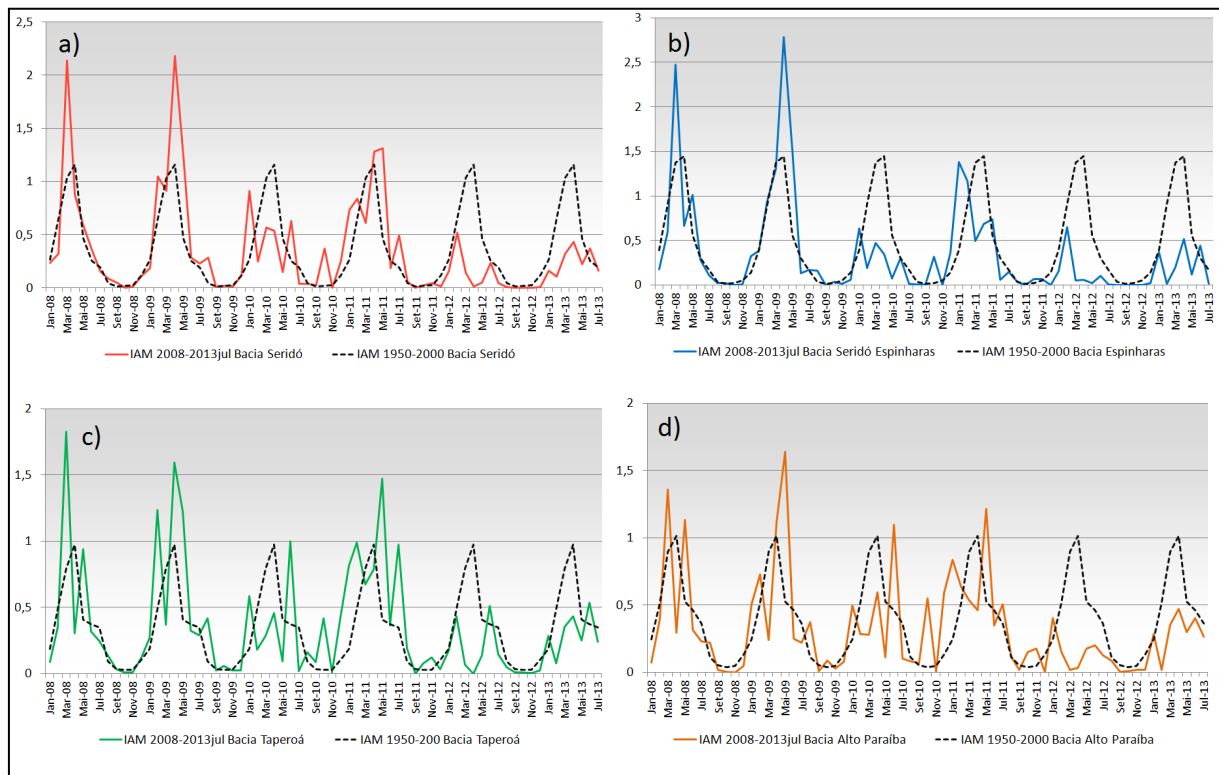


Figura 2 – Comportamento dos IAM calculados em confronto com o IAM histórico (1950 a 2000 - WorldClim) para cada uma das bacias hidrográficas, sendo: a) Seridó; b) Espinharas; c) Taperoá; d)Alto Paraíba.

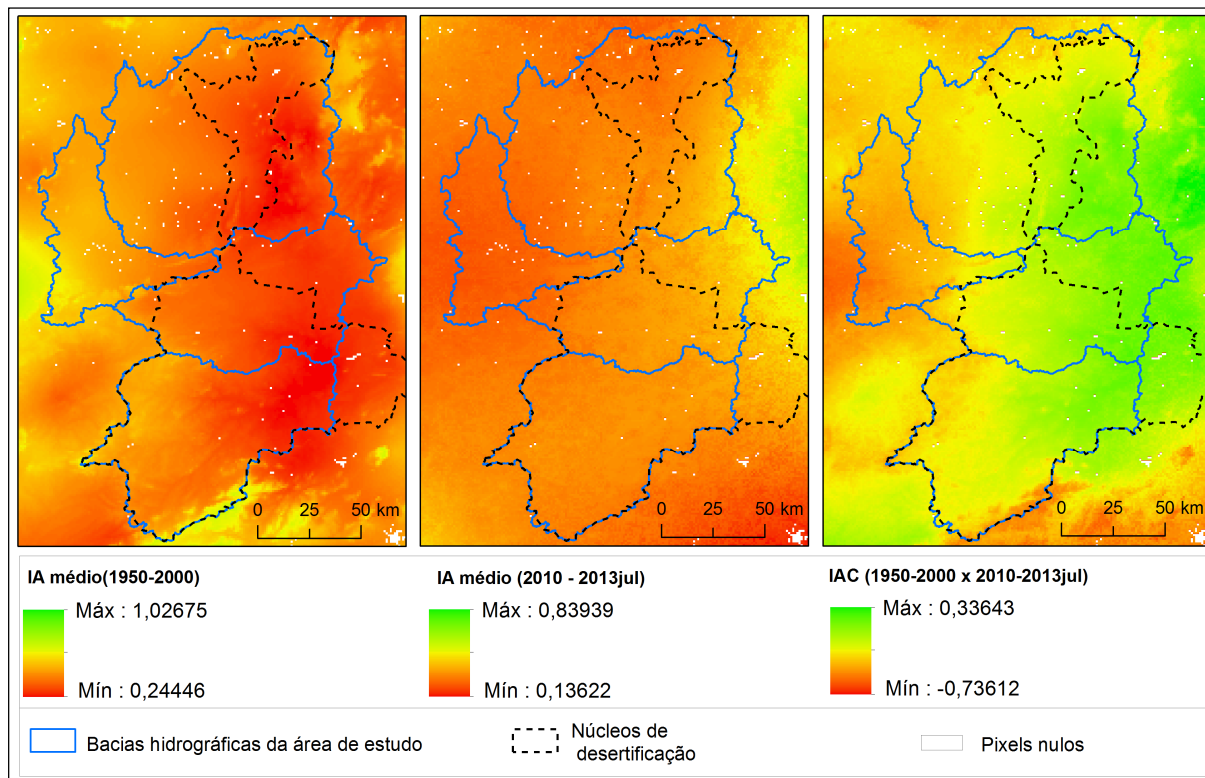


Figura 3 – Distribuição espacial dos valores médios dos IAM calculado (a) e IAM histórico(b), e, do IAC (c).

porções denotam as áreas mais sensíveis aos períodos de estiagem, considerando a metodologia deste estudo.

Considerando as informações levantadas de IAM e IAC, pode-se inferir que toda a região de estudo é sensível aos períodos de seca, com baixa taxa de retorno aos índices históricos de IAM. Infere-se que deva haver um novo cálculo de categoria climática para a região do estudo. Novas áreas suscetíveis à desertificação devem ser investigadas, haja vista que as áreas mais afetadas por períodos de seca, estão fora dos ND delimitados, conforme metodologia do estudo.

#### 4. Conclusão

A metodologia deste trabalho conseguiu identificar que o IA é um índice que responde adequadamente a períodos de estiagem, considerando o fenômeno El Niño como indicador de estiagem. Estudos de maior amplitude temporal e espacial poderão embasar adequadamente o papel quantitativo do IA. Os dados de sensoriamento remoto (MOD-16) permitiram a geração do IAM calculado, o que denota a importância da continuidade deste tipo de sensor e produtos.

#### 5. Referências Bibliográficas

Carvalho, J. R. P.; Assad, E. D. Análise espacial da precipitação pluviométrica no estado de São Paulo: comparação de métodos de interpolação. **Engenharia Agrícola**. V. 25, n. 2, p. 377-384, 2005.

Carvalho, O. de. et alii. **Plano integrado para o combate preventivo aos efeitos das secas no Nordeste**. Ministério do Interior, Brasília, 1973.

Diouf, A.; Lambin, E. F. Monitoring land-cover changes in semi-arid regions: remote sensing data and field observations in the Ferlo, Senegal. **Journal of Arid Environments**, v. 48, p. 129-148, 2001.

Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAO. Desertification and drought - extent and consequences proposal for a participatory approach to combat desertification. In: Symposium on land degradation and poverty, 2000, Roma, Italia. **Proceedings...** Roma: FAO. p. 3. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/X5317E/x5317e00.htm>>. Acesso em: 20 out 2014.

Helldén, U. Case Studies of Desertification Monitoring: A Discussion of EU Initiatives. In: Local & Regional Desertification Indicators in a Global Perspective: AIDCCD-Active Exchange of Experience on Indicators and Development of Perspectives in the Context of UNCCD, 2005, Beijing, China. **Proceedings...**, Beijing, China: 2005. Disponível em: <http://lup.lub.lu.se/luur/download?func=downloadFile&recordId=623511&fileId=623515>. Acesso em: 20 out 2014.

Hijmans, R.J.; Cameron, S.E.; Parra, J.L.; Jones, P.G.; Jarvis, A. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. **International Journal of Climatology**, v. 25, p. 1965-1978, 2005. Disponível em: <<http://www.worldclim.org/methods>>.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos. INPE-CPTEC. **ENOS**. Cachoeira Paulista: CPTEC-INPE, 2014. Disponível em: <<http://enos.cptec.inpe.br/#>> . Acesso em 05 nov. 2014.

Maliva, R.; Missimer, T. **Arid Lands Water Evaluation and Management, Environmental Science and Engineering**. Berlin: Springer-Verlag, 2012.

Ministério do Meio Ambiente .MMA. **Mapa de Ocorrência de Desertificação e Áreas de Atenção Especial no Brasil**. Brasília: Topografia e Engenharia-Topocart, 1998.

Ministério do Meio Ambiente. MMA. **Programa de ação nacional de combate à desertificação e mitigação dos efeitos da seca: PAN-Brasil**. Brasília, Distrito Federal: Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos, 2004. 213 p.

Rudorff, B. F. T.; Shimabukuro, Y. E.; Ceballos, J. C. **O sensor Modis e suas aplicações ambientais no Brasil**. Ed. Paqrêtese, São José dos Campos, 2007, 428 p.

Santos, A. R. B.; Simeão, M.; Mousinho, F. E. P. Espacialização do índice de aridez mensal para o estado do Piauí. In: Workshop Internacional de Inovações Tecnológicas na Irrigação, 4., 2012, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: Cogerh, 2012. Disponível em: < <http://www.inovagri.org.br/meeting2012/wp-content/uploads/2012/06/Protocolo4401.pdf>>.

Tsakiris, G.; Vangelis, H. Establishing a Drought Index Incorporating Evapotranspiration. **European Water**, v. 9, p.3-11, 2005. Disponível em: [http://www.ewra.net/ew/pdf/EW\\_2005\\_9-10\\_01.pdf](http://www.ewra.net/ew/pdf/EW_2005_9-10_01.pdf). Acesso em: 10 out. 2014.

Thornthwaite, C. W.; Holzman, B. Evaporation and transpiration. In: \_\_\_\_\_Climate and Man: Yearbook of Agriculture . Washington: U.S. Department of Agriculture, 1941, p.545-550.

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

USGS. **Desertification**. Reston: USGS, EUA, 2014. Disponível em: <http://pubs.usgs.gov/gip/deserts/desertification/>. Acesso em: 20 jul. 2014.

Vasconcelos, S. J. **Metodologia para identificação de Processos de Desertificação: manual de indicadores**. Recife: SUDENE. 1978.

Zolotokrylin, A. N. Droughts: causes, distribution, and consequences. In: Kotlyakovay, V. M. **Natural Disasters**. 2009.