

## XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

### APLICAÇÃO DO SPEI NO MONITORAMENTO HIDROCLIMÁTICO DE SISTEMA HÍDRICO DO SEMIÁRIDO NORDESTINO

*Rodrigo Felipe de Lima Rosa<sup>1</sup>; Giulliana Karine Gabriel Cunha<sup>2</sup>; Francisco de Assis dos Reis Barbosa<sup>3</sup> & Jonathan Mota da Silva<sup>4</sup>*

**Abstract:** Water is an important factor for life, and studying its dynamics is essential to understanding our relationship with it and dealing with the different levels of access of the population to this resource. Drought, consequently, is a key issue in regions that suffer from this complex phenomenon which occurs frequently in the Brazilian Northeast. This event causes great harm to the population, which has a large part of its water availability guaranteed by reservoirs, which guarantee water security and need better monitoring. This study evaluated the hydroclimatology of reservoirs, specifically in the Armando Ribeiro Gonçalves Reservoir (ARG) Water System, located in the municipality of Itajá-RN, based on the identification of hydrological droughts. Historical series of precipitation and potential evapotranspiration data were used to calculate the Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) on 12 and 42 month timescales, correlating with reservoir data and stored volume anomalies. It was concluded that the SPEI-12 should be employed with caution, as it is not effective in monitoring prolonged drought events that affect large water reserves, such as the ARG system. The study showed that the best associating the drought index and the stored volume anomaly were obtained with the SPEI-42. This indicator demonstrated a satisfactory response to the onset of hydrological drought and can serve as an important tool for monitoring and managing water resources in reservoir system of the scale of ARG in the Brazilian semi-arid region.

**Resumo:** A água é importante fator para a vida e estudar sua dinâmica é primordial para entender a relação que temos com ela e lidar com diferentes níveis de acesso da população a esse bem. A seca, consequentemente, é assunto central em regiões que sofrem com esse fenômeno complexo e que acontece com frequência no Nordeste brasileiro. Esse evento causa muitos prejuízos a população, que tem grande parte da disponibilidade hídrica garantida pelos reservatórios, que garantem segurança hídrica e precisam de melhor monitoramento. Esse estudo teve como objetivo analisar a hidroclimatologia de reservatórios, precisamente no Sistema Hídrico do Açude Armando Ribeiro Gonçalves (ARG), localizado no município de Itajá-RN, a partir da identificação das secas hídricas. Utilizou-se séries históricas de dados de precipitação e evapotranspiração potencial, para cálculo do índice de seca SPEI (Standardised Precipitation Evapotranspiration Index) em escalas temporais de 12 e 42 meses, correlacionando com os dados do reservatório e sua anomalia de volume armazenado. Concluiu-se que o SPEI-12, deve ser utilizado com cautela, pois é pouco eficiente para monitoramento de eventos de seca de maior duração, que afetam grandes reservas de água, como o sistema ARG. O estudo mostrou que os melhores resultados que associam o índice de seca e a anomalia de volume armazenado foi para o SPEI-42. Este indicador apresentou uma satisfatória resposta ao início da seca hidrológica e pode servir como importante ferramenta para monitoramento e gestão dos recursos hídricos para sistemas hídricos da dimensão do ARG no semiárido brasileiro.

**Palavras-Chave** – nordeste brasileiro; segurança hídrica; índice de seca.

1) Técnico em Geociências. Serviço Geológico do Brasil. rodrigo.rosa@sgb.gov.br

2) Programa de Pós-Graduação em Ciências Climáticas. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. giullianakarine12@gmail.com

3) Pesquisador em Geociências. Serviço Geológico do Brasil. francisco.reis@sgb.gov.br

4) Departamento de Ciências Atmosféricas e Climáticas. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. jonathan.mota@ufrn.br

## INTRODUÇÃO

A seca pode ser entendida como um fenômeno natural que consiste na ausência ou diminuição de precipitações inferiores à média anual em uma dada localidade ou região, que acarreta déficit de água disponível tanto para atividades humanas como para manutenção de atividades biológicas (Barry e Chorley, 2013). Enquanto fenômeno pode ser compreendida quanto a sua frequência, duração e severidade, com difícil previsão (Pereira, 2004).

Ademais, as secas são desastres naturais que geram variados problemas sociais e econômicos, afetando diferentes regiões do Brasil, reduzindo a segurança hídrica, alimentar e energética (Cunha et al., 2019). Embora ocorram mundialmente em diversas regiões, as secas tendem a ter maior intensidade e frequência em regiões semiáridas e subúmidas, ocasionando problemas para a população, tendo como exemplos críticos do fenômeno o Sahel (África), no Mediterrâneo Europeu e no Semiárido Brasileiro (Araújo, 2021). No Brasil, a região com maior chance de recorrência de secas é a região Nordeste, composta por nove estados, metade deles têm mais de 85% de sua área caracterizada como semiárida (SUDENE, 2021).

De maneira geral, as secas podem ser divididas em quatro tipos: Meteorológica, Agrícola, Hidrológica e Socioeconômica. Embora elas sejam classificadas nesses quatro tipos, todas são originadas da redução de precipitação, resultando em falta de água para o desenvolvimento de atividades ou para a sobrevivência de seres vivos (Wilhite, 2003). A seca meteorológica está ligada ao déficit de precipitação em relação ao valor médio. Já a agrícola está ligada ao armazenamento de água no solo, para prover o crescimento e desenvolvimento das plantas, sendo no caso, ligado aos impactos na agricultura (Fernandes et al, 2009). A seca hidrológica, de forma simples, é a redução da disponibilidade das reservas hídricas. Esta pode ser causada tanto por uma sequência de anos com déficit de escoamento superficial e subterrâneo, por uma frágil gestão dos recursos hídricos, em decorrência de uma recarga prejudicada dos aquíferos e reservatórios e/ou uso acima da capacidade de suporte do sistema (Campos; Studart, 2001). Este tipo de seca, normalmente, demora mais a ser percebida em relação à seca meteorológica, pois é necessário um tempo maior de déficit de precipitação para que afetem as reservas hídricas. (Pires, 2003). Por último, mas não ocorrendo nesta ordem, temos a seca chamada de socioambiental ou socioeconômica. É quando o impacto relacionado com a seca afeta as atividades da população, como alimentação, fornecimento de energia, lazer, entre outros. Esta também pode ser agravada por uma má gestão dos recursos hídricos, fazendo com que ela aconteça antes do previsto ou prolongue o seu término. Esta não tem um início bem definido, visto que um déficit hídrico já pode afetar economicamente a população logo nos primeiros meses ou pode demorar mais a ser sentida, em virtude da adaptação que a comunidade tem para conviver com a escassez de água.

No sentido de adaptação e resiliência a secas, os reservatórios são importantes para a gestão dos recursos hídricos, pois armazenam água do período de maior precipitação para os períodos de estiagem, propiciando assim uma maior oferta deste elemento para o público (Matos et al., 2011). Como instrumento para a convivência com a estiagem prolongada, os reservatórios superficiais de água são difundidos em grande número, mas eles estão inseridos em uma complexidade, por causa de fatores relacionados a irregularidade espacial e temporal, da disponibilidade de água e a deficiência de monitoramento hidroclimatológico (Fontes, 2005). A hidroclimatologia é o estudo da relação que o clima tem com a dinâmica hidrológica e seu ciclo, afetando as águas superficiais e subterrâneas. Sobre isso, o clima é um fator preponderante para hidrologia nos reservatórios e seu balanço hídrico. A compreensão da hidroclimatologia deste sistema é relevante pois servirá para auxiliar a elaboração de políticas públicas de sustentabilidade e segurança hídrica, além de basear ações para o cenário futuro de mudanças climáticas.

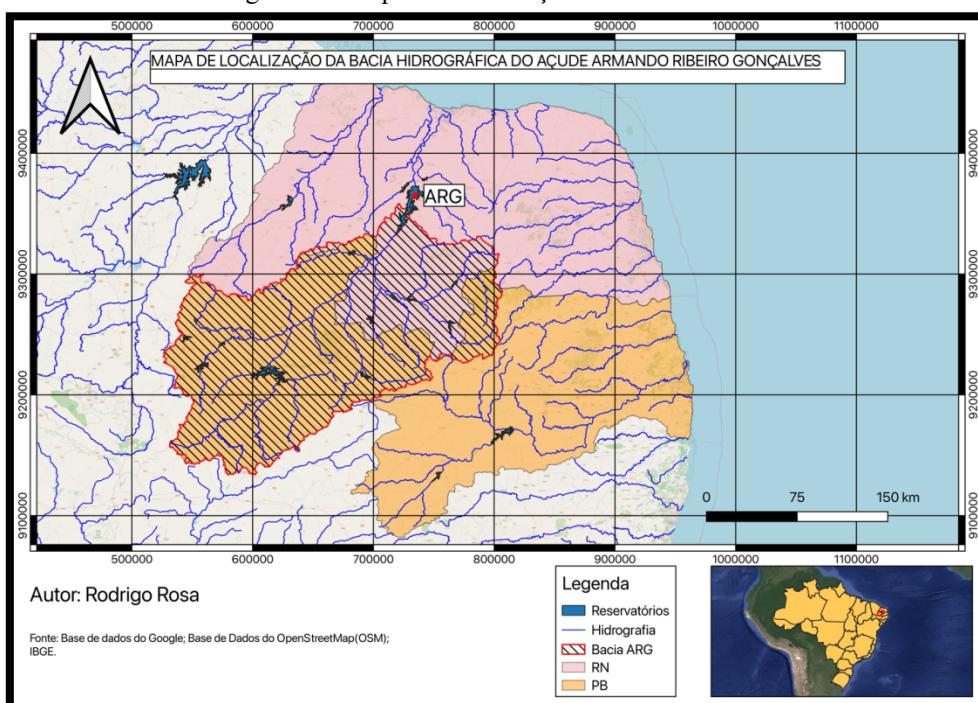
Compreender a relação entre esses fatores, bem como realizar um monitoramento eficaz, é essencial para embasar tomadas de decisão mais eficientes. Diante disso, este estudo teve como objetivo analisar a hidroclimatologia de reservatório, com foco no Sistema Hídrico Engenheiro Armando Ribeiro Gonçalves, localizado em Itajá-RN. A partir da análise hidroclimatológica, buscou-se compreender como as secas impactam esse sistema hídrico, por meio da: (i) identificação dos inícios e fins dos eventos de seca ocorridos entre janeiro/1985 e dezembro/2019 e (ii) avaliação das secas hidrológicas, com a sugestão do agrupamento temporal mais adequado do índice climático (entre o SPEI-12 ou 42) para monitorar esse fenômeno.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Área de estudo

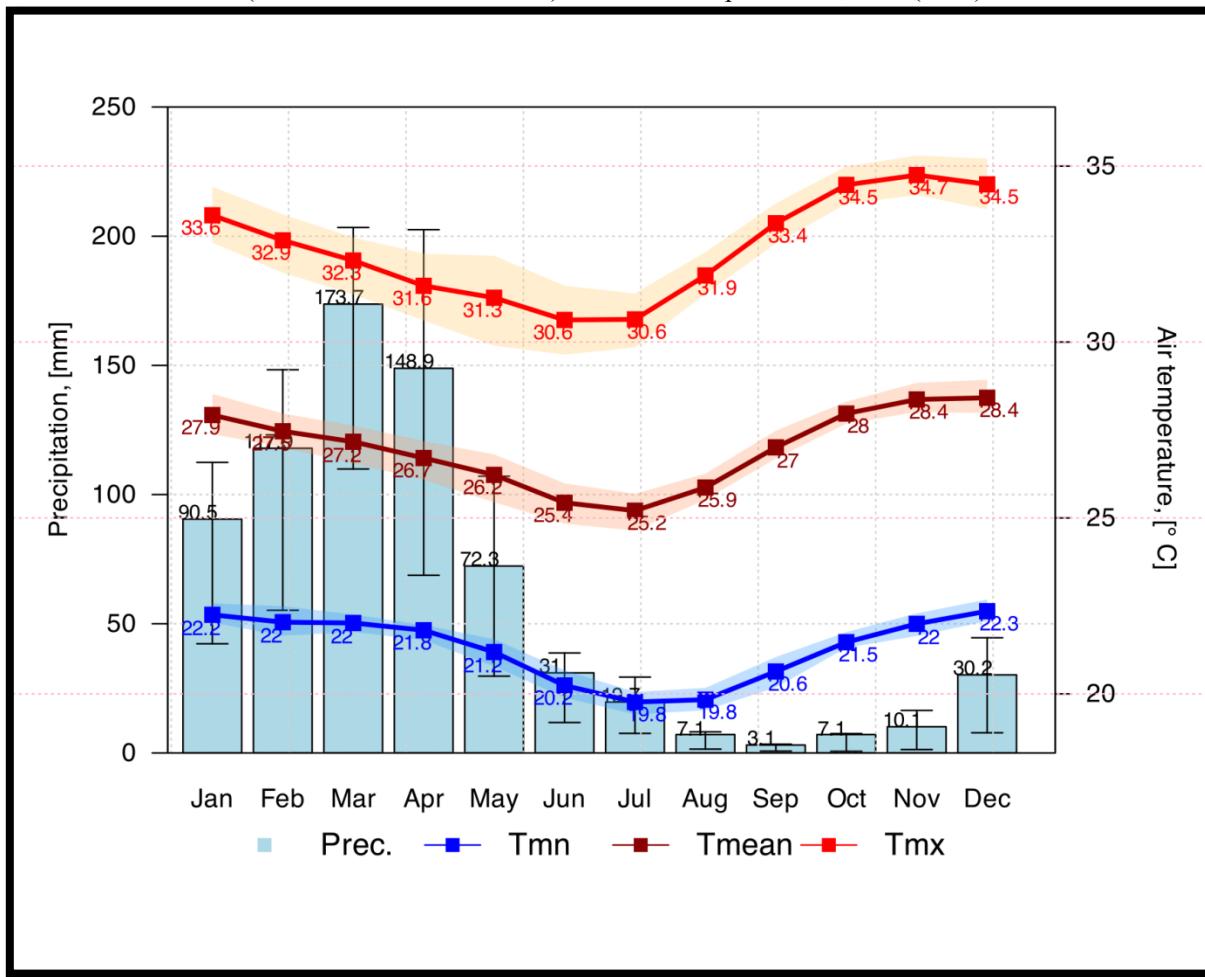
A área de estudo ( $35.000 \text{ km}^2$ ) comprehende a bacia hidrográfica a montante do reservatório Engenheiro Armando Ribeiro Gonçalves (ARG) e o reservatório ARG (Figura 1). Vale mencionar que por muito tempo o reservatório Engenheiro Armando Ribeiro Gonçalves foi o maior reservatório construído pelo DNOCS, perdendo a condição para o Castanhão, no Ceará, no ano de 2002. Atualmente contribui para o abastecimento humano de aproximadamente 500 mil pessoas. Inaugurado em 20 de maio de 1983, está localizado na bacia hidrográfica do rio Piranhas-Açu e foi construído com o objetivo principal de garantir o abastecimento hídrico do projeto de irrigação do Baixo Açu, impulsionando assim o desenvolvimento econômico da região. Possui uma bacia hidráulica de  $195 \text{ km}^2$  e volume de 2,4 bilhões de metros cúbicos (DNOCS, 2023). A bacia completa do Piancó-Piranhas-Açu (não mostrada) está contida nos estados do Rio Grande do Norte (RN) e Paraíba (PB), totalizando uma área aproximada de  $43.600 \text{ km}^2$ , sendo a maior Região Hidrográfica do Atlântico Nordeste Oriental. Está totalmente inserida no semiárido, caracterizada por chuvas concentradas em poucos meses do outono austral, considerável variabilidade interanual da precipitação, além de passar por frequentes secas, que reduzem sua disponibilidade hídrica (ANA, 2016).

Figura 1 – Mapa de Localização da Área de Estudo.



As precipitações médias na área da bacia hidrográfica a montante do ARG (Figura 1) concentram-se predominantemente no final do verão e durante o outono, especialmente nos meses de março e abril, quando a média pluviométrica é de aproximadamente 161 mm, com uma variação de  $\pm 125$  mm (Figura 2). Esse regime de precipitação é semelhante ao observado na bacia hidrográfica completa do Rio Piancó-Piranhas-Açu (ANA, 2016; Mutti, 2019). A temperatura média (Tmean) varia em 3,2 °C ao longo do ano, com temperatura máxima (Tmx) de 34,7 °C, em novembro, e mínima (Tmn) de 19,8 °C, em julho (Figura 2).

Figura 2 - Climograma calculado com dados diários de precipitação e temperatura máxima e mínima, médio na área de bacia hidrográfica a montante do reservatório ARG (Figura 1), obtidos da base de dados 10 km de resolução de 40 anos (01-Jan/1980 a 31-Dez/2019) desenvolvidos por Xavier, et al. (2022).



## Índices de seca

Os índices de seca são ferramentas que visam simplificar a análise de um fenômeno complexo. Um dos principais objetivos deles é detectar início e fim, monitorar e avaliar quanto a sua severidade (Barua *et al.*, 2011).

O índice escolhido para o trabalho foi o SPEI (*Standardised Precipitation Evapotranspiration Index*). Ele foi proposto pela primeira vez por Vicente-Serrano *et al.* (2010), como um índice de seca aprimorado e adaptado ao cenário de mudanças climáticas e aquecimento global. O SPEI foi baseado em outro índice, o SPI (*Standardised Precipitation Index*), que leva em consideração apenas a precipitação (P) no seu cálculo. Já o SPEI tem o incremento da Evapotranspiração Potencial (ETo),

que na região do estudo é uma variável climatológica importante, devido as altas temperaturas, além de considerar o efeito das mudanças climáticas (Vicente-Serrano, 2024). O SPEI utiliza a diferença ( $D = P - ETo$ ) entre a precipitação ( $P$ ) e a evapotranspiração potencial ( $ETo$ ), obtidos em várias escalas temporais. De modo geral, os valores deste índice variam entre -3 e 3, onde os valores negativos correspondem a um déficit hídrico e os positivos a um superávit hídrico. O SPEI pode ser calculado em intervalos que variam de 1 a 48 meses. Com este índice é possível detectar os diversos tipos de seca, sendo útil como ferramenta para monitoramento dos recursos hídricos, podendo auxiliar na sua gestão (Vicente-Serrano, 2024).

### Anomalia do volume do reservatório

A variável utilizada para identificar seca hidrológica neste estudo foi a anomalia do volume no Reservatório Armando Ribeiro Gonçalves, definida como à diferença do volume armazenado, em um determinado mês, em relação à média do período. Essa análise visa avaliar os desvios dos dados de volume, em torno da média durante a série temporal de dados. Neste trabalho, a média foi substituída pela mediana, e a anomalia do volume foi calculada segundo a equação a seguir:

$$VolAnom_i = \frac{Vol_i - Volmed}{IQR} \quad (1)$$

onde  $VolAnom_i$  corresponde à anomalia do volume no mês  $i$ ,  $Vol_i$  é o valor do volume no mês  $i$ ,  $Volmed$  é a mediana do volume do reservatório no período estudado e o  $IQR$  é o Intervalo Interquartil (diferença entre o terceiro quartil e o primeiro quartil), utilizado para normalizar a anomalia.

### Dados utilizados

Os dados de precipitação ( $P$ ) e evapotranspiração potencial ( $ETo$ ) utilizados foram coletados a partir do trabalho de Xavier *et al*, 2022. A série temporal utilizada corresponde ao período de janeiro de 1980 até dezembro de 2019. A partir deles foram calculados os índices de seca SPEI, a fim de identificar períodos de seca. Esses cálculos foram realizados a partir da linguagem de programação R, através do pacote chamado “SPEI”, desenvolvido para o cálculo do índice. Os dados referentes ao volume do reservatório Armando Ribeiro Gonçalves (ARG), durante janeiro de 1985 a dezembro de 2019, foram obtidos do Sistema de Acompanhamento de Reservatórios (SAR) da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). Estes dados foram utilizados para calcular a anomalia do volume ( $VolAnom_i$ ), descrita na seção anterior. Como esperado, o reservatório ARG ao atingir sua capacidade máxima (2.400  $hm^3$ ), permanece com o volume constante. Esse detalhe pode ser observado nas Figuras 3 e 4, mais especificamente na linha correspondente a anomalia do volume do reservatório. Por vezes, em seu momento de maior valor, ela permanece estável, comprovando esse detalhe.

## RESULTADOS

Com o propósito de verificar a variação temporal do SPEI com o déficit do sistema hídrico ARG, são apresentadas as séries temporais durante o período Jan/1985 a Dez/2019 do SPEI-12 e SPEI-42, ambos, em conjunto com a anomalia do volume.

O SPEI-12 não retrata da melhor forma a seca hidrológica observada no reservatório ARG (Figura 3). Se for considerado um limiar para ocorrência de seca igual ou inferior a -0,5, por exemplo, o SPEI-12 apresenta, em vários momentos, magnitude inferior a -0,5. Contudo, a anomalia do volume do reservatório não acompanha tal padrão, devido a característica deste sistema hídrico, que possui uma dinâmica temporal no seu balanço de massa distinto da variação anual (12 meses). Em outras palavras, o reservatório precisa de um tempo maior para poder apresentar “sintomas” da seca, i.e.,

déficits hídricos. O SPEI-12 retrata melhor eventos de seca Meteorológica, que é de característica de resposta curta. O reservatório precisa de um tempo maior para poder apresentar “sintomas” do déficit hídrico.

Figura 3 - SPEI-12 médio na área da bacia hidrográfica a montante do reservatório ARG e anomalia do volume armazenado no ARG ( $\text{Vol}_{\text{Acum}}$ ) durante janeiro de 1985 a dezembro de 2019.

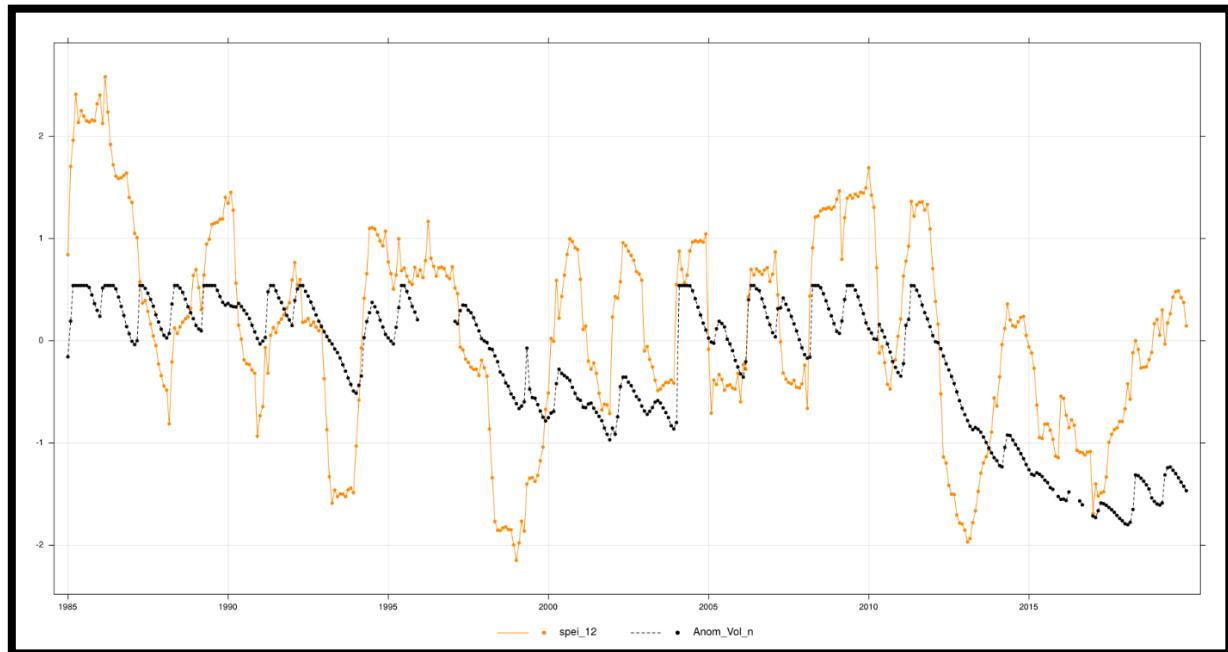
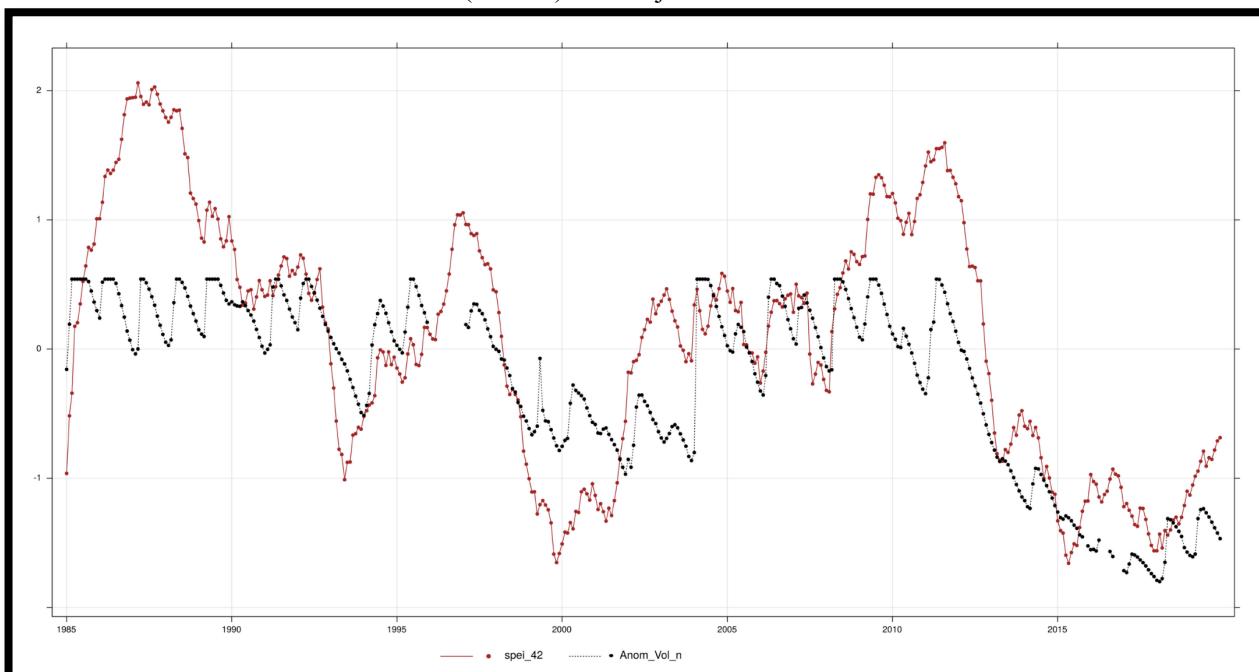


Figura 4 - SPEI-42 médio na área da bacia hidrográfica a montante do reservatório ARG e anomalia do volume armazenado no ARG ( $\text{Vol}_{\text{Acum}}$ ) durante janeiro de 1985 a dezembro de 2019.



Por outro lado, o SPEI-42, considerando um limiar para estabelecimento de seca igual a -0,5, apresenta uma maior associação com a anomalia do volume (Figura 4). Percebe-se que as séries

temporais deste índice, na maioria das vezes, seguem em conformidade no tempo com a anomalia do volume. Comparando as duas janelas temporais, essa diferença é essencial para gestão de Recursos Hídricos, pois alguns meses de atraso na tomada de decisão podem significar grandes prejuízos financeiros e sociais para os usuários de água da bacia.

## CONCLUSÃO

Realizou-se uma análise acerca da relação dos índices de seca (SPEI-12 e SPEI-42) com a anomalia do volume armazenado, tendo como estudo de caso o Reservatório ARG, cujo propósito era obter a melhor correlação entre esses dois parâmetros. O SPEI-42 apresentou melhor associação com a anomalia do armazenamento, se mostrando mais eficiente, por exemplo, para respostas aos momentos de início da condição de seca hidrológica. Este aspecto possibilita o diagnóstico da condição de seca no sistema hídrico, tornando-se uma ferramenta importante no processo de tomada de decisão, na gestão do armazenamento deste sistema, reduzindo danos aos usuários dos recursos hídricos.

Portanto, conclui-se com esse trabalho que os índices normalmente utilizados para diagnóstico de secas meteorológicas, com um período menor de integração, não necessariamente retratam uma condição de déficit em um sistema hídrico, como o de Armando Ribeiro Gonçalves. Este sistema precisa de um tempo maior de exposição a seca para apresentar a redução do seu volume. Os melhores índices para isso são os de prazos de agrupamento temporal superiores a 12 meses e, neste estudo, com mais de 30 anos de dados, para a região analisada, o SPEI-42 foi o que apresentou melhor correlação com a anomalia de volume do reservatório. Uma análise mais abrangente com associação de outras variáveis hidroclimáticas e outros sistemas hídricos são necessários para fortalecer esta hipótese. Contudo, este estudo contribui para o aspecto da escala temporal utilizada nos índices de monitoramento da seca voltados para os sistemas hídricos. Tal estudo pode ser útil para pesquisas de monitoramento da seca hidrológica desses sistemas, além de auxiliar no planejamento de tomadas de decisão para uma melhor gestão desse bem tão valioso, que é a água.

## REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS (ANA). (2016). *Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Piancó-Piranhas-Açu -Resumo Executivo*. Brasília.
- ARAÚJO, S. M. S. (2021). *Rev. Geociênc. Nordeste*, Caicó, v.7, n.1, (Jan-Jun) p.52-58.
- BARRY, R. G.; CHORLEY, R. J. (2013). *Atmosfera, tempo e clima*.9<sup>a</sup> Ed. Porto Alegre: Bookman, 512 p.
- BARUA, S.; Ng, A. W. M.; PERERA, B. J. C. (2011). *Comparative Evaluation of Drought Indexes: Case Study on the Yarra River Catchment in Australia*. J. Water Resour. Plann. Manage., v.137, n. 2, p. 215–226.
- CAMPOS, J. N. B.; STUDART, T. M. C. (2001). *Secas no Nordeste do Brasil: Origens, Causas e Soluções*. In: IV Diálogo Interamericano de Gerenciamento de Águas. ABRH, Foz do Iguaçu.
- CUNHA, A.P.M.A. et al. (2019) *Extreme drought events over Brazil from 2011 to 2019*. Atmosfere.
- DNOCS. (2023) *Construído pelo DNOCS, o Açude Engenheiro Armando Ribeiro Gonçalves é o maior reservatório de água do Rio Grande do Norte*. Disponível em: <https://www.gov.br/dnocs/pt-br>

br/assuntos/noticias/construido-pelo-dnocs-o-acude-engenheiro-armando-ribeiro-goncalves-e-o-maior-reservatorio-de-agua-do-rio-grande-do-norte.

FERNANDES, D.S. et al. (2009). *Índices para a quantificação da seca*. Emprapa Arroz e Feijão. Documentos 244. Santo Antônio de Goiás. 48p.

FONTES, A.S. (2005). *Estudo da evaporação em reservatórios situados em região semiárida: uso de bacia experimental*. 210f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental e Urbana) - UFBA, Salvador, BA.

MATOS, A.J.S.; ESTIGONI, M.V.; MAUAD, F.F. (2011). *Variação de Volume Calculado em Grandes Reservatórios Utilizando Diferentes Metodologias de Levantamentos Batimétricos*. In Anais XIV World Water Congress, Porto de Galinhas, PE, setembro.

MUTTI, P. R., de Abreu, L. P., de MB Andrade, L., Spyrides, M. H. C., Lima, K. C., de Oliveira, C. P., ... & Bezerra, B. G. (2020). *A detailed framework for the characterization of rainfall climatology in semiarid watersheds*. Theoretical and Applied Climatology, 139, 109-125.

PEREIRA, Luís S. (2004). *Recursos Hídricos, Secas e Desertificação*. In: LOURO, Victor. Desertificação: sinais, dinâmicas e sociedade. Lisboa: Instituto Piaget. p. 47-60.

PIRES, V. (2003) *Frequência e intensidade de fenômenos meteorológicos extremos associados a precipitação*. 98p. Dissertação (Mestrado em Ciências e Engenharia da Terra) – Universidade de Lisboa, Portugal.

SUDENE. (2021). *Delimitação do Semiárido-2021: Relatório Final*. Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste. Recife, PE.

VICENTE-SERRANO, SÉRGIO M. & CENTRO NACIONAL DE PESSOAL DE PESQUISA ATMOSFÉRICA (Eds). (2024). *"The Climate Data Guide: Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI)"*. Retirado de: <https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/standardized-precipitation-evapotranspiration-index-spei>.

VICENTE-SERRANO, SERGIO M., SANTIAGO BEGUERÍA, JUAN I. LÓPEZ-MORENO. (2010). *A Multiscalar Drought Index Sensitive to Global Warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index*. J. Climate, 23, 1696–1718.

WILHITE, D.A. (2003) Drought. In: HOLTON, J.R.; PYLE, J.A.; CURRY, J.A. (Ed.). *Encyclopedia of atmospheric sciences*. New York: Elsevier. P. 650-658.

XAVIER, A. C., Scanlon, B. R., King, C. W., & Alves, A. I. (2022). *New improved Brazilian daily weather gridded data (1961–2020)*. International Journal of Climatology, 42(16), 8390– 8404.