

## VERIFICAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA PRECIPITAÇÃO NO NÍVEL DO VOLUME ÚTIL DO RESERVATÓRIO DE SOBRADINHO-BA

ROBERT BALDUINO RAMOS <sup>1</sup>, VITORIA MACIEL NASCIMENTO SOARES <sup>2</sup>, OLGA RUBÊNIA DA SILVA CAMINHA DE MENEZES<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Estudante de Engenharia Civil, UNIP, Brasília – DF, robertb8405@gmail.com; <sup>2</sup>Estudante de Engenharia Civil, UNIP, Brasília – DF, <sup>3</sup>Mestre em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Prof. Adj. UNIP, Brasília-DF

Apresentado no  
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC  
15 a 17 de setembro de 2021

**RESUMO:** O reservatório de Sobradinho é a principal fonte de regularização hídrica do rio São Francisco. A região nordestina enfrentou anos de estiagens consecutivos o que afetou a disponibilidade hídrica da região. Esse trabalho tem como objetivo analisar a variação do volume útil do reservatório de Sobradinho com a precipitação ocorrida na região no período de 2000 até 2019 por meio de curva Cota-Volume e dados de precipitação oficiais. O maior e menor volume útil encontrados foram, respectivamente, iguais a 34328 hm<sup>3</sup> e 5744 hm<sup>3</sup>. Não foi observado a coincidência do menor registro de volume útil do reservatório (2017) com ano de menor precipitação (2012).

**PALAVRAS-CHAVE:** VOLUME ÚTIL, PRECIPITAÇÃO, SOBRADINHO, COTA, ÁREA

**ABSTRACT:** The Sobradinho reservoir is the main source of water regularization in the São Francisco River. The northeastern region faced years of consecutive droughts, which affected the region's water availability. This work aims to analyze the variation in the useful volume of the Sobradinho reservoir with the precipitation that occurred in the region from 2000 to 2019 through the Cota-Volume curve and official precipitation data. The highest and lowest useful volume found were, respectively, 34328 hm<sup>3</sup> and 5744 hm<sup>3</sup>. It was not observed the coincidence of the lower record of useful volume of the reservoir (2017) with a year of lower precipitation (2012).

**KEYWORDS:** USEFUL VOLUME, PRECIPITATION, SOBRADINHO, QUOTA, AREA

### INTRODUÇÃO

O semiárido brasileiro, região com grandes limitações hídricas, necessita de um gerenciamento de seus recursos naturais, sendo a distribuição espacial e temporal da precipitação a variável mais importante na determinação das condições hídricas locais. Habitualmente as chuvas com maiores intensidades ocorrem somente nos quatro primeiros meses do ano, compreendendo o maior volume de precipitação entre os meses de março e abril (INPE, 2020). A seca é uma característica da região nordestina resultando em pouca pluviosidade e grande evapotranspiração, assim, os baixos índices de precipitação afetam diretamente os reservatórios causando irregularidade no fornecimento de água e na produção de energia hidroelétrica.

A Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco (BHRSF) é de grande importância pelo volume de água gerado na região semiárida (ANA, 2020a), sendo esta utilizada para abastecimento urbano doméstico e industrial (11%), abastecimento rural (5%), irrigação (77%), pesca, transporte e geração de energia hidrelétrica.

O reservatório de Sobradinho, instalado no rio São Francisco, além da função de geração de energia elétrica, é a principal fonte de regularização dos recursos hídricos da região, sendo a

contribuição de Itaparica e dos demais reservatórios a sua jusante pouco expressiva (Gurjão *et.al*, 2012). Seu volume útil tem a finalidade de armazenar o excesso de água dos períodos chuvosos nos reservatórios, para assim sanar as deficiências que ocorrem no período de estiagem. (ANNEL, 2020).

Diversos estudos buscam analisar as mudanças climáticas com as alterações na temperatura e na precipitação e no regime hidrológico da Bacia do Rio São Francisco (Gurjão *et. al*, 2012; Medeiros *et.al*, 2011; Silveira *et. al*, 2016; Sobral *et. al*, 2018).

É de grande importância para os gestores de recursos hídricos e energéticos conhecer e compreender as oscilações de precipitação, umidade e evaporação da região de interesse, a fim de prever os impactos na geração desses recursos ao longo do tempo.

Considerando a variação climática que vem ocorrendo nas últimas décadas na região nordestina, este trabalho tem como objetivo verificar a influência dos níveis de precipitação em relação a quantidade de volume útil no reservatório de Sobradinho-BA.

## MATERIAL E MÉTODOS

Segundo o comitê da Bacia do Rio São Francisco (CBHSF, 2020), o rio São Francisco nasce na Serra da Canastra em Minas Gerais e possui cerca de 2.700 km de extensão, 639.219 km<sup>2</sup> de área de drenagem, vazão média de 2.850 m<sup>3</sup>/s. Segundo o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2020), a precipitação média anual do sistema hídrico do Rio São Francisco é 1000 mm.

Segundo a Agência Nacional de Águas (ANA, 2020b), o regime de vazões do Rio São Francisco é regularizado pela operação de vários complexos hidrelétricos instalados em série, ao longo do seu curso: reservatórios de Três Marias, Sobradinho, Itaparica, Moxotó, Paulo Afonso I,II, III e IV e Xingó.

O reservatório de Sobradinho é localizado no município de Sobradinho na Bahia-BA, está a 40 km a montante da cidade de Juazeiro-BA e Petrolina-PE. O gerador de Sobradinho está posicionado no Rio São Francisco a 748 km de sua foz e ocupa o quarto lugar em potência instalada, cerca de 1.050.300 kW, e é o primeiro na capacidade de acúmulo de água sendo assim, o reservatório de Sobradinho é responsável pela regulação do sistema hídrico (CBHSF, 2020). O reservatório tem capacidade de armazenamento de cerca de 34 bilhões de metros cúbicos com a cota nominal de 392,50 metros sendo a cota mínima de operação de 380,50 m (CHESF, 2020).

Para a realização do trabalho, utilizou-se dados secundários do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), do Sistema de Acompanhamento de Reservatórios (SAR) e do Sistema de Informações do Potencial Hidrelétrico Brasileiro (SIPOT). O período de avaliação dos dados foi de janeiro de 2000 a dezembro de 2019.

Os dados do ONS forneceram as informações sobre a cota e volume útil do reservatório de Sobradinho. No SAR obteve-se relação de cota e data da medição da mesma.

A junção dos dados ONS e SAR forneceram a relação Data x Cota x Volume e permitiu a criação das curvas Cota x Volume e Cota x Área do reservatório de Sobradinho. Porém para a criação da curva Cota x Área foi necessário a utilização do método do polinômio utilizando-se um polinômio de quarto grau com coeficientes pré-estabelecidos pelo SIPOT. Na Equação 1 pode-se observar o polinômio de quarto grau utilizado.

$$Y=A_0 x X^0+ A_1 x X^1 + A_2 x X^2 + A_3 x X^3+ A_4 x X^4 \quad (\text{Eq.1})$$

Onde:

Y: Área do reservatório de Sobradinho, em km<sup>2</sup>;

A<sub>i</sub>: Coeficientes pré-estabelecidos pelo Sistema de Informações do Potencial Hidrelétrico Brasileiro;

X<sup>i</sup>: Cotas do reservatório de Sobradinho, em m.

Os valores dos coeficientes utilizados foram A<sub>0</sub> (503710,00000000000), A<sub>1</sub> (4913,78900000000), A<sub>2</sub> (8,96688900000), A<sub>3</sub> (0,01891690000) e A<sub>4</sub> (0,00004653790).

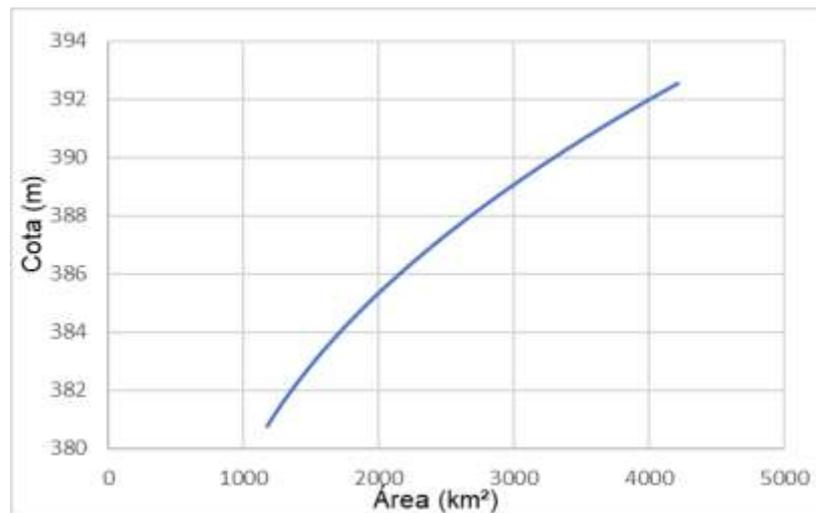
As cotas obtidas foram substituídas nos termos X<sup>0</sup>, X<sup>1</sup>, X<sup>2</sup>, X<sup>3</sup> e X<sup>4</sup> permitindo assim uma estimativa do cálculo da área do reservatório de Sobradinho conforme a cota verificada em metros. A área é dada em km<sup>2</sup> e com ela foi possível a criação do gráfico Cota x Área.

A precipitação média de cada mês no período de 2000 a 2019 foram obtidos no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), sendo assim, possível fazer a verificação da precipitação da região e compará-la com a variação do volume útil do reservatório ao longo do tempo.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante o período avaliado o maior valor de cota foi observado em abril de 2006 e o menor em dezembro de 2015. O maior e menor valores de cota foram respectivamente, 392,55 m e 380,76 m. Na Figura 1 pode-se observar o gráfico Cota-Área gerado com os dados diários de cota e de área calculada pelo método dos polinômios descrito anteriormente.

Figura 1 – Curva Cota-Área do Reservatório de Sobradinho.



A maior e menor área calculadas foram de 4216 km<sup>2</sup> e 1177 km<sup>2</sup>, respectivamente. Observa-se uma redução de aproximadamente 72% na área do reservatório de Sobradinho.

Na Figura 2 pode-se observar o gráfico Cota-Volume gerado com os dados diários. Na maior cota observou-se volume de aproximadamente 34328 hm<sup>3</sup> e a menor cota gerou o volume aproximado de 5744 hm<sup>3</sup>.

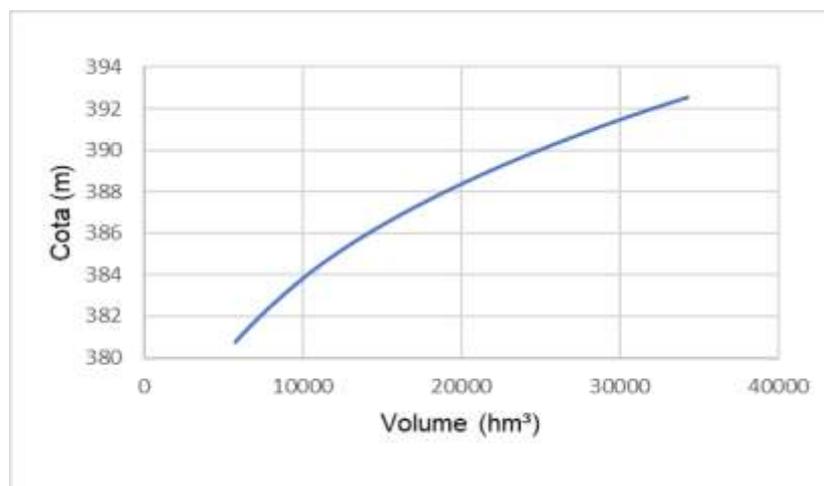
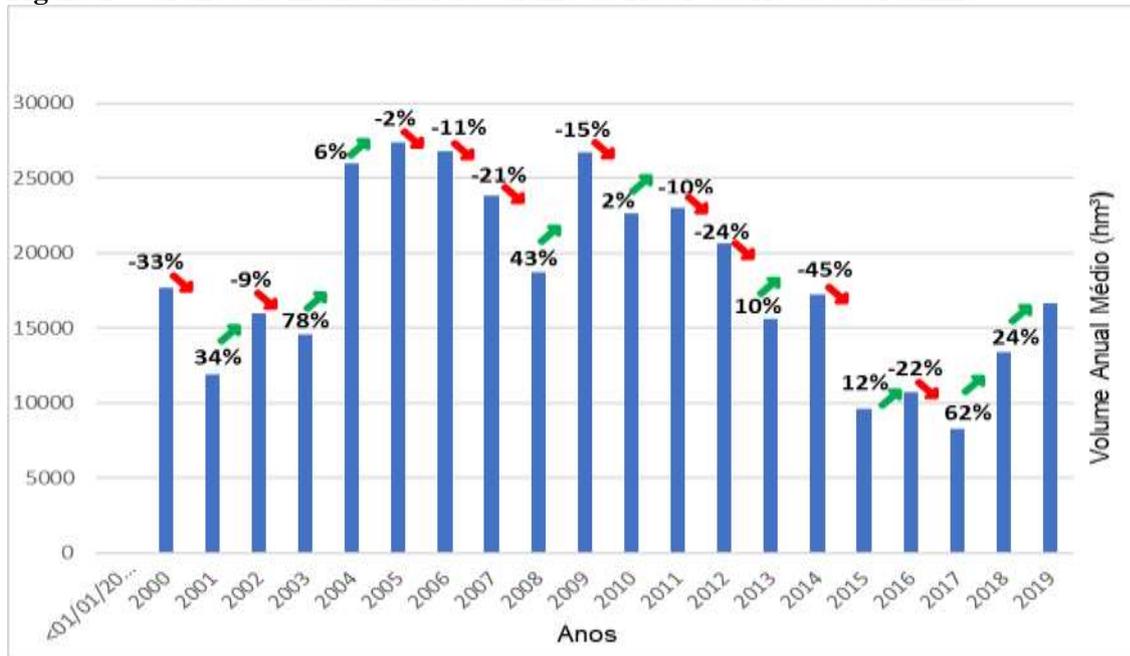


Figura 2 - Curva Cota-Volume do Reservatório de Sobradinho

De 2006 para 2015 observou-se redução de 83% no volume útil do reservatório de Sobradinho, o que era esperado, pois, a área do reservatório também sofreu diminuição ao longo dos anos. Realizou-se uma análise de correlação entre os dados de área e volume útil do reservatório e obteve-se um coeficiente de 0,99 mostrando forte correlação entre os dados.

Na figura 3 pode-se observar o volume útil médio anual e a porcentagem de aumento ou redução em relação ao ano anterior.

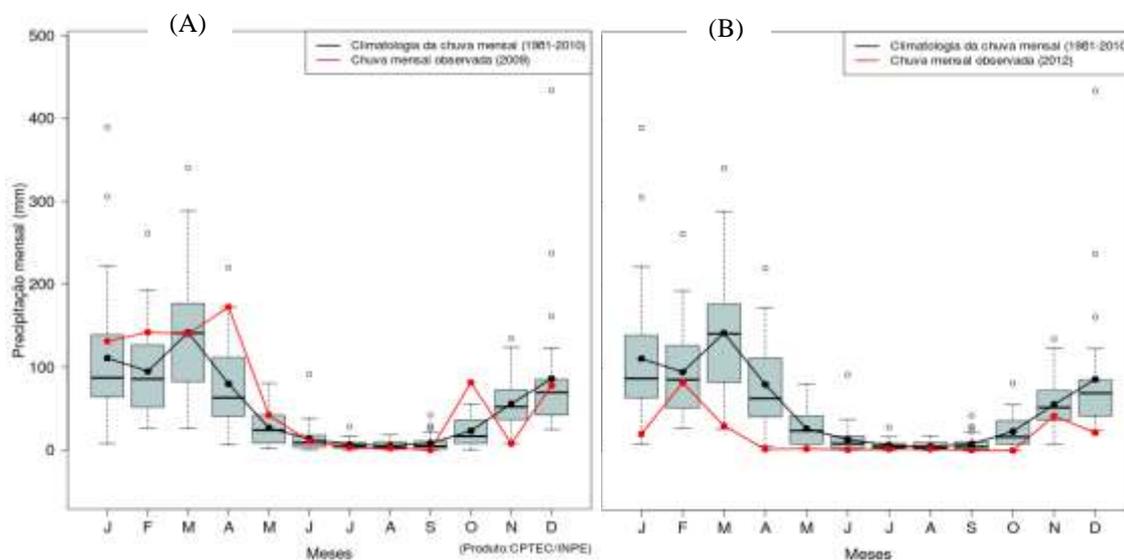
**Figura 1 – Gráfico da média anual do volume do Reservatório de Sobradinho.**



O maior acréscimo no volume útil registrado foi do ano de 2003 para 2004 (78%) e o maior decréscimo foi de 33% ocorrido entre os anos de 2000 e 2001.

O ano de 2009 foi um dos anos que o reservatório apresentou maior volume útil médio (26695,4 hm³), coincidindo assim com o ano de maior precipitação na região. O ano de 2017 foi o ano de menor volume útil médio (13081,8 hm³), não correspondendo com o ano de menor precipitação, o que ocorreu em 2012. Na Figura 4 pode-se visualizar os gráficos do tipo *boxplots* dos anos de 2009 e 2012, anos de maior e menor precipitação, respectivamente.

**Figura 2 – Gráfico *boxplots* da precipitação mensal para o ano de 2009 (A) e 2012 (B).**



Fonte: INPE, 2020.

A linha contínua de cor preta sobre as caixas indica a média climatológica da chuva mensal para o período de 1981 a 2010 e a linha contínua vermelha representa os totais mensais para os anos 2009 e 2012. Na Figura 4A pode-se observar que os totais mensais de 2009 superaram em quase todos os meses a linha que indica a média histórica. Enquanto no ano de 2012 ocorre o contrário, com a linha de da média histórica acima da linha de totais mensais (Figura 4B).

Observou-se a não coincidência do ano com menor volume útil do reservatório (2017) com ano de menor precipitação (2012). Segundo Sobral *et. al* (2018), análises de anomalias de chuva (IAC) na região do reservatório de Sobradinho demonstraram que durante o ano de 2012 não ocorreu nenhum IAC positivo, ficando todos os índices entre secos à extremamente secos. Ainda segundo Sobral *et. al* (2018), entre os anos de 1990 a 2003 ocorreram apenas anos secos, sem nenhum índice positivo e avaliando-se de 2000 até 2016, ocorreram apenas quatro anos úmidos, porém classificados dentro da normalidade, sem apresentar anos muito úmidos ou extremamente úmidos.

Assim, anos consecutivos de baixa precipitação, aumento da variação climática causando evaporação maiores e elevação consumo de água, ou por ocupação maior do solo ou por aumento nas demandas por irrigação, pode afetar diretamente no volume do reservatório de Sobradinho devido à redução significativa nas vazões afluentes aos reservatórios das hidrelétricas da bacia do rio São Francisco.

## CONCLUSÃO

A região do rio São Francisco passou por décadas de regimes irregulares de chuva, não apresentando anos úmidos, o que gerou insegurança hídrica na região. Durante o período analisado, o maior volume útil médio observado foi de 26695,4 hm<sup>3</sup> ocorrido em 2009 coincidindo com o ano de maior precipitação. O ano de menor precipitação foi 2012 não coincidindo com o ano de menor volume útil médio (13081,8 hm<sup>3</sup>) ocorrido em 2017. O reservatório de Sobradinho possui grande dimensão fazendo com que sejam necessários anos consecutivos de baixa precipitação para que ocorra uma variação considerável do seu volume útil, afetando assim, os recursos hídricos da região. Apesar de estar fora do período analisado neste estudo, vale aqui ressaltar, que em maio de 2020, o reservatório de Sobradinho atingiu 94% de seu volume útil (ANA, 2020b), trazendo segurança para a operação da usina hidrelétrica e para a região do São Francisco como um todo.

## REFERÊNCIAS

- ANA. Agência Nacional de Águas. Sala de Situação. São Francisco. 2020. Disponível em: <http://www.ana.gov.br/sala-de-situacao/sao-francisco/sao-francisco-saiba-mais>. Acesso em: 10 de março de 2020 a.
- ANA. Agência Nacional de Águas. Sistema de Acompanhamento de Reservatórios. 2020. Disponível em: [https://www.ana.gov.br/sar/sin/b\\_sao-francisco/](https://www.ana.gov.br/sar/sin/b_sao-francisco/). Acesso em: 08 de março de 2020 b.
- ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. Critérios para Rateio dos Recursos. 2020. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=538&idPerfil=2>. Acesso em: 12 de março 2020.
- CBHSF. Comitê da Bacia do Rio São Francisco. 2020. Disponível em: <https://cbhsaofrancisco.org.br/o-cbhsf/> Acesso em: 22 de março 2020.
- CGTI. Centro de Gestão de Tecnologia e Inovação. 2016. Disponível em: <https://www.cgti.org.br/publicacoes/wp-content/uploads/2016/03/PROPOSTA-DE-AJUSTE-DOS-COEFICIENTES-POLINOMIAIS-DAS-CURVAS-CHAVES-DE-EMPREENHIMENTOS-HIDRELE%CC%81TRICOS-E-SUAS-IMPLICAC%CC%A7O%CC%83ES.pdf>. Acesso em: 22 de março 2020.
- CHESF. Companhia Hidrelétrica do São Francisco. Sistema de Geração. Sobradinho. 2020. Disponível em: <https://www.chesf.gov.br/SistemaChesf/Pages/SistemaGeracao/Sobradinho.aspx>. Acesso em: 08 de março de 2020.

- ELETROBRAS. Eletrobras - Centrais Elétricas Brasileiras S.A. Potencial-Hidreletrico-Brasileiro 2020. Disponível em: <https://eletrobras.com/pt/Paginas/Potencial-Hidreletrico-Brasileiro.aspx>. Acesso em: 22 de março 2020.
- Gurjão, C. D. S.; Correia, M. F.; Chaves Filho, J. B.; Aragão, M. R. S. Influência do Enos (El Niño-Oscilação Sul) no Regime Hidrológico do Rio São Francisco: uma Análise em Regiões com Fortes Pressões Antrópicas. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.5, n.4, p.774-790, 2012.
- INPE. Evolução mensal e sazonal das chuvas. Disponível em: <http://clima1.cptec.inpe.br/evolucao/pt>. Acesso em: 15 de março de 2020.
- Medeiros, S. S.; Gheyi, H. R.; Galvão, C. O.; Paz, V. P. S. Recursos Hídricos em Regiões Áridas e Semiáridas. Campina Grande, PB: Instituto Nacional do Semiárido, 2011.
- ONS. Operador Nacional do Sistema Elétrico. Resultado da Operação. Histórico da Operação. Sobradinho. 2019. Disponível em: <http://www.ons.org.br/paginas/resultados-da-operacao/historico-da-operacao>. Acesso em: 08 de março de 2020
- Silveira, C. S.; Souza Filho, F. A.; Martins, E. S. P. R.; Oliveira, J. LCosta, A.C.; Nobrega, M. T.; Souza, S.A.; Silva, RFV. Mudanças climáticas na bacia do rio São Francisco: Uma análise para precipitação e temperatura. *RBRH*, vol. 21, n.2, p. 416 – 428, 2016.
- Sobral, M. C.; Assis, J. M. O.; Oliveira, C. R.; Silva, G. M. N.; Moraes, M.; Carvalho, R. M. C. Impacto das mudanças climáticas nos recursos hídricos no submédio da bacia hidrográfica do rio São Francisco – Brasil. *Revista Eletrônica do PRODEMA*, v. 12, n. 3, p.95-106. 2018.