

XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

CARACTERIZAÇÃO DE SECAS REPENTINAS EM RESERVATÓRIOS DO SEMIÁRIDO DO CEARÁ

Suellen Teixeira Nobre Gonçalves¹; Cleiton da Silva Silveira²; Francisco das Chagas Vasconcelos Júnior³; José Micael Ferreira da Costa⁴; Antonio Duarte Marco Júnior⁵

Abstract: The present study analyzed the occurrence of flash droughts between 1961 and 2020 in the reservoirs of Ceará, Brazil, using the Christian method to assess their severity and persistence. The analyses of the years 2001, 2008, 2011, 2012, 2016, and 2020 showed the interaction of these droughts with environmental and meteorological factors. In dry years, such as 2012 and 2016, there was a worsening of drought conditions in the Banabuiú, Castanhão, and Orós reservoirs. Most flash drought episodes evolved into conventional droughts, with prolonged impacts. May and November were the months with the highest frequency of these events during the wet and dry seasons, respectively. The results highlight the importance of effective monitoring and mitigation strategies to reduce the impacts on agriculture and water resources in the semiarid region.

Resumo: O presente estudo analisou a ocorrência de secas repentinas entre 1961 e 2020 nos reservatórios do Ceará, Brasil, utilizando o método de Christian para avaliar sua severidade e persistência. As análises dos anos de 2001, 2008, 2011, 2012, 2016 e 2020 mostraram a interação dessas secas com fatores ambientais e meteorológicos. Em anos secos, como 2012 e 2016, houve agravamento das condições de estiagem nos reservatórios Banabuiú, Castanhão e Orós. A maioria dos episódios de seca repentina evoluiu para secas convencionais, com impactos prolongados. Maio e novembro foram os meses com maior frequência desses eventos durante as estações chuvosa e seca, respectivamente. Os resultados destacam a importância de estratégias eficazes de monitoramento e mitigação para reduzir os impactos na agricultura e nos recursos hídricos do semiárido.

Palavras-Chave: Recursos hídricos; precipitação; monitoramento.

1 INTRODUÇÃO

As secas costumam ser eventos de desenvolvimento lento, levando, muitas vezes, anos para se instalarem completamente no sistema. Porém, entre as diferentes manifestações desses fenômenos, surgem as secas repentinas, que representam uma nova categoria de seca, com desenvolvimento rápido (algumas semanas ou meses) e intenso (elevada severidade). Essas secas são desafiadoras devido à sua rápida intensificação, que pode ocorrer de forma imprevisível e impactar negativamente várias atividades humanas, como a segurança hídrica e alimentar. Elas costumam iniciar como secas

¹Universidade Federal do Ceará (UFC), Departamento de Engenharia Civil, Fortaleza, CE, Brasil. e-mail: suellen.nobre@gmail.com

² Universidade Federal do Ceará (UFC), Departamento de Engenharia Civil, Fortaleza, CE, Brasil. e-mail: cleitonsilveira@ufc.br

³ Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCENAME), Fortaleza, CE, Brasil. e-mail: juniorphy@gmail.com

⁴ Universidade Federal do Ceará (UFC), Departamento de Engenharia Civil, Fortaleza, CE, Brasil. e-mail: jmicaelcosta@alu.ufc.br.

⁵ Universidade Federal do Ceará (UFC), Departamento de Engenharia Civil, Fortaleza, CE, Brasil. e-mail: duarte.junior@alu.ufc.br

meteorológicas e progridem para secas agrícolas à medida que as condições ambientais se agravam. Se fatores, como falta de precipitação, ventos fortes, alta radiação solar (ocasionada pela ausência de nuvens), temperaturas elevadas e ondas de calor durarem por várias semanas, o processo de seca pode se desencadear e progredir com rapidez (Christian *et al.*, 2023; Christian *et al.*, 2019b; Christian *et al.*, 2019a; Otkin *et al.*, 2018a; Ford e Labosier, 2017; Hobbins *et al.*, 2016; Mo e Lettenmaier, 2015).

No Brasil, a seca é um fenômeno frequente devido à diversidade climática do país. Enquanto o Sul e Sudeste possuem climas mais amenos, o Norte e Nordeste enfrentam temperaturas elevadas, frequentemente acima dos 30°C. Embora as secas possam afetar todas as regiões do país, impactando a agricultura e o fornecimento de água, é no Nordeste que esses eventos são mais comuns e intensos, resultando em impactos severos (De Nys, 2016).

Estudos recentes têm analisado os padrões e os impactos das secas repentinas no Brasil, especialmente no Nordeste. Barbosa (2023) apontou como essas secas afetam rapidamente a vegetação da Caatinga. Ballarin *et al.* (2024) destacaram o aumento das secas em bacias hidrográficas e a necessidade de estratégias adaptativas para a gestão da água e do solo.

Apesar dos esforços para identificar e monitorar as secas, os estudos atuais ainda enfrentam limitações na abordagem das secas repentinas, uma vez que a maior parte das ações de monitoramento estão centradas em escalas maiores, como as mensais, trimestrais e anuais. Sendo assim, existe uma carência de pesquisas que se dediquem a avaliar e monitorar esses fenômenos numa escala menor, como pentadal ou quinzenal, a fim de fornecer informações mais completas para o desenvolvimento de estratégias de mitigação e adaptação.

Assim, o objetivo deste trabalho é identificar e monitorar secas repentinas nos reservatórios monitorados do Ceará, Brasil, entre 1961 e 2020. Para tal, será utilizada a metodologia proposta por Christian *et al.* (2019a) para identificar e caracterizar esses eventos.

2 METODOLOGIA

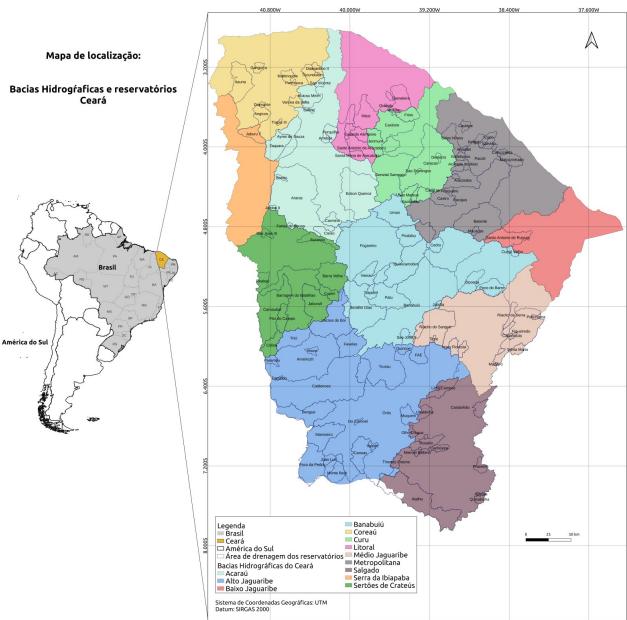
A metodologia deste estudo seguiu três etapas: definição da área de estudo (155 reservatórios no Ceará), análise das séries temporais de precipitação e evapotranspiração potencial, e aplicação do método de Christian *et al.* (2019) para identificar e classificar as secas repentinas.

2.1 Área de Estudo

O estado do Ceará é conhecido por sua vulnerabilidade às secas, em parte devido ao seu clima semiárido e ao baixo armazenamento hídrico, que pode ser agravado pelas mudanças climáticas em curso. O clima da região é caracterizado por quatro períodos relacionados às precipitações: pré-estação chuvosa (dezembro e janeiro), período chuvoso (fevereiro a maio), pós-estação chuvosa (junho e julho), estação seca (agosto a novembro). Os acumulados de chuva variam ao longo do estado, com médias anuais que oscilam entre 600 mm e 800 mm/ano (Marengo *et al.*, 2018; Coutinho *et al.*, 2015; Gutierrez *et al.*, 2014; Nunes, 2012; Nimer, 1989).

Com relação aos recursos hídricos (Figura 1), a região apresenta doze bacias hidrográficas, cada uma com uma quantidade específica de reservatórios que somados totalizam os 155 reservatórios monitorados pela Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Ceará (COGERH), sendo elas: Acaraú (15), Banabuiú (19), Coreaú (10), Curu (14), Alto Jaguaribe (23), Médio Jaguaribe (15), Baixo Jaguaribe (1), Litoral (10), Metropolitana (22), Salgado (15), Sertões de Crateús (10) e Serra da Ibiapaba (1) (COGERH, 2024; De Medeiros, 2012).

Figura 1 -Localização das Bacias Hidrográficas do Ceará e os reservatórios monitorados.



2.2 Base de dados

A base de dados utilizada para a identificação de secas repentinas foi o BR-DWGD (*Brazilian Daily Weather Gridded Data*), desenvolvido por Xavier *et al.* (2022). A série temporal abrangeu o período de 1961 a 2020, tanto para os dados de precipitação quanto para os de evapotranspiração potencial (PET). Para estimar os dados de evaporação real (ET), utilizou-se o balanço hídrico proposto por Thornthwaite (Thornthwaite, 1948), que considera os dados de capacidade de água disponível (CAD), precipitação e temperatura (Chikavumbwa *et al.*, 2024) .. Os valores de CAD foram obtidos do Harmonized World Soil Database (HWSD), disponibilizado pela Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (Wieder *et al.*, 2014; Lima *et al.*, 2020).

2.3 Secas Repentinas

2.3.1 Metodologia de identificação de secas repentinas

O método utilizado para identificar as secas repentinas foi fundamentado no trabalho desenvolvido por Christian *et al.* (2019a), o qual baseia-se no estresse evaporativo e abrsnge as seguintes etapas:

a) Índice de Estresse Evaporativo (ESR)

O ESR, utiliza dados diários de ET e PET conforme a Equação 1:

$$ESR = \frac{ET}{PET} \quad (1)$$

Em que: ESR corresponde ao Índice de Estresse Evaporativo; ET representa os dados de Evaporação real, obtidos através do balanço hídrico; e PET corresponde aos dados de Evapotranspiração Potencial.

b) Índice Padronizado de Estresse Evaporativo (SESR)

Christian *et al.* (2019a) recomendam o uso de escalas pentadais (5 dias) ou maiores para calcular o SESR, a fim de minimizar a variabilidade dos dados diários de ESR. Assim, os valores de ESR foram acumulados para pentadas e, em seguida, foi aplicada a padronização (Equação 2).

$$SESR_{ijp} = \frac{ESR_{ijp} - \overline{ESR}_{ijp}}{\sigma_{ESR_{ijp}}} \quad (2)$$

Em que: $SESR_{ijp}$ corresponde ao Índice Padronizado de Estresse Evaporativo para uma pentada específica; ESR representa a média dos valores de ESR; e σ_{ESR} representa o desvio padrão dos valores de ESR.

c) Mudança padronizada no SESR

A variação normalizada do SESR é apresentada na Equação 3 (Christian *et al.*, 2019a).

$$(\Delta SESR_{ijp})_z = \frac{\Delta SESR_{ijp} - \Delta S \overline{ESR}_{ijp}}{\sigma_{\Delta SESR_{ijp}}} \quad (3)$$

Em que: $(\Delta SESR_{ijp})_z$ corresponde a mudança padronizada no SESR; $\Delta SESR$ representa a mudança média nos valores SESR para uma pentada específica; e $\sigma_{\Delta SESR}$ representa o desvio padrão do SESR para uma pentada específica.

d) Identificação e classificação das secas repentinas

Quatro critérios são utilizados para identificar eventos de seca repentina. O critério 1 exige uma duração mínima de seis pêntadas (30 dias) para excluir eventos curtos sem impacto significativo. O critério 2 estipula que o valor final da SESR deve estar abaixo do 20º percentil, garantindo que apenas eventos severos sejam considerados. O critério 3 avalia a rápida intensificação da seca, onde o $\Delta SESR$ entre pêntadas consecutivas deve estar no 40º percentil ou abaixo dele e a tendência geral é de intensificação contínua. O critério 4 exige que a variação média da SESR durante toda a duração da seca repentina seja inferior ao 25º percentil das variações climatológicas na SESR para aquele ponto da grade e época do ano (Christian *et al.*, 2019a).

A classificação dos eventos de seca repentina (Tabela 1) baseia-se na taxa de intensificação medida pela variação média do SESR, e é dividida em quatro categorias: FD1 representa uma seca repentina moderada (percentis 20 a 25); FD2 representa uma seca repentina severa (percentis 15 a 20); FD3 representa uma seca repentina extrema (percentis 10 a 15); e FD4 representa uma seca repentina excepcional (percentis <10) (Christian *et al.*, 2019a).

Tabela 1 - Classificação das secas repentinas de acordo com a sua intensidade.

Índice de Intensidade de Seca Repentina (FD)	Classificação	Mudança média de SESR ($\Delta SESR$)
FD1	Seca Repentina Moderada	Percentil 20 a 25
FD2	Seca Repentina Severa	Percentil 15 a 20
FD3	Seca Repentina Extrema	Percentil 10 a 15
FD4	Seca Repentina Excepcional	Percentil < 10

Fonte: Christian *et al.* (2019a).

3 RESULTADOS

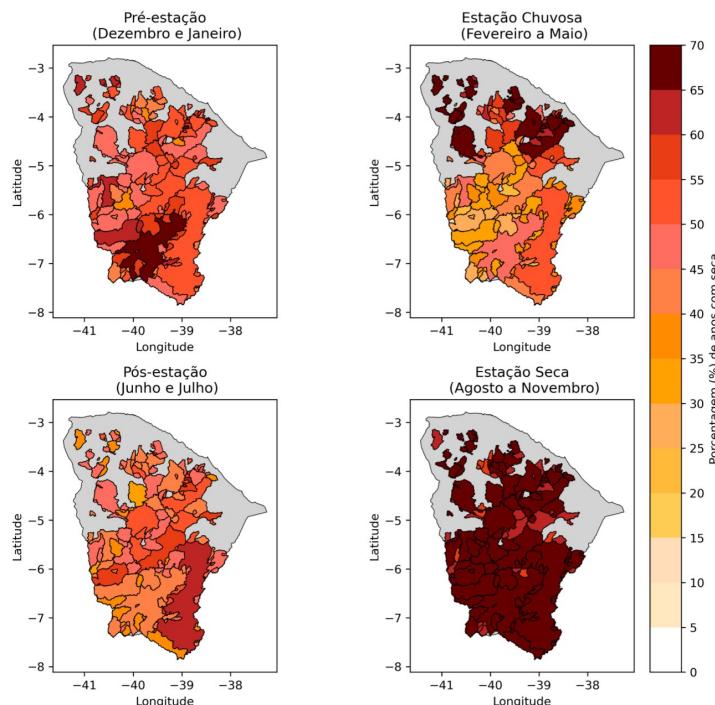
3.1. Identificação e frequência das Secas Repentinhas

A metodologia de identificação das secas repentinhas foi aplicada para quantificar o número de anos que sofreram um evento de seca repentina (expresso como uma porcentagem) nos reservatórios monitorados do Ceará, Brasil, para cada estação do ano (Figura 2).

Para a pré-estação chuvosa (dezembro a janeiro), as maiores ocorrências de secas repentinhas (acima de 60%) foram registradas em bacias como a Metropolitana, Sertão de Crateús, Alto e Médio Jaguaribe, Coreaú e Salgado. Nas demais bacias, a frequência variou entre 30% e 50%.

Durante a estação chuvosa (fevereiro a maio), destacaram-se altas ocorrências de secas repentinhas (65% a 70%) em reservatórios das bacias do Acaraú e Coreaú. Nos demais, os percentuais variaram de 25% a 50%. Na pós-estação (junho a julho), a frequência ficou entre 30% e 50%, com alguns reservatórios superando 55%. Já na estação seca (agosto a novembro), as secas repentinhas foram frequentes em todas as regiões, sempre acima de 55%.

Figura 2 - Porcentagem anual de Secas Repentinhas nos Reservatórios do Ceará (1961–2020).



As frequências anuais de diferentes intensidades das secas repentinhas são mostradas nas Figuras. 3 e 4. A categoria FD1 (Moderada) apresentou uma maior frequência de ocorrência para todas as estações e reservatórios estudados, com valores percentuais acima dos 25%. Já as categorias FD2 (Severa) e FD3 (Extrema) mostraram menores frequências para todas as estações, com valores percentuais abaixo dos 15%.

Figura 3 – Frequência de Secas Repentinhas nos Reservatórios do Ceará (1961–2020) de acordo com a intensidade: (a) FD1 (Moderada); (b) FD2 (Severa).

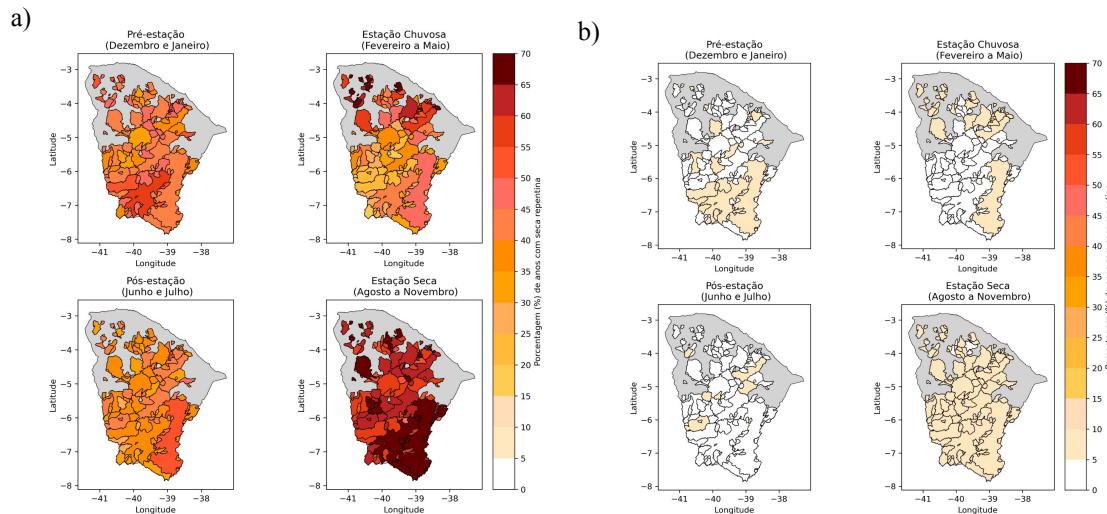
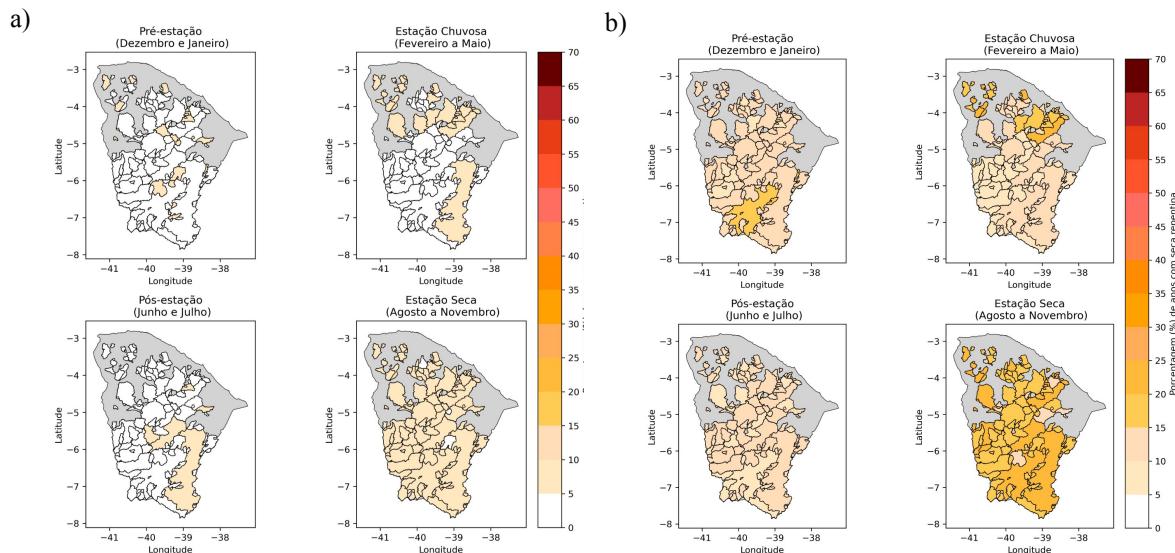


Figura 4 - Frequência de Secas Repentinhas nos Reservatórios do Ceará (1961–2020) de acordo com a intensidade: (a) FD3 (Extrema); (b) FD4 (Excepcional).



3.2 Secas Repentinhas (Reservatórios e anos específicos)

Para o período de 1961 a 2020, foram selecionados três reservatórios estratégicos: Castanhão, Orós e Banabuiú, os quais foram escolhidos por sua importância na gestão hídrica e capacidade de armazenamento. Também foram selecionados três anos chuvosos (2008, 2011 e 2020) e três secos (2001, 2012 e 2016), com base no calendário de chuvas da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCME, 2024), para representar diferentes cenários hidrológicos na análise das secas repentinhas.

3.2.1 Análise das Secas Repentinhas

Os limites de classificação das secas repentinhas (Moderada - FD1, Severa - FD2, Extrema - FD3 e Excepcional - FD4), são definidos a partir dos percentis da distribuição dos valores

padronizados de SESR para cada região de estudo e período específico. Isso significa que, a intensidade das secas repentinas é categorizada com base na rapidez de intensificação das condições de seca em relação ao histórico daquela região, ajustando-se aos valores locais e temporais dos dados utilizados, não sendo uma escala fixa para todas as áreas estudadas. Esse ajuste aos percentis locais permite que a análise capture as variações específicas de cada região e período. Assim, cada reservatório tem seus próprios limiares para a classificação dos eventos de seca repentinas.

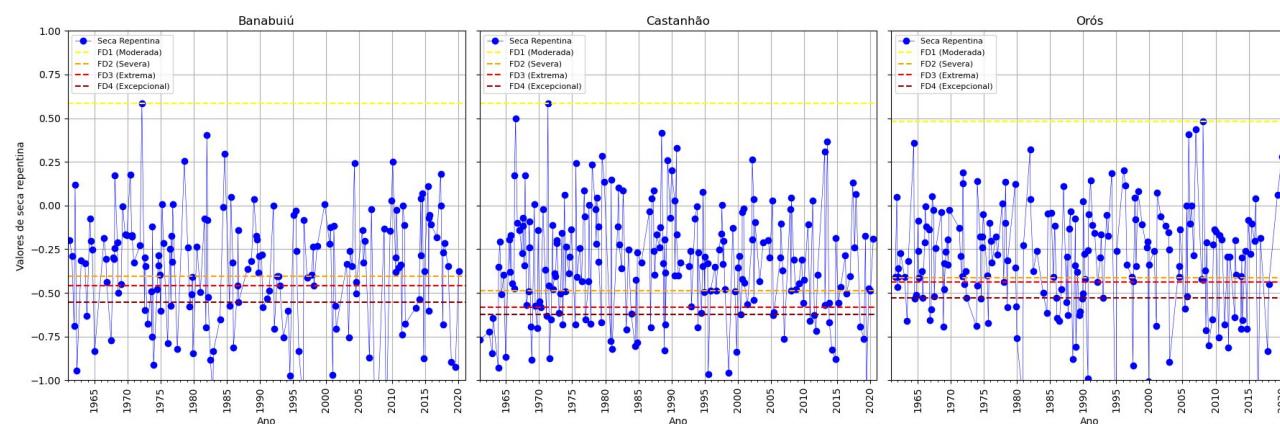
A Figura 5 apresenta a classificação mensal dos eventos de secas repentinas, no período de 1961 a 2020, para os reservatórios Banabuiú, Castanhão e Orós. A partir dessa representação, pode-se observar que a maior parte dos eventos de secas repentinas está concentrada na categoria Moderada – FDI e Excepcional - FD4, porém, também existem variações nos demais níveis de severidade, os quais são menos frequentes. Os reservatórios Castanhão e Orós apresentam uma ocorrência notável de eventos severos (FD2) e, ocasionalmente, extremos (FD3).

O ano de 2001, marcado por precipitações abaixo da média (Lima e Lira, 2021), exibiu um aumento na ocorrência de secas repentinas excepcionais (FD4) nos açudes Banabuiú e Orós, indicando que o impacto da seca pode ter sido considerável nessas regiões. Já os anos de 2008 e 2011 exibiram uma baixa ocorrência de secas repentinas, onde a maioria dos eventos ficaram na categoria moderada (FD1), com poucos episódios atingindo as demais classificações.

Para 2012, a situação piora com relação aos anos anteriores, ocorrendo um aumento significativo de eventos de seca repentinas nas classificações FD4 para Castanhão, e Orós. Em 2016, os eventos de seca repentinas atingem níveis críticos, com alta frequência de secas extremas (FD3) e excepcionais (FD4) em todos os reservatórios estudados.

Já em 2020, observa-se uma predominância de eventos moderados, com uma menor frequência das demais classes de severidade, o que indica que esse ano apresentou condições hídricas favoráveis para a recuperação dos reservatórios.

Figura 5 - Classificação dos eventos de secas repentinas para os reservatórios selecionados (1961 a 2020).



Para compreender melhor os períodos críticos, foi identificada a frequência mensal de secas repentinas em cada região monitorada. Essa análise ajuda a caracterizar os anos mais extremos e os meses com maior tendência a esses eventos, contribuindo para o planejamento hídrico. A Tabela 2 detalha os meses mais críticos para cada reservatório. Na pré-estação, janeiro se destaca, refletindo a possível insuficiência de chuvas do final do ano anterior. Na estação chuvosa, maio aparece como o mais crítico, por ser um mês de transição. Na pós-estação, julho predomina, devido à redução da umidade do solo e à alta evapotranspiração. Já em novembro, durante a estação seca, ocorre o maior número de secas repentinas, resultado do acúmulo de déficits hídricos e condições atmosféricas

desfavoráveis.

Tabela 6 - Meses com maiores ocorrências de secas repentinas para cada uma das estações.

Reservatório	Pré-estação	Estação Chuvosa	Pós-estação	Estação Seca
Banabuiú	Janeiro	Maio	Julho	Novembro
Castanhão	Janeiro	Maio	Junho	Novembro
Orós	Janeiro	Maio	Julho	Novembro

4. DISCUSSÃO

4.1 Secas Repentinhas

Os resultados obtidos indicam que as secas repentinas ocorrem em todas as estações do ano, embora sua frequência e intensidade variem conforme o regime pluviométrico e as condições atmosféricas predominantes em cada período. Durante a pré-estação (dezembro a janeiro), as chuvas podem aliviar a seca, mas sua irregularidade pode impedir a recuperação do solo e dos reservatórios. Na estação chuvosa (fevereiro a maio), os maiores acumulados de precipitação, aliados à atuação da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e à diminuição dos ventos (Silva, 2003), geralmente reduzem esses eventos. Porém, fatores como chuvas abaixo da média e alta evaporação ainda podem provocar secas repentinas. Já na pós-estação (junho a julho), a redução das chuvas e o fortalecimento dos ventos alísios favorecem a perda de umidade do solo.

Na estação seca (agosto a novembro), a ausência de chuvas, somada às altas temperaturas, ventos fortes (Silva, 2003; Silva *et al.*, 2002) e elevada evaporação, cria condições ideais para a intensificação das secas repentinas. Esses eventos podem persistir até que novas chuvas recuperem a umidade do solo, impactando negativamente a vegetação, a agricultura e os recursos hídricos (Mo e Lettenmaier, 2016; Otkin *et al.*, 2018a; 2018b; Christian *et al.*, 2019a; 2019b).

A variabilidade sazonal não se reflete apenas na frequência das secas repentinas, mas também em sua intensidade. No conjunto de dados analisados, a intensidade FD1 foi a mais frequente, seguida pelas intensidades FD4, FD2 e FD3. A predominância das secas repentinas moderadas (FD1) sugere que, embora esses eventos sejam comuns, a maioria não atinge níveis severos (FD2) ou extremos (FD3). No entanto, a ocorrência significativa de secas excepcionais (FD4) indica que, quando esses eventos são mais intensos, podem ser bastante graves e prolongados, aumentando o risco de evoluírem para secas agrícolas ou hidrológicas, dada a dificuldade na recuperação dos impactos.

O ano de 2001 foi marcado por uma transição da fase fraca de La Niña para a neutralidade climática (Assunção, 2011; NOAA, 2011; Yu *et al.*, 2011), o que influenciou a distribuição das chuvas e a ocorrência de secas repentinas, afetando de forma desigual os reservatórios, cujas respostas variaram conforme fatores regionais, como volume, topografia e gestão hídrica. Entre 2012 e 2016, os reservatórios Banabuiú, Castanhão e Orós enfrentaram forte secagem devido a um prolongado período de seca iniciado em 2012, intensificado pelo forte El Niño de 2016, que elevou a frequência de secas repentinas (Coutinho *et al.*, 2015; Martins *et al.*, 2017; Marengo *et al.*, 2018; Rodrigues *et al.*, 2021; Gonçalves *et al.*, 2023). Já em 2020, as condições foram mais favoráveis, com influência da La Niña, da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e da ZCIT, contribuindo para chuvas mais regulares e menor severidade das secas (NOAA, 2024). Esses resultados estão alinhados aos achados de Barbosa *et al.* (2024) e Barbosa (2023), que apontaram maior ocorrência de secas repentinas em anos secos, como 2012 e 2016, e impactos sobre os ecossistemas da Caatinga, além de uma tendência de secagem regional entre 2002 e 2018.

5. CONCLUSÃO

A presente pesquisa aplicou uma abordagem metodológica abrangente para identificar e classificar secas repentinas nos reservatórios monitorados do Ceará, Brasil. Observou-se que as secas repentinas ocorreram com maior frequência na pré-estação chuvosa (acima de 60% nas bacias Metropolitana e Sertão de Crateús), na estação chuvosa (65%-70% nas bacias do Acaraú e Coreaú) e na estação seca, com frequências superiores a 55% em todos os reservatórios. Anos secos, como 2012 e 2016, registraram eventos mais severos e excepcionais, enquanto anos úmidos, como 2008 e 2011, tiveram uma menor ocorrência, apesar de algumas secas leves e moderadas. Grande parte desses eventos evoluiu para secas convencionais, com janeiro, maio, julho e novembro como meses mais críticos dentro de cada estação.

A metodologia empregada mostrou-se satisfatória para a detecção de secas repentinas, exibindo sensibilidade ao representar a variabilidade sazonal, refletindo assim, os períodos de escassez ou disponibilidade hídrica. Esses resultados reforçam a necessidade de estratégias hídricas para amenizar os impactos da seca e proteger os principais reservatórios da região semiárida. A identificação precoce e a análise detalhada desses padrões podem ajudar na implementação de medidas de mitigação mais eficazes e na adaptação às condições variáveis de seca ao longo do tempo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Federal do Ceará (UFC), ao Laboratório de Recursos Hídricos (LRH), ao grupo de pesquisa MODELHI e à coordenação do POSDEHA pelo suporte institucional na realização deste trabalho e à CAPES pelo apoio financeiro através da bolsa de pesquisa.

REFERÊNCIAS

- ASSUNÇÃO, B. V. da. Dinâmica atmosférica no centro-sul do Brasil no verão e as influências da Oscilação Sul-El Niño (ENSO). *Journal of the Department of Geography*, v. 22, p. 135–157, 2011.
- BALLARIN, A. S. et al. Drought intensification in Brazilian catchments: implications for water and land management. *Environmental Research Letters*, v. 19, n. 5, p. 054030, 2024.
- BARBOSA, H. A. Flash drought and its characteristics in Northeastern South America during 2004–2022 using satellite-based products. *Atmosphere*, v. 14, n. 11, p. 1629, 2023.
- BARBOSA, H. A.; BURITI, C. O.; KUMAR, T. L. Deep learning for flash drought detection: a case study in northeastern Brazil. *Atmosphere*, v. 15, n. 7, p. 761, 2024. DOI: 10.3390/atmos15070761.
- CHIKABVUMBWA, S. R. et al. Characterization of hydro-meteorological droughts based on dynamic future scenarios and effective rainfall over Central Malawi. *Theoretical and Applied Climatology*, v. 155, n. 3, p. 1959–1975, 2024.
- CHRISTIAN, J. I. et al. Flash drought development and cascading impacts associated with the 2010 Russian heatwave. *Environmental Research Letters*, v. 15, p. 094078, 2020.
- CHRISTIAN, J. I. et al. Flash drought: a state of the science review. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, v. 11, n. 3, e1714, 2023.
- CHRISTIAN, J. I. et al. Global distribution, trends, and drivers of flash drought occurrence. *Nature Communications*, v. 12, n. 1, p. 6330, 2021.
- CHRISTIAN, J. I. et al. A methodology for flash drought identification: application of flash drought frequency across the United States. *Journal of Hydrometeorology*, v. 20, n. 5, p. 833–846, 2019a.
- CHRISTIAN, J. I. et al. Regional characteristics of flash droughts across the United States. *Environmental Research Communications*, v. 1, n. 12, p. 125004, 2019b.
- COGERH (COMPANHIA DE RECURSOS HÍDRICOS DO CEARÁ). Portal Hidrológico do Ceará: Reservatórios Monitorados. 2024. Disponível em: <http://www.hidro.ce.gov.br/>. Acesso em: 19 out. 2024.
- COUTINHO, M. D. L. et al. Estudo de caso: evento extremo no estado do Ceará entre os dias 03 e 04 de janeiro de 2015. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 20, n. 13, p. 182–198, 2017.
- DE MEDEIROS, C. N. et al. Os recursos hídricos do Ceará: integração, gestão e potencialidades. Fortaleza: IPECE, 2012.

DE NYS, E. et al. Drought in Brazil: proactive management and policy. Boca Raton: CRC Press, 2016.

FORD, T. W.; LABOSIER, C. F. Meteorological conditions associated with the onset of flash drought in the eastern United States. *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 247, p. 414–423, 2017.

GETAHUN, Y. S.; LI, M. H. Flash drought evaluation using evaporative stress and evaporative demand drought indices: a case study from Awash River Basin (ARB), Ethiopia. *Theoretical and Applied Climatology*, v. 155, n. 1, p. 85–104, 2024.

GUTIERREZ, A. P. A. et al. Drought preparedness in Brazil. *Weather and Climate Extremes*, v. 3, p. 95–106, 2014.

HOBBINS, M. T. et al. The evaporative demand drought index. Part I: linking drought evolution to variations in evaporative demand. *Journal of Hydrometeorology*, v. 17, p. 1745–1761, 2016.

LIMA, I. R. de; SILVEIRA, C. da S.; VASCONCELOS, F. das C. J. Nexo: água, clima, energia e meio ambiente — uma perspectiva sobre o empreendimento de Itataia-CE. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 35, p. 449–457, 2020.

GONÇALVES, S. T. N. et al. Comparative analysis of drought indices in hydrological monitoring in Ceará's semi-arid basins, Brazil. *Water*, v. 15, n. 7, p. 1259, 2023.

MARENGO, J. A. et al. Características climáticas da seca de 2010 a 2016 na região semiárida do Nordeste do Brasil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 90, n. 2, p. 1973–1985, 2018.

MARTINS, E. S. P. R. et al. A seca plurianual de 2010–2017 no Nordeste e seus impactos. *Parcerias Estratégicas*, v. 22, n. 44, p. 17–40, 2017.

MO K, C.; LETTENMAIER, D. P. Precipitation deficit flash droughts over the United States. *Journal of Hydrometeorology*, v. 17, p. 1169–1184, 2016.

NIMER, E. *Climatologia do Brasil*. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 1989.

NOAA (NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION). ENSO: recent evolution, current status and predictions. [S.l.: s.n.], 2024. Disponível em: https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/lanina/enso_evolution-status-fcsts-web.pdf. Acesso em: 20 set. 2024.

NOAA (NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION). Evaporative Demand Drought Index (EDDI). NOAA Physical Sciences Laboratory, 2021. Disponível em: <https://psl.noaa.gov/eddi/>. Acesso em: 20 set. 2024.

NOGUERA, I.; DOMÍNGUEZ-CASTRO, F.; VICENTE-SERRANO, S. M. Flash drought response to precipitation. [Dados incompletos – necessário complementar para formatação ABNT adequada.]

NUNES, H. M. P. Avaliação do potencial eólico ao largo da costa nordeste do Brasil. 2012. Dissertação (Mestrado em Geociências) — Universidade de Brasília, Brasília, 2012.

OTKIN, J. A. et al. Flash droughts: a review and assessment of the challenges imposed by rapid-onset droughts in the United States. *Bulletin of the American Meteorological Society*, v. 99, p. 911–919, 2018a.

OTKIN, J. A. et al. Comparison of agricultural stakeholder survey results and drought monitoring datasets during the 2016 U.S. northern plains flash drought. *Weather, Climate, and Society*, v. 10, p. 867–883, 2018b.

SILVA, B. B. da et al. Potencial eólico da direção predominante do vento no Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 6, n. 3, p. 431–439, 2002.

SILVA, G. R. Características de ventos da Região Nordeste: análise, modelagem e aplicações para projetos de centrais eólicas. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia) — Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2003. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/10058>.

RODRIGUES, B. D. et al. Análise da precipitação no Ceará com base nos eventos El Niño, La Niña e Dipolo de Servain durante a estação chuvosa. *Brazilian Journal of Climatology*, v. 28, p. 507–519, 2021.

THORNTHWAITE, C. W. An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review*, v. 38, n. 1, p. 55–94, 1948. DOI: <https://doi.org/10.2307/210739>.

WIEDER, W. R. et al. Regridded harmonized world soil database v1.2. Oak Ridge National Laboratory Distributed Active Archive Center, 2014.

YU, J. Y. et al. Subsurface ocean temperature indices for Central-Pacific and Eastern-Pacific types of El Niño and La Niña events. *Theoretical and Applied Climatology*, v. 103, p. 337–344, 2011.

XAVIER, A. C. et al. New improved Brazilian daily weather gridded data (1961–2020). *International Journal of Climatology*, v. 42, n. 16, p. 8390–8404, 2022.