

Análise do comportamento anômalo da precipitação pluvial em Aracaju-SE, entre 1961 e 2019

Davi Santiago Aquino

davi.aquino@ifba.edu.br. Laboratório de Hidráulica / Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia (IFBA), Campus Eunápolis

RESUMO

O regime de chuvas afeta sensivelmente o balanço hídrico numa bacia hidrográfica, pois a precipitação pluvial é o principal aporte de água desse sistema. Tendências anômalas de precipitação podem alterar os usos múltiplos de recursos hídricos e as obras de engenharia correlatas. Este trabalho objetivou quantificar o comportamento anômalo das chuvas em Aracaju-SE, entre janeiro de 1961 e dezembro de 2019, por intermédio do cálculo do índice de anomalia de chuva, que retorna valores adimensionais negativos para períodos de seca e positivos para períodos úmidos. Após descarte de anos com falhas, foram calculados e analisados 46 valores anuais desse índice, dos quais 30 apresentaram valores negativos, correspondendo a anos com baixa pluviometria. Nos 27 anos mais recentes analisados, entre 1993 e 2019, verificou-se a presença de anomalias negativas em 21 deles, o que indica a tendência de diminuição da precipitação na área de estudo. A menor incidência de chuvas pode causar decréscimo da disponibilidade quantitativa de recursos hídricos na região e criar conflitos pelos usos múltiplos de água. Políticas públicas locais de uso e ocupação do solo e de gestão de recursos hídricos precisam ser intensificadas para controlar os fatores antrópicos que implicam alteração dos processos hidrológicos.

Palavras-chave: Hidrologia. Índice de anomalia de chuva. Nordeste do Brasil. Tendência.

ABSTRACT

The rainfall regime significantly affects the water balance in a hydrographic basin since rainfall is the main source of water in this system. Anomalous precipitation trends can alter multiple uses of water resources and related engineering structures. This work aimed to quantify the anomalous rain trend in Aracaju, State of Sergipe, between January 1961 and December 2019 by calculating rainfall anomaly indices, which returned negative and dimensionless values for periods of drought and positive values for wet periods. After discarding years with failure, 46 annual index values were calculated and analyzed, of which 30 presented negative values, which corresponded to years with low rainfall. Negative anomalies were found in 21 of 27 of the most recent years analyzed between 1993 and 2019, which indicates the tendency toward decreasing precipitation in the study area. The lower incidence of rainfall can cause a decrease in the quantitative availability of water resources in the region and create conflicts for multiple water uses. Local public policies to land use and occupation and water resource management need to be intensified to control anthropic factors that imply changes in hydrological processes.

Keywords: Hydrology. Rainfall anomaly index. Brazilian northeast. Trend.

1 Introdução

A incidência de precipitação pluvial varia de formas geográfica, temporal e sazonal. O conhecimento da distribuição e da variação do regime de chuvas, tanto no tempo como no espaço, é imprescindível para estudos hidrológicos, visto que esta tipicidade afeta a intensidade da precipitação e o volume total precipitado. Esses dados são utilizados em projetos de engenharia hidráulica e hidrológica, tais como elementos de micro e macro drenagem pluvial urbana, canais de irrigação, pontes e bacias de contenção, de infiltração e/ou de acumulação do excesso de escoamento superficial (BERTONI; TUCCI, 2015).

Todavia, a influência do comportamento do regime de chuvas vai muito além das obras de engenharia, visto que essa etapa do ciclo hidrológico é considerada como o principal aporte de água num sistema hídrico natural. Assim, uma suposta tendência de diminuição de chuvas numa região ou bacia hidrográfica implica tanto um decréscimo do volume de água infiltrado no solo em determinado intervalo de tempo quanto uma menor vazão em cursos d'água superficiais destinados aos usos múltiplos preconizados pela Política Nacional de Recursos Hídricos, tais como: abastecimento público nos âmbitos urbano e rural, agricultura irrigada, dessedentação de animais para a atividade pecuária, captação industrial, geração de energia hidrelétrica, navegação, pesca e aquicultura, entre outros (BRASIL, 1997).

Dessa forma, a identificação de possíveis ocorrências de anomalias do total precipitado numa área de estudo pode auxiliar no planejamento desses usos múltiplos de recursos hídricos. Para tal, a comunidade científica tem utilizado dados disponibilizados por órgãos meteorológicos oficiais – temperatura do ar, umidade relativa, velocidade do vento, insolação, precipitação, evaporação ou vazão num curso d'água – na composição de índices capazes de avaliar a tendência desses eventos climáticos e hidrológicos, como o índice de anomalia de chuva.

Originalmente desenvolvido por van Rooy (1965), o *Rainfall Anomaly Index* ou, em português, índice de anomalia de chuva (IAC) é utilizado para classificar as severidades positivas e negativas nas anomalias de precipitações. A partir de então, alguns estudos foram direcionados no sentido de adaptar o IAC para avaliar a ocorrência de possíveis comportamentos anômalos em relação à precipitação em algumas regiões. Hänsel, Schucknecht e Matschullat (2016) utilizaram dados

de precipitação de uma região da Alemanha para comparar os resultados obtidos entre uma modificação do IAC com o *Standardised Precipitation Index* (SPI) e observaram que ambos os índices estiveram altamente correlacionados entre si em todas as escalas de tempo testadas. Todavia, a metodologia de cálculo do SPI é mais complexa que a do IAC (WMO, 2012).

O IAC também tem sido utilizado em estudos correlatos a projeções de chuvas extremas e a mudanças climáticas relativas à precipitação pluvial em diversas regiões do mundo, como África do Sul (KEPHE; PETJA; KABANDA, 2016), China (FLUIXIA-SANMARTIN *et al.*, 2018), Etiópia (TILAHUN, 2006), Filipinas (CRUZ *et al.*, 2013), Índia (DUTTA *et al.*, 2015), México (MARDERO *et al.*, 2020), Nigéria (ABAJE; ISHAYA; USMAN, 2010), Quênia (KISAKA *et al.*, 2015) e América Central (QUESADA-HERNÁNDEZ *et al.*, 2019).

No Brasil, algumas pesquisas têm utilizado o índice de anomalia de chuva no estudo de eventos de precipitação irregular e suas implicações em vários locais do país (CHECHI, SANCHES, 2013; CURY *et al.*, 2018; GROSS, CASSOL, 2015; MARCUZZO, GOULARTE, 2013) e muitos esforços têm sido destinados à aplicação desta metodologia na região Nordeste, devido principalmente a seu clima semiárido (CORREIA FILHO, ALVES, SANTOS, 2017; COSTA, RODRIGUES, 2017; COSTA, SILVA, 2017; MANIÇOBA *et al.*, 2017; RIBEIRO, MACIEL, 2018; SOUZA, SILVA, 2013).

Ademais, o IAC também pode ser utilizado na composição de outros índices mais complexos, destinados à modelagem e/ou previsão de eventos climáticos e hidrológicos extremos (GHULAM, QIN, ZHAN, 2007; LIMA *et al.*, 2019; VON GUNTEN *et al.*, 2016).

Para o estado de Sergipe, Correia Filho, Alves e Santos (2017) utilizaram dados de três estações meteorológicas, incluindo uma no município de Aracaju, para avaliar os valores anuais de precipitação extrema. Embora tenham incluído o IAC no estudo, esses autores trabalharam com dados abrangidos entre os anos de 1993 e 2015. Logo, uma averiguação específica para o município de Aracaju que utilize um horizonte temporal mais abrangente pode contribuir para melhor análise das possíveis anomalias de chuvas locais, visando a subsidiar estudos de planejamento urbano e rural correlatos com a precipitação pluvial, como irrigação agrícola, dessedentação de animais, captação de água para abastecimentos humano e

industrial, dimensionamento de sistemas de drenagem e outros usos de recursos hídricos.

Nessa conjuntura, a presente pesquisa objetivou estimar o comportamento anômalo das chuvas no município de Aracaju-SE, por intermédio do cálculo e da análise dos índices anuais de anomalia de chuva, no período compreendido entre os anos de 1961 e 2019.

2 Metodologia

Utilizaram-se os dados referentes à precipitação mensal registrados na estação meteorológica operada pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) localizada no município de Aracaju, capital do estado de Sergipe.

Aracaju é o mais populoso dos 75 municípios de Sergipe e teve sua população contabilizada no último censo demográfico, realizado em 2010, em 571.149 habitantes, enquanto sua população em 2019 foi estimada em 657.013 habitantes. A área territorial municipal, inserida no bioma Mata Atlântica, é de 182,16 km² (IBGE, 2020). Quanto a um dos usos da água, no ano de 2018, os usuários do sistema público de abastecimento de água potável operado no município consumiram 34,3 milhões de m³ desse recurso (SNIS, 2020).

A estação meteorológica localizada em Aracaju e pertencente à rede de monitoramento do INMET é identificada pela Organização Meteorológica Mundial pelo código 83096, está situada nas coordenadas 10°57'00.0" de latitude Sul e 37°02'24.0" de longitude Oeste, a uma altitude de 4,72 m e teve sua operação iniciada em 1910. Todavia, só estão digitalmente disponíveis os dados dessa estação relativos à precipitação a partir do ano de 1961 (INMET, 2020).

Dessa maneira, obtiveram-se os registros mensais de precipitação pluvial de janeiro de 1961 a dezembro de 2019 utilizando o Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa disponibilizado pelo INMET. Após obtenção, os dados foram sistematizados em planilhas eletrônicas do programa computacional Microsoft Excel® e categorizados por mês e ano, visando à identificação de possíveis faltas de registro no período analisado. Nesse mesmo programa, também se procedeu à análise dos resultados posteriores quanto à estatística descritiva, referente a valores médios, mínimos, máximos, amplitude e desvio-padrão.

Para se analisar a variabilidade temporal das precipitações mensais da área de estudo, elaborou-

se um pluviograma advindo das médias das alturas mensais de precipitação no período considerado.

Conforme já abordado, o índice de anomalia de chuva (IAC) é um método simplificado e objetivo que utiliza apenas dados de uma série histórica pluviométrica e avalia a variabilidade da precipitação. Seu valor é adimensional e não possui, teoricamente, limites máximos nem mínimos. Um valor menor que zero indica uma anomalia negativa, ou seja, um período seco, enquanto um IAC maior que zero representa uma anomalia positiva, oriunda de um período úmido.

Embora o índice de anomalia de chuva possa ser calculado utilizando dados advindos de diversas escalas temporais, como semanal, mensal ou anual (CORREIA FILHO, ALVES, SANTOS, 2017), sua utilização mais comum ocorre com valores de precipitação anual acumulada (COSTA, SILVA, 2017; CRUZ *et al.*, 2013; CURY *et al.*, 2018; MANIÇOBA *et al.*, 2017; RIBEIRO, MACIEL, 2018; TILAHUN, 2006). No Brasil, a utilização do IAC tem se dado por intermédio das Equações 1 e 2.

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

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

Em que:

IAC: índice de anomalia de chuva, adimensional;

N: precipitação anual atual, mm;

\bar{N} : precipitação média anual da série histórica, mm;

\bar{M} : média das dez maiores precipitações anuais da série histórica, mm; e

\bar{X} : média das dez menores precipitações anuais da série histórica, mm.

Para que se obtenha um valor adimensional, os dados de entrada do IAC precisam ser uniformizados, os quais são alturas pluviométricas reportadas em mm, que é equivalente a L m⁻² (BERTONI; TUCCI, 2015).

Ao se utilizar dados anuais, conforme preconizado inicialmente por van Rooy (1965), o IAC configura-se como uma técnica eficaz para se avaliar a variabilidade interanual da precipitação pluvial ao realizar comparações dos desvios com a condição de normalidade em sua distribuição.

Assim, os totais anuais de precipitação na estação selecionada foram obtidos pela soma dos valores

mensais das alturas pluviométricas de cada ano, para o período estudado: de janeiro de 1961 a dezembro de 2019. Os anos que apresentaram alguma falha de dados mensais foram descartados deste procedimento, pois caso se utilizasse um ano cuja precipitação total fosse advinda de uma soma menor que seus doze meses, tal fato implicaria um erro metodológico, levando à conseguinte obtenção de valores errôneos (CHEVALLIER, 2015).

Ademais, como o IAC teoricamente pode variar de $-\infty$ a $+\infty$, a comunidade científica tem proposto algumas classificações para os valores desse índice. Especificamente para a região Nordeste do Brasil, a maioria das pesquisas utiliza o enquadramento do IAC em seis classes (ARAÚJO, MORAES NETO, SOUSA, 2009; COSTA, RODRIGUES, 2017; COSTA, SILVA, 2017; MANIÇOBA *et al.*, 2017; RIBEIRO, MACIEL, 2018), embora alguns autores o realizem embasando-se em sete (SILVA *et al.*, 2017) ou em nove classes (CORREIA FILHO, ALVES, SANTOS, 2017).

Dessa forma, a presente pesquisa adotou como procedimento metodológico a categorização do IAC em seis classes, conforme se apresenta na Tabela 1. Ressalta-se que um valor exatamente igual a 0,00 não possui enquadramento, visto que representaria ausência de anomalia.

Tabela 1 – Classes de intensidade do índice de anomalia de chuva

Faixa do IAC	Classe de intensidade
$IAC > 4,00$	Extremamente úmido
$2,00 < IAC \leq 4,00$	Muito úmido
$0,00 < IAC \leq 2,00$	Úmido
$- 2,00 \leq IAC < 0,00$	Seco
$- 4,00 \leq IAC < - 2,00$	Muito seco
$IAC < - 4,00$	Extremamente seco

IAC: índice de anomalia de chuva.

Fonte: dados da pesquisa

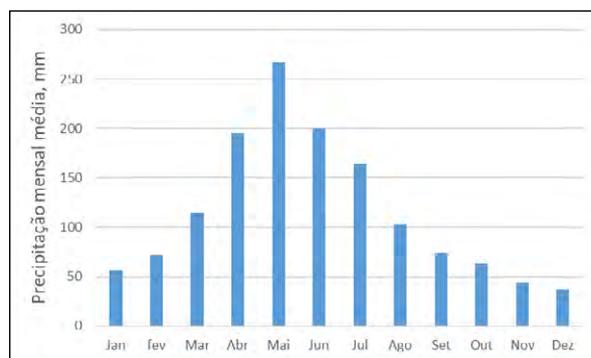
Além dessa classificação, para facilitar a interpretação e a análise dos resultados, os valores anuais de IAC foram representados graficamente em escala temporal contínua, com a diferenciação entre valores positivos e negativos.

3 Resultados e discussão

Caso não houvesse nenhuma falta de dados de precipitação mensal na série histórica de janeiro de 1961 a dezembro de 2019, obter-se-iam 708 registros. Todavia, a série histórica disponível no Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa do Instituto Nacional de Meteorologia para a estação em estudo apresentou falta de 112 dados, totalizando, portanto, 596 registros disponíveis. Os anos de 1971, 1972, 1981 a 1985 e 1990 revelaram total ausência de dados, enquanto outros quatro anos (1963, 1988, 1989 e 1992) apresentaram ausência de alguns dados mensais. Conforme abordado na descrição metodológica, todos esses 13 anos foram excluídos do cálculo e da conseguinte análise do índice de anomalia de chuva.

Quanto ao pluviograma da área de estudo, este é apresentado na Figura 1, mediante a qual pode-se observar que o período de março a agosto tipicamente apresenta maiores valores de altura pluviométrica.

Figura 1 – Pluviograma das médias mensais da estação de Aracaju entre 1961 e 2019



Fonte: elaboração própria com dados de INMET (2020)

No período estudado, a amplitude pluviométrica das médias mensais foi de 230,0 mm. O mês mais úmido foi maio, com média de 266,8 mm, e o mais seco foi dezembro, com 36,8 mm. Tais resultados estão em consonância com a climatologia do município de Aracaju, o qual apresenta tipicamente inverno mais úmido que o verão e tem seu clima tropical enquadrado como As, pela classificação de Köppen (CLIMATE-DATA, 2020; INPE, 2020).

Em alusão aos valores de precipitação anual, embasando-se nos 46 anos com dados completos e analisados pela presente pesquisa, a média \pm desvio-padrão foi de $1.382,5 \pm 595,4$ mm, com valores variando entre 735 mm, observado no ano de 2016, e 4.370,7 mm, referente a 1964.

Quanto ao índice de anomalia de chuvas, dos 46 valores anuais obtidos, 16 foram positivos e 30 foram negativos, evidenciando que em dois terços dos dados analisados as anomalias foram classificadas como seca, muito seca ou extremamente seca, de acordo com a categorização apresentada na Tabela 1.

Apresenta-se, na Tabela 2, a relação quantitativa da classificação dos valores anuais de IAC obtidos.

Tabela 2 – Categorização dos valores do índice de anomalia de chuva para Aracaju-SE

Classe de intensidade	Quantidade de IAC
Extremamente úmido	2
Muito úmido	2
Úmido	12
Seco	19
Muito seco	10
Extremamente seco	1
Total	46

IAC: índice de anomalia de chuva

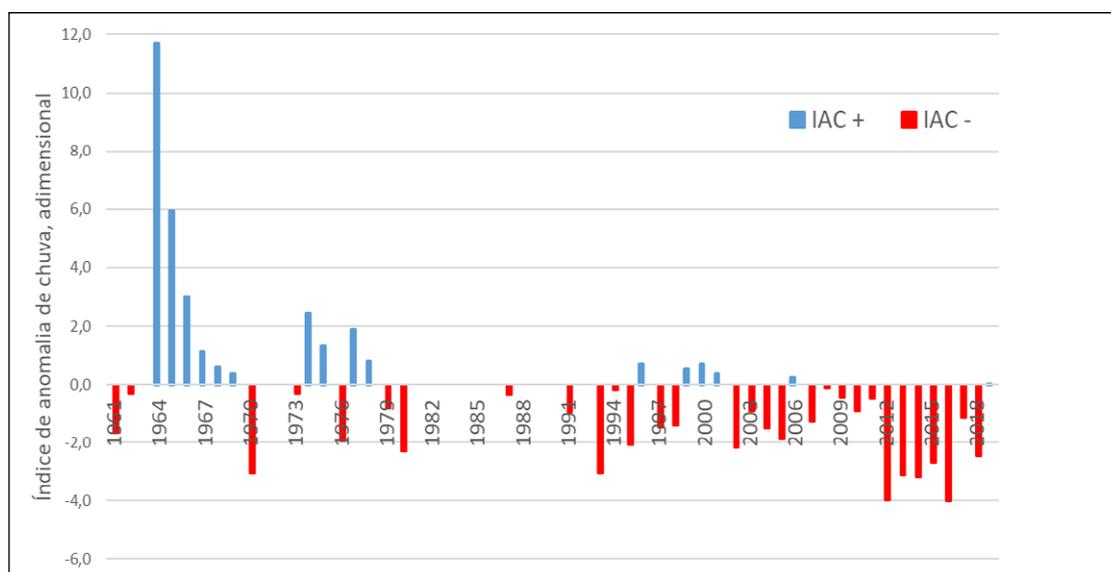
Pode-se observar, pela análise dos dados apresentados na Tabela 2, a predominância de valores negativos de IAC para a estação localizada no município de Aracaju. Fato similar também foi observado por Correia Filho, Alves e Santos (2017) em três estações localizadas no estado de Sergipe,

incluindo a estudada pela presente pesquisa, ao considerarem dados relativos ao período temporal compreendido entre os anos de 1993 e 2015. Tal congruência de resultados evidencia a ocorrência de uma anomalia majoritariamente negativa quanto à incidência de chuvas no município e na região de influência da estação meteorológica analisada.

Embora a realização de um balanço hídrico não se enquadre dentro do escopo da presente pesquisa, a constatação da ocorrência de anomalias em sua maioria negativas quanto às alturas pluviométricas anuais registradas na estação de Aracaju implica uma menor quantidade de chuvas que precipitaram nas bacias hidrográficas do referido município. Por sua vez, como a precipitação pluvial é o principal aporte de água numa bacia de contribuição (BERTONI; TUCCI, 2015), sua menor incidência por longos períodos pode implicar uma redução da disponibilidade hídrica em termos quantitativos aos usos múltiplos de recursos hídricos. Assim, usuários de água que se destinem a abastecimento público urbano e rural, abastecimento industrial, irrigação agrícola, dessedentação de animais, geração de hidroeletricidade e outros podem ser prejudicados pela consequente menor vazão de água nos mananciais utilizados, sejam eles cursos d'água superficiais ou fontes subterrâneas.

Quando à distribuição temporal e à diferenciação dos valores de IAC em positivos e negativos, esse panorama geral é apresentado na Figura 2.

Figura 2 – Distribuição temporal do índice de anomalia de chuva (IAC) para a estação meteorológica de Aracaju-SE, entre 1961 e 2019



Anos desconsiderados da análise não apresentam valor de IAC.

Fonte: elaboração própria

Conforme é possível depreender da análise da Figura 2, dos 16 valores positivos calculados para o índice de anomalia de chuva na estação de Aracaju, 10 ocorreram entre os anos de 1964 e 1978. O ano de 1964 foi o que apresentou maior valor de altura pluviométrica anual, como já abordado, correspondendo ao valor de IAC de 11,69, o máximo observado em toda série histórica. Além do referido ano, 1963 foi o único que também se enquadrou como extremamente úmido ($IAC > 4,00$), de acordo com a classificação da Tabela 1.

Fora do período entre 1964 e 1978, as anomalias positivas foram observadas em apenas 6 anos, cujos valores variaram de 0,03, em 2019, a 0,71, em 1996, todos eles enquadrados como úmido, ou seja: $0,00 < IAC \leq 2,00$. Dessa forma, o último ano no qual se observou anomalia positiva de chuva classificada ao menos como muito úmida foi 1974, o que reforça o estado de preocupação acerca da sistemática diminuição das chuvas registradas na estação em estudo.

Complementarmente à análise dos valores positivos de IAC, as 30 anomalias negativas obtidas da série histórica considerada se apresentaram de maneira mais distribuída ao longo dos anos entre 1961 e 2019, conforme se observa na Figura 2. Esses valores negativos de IAC variaram entre $-0,11$, em 2008, e $-4,02$, em 2016, que foi o ano mais seco, com apenas 735 mm em todo ano, e o único enquadrado como extremamente seco, pois apresentou $IAC < -4,00$, embora o ano de 2012 tenha se aproximado desse patamar ao ter $IAC = -3,98$.

De 1993 a 2019, não houve ano com falhas de dados. Desses 27 anos mais recentes estudados pela presente pesquisa, em apenas seis não se observou anomalia negativa de chuva, corroborando a hipótese de que tem chovido menos em anos recentes na área de influência da estação meteorológica considerada.

Conforme pondera Lanna (2015), os processos hidrológicos, como a precipitação pluvial, são estatisticamente considerados como aleatórios, visto que suas realizações não podem ser exatamente conhecidas, pois esses processos hídricos não podem ser fielmente reproduzidos, ao menos numa escala na qual naturalmente ocorrem. Assim, a explicação da variação de valores pluviométricos é sobremaneira complexa e precisa ser feita com muita ponderação.

De toda forma, sabe-se que a presença de cobertura vegetal na área de estudo e as condições físicas do solo interferem sensivelmente nos processos

hidrológicos em nível de bacia hidrográfica (SILVEIRA, 2015). Nessa conjuntura, de acordo com a plataforma virtual MapBiomas versão 4.3, a parcela de solo do município de Aracaju classificada como área não vegetada cresceu de 4.164,32 ha no ano de 1985 para 8.249,48 ha em 2018, ou seja, um incremento de área de 4.085,16 ha, correspondendo a um aumento de 98,10% desse tipo de cobertura do solo no período (MAPBIOMAS, 2020). Pelo fato desse tipo de cobertura incluir a infraestrutura urbana, seu crescimento implica também um maior índice de impermeabilização do solo, decorrente da execução de edificações, pavimentações e outra obras correlatas.

Assim, essa maior impermeabilização pode ter contribuído para a alteração do fluxo hidrológico nas bacias hidrográficas do município, afetando também os valores de precipitação pluvial, visto que uma maior impermeabilização da área afeta os quantitativos hídricos referentes à infiltração, escoamento superficial, interceptação pela cobertura vegetal e escoamento subsuperficial, alterando, portanto, o ciclo hidrológico local (SILVEIRA, 2015).

Ademais, a ocorrência do fenômeno climático La Niña, que ocorreu entre 2011 e 2012, causou, na região Nordeste do Brasil, a pior seca já registrada num período de 30 anos, visto que essa região é fortemente afetada pelo El Niño Oscilação Sul, que implica menores índices pluviométricos para o Nordeste brasileiro (RODRIGUES, MCPHADEN, 2014; SOUZA, SILVA, 2013). Assim, a ocorrência desses fenômenos pode explicar os valores negativos do índice de anomalia de chuvas obtidos a partir do ano de 2011.

Por outro lado, o ano de 1964 foi caracterizado por apresentar valores extremos de precipitação no litoral leste da região Nordeste do Brasil (SANTOS *et al.*, 2016). Tal constatação possui congruência com os valores máximos positivos de IAC apresentados na Figura 2 para o referido ano, com gradativa diminuição dos seus valores nos anos subsequentes.

Embora tenham utilizado outras áreas de estudo, sendo todas inseridas na região Nordeste do Brasil, assim como o município de Aracaju analisado pelo presente estudo, pesquisadores têm constatado, pelo uso do IAC, uma predominância de anomalias negativas de precipitação pluvial no Ceará (COSTA, RODRIGUES, 2017; COSTA, SILVA, 2017; SOUZA, SILVA, 2013), em Pernambuco (RIBEIRO, MACIEL, 2018; SILVA *et al.*, 2017) e no Rio Grande no Norte (MANIÇÓBA *et al.*, 2017), entre outros locais.

Assim, dada a tendência apresentada de menor incidência de precipitação no município de Aracaju, é necessário que as políticas públicas locais de conservação e uso do solo e de gestão de recursos hídricos sejam intensificadas, visando a controlar os fatores antrópicos intervenientes nos processos integrantes do ciclo hidrológico e a assegurar o acesso de todos os potenciais usuários de água a esse recurso natural.

4 Conclusão

Pela interpretação dos valores do índice de anomalia de chuvas calculados para os dados de 1961 a 2019, referentes à estação meteorológica em Aracaju-SE, observou-se predominância de valores negativos desse índice, o que implica uma maior quantidade de anos secos da área de influência da referida estação, visto que, dos 46 valores anuais calculados, apenas 16 não foram negativos. Ademais, nos últimos 27 anos estudados, isto é, de 1993 a 2019, houve anomalias negativas em 21 deles, corroborando o fato de que tem se observado sistematicamente a diminuição da altura pluviométrica anual, o que pode implicar uma menor disponibilidade hídrica quantitativa aos usos múltiplos de recursos hídricos na região de influência da estação.

Dessa forma, requer-se o ajuste e a maior efetividade de políticas públicas relativas ao solo e aos recursos hídricos da região para que haja uma atenuação das implicações negativas aos processos hidrológicos advindas dos fatores antrópicos.

REFERÊNCIAS

ABAJE, I. B.; ISHAYA, S.; USMAN, S. U. An Analysis of Rainfall Trends in Kafanchan, Kaduna State, Nigeria. **Research Journal of Environmental and Earth Sciences**, v. 2, n. 2, p. 89-96, 2010. Disponível em: <https://maxwellsci.com/print/rjees/v2-89-96.pdf>. Acesso em: 20 maio 2020.

ARAÚJO, L. E.; MORAES NETO, J. M.; SOUSA, F. A. S. Análise climática da bacia do rio Paraíba - índice de anomalia de chuva (IAC). **Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia**, v. 6, n. 3, p. 508-523, 2009. Disponível em: <http://ferramentas.unipinhal.edu.br/engenhariaambiental/viewarticle.php?id=344&locale=en>. Acesso em: 22 maio 2020.

BERTONI, J. C.; TUCCI, C. E. M. Precipitação. In: Tucci, C. E. M. (org.) **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 2015.

BRASIL. **Lei Federal Nº 9.433 de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Brasília, DF: Presidência da República, 1997.

CHECHI, L.; SANCHES, F. O. O Uso do Índice de Anomalia de Chuva (IAC) na Avaliação do Fenômeno do El Niño Oscilação Sul (ENOS) no Alto Uruguai Gaúcho entre 1957-2012. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 6, n. 6, p. 1586-1597, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v6.6.p1586-1597>. Acesso em: 20 maio 2020.

CHEVALLIER, P. Aquisição e processamento de dados. In: TUCCI, C. E. M. (org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 2015.

CLIMATE-DATA. **Clima Aracaju (Brasil)**. Disponível em: <https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/sergipe/aracaju-2192/>. Acesso em: 22 maio 2020.

CORREIA FILHO, W. L. F.; ALVES, L. E. R.; SANTOS, M. N. Caracterização de extremos anuais de precipitação para o estado de Sergipe. **Revista de Geografia (Recife)**, v. 34, n. 1, p. 49-70, 2017. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/revistageografia/article/view/229232>. Acesso em: 20 maio 2020.

COSTA, J. A.; RODRIGUES, G. P. Space-time distribution of rainfall anomaly index (RAI) for the Salgado Basin, Ceará State – Brazil. **Ciência e Natura**, v. 39, n. 3, p. 627-634, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5902/2179460X26080>. Acesso em: 20 maio 2020.

COSTA, J. A.; SILVA, D. F. Distribuição espaço-temporal do Índice de anomalia de chuva para o Estado do Ceará. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10, n. 4, p. 1002-1013, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v10.4.p1002-1013>. Acesso em: 20 maio 2020.

CRUZ, F. T.; NARISMA, G. T.; VILLAFUERTE II, M. Q.; CHENG CHUA, K. U.; OLAGUERA, L. M. A climatological analysis of the southwest monsoon rainfall in the Philippines. **Atmospheric Research**, v. 122, p. 609-616, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2012.06.010>. Acesso em: 20 maio 2020.

CURY, M. D.; PEZENTE, D. P.; SUTIL, T.; MENEGASSO, J. D. Análise do índice de anomalia de chuva (IAC) aplicado à bacia hidrográfica do rio Urussanga/SC. **Revista Tecnologia e Ambiente**, v. 24, p. 71-80,

2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.18616/ta.v24i0.4381> Acesso em: 20 maio 2020.

DUTTA, D.; KUNDU, A.; PATEL, N. R.; SAHA, S. K.; SIDDIQUI, A. R. Assessment of agricultural drought in Rajasthan (India) using remote sensing derived Vegetation Condition Index (VCI) and Standardized Precipitation Index (SPI). **The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences**, v. 18, n. 1, p. 53-63, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejrs.2015.03.006>. Acesso em: 20 maio 2020.

FLUXIA-SANMARTIN, J.; PAN, D.; FISCHER, L.; ORLOWSKY, B.; GARCIA-HERNANDEZ, J.; JORDAN, F.; HAEMMIG, C.; ZHANG, F.; XU, J. Searching for the optimal drought index and timescale combination to detect drought: a case study from the lower Jinsha River basin, China. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 22, n. 1, p. 889-910, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.5194/hess-22-889-2018>. Acesso em: 20 maio 2020.

GHULAM, A.; QIN, Q.; ZHAN, Z. Designing of the perpendicular drought index. **Environmental Geology**, v. 52, p. 1045-1052, 2007. Disponível em <https://doi.org/10.1007/s00254-006-0544-2>. Acesso em: 20 maio 2020.

GROSS, J. A.; CASSOL, R. Ocorrências de índices de anomalia de chuva negativos no estado do Rio Grande do Sul. **Revista Geográfica Acadêmica**, v. 9, n. 2, p. 31-33, 2015. Disponível em: <https://revista.ufr.br/rga/article/view/3012>. Acesso em: 20 maio 2020.

HÄNSEL, S.; SCHUCKNECHT, A.; MATSCHULLAT, J. The Modified Rainfall Anomaly Index (mRAI)—is this an alternative to the Standardised Precipitation Index (SPI) in evaluating future extreme precipitation characteristics? **Theoretical and Applied Climatology**, v. 123, p. 827-844, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00704-015-1389-y>. Acesso em: 20 maio 2020.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades@ - Panorama Aracaju**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/se/aracaju/panorama>. Acesso em: 19 maio 2020.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. **Banco de dados meteorológicos para ensino e pesquisa**. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/porta/index.php?r=bdmep/bdmep>. Acesso em: 19 maio 2020.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Centro de Previsão de Tempo e Estudos**

Climáticos. Disponível em: <https://www.cptec.inpe.br/se/aracaju>. Acesso em: 22 maio 2020.

KEPHE, P. N.; PETJA, B. M.; KABANDA, T. A. Spatial and inter-seasonal behaviour of rainfall in the Soutpansberg region of South Africa as attributed to the changing climate. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 126, n. 1, p. 233-245, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00704-015-1569-9>. Acesso em: 20 maio 2020.

KISAKA, M. O.; MUCHERU-MUNA, M.; NGETICH, F. K.; MUGWE, J. N.; MUGENDI, D.; MAIRURA, F. Rainfall variability, drought characterization, and efficacy of rainfall data reconstruction: case of Eastern Kenya. **Advances in Meteorology**, v. 2015, p. 1-16, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1155/2015/380404>. Acesso em: 20 maio 2020.

LANNA, A. E. Elementos de estatística e probabilidades. In: TUCCI, C. E. M. (org.) **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 2015.

LIMA, R. P. C.; SILVA, D. D.; MOREIRA, M. C.; PASSOS, J. B. M. C.; COELHO, C. D. ELESBON, A. A. Development of an annual drought classification system based on drought severity indexes. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 91, n. 1, p. 1-11, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0001-3765201920180188>. Acesso em: 20 maio 2020.

MANIÇOBA, R. M.; SOBRINHO, J. E.; GUIMARÃES, I. T.; CAVALCANTE JUNIOR, E.G.; SILVA, T. T. F.; ZONTA, J. H. Índice de anomalias de chuva para diferentes mesorregiões do Estado do Rio Grande do Norte. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10, n. 4, p. 1110-1119, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v10.4.p1110-1119>. Acesso em: 19 maio 2020.

MAPBIOMAS. **Estatísticas coleção 4.1**. Disponível em: <https://plataforma.mapbiomas.org/stats>. Acesso em: 22 maio 2020.

MARCUZZO, F. F. N.; GOULARTE, E. R. P. Índice de anomalia de chuvas do estado do Tocantins. **Geoambiente On-Line**, n. 19, p. 01-17, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.5216/revgeoamb.v0i19.26056>. Acesso em: 19 maio 2020.

MARDERO, S.; SCHMOOK, B.; CHRISTMAN, Z.; METCALFE, S. E.; BARREDA-BAUTISTA, B. Recent disruptions in the timing and intensity of precipitation in Calakmul, Mexico. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 140, n. 1-2, p. 129-

144, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00704-019-03068-4>. Acesso em: 20 maio 2020.

QUESADA-HERNÁNDEZ, L. E.; CALVO-SOLANO, O. D.; HIDALGO, H. G.; PÉREZ-BRICEÑO, P. M.; ALFARO, E. J. Dynamical delimitation of the Central American Dry Corridor (CADC) using drought indices and aridity values. **Progress in Physical Geography: Earth and Environment**, v. 43, n. 5, p. 627-642, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/0309133319860224>. Acesso em: 20 maio 2020.

RIBEIRO, E. P.; MACIEL, A. S. Q. A. Análise do índice de anomalia de chuva na microrregião de Vitória de Santo Antão – Pernambuco. **Revista GeoNordeste**, v. 29, n. 2, p. 89-106, 2018. Disponível em: <https://seer.ufs.br/index.php/geonordeste/article/view/9210>. Acesso em: 19 maio 2020.

RODRIGUES, R. R.; MCPHADEN, M. J. Why did the 2011–2012 La Niña cause a severe drought in the Brazilian Northeast?. **Geophysical Research Letters**, v. 41, n. 3, p. 1012-1018, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/2013GL058703>. Acesso em: 22 maio 2020.

SANTOS, A. P. P.; ARAGÃO, M. R. S.; CORREIA, M. F.; SANTOS, S. R. Q.; SILVA, F. D. S.; ARAÚJO, H. A. Precipitação na Cidade de Salvador: Variabilidade Temporal e Classificação em Quantis. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 31, n. 4, p. 454-467, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0102-778631231420150048>. Acesso em: 22 maio 2020.

SILVA, A. R.; SANTOS, T. S.; QUEIROZ, D. E.; GUSMÃO, M. O.; SILVA, T. G. F. Variações no índice de anomalia de chuva no semiárido. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 2, n. 4, p. 377-384, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.24221/jeap.2.4.2017.1420.377-384>. Acesso em: 22 maio 2020.

SILVEIRA, A. L. L. Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica. In: TUCCI, C. E. M. (org.) **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 2015.

SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Série Histórica**. Disponível em: <http://app4.mdr.gov.br/serieHistorica/#>. Acesso em: 20 maio 2020.

SOUSA, A. B.; SILVA, D. F. Causas climáticas da variabilidade pluviométrica e tendências climáticas na bacia hidrográfica do rio Jaguaribe (CE). **Caminhos de Geografia**, v. 14, n. 46, p. 101-117, 2013. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/17451>. Acesso em: 19 maio 2020.

TILAHUN, K. Analysis of rainfall climate and evapo-transpiration in arid and semi-arid regions of Ethiopia using data over the last half a century. **Journal of Arid Environments**, v. 64, n. 3, p. 474-487, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2005.06.013>. Acesso em: 20 maio 2020.

VAN ROOY, M. P. A rainfall anomaly index independent of time and space. **Notos**, v. 14, n. 43, 1965.

VON GUNTEN, D.; WÖHLING, T.; HASLAUER, C. P.; MERCHÁN, D.; CAUSAPÉ, J.; CIRPKA, O. A. Using an integrated hydrological model to estimate the usefulness of meteorological drought indices in a changing climate. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 20, n. 10, p. 4159-4175, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.5194/hess-20-4159-2016>. Acesso em: 20 maio 2020.

WMO – World Meteorological Organization. **Standardized Precipitation Index - User Guide**. Geneva: WMO, 2012. Disponível em: http://www.wamis.org/agm/pubs/SPI/WMO_1090_EN.pdf. Acesso em: 20 maio 2020.