

SELEÇÃO DE VARIÁVEL-ÍNDICE PARA O RISCO DE SECA EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO URBANO: ANÁLISE EMPÍRICA A PARTIR DO AÇUDE CASTANHÃO, CEARÁ (2002-2025)

Maria Fernanda Dourado Martins ¹; Micaely de Aguiar Barros ²; Ingrid Karoline Neres Dias ³

Eduardo Mario MENDIONDO ⁴

RESUMO – A ocorrência de secas prolongadas exerce pressão significativa sobre os sistemas de abastecimento urbano, elevando os custos operacionais e ampliando o risco financeiro das concessionárias. Este trabalho caracteriza empiricamente o risco financeiro associado a eventos de seca no sistema de abastecimento urbano vinculado ao Açude Castanhão, Ceará, com base na série hidrológica de 2002 a 2025. A seleção da variável-índice foi realizada a partir da correlação de Spearman entre variáveis hidrológicas candidatas e o volume armazenado do reservatório. O aporte afluente acumulado em janela móvel de 36 meses com defasagem de 24 meses apresentou o maior valor significativo ($p = 0,778$), sendo definido como variável-índice do seguro hidrológico. O strike value foi estabelecido em 721,75 hm³, correspondente a 10,77% da capacidade total do reservatório, permitindo identificar 59 meses de acionamento entre 2016 e 2022. A estimativa das perdas econômicas para o abastecimento público totalizou R\$12,84 milhões no período analisado. A baixa elasticidade-preço da demanda urbana por água, evidenciada pela manutenção do volume faturado mesmo nos períodos de maior estresse hídrico, amplifica a exposição financeira da concessionária e reforça a pertinência de seguros hidrológicos indexados como instrumento de gestão de risco.

Palavras-Chave – seca hidrológica; abastecimento urbano; seguro indexado.

ABSTRACT– The occurrence of prolonged droughts exerts significant pressure on urban water supply systems, increasing operational costs and amplifying the financial risk faced by water utilities. This study empirically characterizes the financial risk associated with drought events in the urban water supply system linked to the Castanhão Reservoir, Ceará, based on the hydrological series from 2002 to 2025. The index variable selection was performed using Spearman's correlation between candidate hydrological variables and the reservoir storage volume. The accumulated inflow over a 36-month moving window with a 24-month lag presented the highest significant correlation ($p = 0.778$) and was therefore defined as the hydrological insurance index variable. The strike value was established at 721.75 hm³, corresponding to 10.77% of the reservoir's total storage capacity, allowing the identification of 59 trigger months between 2016 and 2022. Estimated economic losses for public water supply totaled R\$ 12.84 million during the analyzed period. The low price-elasticity of urban water demand, evidenced by the maintenance of billed water volumes even during periods of severe hydrological stress, increases the financial exposure of the utility and reinforces the relevance of index-based hydrological insurance as a risk management instrument.

Key-words – hydrological drought; urban water supply; index-based insurance.

¹) Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, Brasil. Tel.: (74) 99941-8118. E-mail: mariadourado@usp.br.

²) Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, Brasil. Tel.: (93) 99221-1034. E-mail: micaelyaguiarbarros@usp.br

³) Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, Brasil. Tel.: (62) 99945-1678. E-mail: ingrid_karoline@usp.br

⁴) Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, Brasil. Tel.: (16) 99722-1438. E-mail: emm@sc.usp.br

1. INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas intensificam eventos extremos de seca e inundação, com repercussões diretas sobre a segurança hídrica, econômica e social (Arnell; Lloyd-Hughes, 2014; Ye *et al.*, 2016; Yang *et al.*, 2023). No Nordeste brasileiro, esse cenário é agravado pela elevada variabilidade pluviométrica, pelas altas taxas de evaporação e pela recorrência de estiagens prolongadas (Marengo *et al.*, 2017; Martins *et al.*, 2019; Medeiros *et al.*, 2018), fenômeno que historicamente moldou políticas públicas e estratégias de gestão hídrica na região (Campos, 2014).

As secas prolongadas comprometem a confiabilidade dos sistemas de abastecimento urbano, exigindo medidas de racionamento que reduzem o volume consumido e, em consequência, a receita das concessionárias, nos quais os custos, dominados por pagamentos invariáveis do serviço da dívida, permanecem praticamente inalterados (Zeff; Characklis, 2013; ANA, 2017). Tais condições ampliam o risco financeiro frente à variabilidade hidrológica (Dilling *et al.*, 2019) e evidenciam que respostas emergenciais isoladas, como reajustes tarifários, podem agravar desigualdades no acesso à água (Enqvist; Van Oyen, 2023).

No Ceará, esse cenário é particularmente relevante pela forte dependência de reservatórios para o abastecimento urbano (Meira Neto *et al.*, 2024). O Açude Castanhão, localizado no rio Jaguaribe, é o maior reservatório de usos múltiplos da América Latina, com capacidade de 6.700 hm³, atendendo demandas de abastecimento urbano, irrigação, piscicultura e regularização de vazões (Raulino *et al.*, 2021; Campos *et al.*, 2014). Diante da insuficiência de estratégias exclusivamente estruturais para reduzir a vulnerabilidade hídrica (Wilhite *et al.*, 2014; Sass *et al.*, 2024), os seguros indexados apresentam potencial como instrumento complementar de gestão de risco financeiro para concessionárias (Guzmán *et al.*, 2020).

Dessa forma, o presente trabalho tem como objetivo caracterizar empiricamente o risco financeiro associado a eventos de seca no sistema de abastecimento vinculado ao Açude Castanhão, mediante a seleção de variável-índice representativa do déficit hidrológico, a definição do strike value e a análise dos impactos sobre a receita de abastecimento público, com base na série hidrológica de 2002 a 2025.

2. METODOLOGIA

2.1. Área de estudo

O Açude Castanhão está localizado no rio Jaguaribe, na sub-bacia do Médio Jaguaribe, município de Alto Santo, Ceará. A bacia hidrográfica do rio Jaguaribe abrange 75.669 km²,

ocupando 51,9% do território cearense, com extensão de 610 km desde as nascentes até a foz no Oceano Atlântico (Campos *et al.*, 2014).

O Castanhão integra o Sistema Jaguaribe-RMF (Figura 1), infraestrutura que interliga a bacia do Jaguaribe à Região Metropolitana de Fortaleza (RMF) por meio do Canal Eixão das Águas, sendo responsável pelo abastecimento de aproximadamente 78% da população metropolitana e atendendo também demandas de irrigação, piscicultura e uso industrial ao longo do vale (Sousa Estácio *et al.*, 2022; Raulino *et al.*, 2021). Em condições operacionais normais, a demanda total do sistema metropolitano é de 12,153 m³/s, sendo 10,685 m³/s (87,92%) destinados ao abastecimento urbano. Nesse contexto, o açude desempenha papel estratégico ao fornecer aproximadamente 9,0 m³/s, correspondentes a 74,1% da demanda total da RMF (COGERH, 2015).

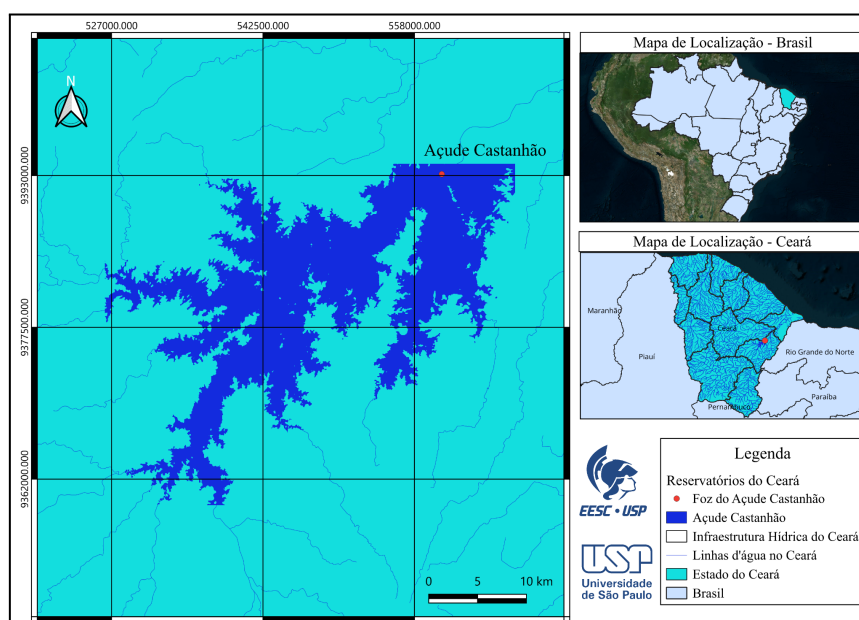


Figura 1 - Mapa do Açude Castanhão - Sistema Jaguaribe

2.2. Fontes de dados e aquisição

Foram integradas duas bases de dados para o período de janeiro de 2002 a dezembro de 2025. As séries de volume armazenado (m³), cota (m), área espelhada (ha), evaporação (m³) e aporte afluyente (m³) foram obtidas junto à COGERH, e os dados de precipitação diária foram extraídos do HidroWeb/ANA a partir de três estações pluviométricas na bacia do rio Jaguaribe (códigos 538008, 639013 e 639049), selecionadas para representar a variabilidade espacial da precipitação na área de contribuição. As variáveis de estado do reservatório (volume, cota e área espelhada) foram agregadas pela média aritmética mensal; as variáveis de fluxo (aporte afluyente, evaporação e precipitação), pelo somatório mensal. A precipitação mensal utilizada nas análises corresponde à média aritmética entre as três estações.

2.3. Seleção da variável-índice

O processamento estatístico foi realizado por meio do software estatístico livre R (R Core Team, 2025), com aplicação da versão Rstudio. A seleção da variável-índice seguiu o critério de maior associação estatística com o volume médio mensal armazenado. Foram avaliadas: (i) a precipitação acumulada em janela móvel de 24 meses; e (ii) o aporte afluyente acumulado em janelas móveis de 18, 24 e 36 meses, obtido das séries operacionais da COGERH. Para cada candidata, foram testadas defasagens temporais (*lags*) de 0, 6, 12, 18 e 24 meses em relação ao volume médio mensal. A associação foi mensurada pelo coeficiente de correlação de Spearman (ρ) (Tabela 1). O aporte afluyente acumulado em 36 meses com defasagem de 24 meses apresentou a maior correlação com o volume armazenado ($\rho = 0,778$), superando a precipitação acumulada em 24 meses com o mesmo lag ($\rho = 0,706$), por integrar os processos de transformação chuva-vazão na bacia contribuinte, conferindo maior aderência às variações do armazenamento do reservatório. A série histórica completa das variáveis processadas encontra-se no material suplementar (Tabela S1).

Tabela 1 - Coeficientes de correlação de *Spearman* (ρ) entre as variáveis candidatas ao índice e o volume médio mensal

Variável candidata	Lag 0	Lag 6	Lag 12	Lag 18	Lag 24
Precipitação acumulada - 24 meses	0,488	0,564	0,616	0,671	0,706
Aporte afluyente acumulado - 18 meses	0,650	0,544	0,591	0,584	0,677
Aporte afluyente acumulado - 24 meses	0,680	0,686	0,693	0,714	0,749
Aporte afluyente acumulado - 36 meses	0,656	0,674	0,699	0,741	0,778

Nota: Valor em negrito indica a combinação selecionada como variável-índice. Lag expresso em meses.

2.4. Definição do strike value e função de pagamento

A função de pagamento traduz os valores do índice (i) em pagamentos (p): quando o volume armazenado é igual ou inferior ao *strike* (k), o contrato é acionado e a indenização é devida à concessionária (Gesualdo *et al.*, 2024). O strike value foi definido com base nos limiares operacionais oficiais do Açude Castanhão (Tabela 2), correspondendo a 721,75 hm³ (10,77% da capacidade total), calculado como a soma do volume morto (57,5 hm³) com 10% do volume ativo (664,25 hm³). Esse limiar representa o ponto a partir do qual o abastecimento metropolitano começa a ser comprometido operacionalmente, uma vez que volumes próximos ao limite do Eixão das Águas (cota 65,50 m) inviabilizam o fornecimento por gravidade à Região Metropolitana de Fortaleza. O critério de acionamento foi aplicado a partir de fevereiro de 2004, mês em que o

reservatório ultrapassou o strike value pela primeira vez, atingindo 39,3% da capacidade. Os 25 meses anteriores (janeiro de 2002 a janeiro de 2004) foram mantidos na série para fins de caracterização hidrológica, mas excluídos da análise de acionamento por refletirem o enchimento inicial do reservatório.

Tabela 2 - Limiares operacionais do Açude Castanhão

Limiar	Cota	Significado operacional
Limite do Eixão das Águas	65,50 m	Abastecimento de Fortaleza ameaçado
Volume morto (gravidade)	57,00 m	Sem descarga por gravidade
Reservatório seco	40,00 m	Tecnicamente seco

2.5. Estimativa das Perdas Econômicas

A estimativa das perdas econômicas focou na categoria abastecimento público, com base nos dados de faturamento da concessionária CAGECE, disponíveis para o período de janeiro de 2010 a dezembro de 2024. A tarifa média foi calculada pela razão entre o valor faturado total (R\$) e o volume faturado total (m³), e a estimativa das perdas econômicas foi adaptada da estrutura conceitual de Gesualdo *et al.* (2024) para contratos de seguro hidrológico indexado, relacionando déficit hídrico relativo, volume faturado (m³) e tarifa média da concessionária (R\$/m³).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Caracterização hidrológica e períodos de estresse

A série histórica do Açude Castanhão revela dois comportamentos hidrológicos distintos (Figura 2). Entre 2002 e 2011, o reservatório apresentou trajetória de recuperação, atingindo aproximadamente 94% da capacidade total em 2009. A partir de 2011, o aporte afluente declinou em decorrência da estiagem instalada sobre a bacia do Jaguaribe, levando o sistema a operar nas faixas crítica e muito crítica entre 2016 e 2021. Embora o reservatório não tenha atingido o volume morto no período analisado, a proximidade com os limiares operacionais e a duração prolongada do estresse hídrico evidenciam exposição do sistema a condições de risco financeiro, uma vez que a seca hidrológica também expressa pela diminuição dos volumes de água armazenados e da capacidade de regularização dos reservatórios (Van Loon, 2015).

Além disso, o perfil de demandas evidencia a predominância do abastecimento público no volume total faturado. As demais categorias, irrigação, indústria, piscicultura, carcinicultura,

serviço e comércio e água mineral, contribuem conjuntamente com a parcela restante, conforme material suplementar (Figura S1).

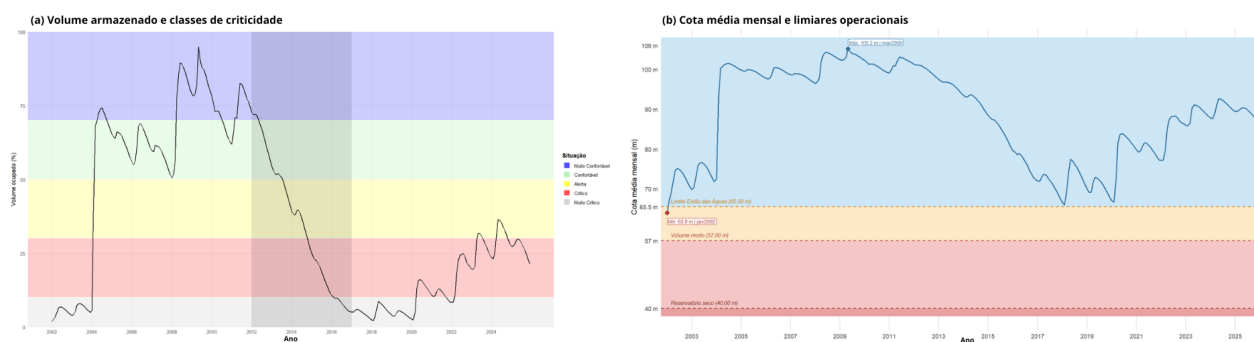


Figura 2 - Caracterização hidrológica do Açude Castanhão (2002–2025): (a) volume armazenado e classes de criticidade; (b) cota média mensal e limiares operacionais.

3.2. Impacto da estiagem sobre o abastecimento público

A Figura 3 apresenta a evolução conjunta do volume armazenado e do faturamento de abastecimento público entre 2010 e 2025. O painel A evidencia a dissociação entre valor faturado e volume do reservatório: enquanto o armazenamento declinou progressivamente a partir de 2012, o valor faturado manteve trajetória de crescimento, o que pode ser explicado pelos reajustes tarifários aplicados no período. O painel B revela que o volume faturado em hm^3 permaneceu relativamente estável durante a seca, com redução pontual entre 2016 e 2018.

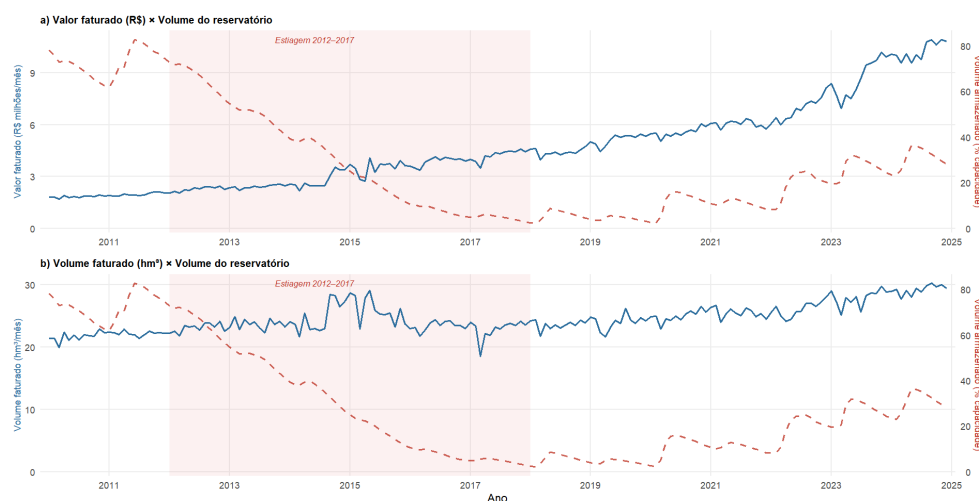


Figura 3 - Abastecimento público × volume do açude Castanhão: (a) valor faturado (R\$) x volume do reservatório; (b) volume faturado (hm^3) x volume do reservatório

A baixa elasticidade-preço da demanda urbana por água, comportamento consistente com o reportado por Ghinis *et al.* (2020) para concessionárias brasileiras, amplifica a exposição financeira da concessionária, pois mesmo diante de escassez severa o volume consumido se reduz pouco,

mantendo os custos operacionais sem compensação proporcional na receita (Zeff; Characklis, 2013). Essa rigidez da demanda reforça a pertinência de instrumentos de transferência de risco, como os seguros hidrológicos indexados, para proteger a receita da concessionária nos períodos de maior estresse hídrico (Guzmán *et al.*, 2020).

3.3. Strike value e períodos de acionamento

Com base no strike value de 721,75 hm³, foram identificados 59 meses com seguro acionado entre 2016 e 2022 (Figura 5; Tabela S2). Na figura 4, a distribuição dos pontos de acionamento mostra que os meses abaixo do limiar se concentraram após o rebaixamento acentuado do Castanhão. O déficit máximo foi de 8,61% da capacidade total, registrado em fevereiro de 2018, quando o volume armazenado recuou a 145 hm³, equivalente a apenas 2,16% da capacidade. Nesse sentido, o *strike value* permite vincular a condição hidrológica crítica do reservatório à estimativa posterior dos impactos sobre a receita do abastecimento público (Gesualdo *et al.*, 2024).

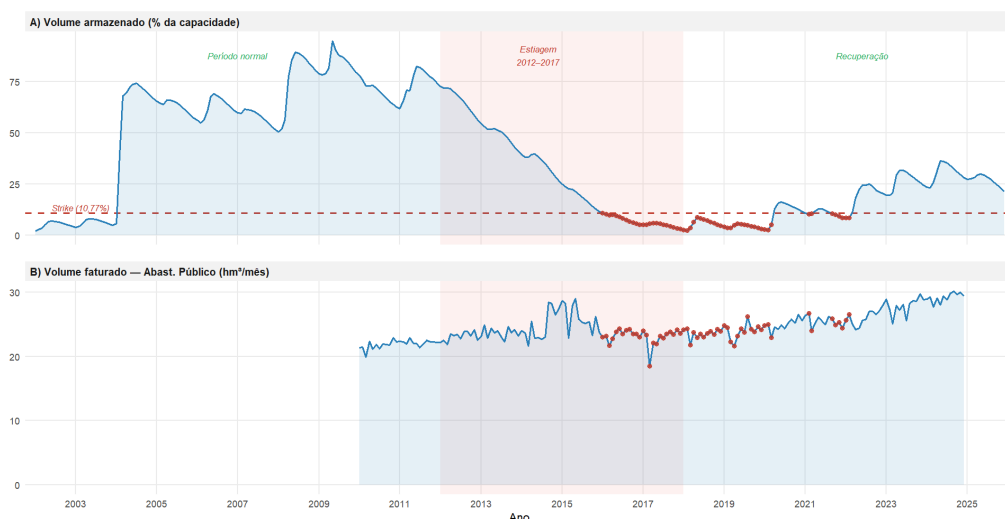


Figura 4 - Acionamento do seguro: (a) volume armazenado (% da capacidade); (b) volume faturado do abastecimento público (hm³/mês)

3.4. Perdas econômicas estimadas

A tarifa média do abastecimento público no período analisado foi de R\$0,19/m³, com volume médio mensal faturado de aproximadamente 24,6 hm³ entre 2010 e 2024. A estimativa das perdas mensais foi calculada como o produto entre o volume faturado, o déficit hídrico relativo ao strike e a tarifa média. Nos 59 meses com seguro acionado, a perda de receita proporcional ao déficit hídrico estimada para a concessionária totalizou R\$12,84 milhões (Tabela S3). A distribuição temporal das perdas mensais (Figura 5a) revela pico de aproximadamente R\$400 mil em março de 2020. A curva de perdas acumuladas (Figura 5b) evidencia a progressão do impacto financeiro, com

aceleração expressiva entre 2018 e 2020 e atenuação gradual a partir de 2021, acompanhando a recuperação do volume armazenado. Assim, a estimativa evidencia como baixos volumes no reservatório se traduzem em exposição financeira para o abastecimento público, especialmente diante da relativa estabilidade do volume faturado (Baum; Characklis, 2020).

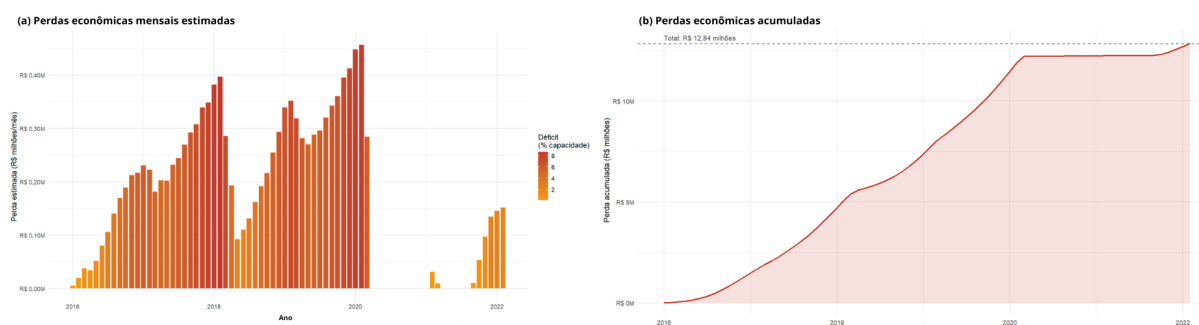


Figura 5 - Impactos econômicos estimados do abastecimento público associados ao déficit hídrico no Açude Castanhão (2016-2022): (a) perdas econômicas mensais estimadas; (b) perdas econômicas acumuladas

4. CONCLUSÃO

O presente trabalho caracterizou empiricamente o risco financeiro associado a eventos de seca no sistema de abastecimento urbano vinculado ao Açude Castanhão. O aporte afluyente acumulado em janela móvel de 36 meses com defasagem de 24 meses mostrou-se a variável-índice com maior correlação com o volume armazenado ($\rho = 0,778$). O strike value de 721,75 hm³ revelou-se operacionalmente consistente com os limiares do sistema Jaguaribe-RMF, identificando 59 meses de acionamento concentrados entre 2016 e 2022. A perda econômica estimada para o abastecimento público totalizou R\$12,84 milhões no período. Além disso, a rigidez da demanda urbana por água, evidenciada pela manutenção do volume faturado mesmo nos períodos de maior estresse hídrico, amplifica a exposição financeira da concessionária e reforça a pertinência de seguros hidrológicos indexados como instrumento de gestão de risco. Estudos futuros poderão avançar na definição do prêmio do seguro e na extensão da metodologia a outros reservatórios do Semiárido brasileiro.

MATERIAIS SUPLEMENTARES

Os seguintes materiais estão disponíveis online em [Material_Castanhao_Complementar](#). Material Suplementar A - Tabela S1: Série histórica mensal de variáveis hidrológicas e pluviométricas do Açude Castanhão (2002-2025); Material Suplementar B - Figura S1: Perfil de demandas por categoria de uso; Material Suplementar C - Tabela S2: Meses com acionamento do seguro paramétrico com base no strike value de 721,75 hm³; Material Suplementar D - Tabela S3: Perdas econômicas mensais estimadas para o abastecimento público associadas ao déficit hídrico; Material Suplementar E - Código de processamento em R: disponível mediante solicitação aos autores.

DISPONIBILIDADE DE DADOS

As séries temporais de vazão e as informações sobre reservatórios utilizadas neste estudo estão disponíveis no CAGECE (<http://www.hidro.ce.gov.br/>, último acesso: 7 de abril de 2026) e COGERH (<https://www.cogerh.com.br/informacoes-financeiras/>, último acesso: 7 de abril de 2026).

CONTRIBUIÇÕES DO AUTOR

MFDM: curadoria de dados, análise formal, redação, revisão e edição. **MAB e IKND:** conceitualização, redação, revisão e edição. **EMM:** análise formal e conceitualização.

INTERESSES CONFLITANTES

Os autores declaram não possuir quaisquer interesses financeiros ou relações pessoais que possam ter influenciado este estudo.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001. Os autores gostariam de agradecer ao programa de pós-graduação em Engenharia Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo pelo apoio financeiro e organizacional. Agradecemos os valiosos comentários e as revisões dos editores e revisores anônimos.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA) (2017). *Reservatórios do Semiárido Brasileiro: hidrologia, balanço hídrico e operação: relatório síntese*. ANA, Brasília - DF, 88 p.
- ARNELL, N. W.; LLOYD-HUGHES, B. (2014). "The global-scale impacts of climate change on water resources and flooding under new climate and socio-economic scenarios". *Climatic Change*, 122(1-2), pp. 127–140. DOI: 10.1007/s10584-013-0948-4.
- BAUM, R.; CHARACKLIS, G. W. (2020). "Mitigating drought-related financial risks for water utilities via integration of risk pooling and reinsurance". *Journal of Water Resources Planning and Management*, 146(6), 05020007. DOI: 10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0001202.
- CAMPOS, J. N. B. (2014). "Secas e políticas públicas no semiárido: ideias, pensadores e períodos". *Estudos Avançados*, 28(82), pp. 65–88.
- CAMPOS, J. N. B. et al. (2014). "Risques et incertitudes de rendement de réservoir dans des rivières intermittentes três variables: Cas du réservoir Castanhão dans le Brésil semi-aride". *Hydrological Sciences Journal*, 59(6), pp. 1184–1195. DOI: 10.1080/02626667.2013.836277.
- COMPANHIA DE GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS (COGERH) (2015). *Relatório do XXII Seminário de Alocação Negociada das Águas dos Vales do Jaguaribe e Banabuiú 2015.2*. COGERH, Limoeiro do Norte - CE.

- DILLING, L. *et al.* (2019). “Drought in urban water systems: learning lessons for climate adaptive capacity”. *Climate Risk Management*, 23, pp. 32–42.
- ENQVIST, J.; VAN OYEN, W. (2023). “Sustainable water tariffs and inequality in post-drought Cape Town: exploring perceptions of fairness”. *Sustainability Science*, 18, pp. 891–905.
- GHINIS, C. P. *et al.* (2020). “Price elasticity of the demand for water in the Brazilian states: a panel data analysis, 2011–2017”. *Sustainable Water Resources Management*, 6(4). DOI: 10.1007/s40899-020-00429-0.
- GESUALDO, G. C. *et al.* (2024). “Mitigating drought financial risk for water supply sector through index-based insurance contracts”. *Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences*, 385, pp. 117–120.
- GUZMÁN, D. A. *et al.* (2020). “Multi-year index-based insurance for adapting water utility companies to hydrological drought: case study of a water supply system of the Sao Paulo Metropolitan Region, Brazil”. *Water*, 12(11), 2954. DOI: 10.3390/w12112954.
- MARENGO, J. A. *et al.* (2017). “Drought in Northeast Brazil—past, present, and future”. *Theoretical and Applied Climatology*, 129(3-4), pp. 1189–1200. DOI: 10.1007/s00704-016-1840-8.
- MARTINS, V. S. *et al.* (2019). “Remote sensing of large reservoir in the drought years: implications on surface water change and turbidity variability of Sobradinho reservoir (Northeast Brazil)”. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 13, pp. 275–288. DOI: 10.1016/j.rsase.2018.11.006.
- MEDEIROS, F. J. de *et al.* (2018). “Impact of the interannual variability of precipitation on the reservoirs of the Semiarid Northeast Brazil Region”. *Anuário do Instituto de Geociências*, 41(3), pp. 731–741. DOI: 10.11137/2018_3_731_741.
- MEIRA NETO, A. A. *et al.* (2024). “Evolution of drought mitigation and water security through 100 years of reservoir expansion in semi-arid Brazil”. *Water Resources Research*, 60(9).
- RAULINO, J. B. S. *et al.* (2021). “Assessment of climate change impacts on hydrology and water quality of large semi-arid reservoirs in Brazil”. *Hydrological Sciences Journal*, 66(8), pp. 1321–1336.
- R CORE TEAM (2023). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 07 abr. 2026.
- SASS, K. S. *et al.* (2024). “Enhancing drought resilience and vulnerability assessment in small farms: a global expert survey on multidimensional indicators”. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 110, 104616.
- SOUSA ESTÁCIO, Á. B. *et al.* (2022). “Priority of water allocation during drought periods: the case of Jaguaribe Metropolitan inter-basin water transfer in semiarid Brazil”. *Sustainability*, 14(11).
- VAN LOON, A. F. (2015). “Hydrological drought explained”. *WIREs Water*, 2(4), pp. 359–392.
- WILHITE, D. A. *et al.* (2014). “Managing drought risk in a changing climate: the role of national drought policy”. *Weather and Climate Extremes*, 3, pp. 4–13.
- YANG, X. *et al.* (2023). “A review of drought disturbance on socioeconomic development”. *Water*, 15(22).
- YE, X. *et al.* (2016). “Similarity, difference and correlation of meteorological and hydrological drought indices in a humid climate region: the Poyang Lake catchment in China”. *Hydrology Research*, 47(6), pp. 1211–1223. DOI: 10.2166/nh.2016.214.
- ZEFF, H. B.; CHARACKLIS, G. W. (2013). “Managing water utility financial risks through third-party index insurance contracts”. *Water Resources Research*, 49(8), pp. 4939–4951. DOI: 10.1002/wrcr.20364.