

Avaliação de ocorrências de eventos climáticos extremos na sub-bacia hidrográfica do rio Piracuruca

Evaluation of extreme climate events occurrences in the Piracuruca river hydrographic sub-basin

Francílio de Amorim dos Santos
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí
francilio.amorim@ifpi.edu.br

Lúcia Maria Silveira Mendes
Universidade Estadual do Ceará
lucia.mendes@uece.br

Maria Lúcia Brito da Cruz
Universidade Estadual do Ceará
mlbcruz@gmail.com

Resumo: O Nordeste do Brasil abrange a maior parte da área semiárida brasileira, essa apresenta irregular distribuição pluviométrica inter e intra-anual, fato que resulta na ocorrência de anomalias negativas (secas) e positivas (inundações). Desse modo, o objetivo da pesquisa foi realizar análise da precipitação da Sub-bacia Hidrográfica do rio Piracuruca, localizada entre os estados do Ceará e do Piauí, considerando estatística descritiva, o índice de anomalia da chuva (IA) e teste de tendência de Mann-Kendall, com o intuito de investigar as secas e as inundações. Inicialmente, demandou-se aquisição de dados de precipitação de 14 postos pluviométricos da Agência Nacional de Águas – ANA –, para o período de 1985 a 2016. As falhas dos dados foram preenchidas, permitindo-os emprega-los para correlacionar os postos do interior e do entorno por meio do Coeficiente de Determinação (R^2) e Coeficiente de Correlação de Pearson, verificar a tendência ao aumento/redução da precipitação via teste de Mann-Kendall (MK), identificar os anos secos e chuvosos através do índice de anomalia das chuvas (IAC). Os resultados apontaram que: os postos apresentam boa correlação (R^2 de 0,9311 e r de 0,9650), o teste de MK indicou tendência decrescente estatisticamente significativa, com destaque para os meses de setembro e outubro; o IAC indicou que em 53,2% da série analisada ocorreram anos secos a extremamente secos e 46,8% dos anos foram chuvosos a extremamente chuvosos; fato que justificou a emissão de 75 Decretos de Situação de Emergência, entre 2003 e 2016, devido às estiagens e secas ou enchentes e inundações.

Palavras-chave: Norte do Nordeste do Brasil, Seca, Inundação, Índice de anomalia das chuvas (IAC).

Abstract: The Northeast of Brazil covers most of the Brazilian semiarid area, which presents irregular inter and intra-annual rainfall distribution, a fact that results in the occurrence of negative (drought) and positive (flood) anomalies. Thus, the aim of this research was to analyze

the precipitation of the Sub-basin of the Piracuruca River, located between the states of Ceará and Piauí, considering descriptive statistics, the rainfall anomaly index (AI) and Mann-Kendall trend test, in order to investigate droughts and floods. Initially, the acquisition of precipitation data of 14 rainfall stations of the National Water Agency – ANA – was requested for the period 1985 to 2016. The data gaps were filled, allowing them to be used to correlate the posts in the interior and the surroundings using the Coefficient of Determination (R^2) and Pearson's Correlation Coefficient (r), verifying the tendency to increase/decrease precipitation via the Mann-Kendall (MK), identify the dry and rainy years using the rain anomaly index (IAC). The results showed that: the posts present good correlation (R^2 of 0.9311 and r of 0.9650), the MK test indicated a statistically significant downward trend, with emphasis the months of September and October; the IAC indicated that in 53.2% of the series analyzed there were dry to extremely dry years and 46.8% of the years were rainy to extremely rainy; which justified the issuance of 75 Emergency Situation Decrees, between 2003 and 2016, due to droughts and droughts or floods and floods.

Keywords: North of Northeast Brazil, Drought, Flood, Rain Anomaly Index (RAI).

Introdução

As condições climáticas representam elemento de grande influência nas atividades humanas, fator modelador do relevo e promotor de processos erosivos que resultam em distinto mosaico de solos. Nesse cenário, inserimos o Nordeste do Brasil (NEB), que abrange parte da área semiárida brasileira, aproximadamente 90% dessa (IBGE, 2020), sendo o rigor climático possivelmente sua condição mais marcante, notadamente a irregular distribuição pluviométrica inter e intra-anual.

Nesse cenário, destacamos que essa precipitação irregular ao longo do tempo tem resultado em eventos climáticos extremos, particularmente as secas e as inundações. Nesse contexto, ressaltamos que as mudanças climáticas podem resultar no aumento da frequência e severidade dos eventos extremos e afetar diretamente as atividades humanas (ALMEIDA; FREITAS; SILVA, 2013).

Os desastres naturais são originados na interface sociedade/natureza e suas consequências são dadas a partir de marcos econômico, social e cultural da população afetada (CAMPOS-VARGAS; TOSCANA-APARICIO; ALANÍS, 2015). Os desastres naturais estão diretamente atrelados à inabilidade humana em lidar com as alterações ocorridas no planeta e a ausência de habilidade para gerenciá-las (NUNES, 2015).

Reiteramos que as secas e as inundações são desastres naturais de natureza climática e hidrológica, respectivamente. As secas e estiagens dizem respeito aos longos períodos de baixa

ou ausência de chuvas, suficiente para provocar graves desequilíbrios hidrológicos (BRASIL, 2014). Enquanto as inundações estão associadas a eventos naturais com periodicidade nos cursos d'água, originadas de chuvas fortes e rápidas ou de longa duração (TOMINAGA; SANTORO; AMARAL, 2009).

Frente ao que foi exposto observamos a necessidade de estudos voltados à compreensão da dinâmica pluviométrica, particularmente das anomalias pluviométricas interanuais. Visto que essas tenham potencial danoso sobre as atividades humanas, ou seja, a ocorrência de secas e inundações tem gerado historicamente grandes transtornos e perdas econômicas e humanas.

Nesse contexto, destacamos a relevância do uso da estatística aplicada a estudos climáticos, nesse caso ligados à precipitação, possibilitando a estimativa da periodicidade da ocorrência de anomalias negativas (secas) e positivas (inundações), em áreas de bacias hidrográficas. Devemos entender bacia hidrográfica como um sistema não isolado aberto, onde ocorre predominantemente troca de matéria e energia, perda e recarga, conforme ressalta Christofolletti (1980).

Desse modo, a pesquisa empregou metodologia descritiva, quanto ao seu objetivo, e quantitativa, quanto a sua abordagem. Além de levantamento bibliográfico e cartográfico, sendo esse último voltado à aquisição de dados vetoriais da malha municipal digital do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e de precipitação das estações pluviométricas da Agência Nacional de Águas (ANA).

Nesse sentido, o estudo revela-se importante para compreensão dos desastres naturais, supracitados. Dessa forma, buscamos realizar análise da precipitação da Sub-bacia Hidrográfica do rio Piracuruca, localizada entre os estados do Ceará e do Piauí, considerando estatística descritiva, o índice de anomalia da chuva (IA) e teste de tendência de Mann-Kendall, como possibilidade a estudos de secas e inundações.

Área em estudo

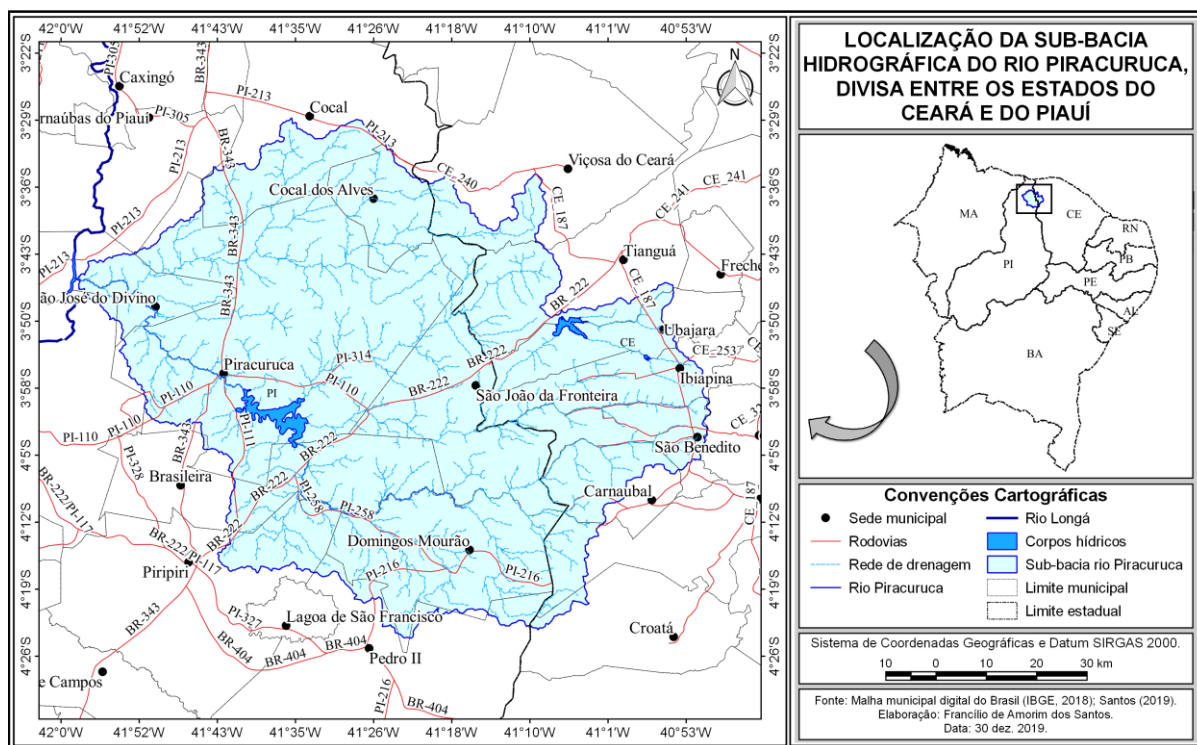
A Sub-bacia Hidrográfica rio Piracuruca (SBHRP) está situada entre os estados nordestinos do Ceará e do Piauí (Figura 1), compreendo uma área de 7.704 km². As principais nascentes do seu rio principal localizam-se no Planalto da Ibiapaba, a altura do município de São Benedito, estado do Ceará, e na Serra dos Matões, município de Pedro II. A SBHRP drena

as áreas de 20 municípios, desses onze estão localizados no estado do Piauí e nove são municípios pertencentes ao estado do Ceará.

A Sub-bacia em questão assenta-se sobre as seguintes formações geológicas: Serra Grande (Siluriano), Pimenteiras (Devoniano Inferior), Cabeças (Devoniano Médio), Longá (Devoniano Superior), Sardinha (Cretáceo) e os Depósitos Colúvio-Eluviais (Neógeno) (CPRM, 2006a; 2006b). Essas formações têm passado por processo de rebaixamento e resultado em relevo dissecado pelos rios consequentes, vertentes parciais a fortemente dissecadas e, ainda, extensas áreas com relevo feições aplainado associado a áreas rebaixadas e periodicamente inundáveis.

A área em estudo está sobre influência da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCANs), Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOL) ou Ondas de Leste (OL), Linhas de Instabilidade (LIs) e Perturbações Ondulatórias nos Alísios (POA), que promove chuvas entre março e junho. Além desses sistemas, a SBHRP é influenciada dos fenômenos oceânicos *El Niño* Oscilação-Sul (ENOS) e a diferença na Temperatura da Superfície do Mar (TSM) das bacias do Atlântico Norte e Atlântico Sul (FERREIRA; MELLO, 2005).

Figura 1. Localização da Sub-bacia Hidrográfica do rio Piracuruca, situada na divisa entre os estados do Ceará e do Piauí.



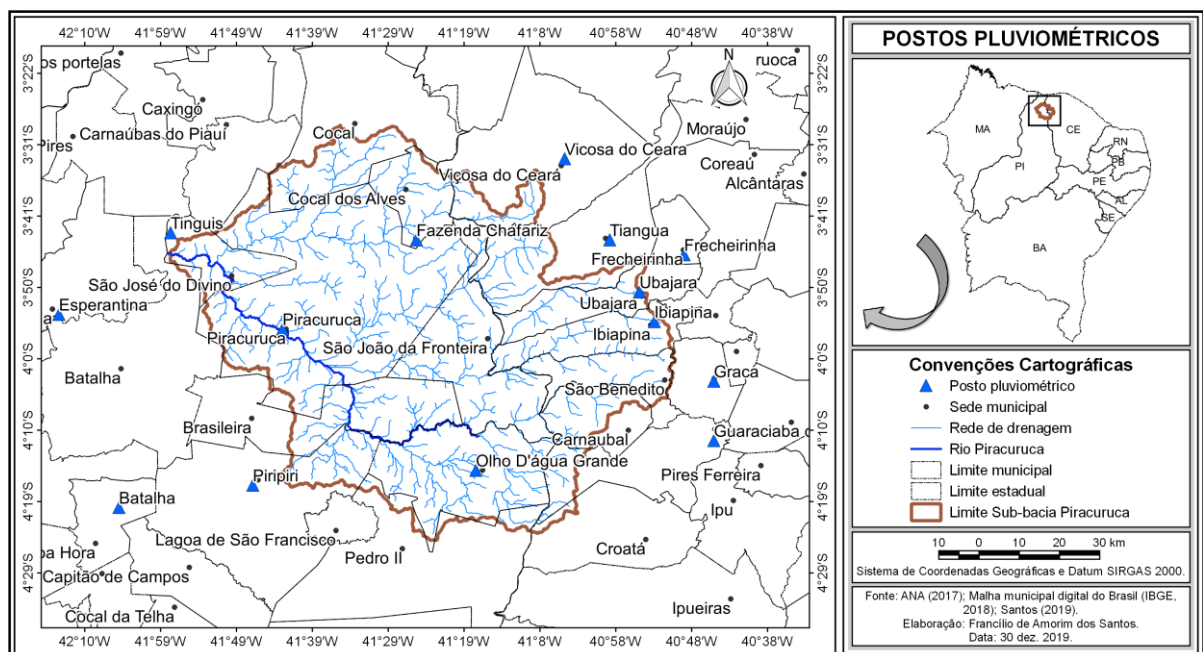
Ressaltamos que na Sub-bacia pesquisada ocorrem chuvas orográficas, na vertente a barlavento do Planalto da Ibiapaba, lado cearense. Dessa forma, os dados apontam que ocorre na Sub-bacia precipitações que variam de 860 mm a 1.710 mm anuais, temperaturas médias anuais de 20° a 27°C, 0 a 7 meses secos em média ao longo do ano, evapotranspiração potencial de 903 a 1.643 mm, excedente hídrico da ordem de 100 a 1.000 mm e déficit hídrico de 30 mm a 730 mm (SANTOS, 2019).

Por sua vez, foram identificadas oito ordens solos na área, quais sejam: Argissolos (Amarelo e Vermelho), recobertos por caatinga arbustiva; Chernossolos (Argilúvico), onde se desenvolve a caatinga arbustiva; Gleissolos (Melânico), recobertos por mata plúvio-nebular; Latossolos (Amarelo), substrato para desenvolvimento da mata plúvio-nebular; Neossolos (Litólicos e Quartzarênicos), base para a caatinga arbustiva e/ou carrasco; Planossolos (Háplico), que possibilita o desenvolvimento da mata plúvio-nebular; Plintossolos (Argilúvico e Pétrico), com presença de carnaubal e caatinga arbustiva aberta; Vertissolos (Ebânico), recoberto por caatinga arbustiva (INDE, 2019; SANTOS, 2019).

Procedimentos metodológicos

Inicialmente, foi necessária aquisição de dados de precipitação de quatorze postos pluviométricos, conforme está representado na Figura 2, junto ao Sistema de Informações Hidrológicas (HidroWEB), da Agência Nacional de Águas (ANA, 2017), a partir de uma serie histórica de 32 anos (1985 a 2016).

Figura 2. Localização dos postos pluviométricos utilizados no estudo.



Ressaltamos que foram efetuadas correções nas falhas encontradas no registro dos dados dos postos, por meio do pacote de programas computacionais USUAIS, conforme proposto por Oliveira e Sales (2016). Esses autores sugerem o uso da técnica de ponderação regional proposta por Tucci (1993), que se baseia no uso de dados de três postos pluviométricos referentes à precipitação daquele mês onde ocorreu a falha e a precipitação média na série histórica correspondente ao mês que se deseja preencher (Figura 3).

Na sequência, os dados foram organizados em planilhas eletrônicas, que permitiu seu manuseio no *software BioEstat*, versão 5.0, para estimativa da correlação dos postos do interior e do entorno da Sub-bacia, por meio do Coeficiente de Determinação (R^2) e o Coeficiente de

Correlação de Pearson (r). Com o objetivo de avaliar a tendência da série histórica, foi utilizado o teste estatístico não paramétrico de Mann-Kendall (MK), efetuado por meio do *software* livre *Past* (MANN, 1945).

Figura 3. Quadro utilizado para realização da correção das falhas nos postos pluviométricos.

POSTO PROBLEMA				
Nome:	Mês cujo dado se deseja preencher:	Ano:		
POSTOS DE APOIO				
Apoio 1:	Apoio 2:	Apoio 3:		
DADOS DOS POSTOS A SEREM DIGITADOS				
POSTO	Problema	Apoio 1	Apoio 2	Apoio 3
Precipitação correspondente ao mês cujo dado se deseja preencher				
Precipitação média na série histórica correspondente ao mês cujo dado se deseja preencher				

Fonte: Tucci (1993).

O *Rainfall Anomaly Index (RAI)* ou Índice de Anomalia das Chuvas (IAC), proposto inicialmente por Rooy (1965) e aperfeiçoado para o Nordeste do Brasil por Freitas (2004), foi empregado para identificação e classificação dos anos secos e chuvosos na SBHRP. Nesse sentido, a obtenção dos anos secos e chuvosos extremos, respectivamente, por meio do IAC, é descrita pela Equação 1 e pela Equação 2.

$$IAC = 3 \left[\frac{(N - \bar{N})}{(\bar{M} - \bar{N})} \right], \text{ para anomalias positivas} \tag{1}$$

$$IAC = -3 \left[\frac{(N - \bar{N})}{(\bar{X} - \bar{N})} \right], \text{ para anomalias negativas} \tag{2}$$

Onde:

N = precipitação anual (mm);

\bar{N} = precipitação média anual da série histórica (mm);

\bar{M} = média das 10 maiores precipitações anuais da série histórica (mm);

\bar{X} = média das 10 menores precipitações anuais da série histórica (mm).

Destacamos que as anomalias positivas são aquelas situadas acima da média histórica, enquanto as anomalias negativas as localizadas abaixo da média histórica. Desse modo, foram delimitadas seis categorias para os anos secos e chuvosos extremos (Tabela 1). Ressaltamos, ainda, que o produto obtido a partir do IAC foi comparado às Portarias de Reconhecimento de Situação de Emergência (SE), como forma de refutar/corroborar suas emissões ao longo dos anos de 2003 a 2016, considerando os municípios com sedes inseridas nos limites da Sub-bacia estudada. Dessa forma, foram adquiridos informações dessas portarias por meio do banco de dados da Secretaria Nacional de Defesa Civil (SEDEC, 2017).

Tabela 1. Intervalos e categorias de intensidade dos anos secos e chuvosos extremos, conforme Índice de Anomalia de Chuva (IAC).

Intervalos do IAC	Categorias de intensidade
> 4	Extremamente Chuvoso (EC)
2 a 4	Muito Chuvoso (MC)
0 a 2	Chuvoso (C)
0 a -2	Seco (S)
-2 a -4	Muito seco (MS)
< -4	Extremamente Seco (ES)

Fonte: Freitas (2004; 2005).

Resultado e discussão

Análise estatística

Inicialmente, foi realizada análise da correlação existente entre os 14 postos pluviométricos utilizados no estudo, onde se considerou para análise a média pluviométrica dos 5 postos situados no interior da Sub-bacia e a média dos 9 postos localizados no seu entorno. Desse modo, podemos observar que a nuvem de pontos está próxima da reta do diagrama de dispersão (Figura 3), ao passo que o valor apresentado pelos coeficientes de determinação (R^2) e de correlação de Pearson (r) indicou ótima correlação entre os pontos do interior e do entorno da Sub-bacia, posto que tenha se aproximado de +1, especificamente 0,9311 e 0,9650, respectivamente.

Por sua vez, a série histórica analisada apontou que a média anual das precipitações na SBHRP foi de 1.333 mm, para o período de 1985 a 2016, onde se destacam os anos de 1985 e

1986, considerados os mais chuvosos da série, com 2.455 mm e 1.850 mm anual, respectivamente (Figura 4), enquanto o ano de 1992 pode ser considerado o mais seco da série, com 756 mm anuais. Ressaltamos, ainda, que entre os anos de 2012 e 2016 a Sub-bacia passou por longo período de seca, com destaque para 2012, que apresentou o segundo menor volume pluviométrico da série histórica, 779 mm anuais. Em termos gerais, a Sub-bacia apresenta variações temporais interanuais das precipitações, fato que é considerado característica natural da dinâmica climática da área pesquisada.

Figura 3. Dispersão, coeficiente de determinação (R^2) e correlação de Pearson (r) dos dados dos postos pluviométricos inseridos no interior e no entorno da Sub-bacia Hidrográfica do rio Piracuruca, no período de 1985 a 2016.

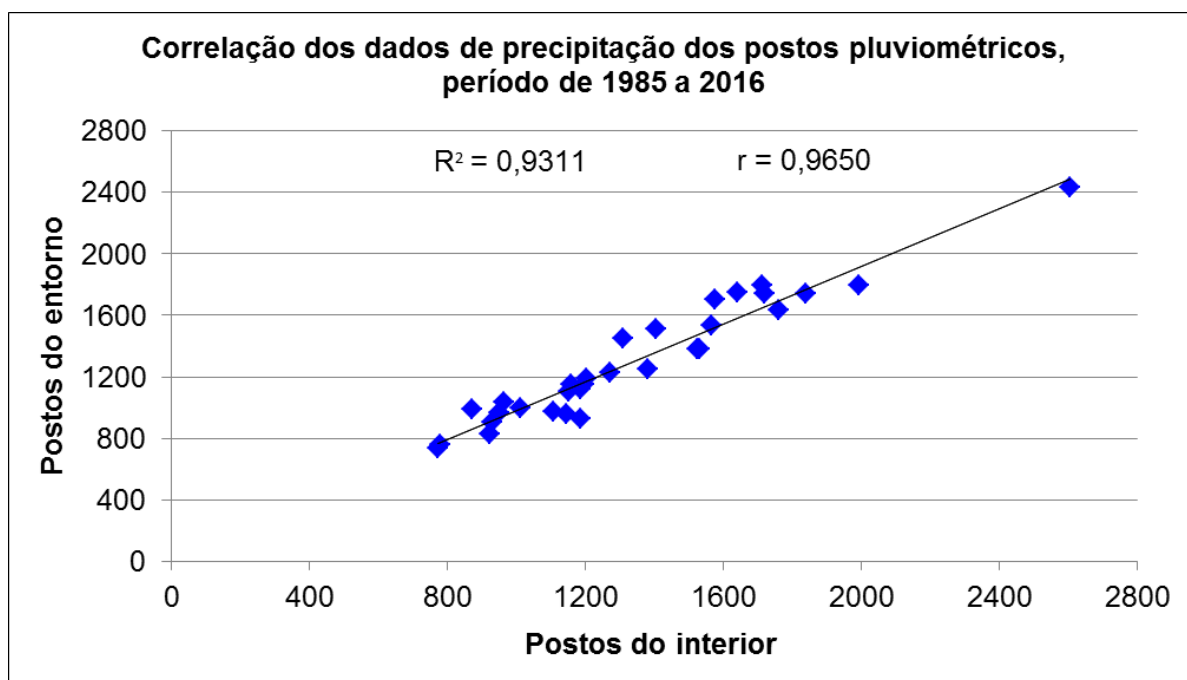
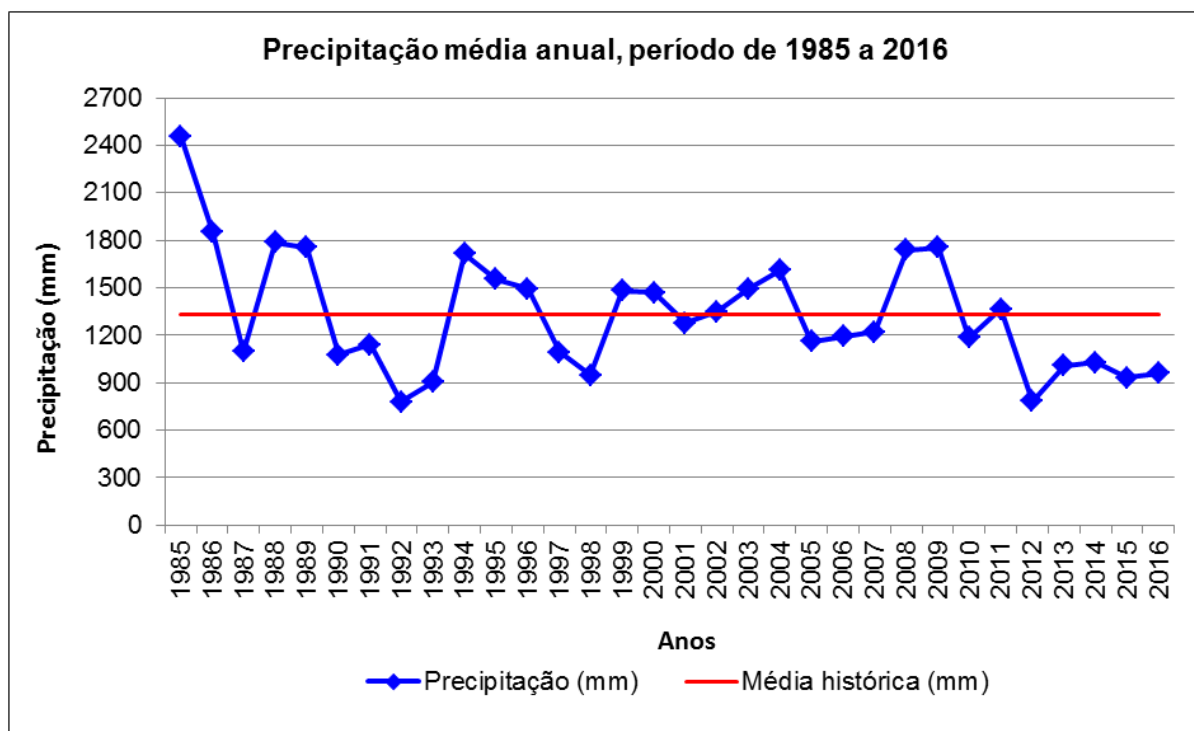
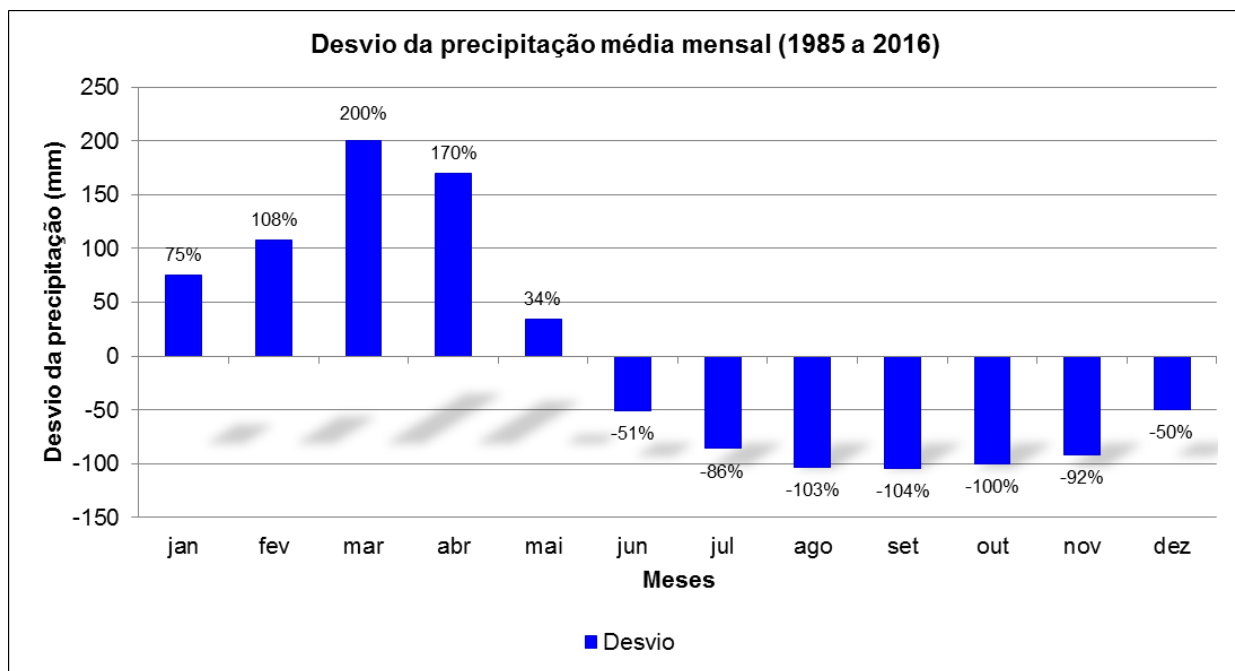


Figura 4. Variação interanual da precipitação média anual para a Sub-bacia Hidrográfica do rio Piracuruca, no período 1985 a 2016 ($\bar{X} = 1.333$ mm).



Por seu turno, o desvio médio indicou que o período chuvoso situa-se entre os meses de janeiro a abril, tendo o mês de março o maior volume de precipitação, com 311 mm mensais médios, e o maior desvio em relação à média (200%), conforme se pode observar na Figura 5. Ressaltamos que a concentração de chuvas nos referidos meses está associada à Zona de Convergência Intertropical – ZCIT, principal sistema provedor de chuvas nessa área, que atinge sua posição mais setentrional entre os meses de março e abril. Por outro lado, os meses de junho a dezembro representa o período seco na área, com redução significativa dos totais pluviométricos, principalmente nos meses de agosto e setembro, que apresentaram 7 mm (desvio médio de -103%) e 6 mm (desvio de -104%), respectivamente.

Figura 5. Gráfico do desvio da precipitação média mensal da Sub-bacia Hidrográfica do rio Piracuruca, período de 1985 a 2016.



O teste de Mann-Kendall, realizado no *software* Past, apontou tendência estatisticamente significativa em relação à precipitação média anual, na série histórica estudada, tendo em vista que o *pvalor* anual foi de 0,047853 ou 4,78% (Tabela 2). Devemos ressaltar, ainda, que, os meses de setembro, este o mais seco da série, e de outubro apresentaram tendência significativa, com *pvalor* de 0,012371 (1,23%) e 0,030787 (3,07%), respectivamente. Dessa forma, podemos afirmar que poderá haver maior escassez de água e secas mais severas nos referidos meses, fato preocupante, pois a Sub-bacia estudada situa em área semiárida e, conseqüentemente, apresenta periodicamente eventos extremos de seca.

Tabela 2. Teste de Mann-Kendall aplicado às séries mensal e anual das precipitações da Sub-bacia Hidrográfica do rio Piracuruca, período de 1985 a 2016.

Meses	<i>n</i>	Teste de Mann-Kendall (<i>p</i> valor)
Janeiro	32	0,42684
Fevereiro	32	0,25625
Março	32	0,0086037*
Abril	32	0,12342
Maio	32	0,33868
Junho	32	0,93538
Julho	32	0,24291
Agosto	32	0,26954
Setembro	32	0,012371*
Outubro	32	0,030787*
Novembro	32	0,55931
Dezembro	32	0,34687
Anual	384	0,047853*

**p*valor $\leq 0,05$ (ou 5%) é considerado significativo.

É relevante salientar, também, que o mês de março, o de maior precipitação média histórica, também, apresentou tendência significativa (*p*valor de 0,0086037 ou 0,086%), fato que pode está associado ao aumento das precipitações e, como tal, da probabilidade em relação à ocorrência de inundações na área da Sub-bacia estudada.

Análise do índice de anomalia das chuvas (IAC), fenômenos oceânicos e Decretos de Situação de Emergência (SE)

O índice de anomalia da chuva (IAC) foi empregado avaliar a ocorrência de oscilações pluviométricas – anos secos e chuvosos – e relacioná-lo a fenômenos de teleconexão global, tais quais, o El Niño-oscilação Sul (ENOS) e o Dipolo do Atlântico, considerando o período de 1985 a 2016 – na área da Sub-bacia estudada cujos resultados estão dispostos no Quadro 1.

Quadro 1. Índice de anomalia das chuvas (IAC) por ano, ocorrência do ENOS e do Dipolo do Atlântico, período de 1985 a 2016.

Ano	IAC	Situação climática	ENOS*	Dipolo do Atlântico
1985	7,7	Extremamente chuvoso	<i>La niña</i> fraca	Negativo
1986	3,5	Muito chuvoso	Neutro	Negativo
1987	-1,9	Seco	<i>El niño</i> moderado	Neutro
1988	3,1	Muito chuvoso	<i>La niña</i> fraca	Negativo
1989	2,9	Muito chuvoso	<i>La niña</i> moderada	Negativo
1990	-2,0	Muito seco	Neutro	Positivo
1991	-1,5	Seco	<i>El niño</i> fraco	Negativo
1992	-4,3	Extremamente seco	<i>El niño</i> forte	Positivo
1993	-3,4	Muito seco	<i>El niño</i> fraco	Neutro
1994	2,6	Muito chuvoso	<i>El niño</i> fraco	Negativo
1995	1,5	Chuvoso	<i>El niño</i> fraco	Negativo
1996	1,1	Chuvoso	<i>La niña</i> fraca	Negativo
1997	-1,9	Seco	<i>El niño</i> fraco	Positivo
1998	-3,0	Muito seco	<i>El niño</i> forte	Positivo
1999	1,0	Chuvoso	<i>La niña</i> moderada	Negativo
2000	0,9	Chuvoso	<i>La niña</i> moderada	Negativo
2001	-0,4	Seco	<i>La niña</i> fraca	Neutro
2002	0,1	Chuvoso	<i>El niño</i> fraco	Negativo
2003	1,1	Chuvoso	<i>El niño</i> fraco	Negativo
2004	1,9	Chuvoso	Neutro	Neutro
2005	-1,3	Seco	<i>El niño</i> fraco	Positivo
2006	-1,1	Seco	<i>La niña</i> fraco	Neutro
2007	-0,9	Seco	Neutro	Positivo
2008	2,8	Muito chuvoso	<i>La niña</i> moderado	Negativo
2009	2,9	Muito chuvoso	<i>La niña</i> fraco	Negativo
2010	-1,2	Seco	<i>El niño</i> forte	Neutro
2011	0,2	Chuvoso	<i>La niña</i> moderado	Negativo
2012	-4,3	Extremamente seco	<i>La niña</i> fraco	Positivo
2013	-2,5	Muito seco	Neutro	Positivo
2014	-2,4	Muito seco	Neutro	Negativo
2015	-3,2	Muito seco	<i>El niño</i> fraco	Positivo
2016	-2,9	Muito seco	<i>El niño</i> forte	Positivo

*Quadrimestre de janeiro a abril, período chuvoso na área em estudo.

Fonte: FUNCEME (2019); NOAA (2019).

Logo, os dados obtidos apontaram que a maior anomalia pluviométrica positiva (extremamente chuvoso) ocorreu no ano de 1985, que apresentou IAC de 7,7, resultado da ocorrência simultânea de um *La niña* fraco e fase negativa do Dipolo do Atlântico (FUNCEME, 2019; NOAA, 2019). Reiteramos que esses fenômenos quando atuam conjuntamente promovem o deslocamento da ZCIT para sua posição mais meridional e, como tal, volume pluviométrico cima da média no Norte do NEB, área onde se localiza a Sub-bacia estudada.

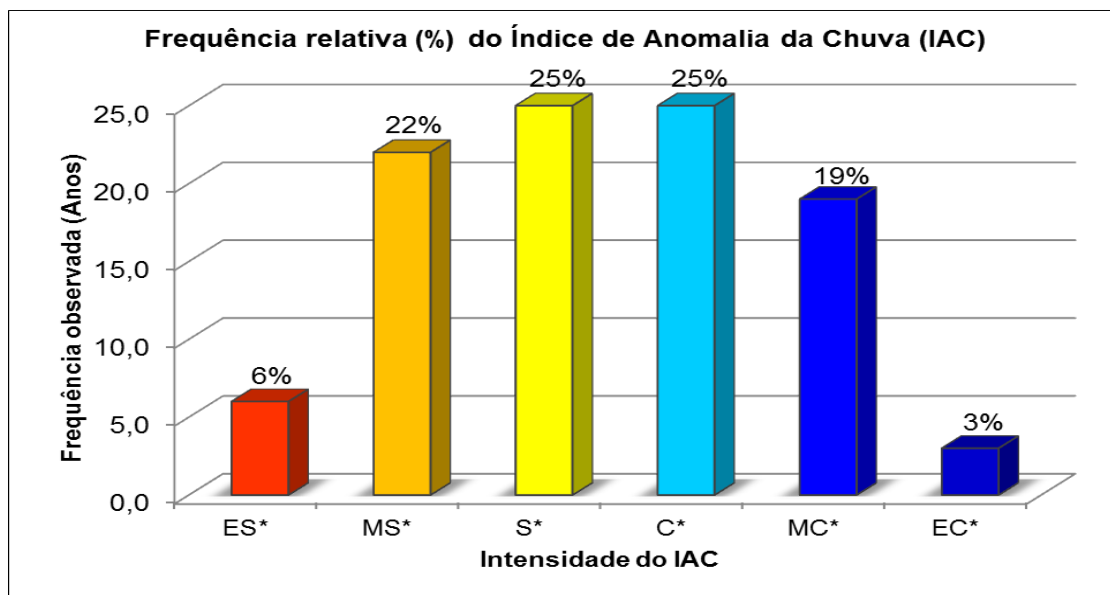
Por outro lado, os anos de 1992 e 2012 apresentaram IAC de -4,3 e, conseqüentemente, anomalias negativas (extremamente seco), devido em ambos ter ocorrido fase positiva do Dipolo e em 1992 um *El niño* de intensidade forte (FUNCEME, 2019; NOAA, 2019). Destacamos que esses fenômenos oceânicos tendem a bloquear a descida da ZCIT para posições mais ao sul, descolando a convecção equatorial para o leste, no caso do *El niño*, e para o norte, em relação ao Dipolo positivo, gerando redução na formação de nuvens provedoras de chuvas.

Ressaltamos que, exceto os anos de 2001 (seco), 2006 (seco) e 2014 (muito seco), os demais anos secos estiveram sempre associados a eventos, isolados ou simultâneos, de *El niño* e à fase positiva do Dipolo do Atlântico. Ao passo que, exceto o ano de 2004 (chuvoso), os outros anos com anomalias pluviométricas positivas estão ligados a episódios isolados ou conjunto de *La niña* e a fase negativa do Dipolo.

O IAC permitiu, ainda, afirmar que na série histórica analisada (1985 a 2016) predominou a ocorrência de anos secos em relação aos anos chuvosos (Figura 6). Desse modo, ocorreram as seguintes proporções de anos secos: 2 (6%) anos secos, 7 (22%) anos muito secos e 8 (25%) anos extremamente secos. Enquanto que o percentual de anos chuvosos foi classificado da seguinte forma: 8 (25%) anos chuvosos, 6 (19%) anos muito chuvosos e 1 (3%) ano extremamente chuvoso. Diante do exposto, observamos a predominância de episódios de secas, visto que em 53,1% dos anos o IAC indicou anos secos, fato que corrobora uma das principais características físicas do nordeste semiárido, a irregular distribuição das chuvas.

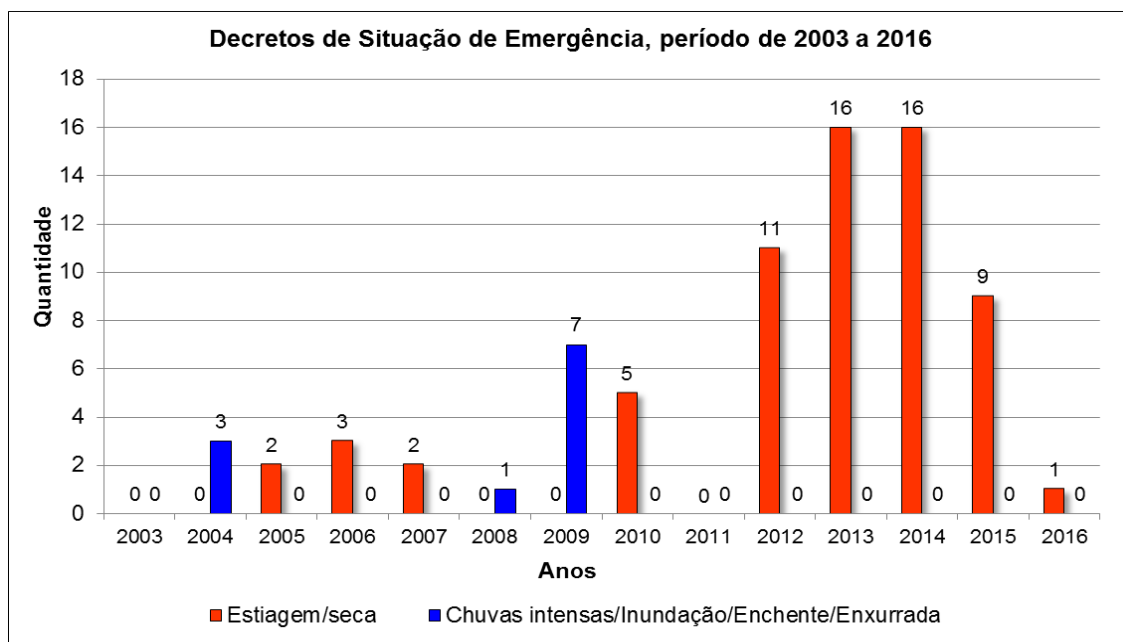
Quando analisados os Decretos de Situação de Emergência (SE), considerando apenas os oito municípios com sedes inseridas nos limites da Sub-bacia Hidrográfica do rio Piracuruca, a partir da série histórica de 2003 a 2016, constatamos que foram emitidos 75 Decretos de SE, para o referido período. De forma específica foram 50 decretos devido à ocorrência de estiagens, 14 para secas, 5 referentes a inundações, 3 por situação de chuvas intensas, 1 por episódio de enxurradas e 2 por ocasião de enchentes (Figura 7).

Figura 6. Porcentagem (%) do índice de anomalia das chuvas (IAC) por categoria, na Sub-bacia Hidrográfica do rio Piracuruca, para o período de 1985 a 2016.



*Extremamente Seco (ES), Muito Seco (MS), Seco (S), Chuvoso (C), Muito Chuvoso (MC), Extremamente Chuvoso (EC).

Figura 7. Número de Decretos de Situação de Emergência (SE) emitidos para os oito municípios com sedes inseridas na Sub-bacia Hidrográfica do rio Piracuruca, período de 2003 a 2016.



Fonte: SEDEC (2017).

Reiteramos que ao longo da série pesquisada, pode-se observar que os anos de 2013 e 2014 apresentaram o maior número de Decretos de SE emitidos, especificamente 16 para cada ano, devido estiagens e secas. Na sequência vêm os anos de 2012 e 2015 onde foram emitidos 11 e 9 de Decretos de SE, respectivamente, por episódios de estiagens e secas. É relevante afirmar que os dados obtidos por meio do IAC corroboram a emissão desses Decretos de SE, visto que nesses quatro anos tenham ocorrido anomalias negativas no que tange às precipitações, notadamente em 2012 (IAC de -4,3). Salientamos que o município piauiense de Cocal dos Alves foi aquele que mais foi afetado pelos efeitos das estiagens e secas, posto que tenham sido emitidos 9 Decretos de SE para este município entre 2003 e 2016.

A respeito das anomalias positivas citam-se os anos de 2009 e 2004, onde foram decretadas SE em 7 e 2 momentos, respectivamente, devido ocorrência de chuvas intensas, inundações, enchentes ou enxurradas. Dentre esses, sobressai-se o ano de 2009 (IAC de 2,9), cuja anomalia positiva deu-se devido à ocorrência simultânea de evento *La niña* de intensidade fraca e fase positiva do Dipolo do Atlântico. Ressaltamos, ainda, que no que tange às anomalias positivas, os municípios piauienses de Cocal dos Alves, Domingos Mourão e Piracuruca foram os acometidos por desastres associados às chuvas intensas e inundações, tendo sido emitidos Decretos de SE em 2004 e 2009, respectivamente.

Dessa forma, fica evidente que foi importante a aplicação do IAC na área estudada, fato que permitiu constatar as anomalias pluviométricas, que estão ligadas à ocorrência de *El niño* e fase positiva do Dipolo do Atlântico, que geram estiagens e secas. Ao passo que os eventos de *La niña* e fase negativa do Dipolo, resultam nos anos com anomalia pluviométrica positiva e inundações. Esses dados, ainda, confirmam a necessidade da emissão dos Decretos de SE, como perspectiva para reconhecimento de situação pluviométrica anormal apresentada nos municípios inseridos nos limites da Sub-bacia do rio Piracuruca.

Conclusões

Inicialmente, é relevante citar que a Sub-bacia do Rio Piracuruca exibiu tendência estatisticamente significativa em relação à precipitação média anual, na série histórica analisada (1985 a 2016), podendo ser indício de acentuação na frequência de secas e/ou de inundações. Fato que demanda atenção especial, particularmente em relação os meses de setembro e outubro que apresentaram tendência decrescente significativa, que resultará em redução dos totais

pluviométricos e acentuação dos efeitos das secas. Reiteramos que essas anomalias pluviométricas positivas são fruto da dinâmica climática associada ao deslocamento da ZCIT e a influência dos fenômenos ENOS e da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) no oceano Atlântico.

Por sua vez, o índice de anomalia das chuvas (IAC) indicou que na Sub-bacia do Rio Piracuruca ocorreram mais anos secos que chuvosos, na série histórica analisada (1985 a 2016). Pois em 53% da série de 32 anos aconteceram anos secos a extremamente secos, enquanto 47% dos anos foram chuvosos a extremamente chuvosos. Essa situação resultou na emissão de 75 Decretos de Situação de Emergência, entre os anos de 2003 e 2016, que em sua maioria estiveram ligados à ocorrência de estiagens e secas, totalizando 64 decretos. Frente às informações apresentadas fica evidente a demanda por medidas preventivas e criação de estratégias para convivência com as condições ambientais na Sub-bacia do Rio Piracuruca, principalmente as climáticas.

Frente o que foi apresentado, podemos considerar as informações como de substancial importância para a criação de estratégias via políticas públicas para convivência com as condições climáticas na Sub-bacia do rio Piracuruca, notadamente os extremos oriundos das secas e das inundações. Ressaltamos que, embora suas características sejam distintas, ausência e excesso de chuvas, demandam-se investimentos na melhoria das condições socioeconômicas da população local e, ainda, realização de estudos posteriores para conhecimento do estado de conservação ambiental da Sub-bacia pesquisada.

Referências

ALMEIDA, H.A.; FREITAS, R.C.; SILVA, L. Determinação de períodos secos e chuvosos em duas microrregiões da Paraíba através da técnica dos quantis. *Revista de Geografia*, Recife, v.30, n.1, p.217-232, 2013.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Hidro Web - Sistema de Informações Hidrológicas. *Séries históricas*: ano de 1985 a 2016. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/>>. Acesso em: 11 fev. 2017.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. Secretaria Nacional de Defesa Civil. Centro de Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres. *Anuário brasileiro de desastres naturais*: 2013. Brasília: CENAD, 2014.

CAMPOS-VARGAS, M.; TOSCANA-APARICIO, A.; ALANÍS, J.C. 2015. Riesgo siconaturales: vulnerabilidad socioeconómica, justicia ambiental y justicia espacial.

Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía, Bogotá, v.24, n.2, p.53-69, jul./dic. del 2015.

CHRISTOFOLETTI, A. *Geomorfologia*. -- São Paulo: Editora Blucher, 1980.

CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. Ministério de Minas e Energia. *Mapas estaduais de geodiversidade: Ceará*. Rio de Janeiro: CPRM. 2006a. Documento cartográfico em arquivo vetorial. Disponível em <<http://geobank.sa.cprm.gov.br>>. Acesso em: 25 nov. 2019.

_____. *Mapas estaduais de geodiversidade: Piauí*. Rio de Janeiro: CPRM. 2006b. Documento cartográfico em arquivo vetorial. Disponível em <<http://geobank.sa.cprm.gov.br>>. Acesso em: 25 nov. 2019.

FERREIRA, A.G.; MELLO, N.G.S. Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a região Nordeste do Brasil e a influência dos Oceanos Pacífico e Atlântico no clima da região. *Revista Brasileira de Climatologia*, Curitiba, v.1, n.1, p.15-28, dez. 2005.

FREITAS, M.A.S. A Previsão de Secas e a Gestão Hidroenergética: O Caso da Bacia do Rio Parnaíba no Nordeste do Brasil. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE REPRESAS Y OPERACIÓN DE EMBALSES, 1., 2004, Puerto Iguazú. *Anais...* Puerto Iguazú: CACIER, v.1, 2004.

_____. Um Sistema de Suporte à Decisão para o Monitoramento de Secas Meteorológicas em Regiões SemiÁridas. *Revista Tecnologia*, Fortaleza, p.84-95, 2005.

FUNCEME – FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS. *O Dipolo de Temperatura de Superfície do Mar (TSM) do Atlântico Tropical*. Disponível em: <http://www.funceme.br/produtos/manual/oceanografia/Campos_TSM/dipolo.htm>. Acesso em: 06 fev. 2019.

INDE – INFRAESTRUTURA NACIONAL DE DADOS ESPECIAIS. *Mapa de Solos da Folha SB.24: Jaguaribe*. Disponível em: <<http://www.visualizador.inde.gov.br/>>. 2019. Acesso em: 25 nov. 2019.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. *Malha municipal digital do Brasil: situação em 2018*. Rio de Janeiro: IBGE, 2018. Disponível em: <ftp://geoftp.ibge.gov.br/malhas_digitais/>. Acesso em: 25 nov. 2019.

_____. *Semiárido brasileiro*. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/mapas-regionais/15974-semiarido-brasileiro.html?=&t=downloads/>>. Acesso em: 19 jul. 2020.

MANN, H.B. *Econometrica*. *The econometric society*, New York, v.13, n.3, p.245-259, 1945.

NOAA – NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION. Climate Prediction Center. *Historical El Nino / La Nina episodes (1950-2016)*. Disponível em: <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml>. Acesso em: 06 fev. 2019.

NUNES, L.H. *Urbanização e desastres naturais*. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. 112p.

OLIVEIRA, J.G.B.; SALES, M.C.L. Usuais: programas para uso em análise ambiental. *Revista Equador*, Teresina, v.5, n.2, p.36-60, jan./jun. 2016.

ROOY, M.P.V. A Rainfall Anomaly Index Independent of Time and Space, *Notes*, v.14, n.43, 1965.

SANTOS, F.A. *Resiliência ambiental a secas e a inundações na Sub-bacia Hidrográfica do rio Piracuruca (CE-PI)*. 2019. 268p. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Estadual do Ceará. Fortaleza, 2019.

SEDEC – SECRETARIA NACIONAL DE DEFESA CIVIL. *Série histórica: 2003 a 2016*. Banco de dados sobre os municípios com Portaria de Reconhecimento de Estado de Calamidade Pública e Situação de Emergência. Disponível em: <<http://www.mi.gov.br/web/guest/reconhecimentos-realizados>>. Acesso em: 11 fev. 2017.

TOMINAGA, L.K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. (Organizadores). *Desastres naturais: conhecer para prevenir*. São Paulo: Instituto Geológico, 2009. 196p.

TUCCI, C.E.M. *Hidrologia: ciência e aplicação*. Porto Alegre: Eds. da UFRGS e da USP, 1993.