



Análise de Índices de aridez na microrregião Alto Capibaribe - PE *Analysis of aridity indices in the micro-region of Alto Capibaribe - PE*

Layane Carmem Arruda da Rocha¹, Maykon Rodrigo Gomes de Barros², George do Nascimento Ribeiro³,
Paulo da Costa Medeiros³, José Eudes da Silva de Oliveira²

¹ Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, Minas Gerais, Brasil

² Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Recife, Pernambuco, Brasil

³ Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campina Grande, Sumé, Paraíba, Brasil

Contato: layanecarmem_256@hotmail.com

Palavras-Chave

geoestatística
precipitação
evapotranspiração
semiárido

Key-word

geostatistics
precipitation
evapotranspiration
semiarid

RESUMO

O estudo teve como objetivo investigar a evolução, e/ou recessão, de Índices de Aridez, considerando três métodos Thornthwaite, complementado por Penman, Martonne e Lang, assim como, avaliar a suscetibilidade à desertificação e a possível deficiência hídrica em virtude do comportamento irregular das chuvas na microrregião Alto Capibaribe, Agreste Pernambucano. A metodologia utilizada para elaboração desse trabalho partiu de uma avaliação integrada da relação climatológica (Precipitação e Temperatura Média Anual) com as áreas que compõem a Microrregião Alto Capibaribe, a partir da elaboração de mapas correspondentes aos Índices de Aridez e Classes de Desertificação, que foram elaborados utilizando o software Surfer® 9.0, versão trial, no qual foi realizada a interpolação utilizando o método de Krigagem. Para este estudo, foram considerados os anos de ocorrência dos fenômenos El Niño (2006 e 2015) e La Niña (2008 e 2018). De acordo com o estudo, foi possível averiguar que grande parte dos municípios encontram-se em ambientes áridos e semiáridos e que os métodos Thornthwaite/Penman e Martonne, são semelhantes nas suas classificações, entretanto o método de Lang e sua Classificação do Índice de Precipitação não condizem com a realidade, pois contradizem os valores reais da precipitação anual dos municípios em estudo.

ABSTRACT

The study aimed to investigate the evolution, and / or recession, of Aridity Indexes, considering three methods Thornthwaite, complemented by Penman, Martonne and Lang, as well as to evaluate the susceptibility to desertification and the possible water deficiency due to the irregular behavior of the rains in the microregion Alto Capibaribe, Agreste Pernambucano. The methodology used to prepare this work started from an integrated assessment of the climatological relationship (Precipitation and Average Annual Temperature) with the areas that make up the Alto Capibaribe Microregion, based on the elaboration of maps corresponding to the Aridity Index and Desertification Classes, which were elaborated using the Surfer® 9.0 software, trial version, in which the interpolation was performed using the Kriging method. For this study, the years of occurrence of the phenomena El Niño (2006 and 2015) and La Niña (2008 and 2018) were considered. According to the study, it was possible to ascertain that most municipalities are in arid and semi-arid environments and that the Thornthwaite/Penman and Martonne methods are similar in their classifications, however the Lang method and its Precipitation Index Classification do not match reality, as they contradict the actual annual precipitation values of the municipalities under study.

Informações do artigo

Recebido: 07 de fevereiro, 2020

Aceito: 16 de outubro, 2020

Publicado: 30 de dezembro, 2020

Introdução

Conforme Xu et al. (2007) e Zhang et al. (2009a) impactos significativos no meio ambiente são causados por mudanças climáticas globais e intensificados pelas atividades humanas, tornando cada vez mais frequente desastres e secas em muitas bacias fluviais. Alterações em fatores climáticos também afetam os elementos do ciclo hidrológico, como precipitação, evapotranspiração, escoamento e fluxo de água subterrânea (ZHANG et al., 2015).

A evapotranspiração é um dos principais indicadores de capacidade de evaporação sobre uma superfície de referência hipotética, como também é o limite superior teórico da evapotranspiração real, que geralmente é a base da evapotranspiração real (ZHANG et al., 2009b), sendo um fator determinante do clima seco em algumas regiões (Huo et al., 2013).

Vários estudos são realizados para quantificar e analisar os impactos ambientais ocasionados pelas mudanças climáticas, dentre eles Díaz-Padilla et al. (2011), Lopes e Leal (2015), Wen et al. (2018) que, em comum, utilizaram o Índice de Aridez (IA) como parâmetro eficiente nesse tipo de estudo. O emprego deste índice permite verificar a relação entre a quantidade de chuva e a perda de água do sistema pela evapotranspiração potencial (FREITAS, 1998; MATALLO JÚNIOR, 2003). Esse parâmetro apresenta um ótimo desempenho para regiões de clima seco e também para úmido (LOPES et al., 2018), sendo possível identificar áreas suscetíveis à desertificação, assim, a redução do IA indica elevada tendência para tal condição (LOPES e LEAL, 2015).

Para se obter o nível de suscetibilidade à desertificação, existem várias metodologias e classificações, dentre elas a proposta por Matallo Júnior (2003), que leva em consideração faixas dos índices de aridez calculados. Essa classificação é utilizada como padrão no Plano Nacional de Combate à Desertificação (MMA, 2005), e possui cinco categorias de suscetibilidade (Inferior à Moderada, Moderada, Alta, Muito Alta e Superior a Muito Alta), variando conforme a faixa de escala do IA.

Nesse contexto, um fator a ser considerado, são os fenômenos climáticos denominados El Niño e La Niña. An e Kim (2017) caracterizam o El Niño como o aquecimento anormal da região tropical central a leste do Pacífico, ocasionando altos níveis pluviométricos em regiões tropicais e de latitudes médias, e La Niña como o resfriamento anormal, que por sua vez ocasionam redução de chuva nessa mesma região. Segundo Okumura e Deser (2010) o El Niño é frequentemente seguido por La Niña, enquanto o caso oposto é bastante raro. Tal assimetria na transição entre El Niño e La Niña está claramente relacionada à assimetria na duração desses eventos (CHOI et al., 2013; DINEZIO e DESER, 2014).

No Brasil, foi detectado pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), em 2010, que o fenômeno climático La Niña resultou em chuvas acima da média na região Nordeste e estiagem no Sul do país. Silva (2018) cita que, no evento La Niña ocorrido entre os anos 2010 e 2012, foi possível verificar algumas de suas consequências

para o clima e a economia, em especial para as atividades agrícolas, devido à estiagem ocorrida nas grandes regiões agrícolas do país como no Centro-Oeste, Sudeste e principalmente o Sul.

Costa (2016) relata que, existe uma relação direta entre o fenômeno El Niño e as secas no Nordeste do Brasil, pelo menos no que se diz respeito ao prolongamento do período estiagem, e ainda pode-se citar as pesquisas realizadas na microrregião do Pajeú de Pernambuco, por Soares e Nóbrega (2009), no qual foi observado que, em anos de El Niño ocorreu uma diminuição dos totais pluviométricos, nessa região de estudo. Todavia, essa relação de chuvas abaixo da média em eventos de El Niño Oscilação Sul (ENOS), não é necessariamente perfeita, como destacam Fisch e Valério (2005) e Almeida e Medeiros (2017).

Concernente à Krigagem, esta compreende um conjunto de técnicas geoestatísticas de ajuste, usadas para aproximar dados pelo princípio de que, fixado um ponto no espaço, os pontos no seu entorno são mais relevantes do que os mais afastados. Isto pressupõe a existência de dependência entre os dados, exigindo-se identificar até onde espacialmente esta correlação importa (ISAACS e SRIVASTAVA, 1989). A técnica consiste em estimar valores médios e também uma medida de acuracidade dessa estimativa. Seus pesos são calculados com base na distância entre a amostra e o ponto estimado, bem como na continuidade espacial e no arranjo geométrico do conjunto de amostras (BETTINI, 2007).

Para Jakob (2002) a Krigagem é considerada uma boa metodologia de interpolação de dados. Ela utiliza o dado tabular e sua posição geográfica para calcular as interpolações. Utiliza-se o princípio da Primeira Lei de Geografia de Tobler, em que as unidades de análise mais próximas entre si, são mais parecidas do que as unidades mais afastadas, a krigagem considera funções matemáticas para acrescentar pesos maiores nas posições mais próximas aos pontos amostrais e pesos menores nas posições mais distantes, criando-se assim os novos pontos interpolados com base nessas combinações lineares de dados.

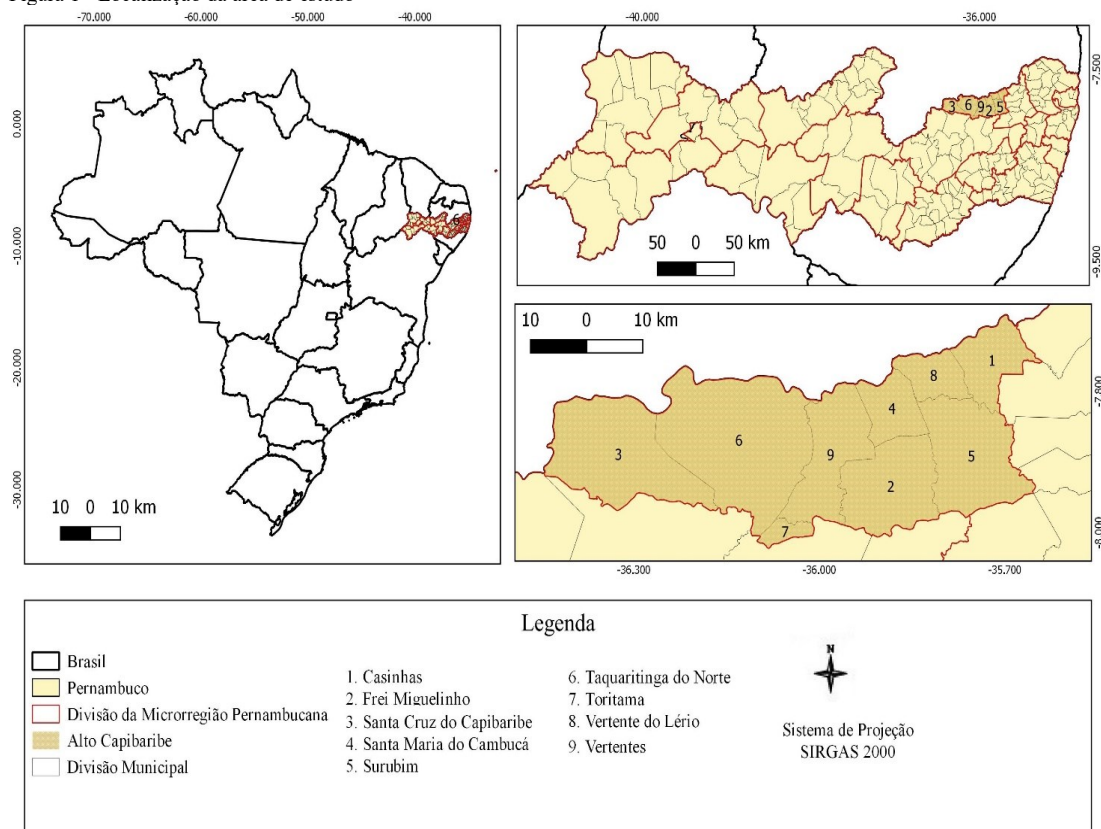
À face do exposto, o objetivo deste trabalho é investigar a evolução, e/ou recessão, de Índices de Aridez, assim como avaliar a suscetibilidade à desertificação da microrregião Alto Capibaribe, que está inserida no Agreste Pernambucano.

Material e Métodos

Descrição da Área de Estudo

A área de estudo (Figura 1) compreende uma importante microrregião do estado de Pernambuco, o Alto Capibaribe, que contempla 9 municípios: Casinhas, Frei Miguelinho, Santa Cruz do Capibaribe, Santa Maria do Cambucá, Surubim, Taquaritinga do Norte, Toritama, Vertente do Lério e Vertentes. Essa área está inserida no Agreste de Pernambuco, especificamente no Planalto da Borborema (CONDEPE/FIDEM, 2006).

Figura 1 - Localização da área de estudo



Fonte: Autor (2020)

Nepomuceno et al. (2016) citam que, essa microrregião ocupa uma área com relevo ondulado a forte ondulado e, algumas vezes, constituído por vales profundos e estreitos. Andrade e Lins (1985) reportam que, o clima predominante é o BSh Semiárido quente e seco, segundo a classificação de Köppen, com temperatura média de 25°C. Sobre as chuvas, Nepomuceno et al. (2016) ainda citam que, são mal distribuídas ao longo do ano e se concentram no período de fevereiro a março, com precipitação pluviométrica anual variando entre de 431,8 a 648,7 mm.

Levantamento de Dados

A metodologia utilizada para elaboração desse trabalho partiu de uma avaliação integrada da relação climatológica com as áreas que compõem a Microrregião Alto Capibaribe, a partir da elaboração de mapas correspondentes aos IA e classes de desertificação, que foram elaborados utilizando o software Surfer® 9.0, versão trial. A interpolação de dados utilizada foi elaborada por meio do método de Krigagem, do tipo ordinária linear por ponto, com declinação e anisotropia iguais a 1.0, sem derivada, para todos os anos estudados. Para Jakob (2002) os métodos de Krigagem são recomendados quando se tem o objetivo de analisar algumas tendências de variáveis, ou uma caracterização melhor destas variáveis no espaço, como uma análise de segregação espacial, por exemplo.

Concernente a seleção dos anos, para aplicação metodológica, utilizou-se de informações de precipitação pluviométrica (mm) da Agência Pernambucana de Águas e

Clima (2019), ao passo que foram observados fatores ideais como, a disponibilidade de série temporal continua de dados bem como o período, conforme recomendações da Organização Meteorológica Mundial (OMM) (INMET, 2019) que define Normais Climatológicas como sendo valores médios calculados para um período relativamente longo e uniforme, compreendendo no mínimo três décadas consecutivas” e padrões climatológicos normais como “médias de dados climatológicos calculados para períodos consecutivos de 30 anos”. Não obstante, cita que no caso de indisponibilidade dessa série temporal, Normais Provisórias “podem ser calculadas com médias de curto período, baseadas em observações que se estendam sobre um período mínimo de 10 anos”. Destarte, foi considerado trabalhar com uma série de intervalo de 10 anos.

Foi levado em consideração os anos de ocorrência dos fenômenos La Niña e El Niño, disponibilizados pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CEPETEC, 2019), no qual foram analisados os anos de 2006 e 2015 (fenômeno El Niño), e 2008 e 2018 (fenômeno La Niña).

Os dados de temperatura média mensal foram obtidos na plataforma online Dados climáticos para cidades mundiais, que é uma base de dados climáticos globais baseados em duas fontes: Modelo Climático pelo Climate-Data.Org – dados meteorológicos de milhares de estações do mundo, mais de 220 milhões de pontos de dados e resolução de 30 segundos de arco – e, Localização de Dados por Openstreetmap.org – fonte *open source*, licenciado sob a Open Data Commons Open Database License ‘OdbL’ (Climate-Data, 2019). As informações obtidas estão organizadas e dispostas na Tabela 1.

Tabela 1 - Geolocalização e dados pluviométricos da área em estudo

Município	Coordenadas Geográficas (UTM)		Temperatura Média Anual	Dados Pluviométricos			
	Latitude	Longitude	(°C)	(mm ano ⁻¹)			
			-	2006	2008	2015	2018
1	-7,7407	-35,7208	24,04	341,4	485	494,5	671,9
2	-7,9397	-35,9123	23,48	391,9	580,6	445,7	517,6
3	-7,9575	-36,2048	23,05	200,3	552,5	265,4	546,6
4	-7,8292	-35,8806	23,13	349,1	509,5	348,7	449,8
5	-7,8331	-35,7547	24,24	473,6	503,5	482,5	614,5
6	-7,9031	-36,0442	20,99	754,2	1256,1	563	769,2
7	-8,0067	-36,0567	23,53	349	593,8	446,4	490
8	-7,7714	-35,8503	23,58	329,5	676,5	260,6	408
9	-7,9028	-35,9883	23,67	455,4	582	442,5	437,6

Fonte: adaptado de APAC (2019) e Climate-Data (2019)

Análise dos Parâmetros

A Evapotranspiração Potencial média anual (ETP) foi calculada a partir do método empírico (Equação 1) de estimativa proposto por Thornthwaite (1948), em que leva-se em consideração a temperatura média mensal (T), em °C, o índice calorífico anual (I), que por sua vez, deve ser calculado com valores normais (média climatológica) (Equação 2), o índice (a) (Equação 3) e o fator de correção (FC) (Equação 4).

$$ETP = 16 \times \left(\frac{10T}{I}\right)^a \times FC \quad (Eq. 1)$$

T_j é a temperatura média do mês, em °C.

$$I = \sum_{j=1}^{12} \left(\frac{T_j}{5}\right)^{1,514} \quad (Eq. 2)$$

$$a = 6,75 \times 10^{-7} \times I^3 - 7,71 \times 10^{-5} \times I^2 + 1,7912 \times 10^{-2} \times I + 0,49239 \quad (Eq. 3)$$

$$FC = \frac{N}{12} \times \frac{n}{30} \quad (Eq. 4)$$

Onde N é a duração do fotoperíodo e n é o número do dia no ano. Para se obter a duração do dia no fotoperíodo (N), é necessário calcular tanto a inclinação solar (δ) (Equação 5), quanto do Ângulo do nascer do sol (H) (Equação 6).

$$\delta = 23,45 \times \text{sen} \left(\text{Radianos} \left(\frac{360}{365} \times n - 80 \right) \right) \quad (Eq. 5)$$

$$H = \text{Acos} \left(-\tan(\text{Radianos}(\varphi)) \times \tan(\text{Radiando}(n)) \right) \times \frac{180}{\pi} \quad (Eq. 6)$$

Sendo φ a latitude em radianos. Logo, foi possível obter-se a duração do dia no fotoperíodo por meio da Equação 7.

$$N = \frac{2 \times H}{15} \quad (Eq. 7)$$

O primeiro método utilizado para identificar os diferentes níveis de aridez, foi o estabelecido por Thornthwaite (1948) e complementado por Penman

(1952), fazendo a relação entre a precipitação média anual (mm ano⁻¹) e a Evapotranspiração Potencial média anual (mm ano⁻¹), como representada na Equação 8.

$$IA = \frac{\text{Precipitação}}{\text{Evapotranspiração}} \quad (Eq. 8)$$

De acordo com os valores calculados do IA (Equação 8), foram estabelecidas classes climatológicas (Tabela 2) pela resolução CONAMA 238 (1997) e classificados para cada município os riscos de desertificação (MATALLO JÚNIOR, 2003), utilizando os valores expostos na Tabela 3.

Tabela 2 - Classes de clima de acordo com o Índice de Aridez obtido pelo método de Thornthwaite (1948) e ajustados por Penman (1952)

Classe	IA
Úmido	IA ≥ 1
Subúmido Úmido	0,65 ≤ IA < 1
Subúmido Seco	0,50 < IA ≤ 0,65
Semiárido	0,20 < IA ≤ 0,50
Árido	0,05 < IA ≤ 0,20
Hiperárido	IA ≤ 0,05

Legenda: IA= Índice de Aridez

Fonte: Adaptado de CONAMA nº 238 (1997).

Tabela 3 - Padrões de classes de desertificação de acordo com o Índice de Aridez

Nível de suscetibilidade à desertificação	IA
Inferior à Moderada (IM)	IA > 0,65
Moderada (M)	0,51 < IA < 0,65
Alta (A)	0,21 < IA < 0,50
Muito Alta (MA)	0,05 < IA < 0,20
Superior a Muito Alta (SMA)	IA < 0,05

Legenda: IA= Índice de Aridez

Fonte: Adaptado de Matallo Júnior (2003)

Para o Segundo método (Martonne Index of Aridity – MIA), foi utilizada a Equação 9, estabelecida por Martonne (1926), que por sua vez relaciona a precipitação (P) total anual, em mm, e a temperatura (T) média anual (°C).

$$MIA = \frac{P}{T+10} \quad (Eq. 9)$$

Neste método foram definidas classes de aridez de acordo com Martonne (1926) (Tabela 4).

Tabela 4 – Classes de clima de acordo com o Índice de Aridez obtido pelo método Martonne (1926)

Classe	MIA
Umidade Acima do Normal	MIA > 60
Úmido	30 > MIA < 60
Umidade Abaixo do Normal	20 > MIA < 30
Semiárido	15 > MIA < 20
Árido	5 > MIA < 15
Extremamente Árido	0 > MIA < 5

Legenda: MIA= Martonne Index of Aridity

Fonte: Adaptado de Amaral et al. (2014)

O terceiro método aplicado, foi a partir da Equação 10, elaborada por Lang (1915), definida como Classificação do Índice de Precipitação de Lang (LRI), fazendo uma relação entre a precipitação anual (P), em mm, e a temperatura média anual (T), em °C.

$$LRI = \frac{P}{T} \quad (\text{Eq. 10})$$

Obtido o valor de LRI é possível classificar a região de acordo com parâmetros da Tabela 5.

Todos os cálculos e estatística descritiva básica (valores de média e desvio médio padrão) foram realizados com o auxílio de Planilha Eletrônica.

Tabela 5 - Classificação do Índice de Precipitação de Lang (LRI) (1915)

Classe	LRI
Úmido	LRI > 160
Úmido Temperado	100 > LRI < 160
Temperado Quente	60 > LRI < 100
Semiárido	40 > LRI < 60
Árido	0 > LRI < 40

Legenda: LRI= Índice de Precipitação de Lang

Fonte: Adaptado de Alves et al. (2012)

Resultados e Discussões

A partir do cálculo da evapotranspiração potencial média mensal, identificou-se a ETP anual de cada município, sendo importante ressaltar que, a ETP calculada leva em consideração a temperatura média mensal de cada município, disponibilizadas no modelo climático Climate-data, dinamicamente atualizado desde 1982.

Assim sendo, temos um valor único, por município da região, de ETP para os anos considerados na metodologia.

Na Tabela 7 estão dispostos a Evapotranspiração (ETP) e os Índices de Aridez (IA), obtidos pelos métodos de Thornthwaite/Penman e Martonne, para cada município e ano de estudo.

Tabela 7 - ETP e Índice de Aridez pelos métodos Thornthwaite/Penman (a) e Martonne (b), da área e anos em estudo

Município	ETP (mm.ano ⁻¹)	IA							
		2006a	2008a	2015a	2018a	2006b	2008b	2015b	2018b
1	1254,03	0,27	0,39	0,39	0,54	10,03	14,25	14,53	19,74
2	1186,81	0,33	0,49	0,38	0,44	11,71	17,34	13,31	15,46
3	1143,35	0,18	0,48	0,23	0,48	6,06	16,72	8,03	16,54
4	1149,81	0,3	0,44	0,30	0,39	10,54	15,38	10,52	13,58
5	1278,53	0,37	0,39	0,38	0,48	13,83	14,70	14,09	17,95
6	968,9	0,78	1,30	0,58	0,79	24,34	40,53	18,17	24,82
7	1194,43	0,29	0,50	0,37	0,41	10,41	17,71	13,31	14,61
8	1198,09	0,38	0,49	0,37	0,37	13,56	17,33	13,18	13,03
9	1208,62	0,27	0,56	0,22	0,34	9,79	20,09	7,74	12,12
Média	1175,84	0,35	0,56	0,36	0,47	12,25	19,34	12,54	16,43
Desvio-padrão	88,92	0,17	0,28	0,11	0,13	5,08	8,14	3,30	3,97

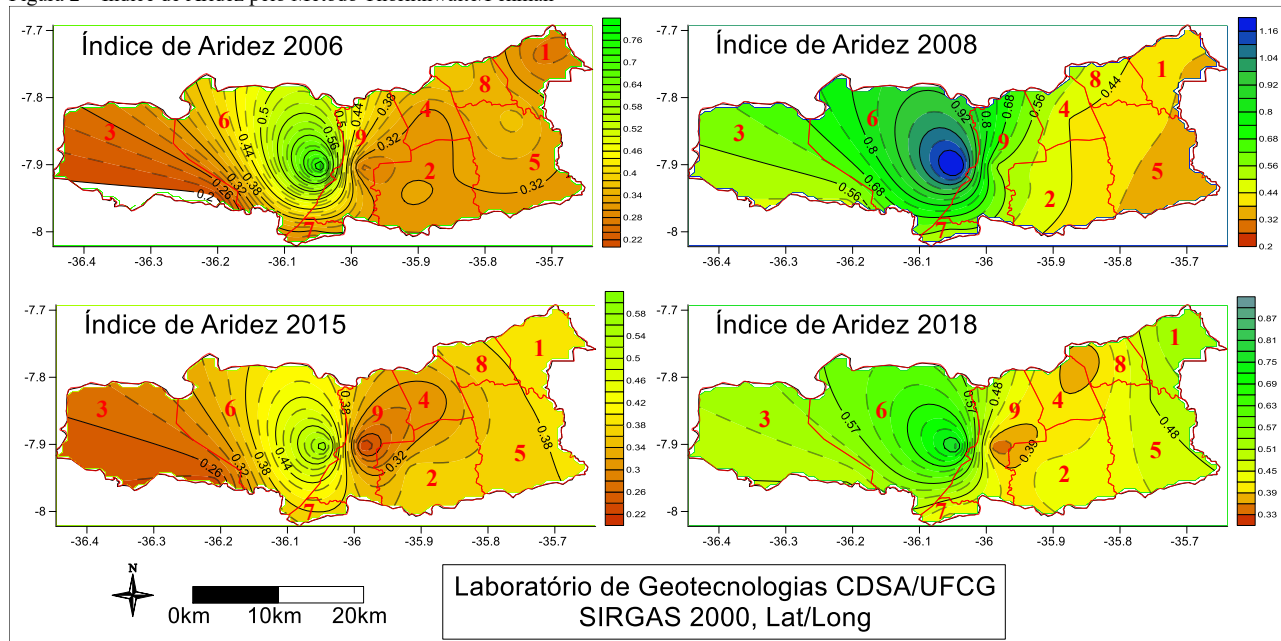
Legenda: ETP= Evapotranspiração; IA= Índice de Aridez

Observa-se que maior ETP calculada, foi a do município 5 (Surubim) e conforme Júnior e Bezerra (2018), os elevados valores de ETP podem contribuir na intensificação de secas, principalmente em regiões áridas e semiáridas. Concernente ao método de Thornthwaite/Penman, observou-se que os valores médios/desvios médios, para os anos estudados (2006, 2008, 2015 e 2018) foram, respectivamente, os seguintes: 0,35/0,17; 0,56/0,28; 0,36/0,11; 0,47/0,13. Constatou-se que, tanto a maior média quanto o maior desvio médio apresentados, foi para o ano de 2008, ou seja, o maior desvio médio, é o maior valor assumido superior ou inferior ao valor médio das amostras. Todavia, para o método de Martonne, verificou-se que os valores médios/desvios médios, para os anos estudados (2006, 2008, 2015 e 2018) foram, respectivamente, os seguintes: 12,25/5,08; 19,34/8,14; 12,54/2,519; 16,428/3,97. Assim, a maior media, bem como o maior desvio médio, foram

apresentados para o ano de 2008. Observa-se que os valores pluviométricos estão inteiramente ligados com o Índice de Aridez pois, este, equivale à relação direta entre os dados de precipitação e as potenciais de perdas de água para a atmosfera. No que concerne à temperatura média de cada cidade, também observa-se que há relação direta no IA, uma vez que, temperaturas elevadas acarretam uma maior perda de água para a atmosfera, logo o IA diminui. Santos (2017) ressalta que o nível de aridez é dependente do volume de água proveniente da chuva e a respectiva perda gerada pela evaporação, transpiração ou evapotranspiração potencial

Na Figura 2 é possível visualizar o IA, calculado pelo método proposto por Thornthwaite/Penman. Para se ter um padrão de distribuição de cores, as paletas de cores foram distribuídas da seguinte forma: valores entre 0,2-0,4 (castanho), entre 0,41-0,70 (amarelo), entre 0,71-0,90 (verde) e superior à 0,91 (azul).

Figura 2 – Índice de Aridez pelo Método Thornthwaite/Penman



Legenda: 1. Casinhas; 2. Frei Miguelinho; 3. Santa Cruz do Capibaribe; 4. Santa Maria do Cambucá; 5. Surubim; 6. Taquaritinga do Norte; 7. Toritama; 8. Vertente do Lério; 9. Vertentes.

Fonte: Autor (2020)

Verificou-se que, em 2006, para a região correspondente ao município de Santa Cruz do Capibaribe, no extremo oeste da área em estudo, estava classificado como Árido, devido ao seu baixo valor de IA (0,18), sendo este o menor valor encontrado nessa microrregião. Já o maior valor encontrado é observado na região central da imagem, correspondente ao município de Taquaritinga do Norte (0,78), que enquadra-se na classificação como clima Subúmido Úmido, as demais localidades são classificadas como Semiárido.

Araújo et al. (2012) citam que, em agosto de 2007 foi marcado com o início de um forte evento La Niña, durante o período 2007-2008, logo este fator pode justificar a elevação nos índices de toda a microrregião.

Não obstante, em 2008, o município de Santa Cruz do Capibaribe passou a ser classificado como Semiárido, como a maioria dos outros municípios, e Vertentes classificado como Subúmido Seco. Neste mesmo ano, o município Taquaritinga do Norte, apresentou o maior IA (1,30) verificado em todo o estudo, nesse ano esta cidade foi classificada como Úmido.

Segundo o Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CEPETEC, 2019) houve chuvas acima da média sobre a região semiárida do Nordeste do Brasil na ocorrência deste fenômeno.

Em 2015, foi constatado um evento moderado de El Niño, e de acordo com Marengo et al. (2016) este fenômeno agravou a situação de seca iniciada em 2012. Com a diminuição dos índices pluviométricos, também houve uma alteração nos índices de Aridez, tornando quase todos os municípios classificados como Semiárido,

exceto Taquaritinga do Norte que se classificou como Subúmido Seco.

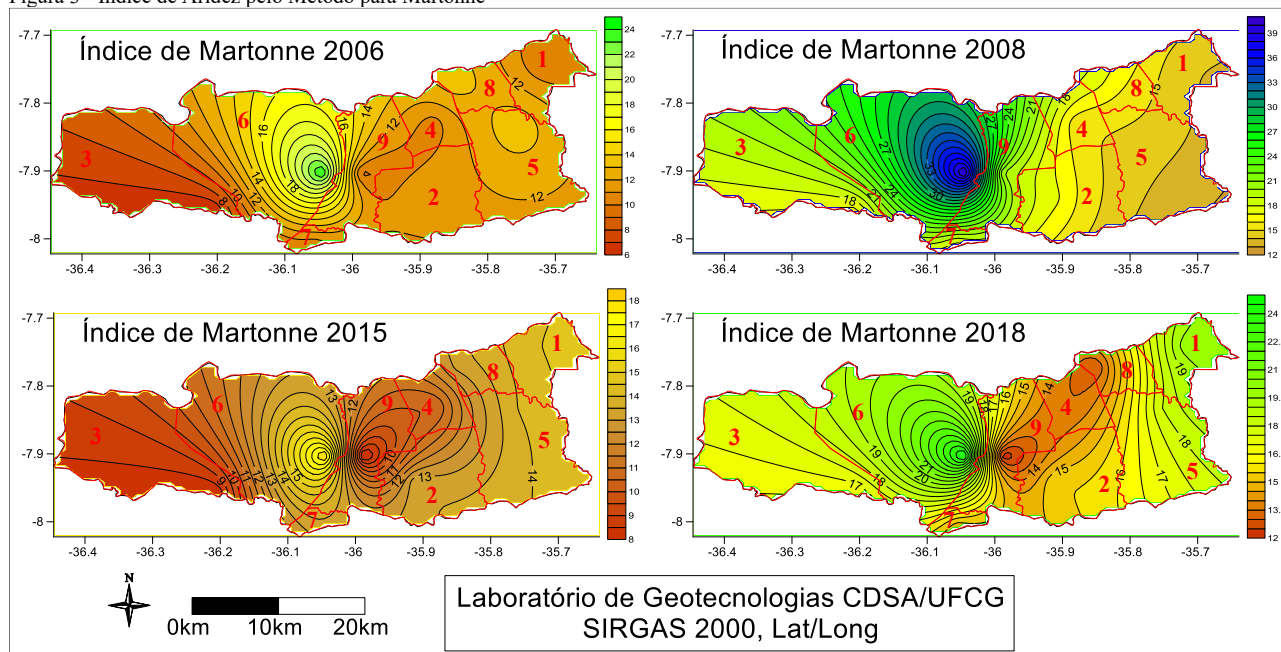
A variação do município de Casinhas só foi expressivo no ano de 2018, quando passa a ser classificado como Subúmido Seco. De acordo com Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC, 2019), na cidade de Casinhas a pluviosidade foi de 671,9 mm em 2018. Taquaritinga do Norte passa a ser classificado como Subúmido Úmido e os demais continuam classificados como Semiárido.

Para o método proposto por Martonne, é possível observar na Figura 3, uma aproximação nas classificações, entretanto este método considera além da relação precipitação e temperatura, um fator 10, no que acarreta em valores de IA maiores. Para uma melhor visualização, os valores entre 8-15 estão em castanho, 16-25 em amarelo, 26-35 verde, e valores maiores que 36 em azul.

Logo, observou-se que, neste caso, em 2006, a região do município de Santa Cruz do Capibaribe também considerado como ambiente Árido, e Taquaritinga do Norte com Umidade Abaixo do Normal (MIA = 24,34). Em 2008, a classificação passa ser a mesma entre os dois primeiros métodos, Santa Cruz do Capibaribe como ambiente Semiárido e Taquaritinga do Norte como Úmido. Vertentes, classificada como Úmido Abaixo do Normal (MIA=20,09, já no método de Thornthwaite/Penman é classificado de Subúmido Seco (IA=0,56).

Brito et al. (2017) identificaram que ocorreu uma seca grave e prolongada entre 2011-2015, o que acarretou em ambientes áridos para a maioria dos municípios em estudos, exceto para Taquaritinga do Norte, que também sofreu influência, mas tornou-se Semiárida.

Figura 3 - Índice de Aridez pelo Método para Martonne



Legenda: 1. Casinhas; 2. Frei Miguelinho; 3. Santa Cruz do Capibaribe; 4. Santa Maria do Cambucá; 5. Surubim; 6. Taqueritinga do Norte; 7. Toritama; 8. Vertente do Lério; 9. Vertentes.

Fonte: Autor (2020)

Conforme Silva et al. (2017) há diversos fatores que podem afetar o clima de uma região, como por exemplo o desflorestamento e o mau uso dos ecossistemas. Santa Cruz do Capibaribe, é um dos principais polos comerciais do estado, e este fator fez com que várias áreas fossem desmatadas para construções de indústria têxtil. Assim, ao longo dos anos, pelo estudo proposto, esse ambiente permaneceu variando entre Árido (2006 e 2015) e Semiárido (2008 e 2018), como foi observado pelo dois métodos.

Considerando o período em estudo, as maiores médias de precipitação na região, foram em 2008 e 2018, conseqüentemente, os maiores valores de IA. Assim como no método Thornthwaite/Penman, o município de Casinhas apresentou uma modificação da sua classificação apenas no ano de 2018. No método Thornthwaite/Penman, Casinhas passou de Semiárido para Subúmido Seco, e no método MIA passou de Árido para Semiárido.

Sobre o índice de precipitação de Lang, os valores calculados estão dispostos na Tabela 8, para os 4 anos em estudo.

Na Figura 4, verifica-se como está distribuída, nos municípios, a classificação de Lang durante os anos em estudo. Para este índice, as cores foram distribuídas da seguinte maneira: entre 8-15 (castanho), 16-26 (amarelo), 27-45 (verde) e valores maiores que 46 (azul).

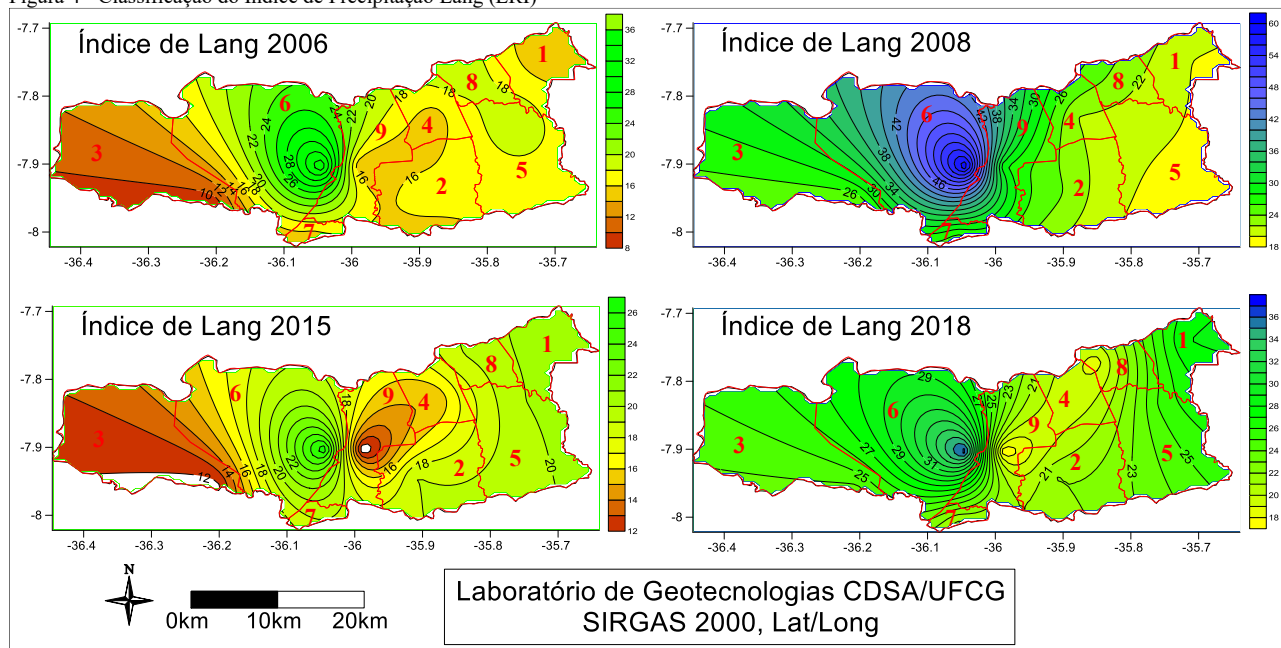
Tabela 8 – Índices de Precipitação de Lang (LRI) obtidos para os anos 2006, 2008, 2015 e 2018

Município	LRI			
	2006	2008	2015	2018
1	14,20	20,17	20,57	27,95
2	16,69	24,73	18,99	22,05
3	8,69	23,97	11,51	23,71
4	15,09	22,02	15,07	19,44
5	19,54	20,77	19,90	25,35
6	35,93	59,84	26,82	36,64
7	14,83	25,23	18,97	20,82
8	19,32	24,69	18,77	18,56
9	13,92	28,58	11,01	17,24

Legenda: LRI= Índices de Precipitação de Lang

De acordo com o índice de Lang verificou-se que, 88,89% dos municípios em estudo, foram considerados como ambiente Árido (LRI < 40), durante os anos em estudo, e que apenas Taqueritinga do Norte (correspondente a 11,11% dos municípios estudados), foi considerado como Semiárido em 2008, voltando a ser Árido em 2015. Segundo Strahler e Strahler (1994) o clima Semiárido apresenta uma precipitação pluviométrica variando entre 0 e 250 mm ano⁻¹; o que remete a riscos para o processo de desertificação, sobretudo no período mais crítico, meses que antecedem o solstício de verão, que para a região corresponde aos meses setembro, outubro e novembro.

Figura 4 - Classificação do Índice de Precipitação Lang (LRI)



Legenda: 1. Casinhas; 2. Frei Miguelinho; 3. Santa Cruz do Capibaribe; 4. Santa Maria do Cambucá; 5. Surubim; 6. Taqueritinga do Norte; 7. Toritama; 8. Vertente do Lério; 9. Vertentes.

Fonte: Autor (2020)

Na Tabela 9, estão dispostos os níveis de Suscetibilidade à desertificação, conforme Matallo Júnior (2003), para os municípios e anos em estudo.

Logo, é possível notar que o nível de suscetibilidade à desertificação para os anos e municípios em estudo, variou de Inferior a Moderada a Alta.

Tabela 9 - Suscetibilidade à Desertificação e Deficiência Hídrica dos municípios do Alto Capibaribe

ANO	2006	2008	2015	2018
Mun.	Desertificação	Desertificação	Desertificação	Desertificação
1	A	A	A	M
2	A	A	A	A
3	MA	A	A	A
4	A	A	A	A
5	A	A	A	A
6	IM	IM	M	IM
7	A	A	A	A
8	A	A	A	A
9	A	M	A	A

Legenda: A= Alta; MA= Muito Alta; IM= Inferior a Moderada; P= Pequena; M= Moderada; G= Grande

Conclusão

Em 2006, o município Santa Cruz do Capibaribe teve o menor valor de IA da área de estudo, em todos os métodos, tendo sido classificado como Árido. Tem uma suscetibilidade à desertificação muito alta, e uma pequena deficiência de água. O maior IA foi verificado para o ano de 2008, na região do município de Taqueritinga do Norte (1,30, pelo método de Thornthwaite e Penman e 40,53, pelo método Martonne), classificando-se assim, como uma

região Úmida e de Inferior a Moderada suscetibilidade à desertificação.

Os métodos Thornthwaite e Penman; e Martonne, são semelhantes nas suas classificações, entretanto o método de Lang e sua Classificação do Índice de Precipitação não condizem com a realidade, pois contrapõem os valores de precipitação anual dos municípios. Não se pode classificar a região como um todo, pois cada município apresenta características climatológicas específicas, como a própria temperatura média, volume de chuva e níveis de evapotranspiração.

Referências

- AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMA DO ESTADO DE PERNAMBUCO (APAC). **Monitoramento Pluviométrico**. Disponível em: <<http://www.apac.pe.gov.br/meteorologia/monitoramento-pluvio.php>>. Acesso em: set. 2019.
- ALMEIDA, H. A. DE; MEDEIROS, E. de A. Variabilidade no regime pluvial em duas mesorregiões da Paraíba e sua relação com o fenômeno EL Niño Oscilação Sul. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 2, n. 3, p. 177-185, 2017. Disponível em: <http://www.journals.ufrpe.br/index.php/JEAP/article/view/1340/1379>
- ALVES, J. J. A.; SILVA, M. C. da; SILVA, V. dos S.; CARVALHO, V. C. de. Indicadores climáticos das áreas de desertificação nos cariris velhos da Paraíba. **Revista Geonorte**, Edição Especial 2, v. 1, n. 5, p. 585 – 597, 2012. Disponível em: <http://www.periodicos.ufam.edu.br/revista-geonorte/article/view/2415/2233>
- AMARAL, V. P. do; MORAES, J. R. da S. C. de; COSTA, J. F.; Santiago, A. V. Estimativa de suscetibilidade à desertificação por meio dos índices de aridez aplicados no município de Petrolina-PE. *In*: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, XVIII, 2014, Belém. Anais... Belém-PA, 2014.
- AN, S.-I.; KIM, J. W. Role of nonlinear ocean dynamic response to wind on the asymmetrical transition of El Niño and La Niña. **Geophys. Res. Lett.**, v. 44, p. 393 – 400, 2017. doi:10.1002/2016GL071971
- ANDRADE, G.O., LINS, R.C. **Introdução a morfoclimatologia do Nordeste do Brasil**. In: ROSADO, V.U.; ROSADO, A (Orgs.). Decimo livro das secas. Natal: UFRN/ Ed. Universitaria, 1985.
- ARAÚJO, F. M. de; FERREIRA, L. G.; ARANTES, A. E. Distribution Patterns of Burned Areas in the Brazilian Biomes: An Analysis Based on Satellite Data for the 2002–2010 Period. **Remote Sens.**, v. 4, p. 1929-1946, 2012. doi:10.3390/rs4071929
- BETTINI, C. **Conceitos básicos de geostatística**. In: Meirelles, M.S.P.; Câmara, G.; Almeida, C.M. (Orgs.). **Geomática: modelos e aplicações ambientais**. Brasília: Embrapa, p. 193-234, 2007.
- BRITO, S. S. B.; CUNHA, A. P. M. A.; CUNNINGHAM, C. C.; ALVALÁ, R.C; MARENGO, J.A.; CARVALHO, M.A **Frequency duration and severity of drought in the Semiarid Northeast Brazil region. International Journal of Climatology**, 38(2), 517-529, 2017. Doi: 10.1002/joc.5225
- CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICO (CEPETEC). **El Niño e La Niña**. Disponível em: <<http://enos.cptec.inpe.br/>>. Acesso em: set. 2019.
- CHOI, K.Y., VECCHI, G. A.; WITTENBERG, A. T. ENSO transition, duration, and amplitude asymmetries: Role of the nonlinear wind stress coupling in a conceptual model. **Journal of Climate**, v. 26, p. 9462-9476, 2013. doi:10.1175/JCLI-D-13-00045.1
- CLIMATE-DATA. Médias de Temperaturas. Disponível em: <<https://pt.climate-data.org/location/42573/>>. Acesso em: set. 2019.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução nº 238**, de 22 de dezembro de 1997. Brasília: DOU de 23/12/1997.
- CONDEPE/FIDEM. Agência Estadual de Planejamento e Pesquisas de Pernambuco. Bacia Hidrográfica do Rio Una, GL 4 E GL 5. **Série Bacias Hidrográficas de Pernambuco** n. 3. Recife, 2006. Disponível em: http://www2.condepefidem.pe.gov.br/c/document_library/get_file?p_l_id=78673&folderId=141847&name=DLFE-11996.pdf
- COSTA, José de Araújo. O Fenômeno El Niño e as Secas no Nordeste do Brasil. **Revista Educação, Tecnologia e Cultura**, v. 12, p. 57-64, 2016. Disponível em: <https://publicacoes.ifba.edu.br/index.php/etc/article/view/55>
- DÍAZ-PADILLA, G.; SÁNCHEZ-COHEN, I.; GUAJARDO-PANES, R. A.; ÁNGEL-PÉREZ, A. L. Del; RUÍZ-CORRAL, A.; MEDINA-GARCÍA, G.; IBARRA-CASTILLO, G. Mapeo del índice de aridez y su distribución poblacional en México. **Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente**, v. 17, p. 267-275, 2011.
- DINEZIO, P. N.; DESER, C. Nonlinear controls on the persistence of La Niña. **Journal of Climate**, v. 27, n. 19, p. 7335-7355, 2014. doi: 10.1175/JCLI-D-14-00033.1
- FERNANDES, D. S.; HEINEMANN, A. B.; PAZ, R. L. da; AMORIM, A. de O.; CARDOSO, A. S. **Índices para a Quantificação da Seca**. Santo Antônio de Goiás : Embrapa Arroz e Feijão, 2009. 48 p.
- FISCH, G.; VALÉRIO, M. C. Variabilidade intra e interanual da precipitação em Taubaté-SP associado aos eventos El Niño e La Niña. **Revista Biociências**, v. 11, p. 19-29, 2005. Disponível em: <http://periodicos.unitau.br/ojs/index.php/biociencias/article/view/192/158>
- FREITAS, M. A. S. Um Sistema de Suporte à Decisão para o Monitoramento de Secas Meteorológicas em Regiões Semi-Aridas. **Revista Tecnologia**, v. 19, p. 19-30, 1998. doi: <http://dx.doi.org/10.5020/23180730.1998.1175>
- HUO, Z. L.; Dai, X. Q.; FENG, S.Y.; KANG, S.Z.; HUANG, G.H. Effect of climate change on reference evapotranspiration and aridity index in arid region of China. **Journal of Hydrology**, v. 492, p. 24-34, 2013. doi: 10.1016/j.jhydrol.2013.04.011
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Normais Climatológicas do Brasil**. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisclimatologica>
- ISAACS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. **An introduction to applied geostatistics**. New York: Oxford University Press, 1989.
- JAKOB, A. A. E. A krigagem como método de análise de dados demográficos. *In*: ENCONTRO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS POPULACIONAIS, XIII, 2002, Ouro Preto. Anais... Ouro Preto, 2002.
- CABRAL JÚNIOR, J. B.; BEZERRA, B. G. Análises da evapotranspiração de referência e do índice de aridez para o Nordeste do Brasil. **REGNE**, v. 4, n. 1, 2018.
- LANG, R. Versuch einer exakten Klassifikation der böden in Klimatischer und geologischer Hinsicht. *Internat Mitt. für Bdenkunde. Stuttgart*, v. 7, n. 8, p. 312-346, 1915.
- LOPES, I.; LEAL, B. G. Índice de aridez e tendência a desertificação para estações meteorológicas nos Estados da Bahia e Pernambuco. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 17, p. 158-175, 2015. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/42413/27315>
- LOPES, I.; MELO, J. M. M. de; CARVALHO, A. A.de; MOURA, G. B. de A.; LEAL, B. G. Análise multivariada no estudo da variação do Índice de Aridez da Bahia e Pernambuco. **Agrometeoros**, v. 26, n. 1, p. 93-102, 2018. Disponível em: <https://seer.sct.embrapa.br/index.php/agrometeoros/article/view/26345/14366>
- MARENGO, J. A.; CUNHA, A. P. M. A.; ALVES, L. M. A seca de 2012-15 no semiárido do Nordeste do Brasil no contexto histórico. **Revista Climanalise**, v. 4, p. 49-54, 2016. Disponível em: <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/revista/pdf/30anos/marengoetal.pdf>
- MARTONNE, E. de. **Arésisme et indice aridité. Comptes Rendus de L'Académie des Sciences**, Paris, 182, 1396-1398, 1926.
- MATALLO JUNIOR, H. **A desertificação no mundo e no Brasil**. In: Schenkel, C. S. e Matallo JR, H (Org.). **Desertificação**. Brasília: UNESCO, 2003.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **Plano Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca**. Brasília, 2005. Disponível em: http://www.meioambiente.es.gov.br/download/PAN_Brasil_Portugues.pdf

NEPOMUCENO, S. C.; ATHIÊ-SOUZA, S. M.; BURIL, M. T. Convolvulaceae da Microrregião do Alto Capibaribe, PE, Brasil. **Hoehnea**, v. 43, n. 3, 2016. doi: 10.1590/2236-8906-31/2016

OKUMURA, Y. M.; DESER, C. Asymmetry in the duration of El Niño and La Niña. **Journal of Climate**, v. 23, n. 21, p. 5826 – 5843, 2010. doi: [10.1175/2010JCLI3592.1](https://doi.org/10.1175/2010JCLI3592.1)

PENMAN, H. L. The physical bases of irrigation control. In: REPORT OF THE INTERNATIONAL HORTICULTURAL CONGRESS, XIII, London, 1952. Anais... London, 1952. Disponível em: <https://repository.rothamsted.ac.uk/item/8w2z1/the-physical-bases-of-irrigation-control>

SANTOS, Francílio de Amorim dos. Análise do Índice de Aridez do Município de Castelo do Piauí, Nordeste do Brasil. In: CONIDIS, II, Campina Grande, 2017. Anais... Campina Grande, 2017.

SILVA, J. C. L. da. La Niña. Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/geografia/la-nina.htm>. Acesso em: junho 2019.

SILVA, R. O. B. da; MONTENEGRO, S. M. G. L.; SOUZA, W. M. de. Tendências de mudanças climáticas na precipitação pluviométrica nas bacias hidrográficas do estado de Pernambuco. **Eng. Sanit. Ambient.**, v. 22, n. 3, p. 579-589, 2017. doi: 10.1590/S1413-41522017142481

SOARES, D. B.; NÓBREGA, R. S. Detecção de tendências na ocorrência de veranicos na microrregião do Pajeú – PE. **Revista de Geografia**, 26(3), 2009. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/revistageografia/article/view/228779/23193>

STRAHLER, A., STRAHLER, A. H. Geografia física. Trad. de Marta Barrutia e Pere sunyer. Barcelona: **OMEGA**, 3 ed., 1994.

THORNTHWAITTE, C. W. An approach toward a rational classification of climate. **Geographical Review**, 38(1), 55-94, 1948. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/210739?seq=1>

WEN, M.; CHENG, D.; SONG, J.; ZHANG, G.; LAI, W.; JIANG, W. Impacts of climate change on aridity index and its spatiotemporal variation in the Loess Plateau of China, from 1961 to 2014. **Environmental Earth Sciences**, v. 77, 2018. doi: 10.1007/s12665-018-7304-y

XU, Z. X.; LI, J. Y.; LIU, C. M. Long-term trend analysis for major climate variables in the Yellow River basin. **Hydrological Processes**, v. 21, n. 14, p. 1935-1948, 2007. doi: 10.1002/hyp.6405

ZHANG, Q.; XU, C.Y.; ZHANG, Z. X. Observed changes of drought/wetness episodes in the Pearl River basin, China, using the standardized precipitation index and aridity index. **Theoretical and Applied Climatology**, 98(1), 89 – 99, 2009a. doi: 10.1007/s00704-008-0095-4

ZHANG, K.; PAN, S.; ZHANG, W.; XU, Y.; CAO, L.; HAO, Y.; WANG, Y. Influence of climate change on reference evapotranspiration and aridity index and their temporal-spatial variations in the Yellow River Basin, China, from 1961 to 2012. **Quaternary International**, v. 380, p. 1-8, 2015. doi: 0.1016/j.quaint.2014.12.037

ZHANG, X.; REN, Y.; YIN, Z.Y.; LIN, Z.Y.; ZHENG, D. Spatial and temporal variation patterns of reference evapotranspiration across the Qinghai-Tibetan Plateau during 197-2004. **Journal of Geophysical Research**, v. 114, p. 1-14, 2009b. doi: [10.1029/2009JD011753](https://doi.org/10.1029/2009JD011753)