DIMENSIONAMENTO DA CAPACIDADE DE RESERVATÓRIOS DE REGULARIZAÇÃO UTILIZANDO SÉRIES SINTÉTICAS DE VAZÃO

Fabrício D. Heitor[1]; Sidney S. Zanetti[2]; Roberto A. Cecílio[3]& José Rui C. de Sousa[4]

Palavras-Chave – Contenção de cheias, Gestão de recursos hídricos, Bacia hidrográfica.

INTRODUÇÃO

Reservatórios de regularização de vazão (RRVs) são obras importantes para o armazenamento de água, principalmente em períodos de estiagem, pois tem como finalidade principal armazená-la para usos consuntivos (abastecimento, dessedentação animal, irrigação e, ou, uso industrial), geração hidrelétrica, amortecimento de ondas de cheias, ou viabilizar a navegação (Tundisi, 2018).

Embora os RRVs possuam diversos benefícios, seu mau dimensionamento pode causar impactos negativos. O conhecimento de séries históricas de vazões de uma bacia hidrográfica é um dos fatores determinantes para o adequado dimensionamento de sua capacidade. Entretanto, em muitas regiões brasileiras não existe a disponibilidade de dados de vazão em quantidade e qualidade suficientes e, muitas vezes, não se dispõe de nenhum registro, por se tratar de bacias não monitoradas (Chiang *et al.*, 2002; Yadav *et al.*, 2007).

Em dois estudos, relativamente recentes, foram desenvolvidos métodos para a geração de Séries Sintéticas de Vazões (SSVs) em bacias hidrográficas, os quais podem ser utilizados para o dimensionamento de RRVs. Rodrigues (2017) propôs a utilização de SSVs para aplicação em bacias sem de dados fluviométricos medidos. As SSVs são geradas a partir de séries históricas de vazão medidas em pelo menos uma estação fluviométrica localizada na mesma região hidrologicamente homogênea (estação de apoio) da bacia sem dados. Os dados utilizados para gerar as SSVs são os valores diários de vazão da estação de apoio e a vazão média de longa duração (da estação de apoio e regionalizada para a bacia de interesse). Cesconetto (2021) desenvolveu um método para gerar SSVs diárias a partir de dados fisiográficos e de precipitação, utilizando redes neurais artificiais (RNAs) tipo MLP (*perceptron* de múltiplas camadas). No estudo, foram incluídos procedimentos para aumentar a capacidade de extrapolação das RNAs, de modo a desenvolver um modelo de simulação de vazão para todo o estado do Espírito Santo. Dessa forma, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o potencial de uso das SSVs propostas por Rodrigues (2017) e Cesconetto (2021) para o dimensionamento da capacidade de reservatórios de regularização de vazão.

METODOLOGIA

A área em estudo compreende a bacia hidrográfica do Rio Itapemirim, situada no sul do estado do Espírito Santo, com área aproximada de 6.000 km². Foram utilizados dados diários de vazão de onze estações fluviométricas (Tabela 1), no período de 1981 a 2016 (36 anos), disponibilizados no Sistema de Informações Hidrológicas – HidroWeb (www.snirh.gov.br/hidroweb).

Para cada estação fluviométrica contida na Tabela 1, utilizando os dados diários das séries históricas de vazão medida, foi calculada a capacidade de reservatórios (CR) de regularização de vazão. Os RRVs foram dimensionados considerando demanda fixa, adotando-se proporções (β) da vazão média de longa duração (Q_{mld}) iguais a 0,25, 0,50, 0,75 e 1,00.

1) Consultor autônomo, *M. Sc.*, fabriciodheitor@hotmail.com
2) Professor, *D. Sc.*, Universidade Federal do Espírito Santo, sidney.zanetti@ufes.br
3) Professor, *D. Sc.*, Universidade Federal do Espírito Santo, roberto.cecilio@ufes.br
4) Professor, *D. Sc.*, Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais (IFSudesteMG), joserui.ufv@gmail.com

Tabela 1. Estações fluviométricas da bacia do Rio Itapemirim, utilizadas no presente estudo, incluindo a área de drenagem e vazão média de longa duração (Q_{mld}).

Código	Estação	Curso d'água	Área (km^2)	Q_{mld} (m^3/s)
57350000	Usina Fortaleza	Rio Braço Norte Esquerdo	195,8	4,52
57360000	Iúna	Rio Pardo	432,3	7,77
57370000	Terra Corrida Montante	Rio Pardo	586,5	10,63
57400000	Itaici	Rio Braço Norte Esquerdo	1.045,4	18,07
57450000	Rive	Rio Itapemirim	2.218,4	43,49
57460000	Pacotuba	Rio Itapemirim	2.720,6	48,59
57476500	Fazenda Laginha	Rio Castelo	435,8	7,48
57490000	Castelo	Rio Castelo	975,4	14,74
57550000	Usina São Miguel	Rio Castelo	1.458,8	22,49
57555000	Coutinho	Rio Itapemirim	4.510,4	76,88
57580000	Usina Paineiras	Rio Itapemirim	5.167,9	82,52

O dimensionamento dos reservatórios foi realizado utilizando o *Hydrology Plus* – Sistema Computacional para Estudos Meteorológicos e Hidrológicos (Sousa, 2017). Previamente, foram descartados das séries históricas de dados de vazão os anos com mais de 5% de falhas.

Os reservatórios foram dimensionados utilizando dois métodos:

a) Determinação da capacidade dos reservatórios sem associação ao período de retorno.

Neste caso, foi utilizado o método das diferenças acumuladas (Lanna, 1993), no qual se fez o somatório dos déficits entre a vazão afluente e a vazão necessária para atender a vazão regularizada, determinando-se o volume máximo de déficit acumulado para cada ano da série histórica de vazão.

Pela regra de operação anual, os déficits de vazão são compensados dentro de cada ano da série histórica de vazão. Assim, após calcular o volume de déficit acumulado para cada ano, o maior deles é atribuído à CR calculada. Pela regra de operação plurianual, os déficits podem ser transferidos para o próximo ano da série, sendo todos os anos analisados conjuntamente, como se fosse um período único, obtendo-se também uma única CR calculada.

b) Determinação da capacidade dos reservatórios com associação ao período de retorno.

Foram testadas cinco FDPs (Gumbel, Pearson III, Log Pearson III, Log Normal II, e Log Normal III), adotando-se aquela com melhor ajuste aos dados (menor erro padrão). Dessa forma, foram calculadas CRs com períodos de retorno (T) de 10, 20, 50 e 100 anos.

Visando estimar várias CRs, para possibilitar a aplicação das FDP's e calcular CRs associadas aos períodos de retorno, foi utilizado o método das diferenças acumuladas modificado. Neste método, séries sintéticas temporais são criadas a partir da série histórica original de vazão (espacial). São criadas (n-1) séries sintéticas temporais, iguais ao número de anos da série menos um, conforme descrito em Nunes, Pruski (2015).

Seguindo as metodologias propostas por Rodrigues (2017) e Cesconetto (2021), para cada estação fluviométrica, foram calculadas as CRs (volumes) dos RRVs. Para identificação do melhor método, os resultados foram comparados, tendo-se como referências as CRs calculadas usando as séries históricas de vazões diárias medidas de cada estação fluviométrica. Para a comparação dos resultados, foram utilizados gráficos e indicadores estatísticos, como o coeficiente de determinação R^2 e o índice de eficiência de Nash-Sutcliffe (NSE).

RESULTADOS

Na Figura 1 são apresentadas as relações entre as CRs obtidas com as séries históricas de vazão e as SSVs propostas por Rodrigues (2017) e Cesconetto (2021). Embora o R^2 tenha apresentado valores próximos, nota-se claramente, nos gráficos, que o ajuste proporcionado pelas SSVs propostas por Rodrigues (2017) é melhor, com os pontos mais próximos da linha pontilhada (reta 1:1).

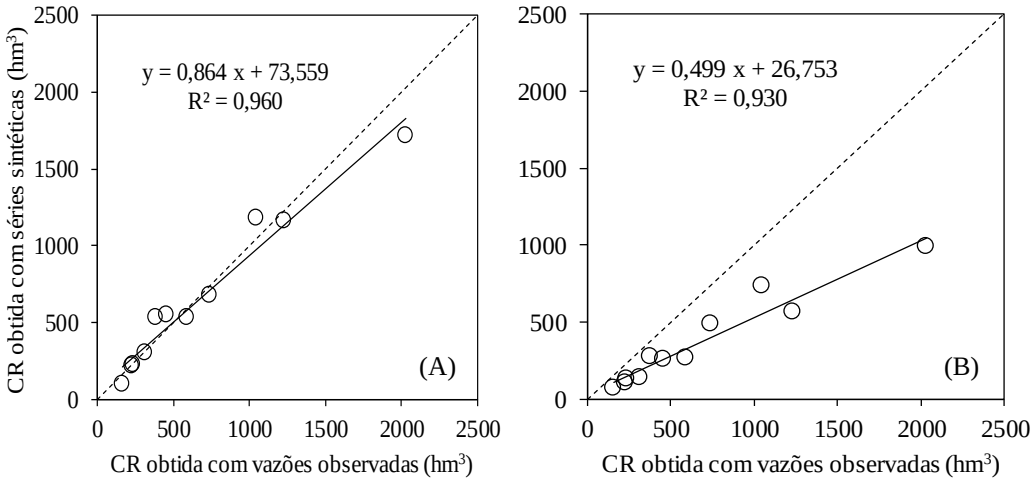


Figura 1. Gráficos de dispersão entre CRs estimadas com vazões observadas e SSVs geradas com os métodos propostos por (A) Rodrigues (2017) e (B) Cesconetto (2021), com β =0,75, T=50 anos e regra de operação plurianual. Fonte: autoria própria.

Na Figura 2 são apresentados os coeficientes de NSE para as CRs calculadas sem período de retorno, bem como os valores obtidos pela média dos períodos de retorno testados (10, 20, 50 e 100 anos), considerando as regras de operação anual e plurianual. Em geral, a metodologia proposta por Rodrigues (2017) apresentou melhores valores de NSE, em relação às SSVs propostas por Cesconetto (2021), que chegou até a apresentar NSE negativo para β=0,50 com regra de operação plurianual.

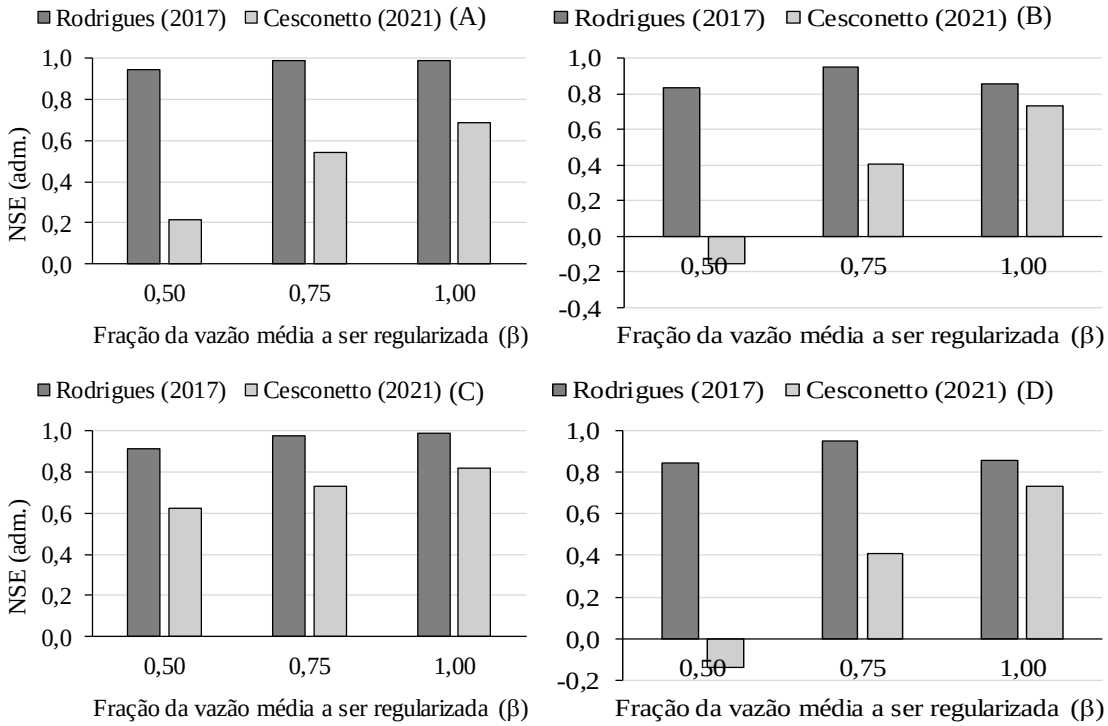


Figura 2. Coeficientes de Nash-Sutcliffe (NSE): sem considerar período de retorno, com regra de operação anual (A) e plurianual (B); e considerando a média dos períodos de retorno (10, 20, 50 e 100 anos), anual (C) e plurianual (D). Fonte: autoria propria.

Ao analisar os gráficos (A) e (B), que apresentam os valores de NSE sem considerar período de retorno, para as regras anual e plurianual, respectivamente, nota-se que o método de Rodrigues (2017) resultou em melhor desempenho, apresentando melhor ajustamento em relação às CRs observadas.

Quando se analisa os gráficos (C) e (D), onde é considerada a média dos períodos de retorno (10, 20, 50 e 100 anos), nas regras anual e plurianual, respectivamente, nota-se que houve uma melhoria do ajuste proporcionado pela metodologia proposta por Cesconetto (2021) na regra de operação anual (C), porém mantendo-se o mesmo desempenho na regra plurianual (D).

Embora o método proposto por Rodrigues (2017) tenha apresentado melhores resultados, este depende, para a sua aplicação, de uma regionalização de vazões pré-existente na região hidrológica de interesse, que possibilite estimar a vazão média de longa duração (Q_{mld}). Esta exigência restringe a aplicação do método, uma vez que muitas bacias hidrográficas brasileiras, provavelmente a maior parte, não possuem estudos de regionalização da vazão média de longa duração.

Para a geração das SSVs propostas por Cesconetto (2021), depende-se somente da existência de bacias com dados fisiográficos e séries de precipitação disponíveis, para que se possa aplicar uma RNA para gerar SSVs. Esta relativa maior simplicidade de aplicação, nos dados de entrada, pode ampliar a utilização do método em locais com limitações de dados e estudos de regionalização.

CONCLUSÕES

O método proposto por Rodrigues (2017) apresentou desempenho superior ao método de geração de SSVs proposto por Cesconetto (2021), para o dimensionamento de RRVs, em condições de limitação de dados, na bacia hidrográfica do rio Itapemirim.
As SSVs geradas pelo método proposto por Cesconetto (2021) tenderam a subdimensionar a capacidade dos reservatórios, principalmente para menores vazões a serem regularizadas.

REFERÊNCIAS

CESCONETTO, L. B. (2021). "*Aplicação de redes neurais artificiais para a modelagem hidrológica de bacias hidrográficas"*. 90p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES.
CHIANG, S. M.; TSAY, T. K.; NIX, S. J. (2002). "*Hydrologic regionalization of watersheds. II: Applications"*. Journal of Water Resources Planning and Management, v. 128, n. 1, p. 12-20.
LANNA, A. E. (1993). "*Regularização de vazões em reservatórios"*. in TUCCI, C. E. M. Hidrologia. Ciência e Aplicação, Porto Alegre: UFRGS, pp. 703-725.
NUNES, A. A.; PRUSKI, F. F. (2015). "*Improving the determination of reservoir capacities for drought control"*. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, v. 29, n. 1, p. 183–191.
RODRIGUES, N. C. (2017). "*Dimensionamento da capacidade de reservatórios de regularização de vazões utilizando séries sintética"*. 89p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.
SOUSA, J. R. C. D. (2017). "*Hydrology Plus: sistema computacional para estudos meteorológicos e hidrológicos"*. 145p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.
TUNDISI, J. G. (2018). "*Reservoirs: new challenges for ecosystem studies and environmental management"*. Water Security, v. 4, p. 1-7.
YADAV, M.; WAGENER, T.; GUPTA, H. (2007). "*Regionalization of constraints on expected watershed response behavior for improved predictions in ungauged basins"*. Advances in Water Resources, v. 30, n. 8, p. 1756-1774.