



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E ENGENHARIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

FABRÍCIO DIAS HEITOR

AVALIAÇÃO DE SÉRIES SINTÉTICAS DE VAZÕES PARA O
DIMENSIONAMENTO DA CAPACIDADE DE RESERVATÓRIOS DE
REGULARIZAÇÃO DE VAZÕES

JERÔNIMO MONTEIRO

2022



FABRÍCIO DIAS HEITOR

AVALIAÇÃO DE SÉRIES SINTÉTICAS DE VAZÕES PARA O
DIMENSIONAMENTO DA CAPACIDADE DE RESERVATÓRIOS DE
REGULARIZAÇÃO DE VAZÕES

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Ciências Florestais na área de concentração Ciências Florestais.

Orientador: Prof. Dr. Sidney Sara Zanetti.

Coorientador: Prof. Dr. Roberto Avelino Cecílio

JERÔNIMO MONTEIRO

2022

Ficha catalográfica disponibilizada pelo Sistema Integrado de
Bibliotecas - SIBI/UFES e elaborada pelo autor

H465a Heitor, Fabrício Dias, 1989-
Avaliação de séries sintéticas de vazões para o
dimensionamento da capacidade de reservatórios de regularização
de vazões / Fabrício Dias Heitor. - 2022.
58 f. : il.

Orientador: Sidney Sara Zanetti.

Coorientador: Roberto Avelino Cecílio.

Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) -
Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências
Agrárias e Engenharias.

1. Dimensionamento de reservatórios. 2. Bacia hidrográfica.
3. Gestão de recursos hídricos. 4. Séries sintéticas. I. Zanetti,
Sidney Sara. II. Cecílio, Roberto Avelino. III. Universidade
Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Agrárias e
Engenharias. IV. Título.

CDU: 630

**AVALIAÇÃO DE SÉRIES SINTÉTICAS DE VAZÕES PARA O DIMENSIONAMENTO DA
CAPACIDADE DE RESERVATÓRIOS DE REGULARIZAÇÃO DE VAZÕES**

Fabricio Dias Heitor

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ciências Florestais na Área de Concentração Ciências Florestais.

Aprovada em 28 de julho de 2022.



Prof^a. Dr^a. Laisi Bellon Cesconetto (Examinadora externa)
Faculdade Venda Nova do Imigrante



Prof. Dr. José Rui Castro de Sousa (Examinador externo)
Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais



Prof. Dr. Sidney Sara Zanetti (Orientador)
Universidade Federal do Espírito Santo

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus por minha vida, e pela oportunidade de cursar o programa de Ciências Florestais da UFES.

Agradeço aos meus pais Antônio José Heitor e Teresa de Fátima Dias Heitor pelas oportunidades e pelos aconselhamentos durante toda minha vida.

Agradeço a minha esposa Sara de Carvalho Coser Heitor que sempre esteve ao meu lado em todos os momentos de minha vida, me incentivando e auxiliando, agradeço ainda a minha equipe de trabalho pelo companheirismo durante o todo o processo.

Não poderia deixar de agradecer aos professores e pesquisadores José Rui de Castro Souza, Nívia Carla Rodrigues e Laisi Bellon Cesconetto pelo auxílio durante o trabalho a realização do trabalho.

Ao meu orientador, professor Sidney Sara Zanetti, por todos os ensinamentos, conselhos e por sempre ser paciente para ajudar e ensinar;

Ao programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais;

À Universidade Federal do Espírito Santo;

A todos que fizeram parte de minha formação.

BIOGRAFIA

FABRÍCIO DIAS HEITOR, filho de Teresa de Fátima Dias Heitor e Antônio José Heitor, nasceu no dia 02 de janeiro de 1989 na cidade de Guaçuí, ES.

Concluiu o Ensino Médio na Escola Estadual de Ensino Médio Monsenhor Miguel de Sanctis, no município de Guaçuí, ES.

No ano de 2009, ingressou na Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Alegre, em Alegre, ES, no curso de Bacharelado em Ciências Biológicas. Concluiu o curso em agosto de 2011.

Em março de 2020, ingressou no curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais da Universidade Federal do Espírito Santo, Campus de Jerônimo Monteiro, na área de atuação de Manejo de Recursos Naturais na linha de Pesquisa de Manejo de Bacias Hidrográficas e Modelagem hidrológica, sob orientação do Professor Sidney Sara Zanetti.

“Quão bom e quão suave é que os irmãos vivam em união / É como o óleo precioso sobre a cabeça, que desce sobre a barba, a barba de Arão, e que desce sobre a gola de suas vestes / Como o orvalho de Hermon, que desce sobre os Montes de Sião, porque ali o senhor ordena a bênção e a vida para sempre.”

Salmo 133.

RESUMO

HEITOR, Fabrício Dias. Avaliação de séries sintéticas de vazões para o dimensionamento da capacidade de reservatórios de regularização de vazões. 2022. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES. Orientador: Prof. Dr. Sidney Sara Zanetti.

De forma complementar à conservação e recomposição florestal, os reservatórios de regularização de vazão são importantes alternativas para melhorar o fluxo d'água nos rios, sendo, ainda, um importante instrumento para o armazenamento de água destinada aos mais diversos usos, principalmente em locais onde a demanda supera a disponibilidade hídrica em períodos de estiagem. Entretanto, a indisponibilidade de séries históricas de vazão em bacias hidrográficas dificulta o dimensionamento adequado de reservatórios. Diante disso, o presente estudo teve como objetivo aplicar e avaliar dois métodos para a geração de séries sintéticas de vazões para o dimensionamento da capacidade de reservatórios de regularização de vazão, em condições de limitação de dados. Utilizou-se uma região hidrológica monitorada (bacia hidrográfica do Rio Itapemirim, Espírito Santo) e séries sintéticas de vazão geradas de acordo com as propostas por Rodrigues (2017) e Cesconetto (2021). As metodologias foram testadas por validação cruzada, sendo os resultados analisados usando-se gráficos e indicadores estatísticos, em comparação com os resultados obtidos com dados observados, medidos em estações fluviométricas de referência. Após a análise dos indicadores estatísticos, como o coeficiente de determinação (R^2), o índice de eficiência de Nash-Sutcliffe (NSE) e o índice de qualidade de dimensionamento de reservatórios (IQD), concluiu-se que o método proposto por Cesconetto (2021) apresentou tendência de subdimensionar as capacidades dos reservatórios, principalmente para menores vazões a serem regularizadas ($\beta < 0,75$). O método proposto por Rodrigues (2017) apresentou desempenho superior ao método proposto por Cesconetto (2021), para o dimensionamento da capacidade de reservatórios de regularização de vazões, em condições de limitação de dados, na bacia hidrográfica do rio Itapemirim. Embora o método proposto por Rodrigues (2017) tenha apresentado melhores resultados, este depende, para sua aplicação, de um estudo de regionalização de vazões pré-existente na região hidrológica de interesse, que possibilite estimar a vazão média de longa duração. Já o método proposto por Cesconetto (2021) depende apenas da existência de dados de chuva e vazão (séries históricas), para que se possa ajustar (treinar) uma rede neural artificial e gerar séries sintéticas de vazão.

Palavras-chave: dimensionamento de reservatórios; bacia hidrográfica; gestão de recursos hídricos; séries sintéticas.

ABSTRACT

HEITOR, Fabricio Dias. Evaluation of synthetic series of flows for dimensioning the capacity of reservoirs for flow regulation. 2022. Dissertation (Master's in Forest Sciences) – Federal University of Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES. Advisor: Prof. Dr. Sidney Sara Zanetti.

As a complement to forest conservation and restoration, flow regulation reservoirs are important alternatives to improve the flow of water in rivers, being also an important instrument for storing water destined for the most diverse uses, especially in places where demand exceeds water availability in periods of drought. However, the unavailability of historical series of flow in hydrographic basins makes the adequate dimensioning of reservoirs difficult. Therefore, the present study aimed to apply and evaluate two methods for the generation of synthetic series of flows for the dimensioning of the capacity of flow regulation reservoirs, in conditions of limited data. A monitored hydrological region (Itapemirim River basin, Espírito Santo) and synthetic flow series generated according to the proposals by Rodrigues (2017) and Cesconetto (2021) were used. The methodologies were tested by cross-validation, and the results were analyzed using graphs and statistical indicators, in comparison with the results obtained with observed data, measured in fluvimetric reference stations. After analyzing statistical indicators, such as the coefficient of determination (R^2), the Nash-Sutcliffe efficiency index (NSE) and the reservoir design quality index (IQD), it was concluded that the method proposed by Cesconetto (2021) showed a tendency to undersize the capacities of the reservoirs, mainly for lower flows to be regularized ($\beta < 0.75$). The method proposed by Rodrigues (2017) performed better than the method proposed by Cesconetto (2021), for the dimensioning of the capacity of flow regulation reservoirs, under conditions of limited data, in the Itapemirim river basin. Although the method proposed by Rodrigues (2017) has shown better results, it depends, for its application, on a pre-existing flow regionalization study in the hydrological region of interest, which makes it possible to estimate the long-term average flow. The method proposed by Cesconetto (2021) depends only on the existence of rainfall and flow data (historical series), so that an artificial neural network can be adjusted (trained) and generated synthetic flow series.

Key-words: dimensioning of reservoirs; hydrographic basin; water resources management; synthetic series.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	10
2. OBJETIVOS.....	13
2.1. OBJETIVO GERAL.....	13
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
3. REVISÃO DA LITERATURA	14
3.1 RESERVATÓRIOS DE REGULARIZAÇÃO DE VAZÃO.....	14
3.1 DADOS PARA O DIMENSIONAMENTO DE RESERVATÓRIOS	17
3.4. BACIA HIDROGRÁFICA DO ITAPEMIRIM.....	19
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	22
4.1. ÁREA EM ESTUDO	22
4.2. DIMENSIONAMENTO DE RESERVATÓRIOS DE REGULARIZAÇÃO DE VAZÕES UTILIZANDO DADOS OBSERVADOS DE VAZÃO	24
4.3. DIMENSIONAMENTO DE RESERVATÓRIOS UTILIZANDO SÉRIES SINTÉTICAS DE DADOS DE VAZÃO	26
4.3.1. Método proposto por Rodrigues (2017)	27
4.3.2. Método proposto por Cesconetto (2021).....	30
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	34
6. CONCLUSÕES.....	43
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44
APÊNDICE A	53

1. INTRODUÇÃO

A escassez hídrica causada pelo crescimento econômico, consequência do aumento da riqueza e dos padrões de consumo humano, gera o aumento da demanda de água para abastecimento público, hidroeletricidade e indústrias, o que vem a intensificar o uso deste recurso na produção de alimentos e diversas atividades humanas (MEKONNEN e HOEKSTRA, 2012).

Tal aumento na demanda no consumo água, combinado com a irregularidade da distribuição espacial e temporal dos recursos hídricos, deixam evidente a incompatibilidade entre a oferta e demanda de água em todas as regiões do Brasil, sobretudo nos períodos de estiagem, apesar de deter a maior reserva de água doce disponível do planeta (RODRIGUES, 2017; MILLINGTON, 2018; EMPINOTTI et al., 2018; MULTSCH et al., 2020).

A construção de reservatórios de regularização de vazão é indispensável para a melhoria do fluxo d'água, sendo um importante instrumento para pequenos e médios produtores rurais armazenarem água, principalmente em períodos de estiagem, pois esses reservatórios tem como finalidade principal guardá-la para usos consuntivos (abastecimento humano, dessedentação animal, irrigação ou uso industrial); criar um desnível para a geração hidrelétrica; deixar espaço para o recebimento de uma onda de cheias ou garantir a navegação (MEES, 2016; TUNDISI, 2018).

Embora os reservatórios de regularização de vazão possuam muitos benefícios, seu mau dimensionamento pode causar impactos negativos, seja ambientais, sociais e econômicos, tais como conflitos pelo uso da água, o deslocamento de populações, a interferência no ciclo de vida e habitat de organismos aquáticos e a eutrofização das águas (TUNDISI, 2018; DAUS et al., 2019; WINTON et al., 2019; HAVLÍČEK et al., 2022). Diante disso, os reservatórios devem ser bem planejados e dimensionados, para que as finalidades para os quais foram concebidos sejam atendidas adequadamente.

O conhecimento de séries históricas de vazões de uma bacia hidrográfica é um dos fatores determinantes para o correto dimensionamento da capacidade de reservatórios de regularização. Entretanto, em muitas regiões brasileiras não existe a disponibilidade destes dados em quantidade e qualidade suficientes, e muitas vezes, não se dispõe de nenhum dado,

por se tratar de bacias não monitoradas (POST et al., 1998; CHIANG et al., 2002; YADAV et al., 2007).

Dentre os métodos existentes para o dimensionamento de reservatórios, a Regionalização da Curva de Regularização de Vazões (RCReg) é geralmente indicada em diversas literaturas para estimar a capacidade de reservatórios em regiões com limitações de dados fluviométricos, tendo em vista sua fácil aplicação (DOMOKOS; GILYÉN-HOFER, 1989; OBREGON et al., 1999). Contudo, sua aplicação pode apresentar algumas falhas, como por exemplo, a não consideração do período de retorno (T), existindo apenas um tempo fixo (NUNES et al., 2022).

Visando desenvolver um método alternativo para estimar a capacidade de reservatórios de regularização de vazões, Rodrigues (2017) propôs a utilização de séries sintéticas de vazões para aplicação em bacias sem disponibilidade de dados fluviométricos. As séries sintéticas de vazões são geradas a partir de dados de séries históricas diárias de vazão medidas em pelo menos uma estação fluviométrica localizada na mesma região hidrologicamente homogênea (estação de apoio) da bacia com indisponibilidade de dados fluviométricos. Os dados utilizados para o estabelecimento das séries sintéticas 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). Rodrigues (2017) aplicou as séries sintéticas de vazões, para o dimensionamento de reservatórios de regularização de vazões, a partir de um estudo de caso aplicado na bacia do rio Paracatu, situada no Médio São Francisco, verificando sua boa eficiência.

Cesconetto (2021) desenvolveu um método para geração de séries sintéticas de vazões diárias a partir de dados fisiográficos e de precipitação, utilizando redes neurais artificiais (RNA's). No estudo, foram incluídos procedimentos para aumentar a capacidade de extrapolação das RNA's, de modo a desenvolver modelos de simulação de vazão para todo o estado do Espírito Santo. Considera-se que o uso das séries sintéticas, geradas no referido trabalho, também podem ter potencial de aplicação no dimensionamento de reservatórios de regularização de vazões.

Recentemente, a realidade regional do Espírito Santo tem sido marcada pelo incentivo à construção de reservatórios de acumulação de água para múltiplos usos (ESPÍRITO SANTO, 2017; SEAG, 2022). Por outro lado, o Estado é também marcado por insuficiência

de séries de dados fluviométricos na maior parte de suas bacias hidrográficas. Este fato denota o potencial de uso de séries sintéticas de vazões, como as de Rodrigues (2017) e Cesconetto (2021), para resolução de problemas associados ao incremento da disponibilidade de água, em especial, para o dimensionamento de reservatórios de regularização de vazões.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Avaliar a aplicação de dois diferentes métodos de geração de series sintéticas de vazões diárias para o dimensionamento da capacidade de reservatórios para regularização de vazão na bacia hidrográfica do rio Itapemirim (BHRI), em condições de limitação de dados.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Dimensionar reservatórios de regularização de vazão na BHRI utilizando dados provenientes de estações fluviométricas existentes;
- Dimensionar a capacidade de reservatórios de regularização de vazão na BHRI utilizando o método de geração de série sintética de vazão proposto por Rodrigues (2017);
- Dimensionar a capacidade reservatórios de regularização de vazão na BHRI utilizando o método de geração de série sintética de vazão proposto por Cesconetto (2021);
- Comparar os métodos aplicados, visando identificar o mais eficiente.

3. REVISÃO DA LITERATURA

3.1 RESERVATÓRIOS DE REGULARIZAÇÃO DE VAZÃO

Devido ao clima, geografia, geologia e fatores socioeconômicos, cada região tem adversidades únicas em termos de qualidade e quantidade de água. O surgimento das antigas civilizações às margens dos grandes rios indica a importância da água como recurso para as necessidades agrícolas, industriais, de transporte e domésticas, incluindo atividades sociais recreativas e estéticas (ALCAMO et al., 2007; PAUL e ELANGO, 2018).

Nos últimos anos, nota-se que o aumento dos padrões de consumo humano aumentou a demanda de água para a população, hidroeletricidade e para as indústrias (MEKONNEN e HOEKSTRA, 2012). Santos e Sant'Ana (2019) apontam que a pressão sobre o sistema hídrico, sem margens de segurança, intensifica a possibilidade de que o sistema sofra com o aumento do consumo e também com a redução significativa do regime de chuvas, podendo gerar um colapso no abastecimento, desencadeando racionamentos, como os já aplicados em algumas localidades, inclusive em algumas regiões que possuem reservatórios.

Os conflitos pelo uso de água, de modo geral, se iniciam quando o arranjo territorial passa por alterações e causa uma demanda por novas quantidades de água, como a construção de barramentos, transposição de canais, a irrigação de determinadas áreas, dentre outros (BRITO, 2013). Este conceito é apoiado por Mendes et al. (2015), destacando que os múltiplos usos dos recursos devem ser integrados e abordados de forma que os modelos de operação e gestão dos sistemas de recursos hídricos sejam eficientes para atender a demanda, considerando as características específicas dos usuários, a diversidade de usos e os seus diferentes requisitos. Um dos principais intensificadores desses conflitos estão associados aos períodos de escassez sazonais, irregularidade na distribuição do recurso hídrico, o aumento da demanda de água e degradação do meio ambiente (SCENZA CAVALCANTI e GARCIA MARQUES, 2016).

É necessária uma gestão sustentável que incentive medidas capazes de preservar os mananciais. Essas ações são necessárias para o objetivo de compatibilizar a oferta e a demanda, minimizando assim os conflitos. Dentre as ações, para melhorar a gestão dos recursos hídricos, destaca-se a construção de reservatórios de regularização de vazão. A implantação de reservatórios é um eficiente meio para solucionar problemas relacionados à escassez hídrica de forma temporária; entretanto, em termos globais, o conhecimento da dinâmica espaço-temporal do armazenamento em lagos e reservatórios é baixo, logo, estudos e pesquisas acerca deste

assunto são necessários suprir a demanda destas lacunas (BOMFIM et al., 2021; BUSKER et al, 2018; SILVA et al., 2020; RODRIGUES, 2017).

Os reservatórios são usados por várias outras razões, incluindo a geração de energia hidrelétrica, o controle de enchentes, o fornecimento de água para uso humano, o armazenamento de rejeitos de mineração e operações industriais, o armazenamento de água para agricultura e a possibilidades de lazer (SIQUEIRA, 2021). Entretanto, apesar da diversidade de uso, frequentes questionamentos ocorrem acerca da sustentabilidade da construção de reservatórios, devido aos potenciais impactos negativos que podem causar no âmbito econômico, ambiental e social. Deve-se então buscar, na construção de reservatórios, a adoção de metodologias assertivas na etapa de dimensionamento (RODRIGUES, 2017).

A construção de reservatórios é questionada quando são causadas grandes intervenções estruturais, que prejudicam os regimes hidrológicos naturais. Passaia et al. (2019) identificam que os reservatórios armazenam água que pode ser liberada de acordo com o padrão temporal exigido pela demanda, suavizando o hidrograma, o que impacta diretamente na sazonalidade da vazão nos cursos d'água. Entretanto, isso causa um aumento na evaporação, o que diminui a vazão total; diminui o transporte de sedimentos e nutrientes; podendo até causar uma interrupção do escoamento natural do curso do rio, que diminui a conectividade natural dentro e entre os sistemas fluviais.

Zhuo et al, (2018), Silva et al. (2020), afirmam que o armazenamento de água superficial em reservatórios artificiais no período chuvoso pode servir para reduzir a escassez no período seco. Identificam também que existe a perda de uma quantidade de água pela evaporação superficial, notando-se presente também em outros estudos. Sendo assim, é primordial o entendimento das dinâmicas para considerar as perdas e se obter o correto gerenciamento e dimensionamento dos reservatórios.

Torres et al. (2015) afirmam que o estabelecimento de uma vazão mínima constante, traz uma alteração da magnitude, frequência, duração e sazonalidade das vazões naturais do rio, desencadeando alterações nas dinâmicas fluviais e ecossistemas aquáticos. Isso pode trazer vantagens e desvantagens, sendo importante o enfoque na atenuação dos transtornos relacionados a inundações, devido a diminuição da vazão máxima e o aumento da disponibilidade hídrica para captação para abastecimento público (SILVA et al., 2020).

Em relação ao dimensionamento, Silva et al. (2020) ressaltam que a partir dos valores calculados de altura total do reservatório, é necessária a implementação de um barramento elevado, encarecendo o custo da obra caso se almeje a utilização da capacidade máxima de regularização do curso d'água. Um barramento com maior área de drenagem e maior capacidade de regularização de vazão é mais indicado do ponto de vista hidrológico, podendo suprir a necessidade hídrica durante a escassez por mais tempo. Um menor valor na profundidade relativa do reservatório facilita e potencializa a manutenção de uma melhor qualidade da água no reservatório.

Vieira (2018) destaca o dimensionamento racional como um dos principais dilemas relacionados à construção de um reservatório. O uso de métodos que determinem o volume do reservatório deve ser priorizado para o dimensionamento e construção do mesmo, de maneira que proporcione a melhor eficiência para satisfazer uma determinada demanda. A incerteza das estimativas de vazões é outro aspecto que dificulta a estimativa da capacidade do reservatório, devido a habitual insuficiência de dados e métodos disponíveis.

Segundo Biemans et al. (2006), as repercussões ambientais, econômicas e sociais são substancialmente pequenas quando os reservatórios dimensionados falham em termos de segurança hídrica, por estarem subdimensionados em relação à demanda. A menor segurança hídrica, por outro lado, pode ter consequências adicionais, como não poder atender o abastecimento público de água, gerar racionamento de energia e o custo de não conseguir fornecer à indústria a quantidade de água necessária para sustentar a produtividade. Esses efeitos são consideravelmente mais expressivos em situações onde o desenvolvimento de reservatórios é absolutamente essencial, como na região semiárida brasileira (Hauschild; Döll, 2000; WCD, 2000).

A este respeito, o planejamento de reservatórios deve encontrar um equilíbrio entre as consequências boas e negativas. Quando se trata de dimensionamento de reservatórios, metodologias mais assertivas devem ser utilizadas ao máximo, pois o aumento da segurança hídrica melhora os impactos ambientais, econômicos e sociais mencionados, enquanto a redução da segurança hídrica, ao reduzir alguns desses impactos, traz outras consequências.

O aumento da segurança hídrica proporcionados pelo dimensionamento de grandes reservatórios amplifica os efeitos mencionados acima, pois quanto maior a área alagada, maior o dano ambiental. Quando se trata de impactos econômicos, a maior segurança resulta em um aumento no custo do projeto, o que é difícil de estimar, pois inclui, além do custo de construção, o custo de realocação da população quando necessário (Araújo et al., 2004; Loucks et al., 2005).

Quando os reservatórios dimensionados, por outro lado, não proporcionam segurança hídrica por serem subdimensionados em relação à demanda, as implicações ambientais, econômicas e sociais mencionadas são significativamente reduzidas. A menor segurança hídrica, por outro lado, pode ter consequências adicionais, como abastecimento público insuficiente de água, restrição de energia e a dificuldade de fornecimento à indústria a quantidade de água necessária para continuar a produção (Briscoe, 2011; Gomide, 2012).

3.1 DADOS PARA O DIMENSIONAMENTO DE RESERVATÓRIOS

Dados fluviométricos são indispensáveis para o conhecimento da quantidade e qualidade da água disponível em bacias hidrográficas. O monitoramento hidrológico de determinada bacia é de suma importância para que a determinação do balanço hídrico e do conhecimento das inter-relações e agregações dos diversos processos envolvidos seja suficiente para garantir a gestão dos recursos hídricos. O monitoramento deve ocorrer desde a entrada de água na bacia, passando pela evaporação e percolação, pelo armazenamento da água no solo, dentre outros processos, até o deflúvio da água na foz da bacia (PEREIRA et al., 2022).

O monitoramento contínuo dos dados fluviométricos da bacia hidrográfica propicia o entendimento das possíveis mudanças de longo prazo, como usos consuntivos da água, mudanças climáticas ou uso e ocupação do solo, que pode causar a não estacionariedade de séries hidrológicas. Segundo Senra e Nascimento (2017), o desconhecimento dessas mudanças impacta no desenvolvimento e operação da infraestrutura hídrica para diversos fins, incluindo geração de energia, navegação, irrigação, abastecimento de água e controle de enchentes.

Stahli et al. (2011) afirmam que uma longa série histórica de precipitação e de vazão são importantes para que se possa obter conclusões acertadas sobre o comportamento da tendência da bacia hidrográfica e do seu uso do solo. Desta forma, existe a necessidade de se monitorar dados hidrológicos de forma contínua e em intervalos de tempo que consigam mensurar com fidelidade os fenômenos envolvidos na dinâmica da bacia hidrográfica.

As séries históricas, frequentemente além de apresentarem erros inerentes às medições, também registram falhas ou ausência de dados, isso porque na maioria das bacias hidrográficas brasileiras, muitas vezes, quando existem, os dados limitam-se ao rio principal (CECÍLIO et al., 2018). García-Peña, Arciniegas-Alarcón e Barbin (2014), citados por Ely et al. (2019),

apontam que falhas nas séries históricas de dados podem ocorrer devido ao não registro dos dados por ausência, férias, falta de treinamento dos operadores das estações hidrometeorológicas para monitorar estações automáticas ou convencionais, problemas no registro ou transmissão de dados das estações automáticas, e outras adversidades.

O dimensionamento dos reservatórios é dificultado devido principalmente a limitação do monitoramento sistemático dos mananciais. O ideal seria se o dimensionamento fosse baseado em extensas séries históricas de vazões diárias. A falta de dados fluviométricos nas bacias hidrográficas interfere diretamente nas estimativas da capacidade de reservatórios de regularização, importantes no atendimento das demandas sazonais de água (GAO et al., 2012; GAO, 2015).

A metodologia mais frequentemente indicada para o dimensionamento de reservatórios em seções sem monitoramento de dados fluviométricos, segundo Rodrigues (2017), é a regionalização da curva de regularização de vazões (RCReg), em virtude de sua simplicidade de aplicação. Trata-se de um método alternativo para obtenção da curva de regularização do local sem monitoramento, utilizando as vazões de locais monitorados na mesma região hidrologicamente homogênea. Mediante as limitações desta metodologia, como considerar apenas a demanda fixa no tempo e a impossibilidade de associar um fator de frequência (período de retorno), Rodrigues (2017) propôs uma nova metodologia para o dimensionamento da capacidade de reservatórios, baseada na geração e utilização de séries sintéticas espaciais de vazões diárias, para utilização em seções com limitações na disponibilidade de dados fluviométricos. Rodrigues (2017) concluiu que o uso da série sintética proposta se caracterizou como um procedimento eficiente para o dimensionamento de reservatórios de regularização de vazões.

Devido à falta de dados hidrológicos, principalmente de vazões, faz-se necessário utilizar métodos alternativos que possibilitem a obtenção das informações requeridas (Pinheiro; Naghetinni, 2007), como a regionalização de vazões. Contudo, para o dimensionamento de reservatórios, a utilização de séries contínuas de dados é mais indicada, principalmente quando se considera uma demanda variável no tempo (RAZAVI; COULIBALY, 2013). Portanto, devido às limitações da regionalização da curva de regularização de vazões, bem como devido à ineficiência dos métodos de preenchimento de falhas em séries históricas de vazões, a geração de séries sintéticas de vazões tem se apresentando como uma solução potencial, para suprir a

falta de séries históricas, como por exemplo a metodologia desenvolvida por Rodrigues (2017), cujos dados podem ser utilizados para outros fins além do dimensionamento de reservatórios.

Nesse sentido, Cesconetto (2021) propôs outro método para a geração de séries sintéticas de vazões diárias em bacias hidrográficas, utilizando redes neurais artificiais (RNA's), usando como dados de entrada dados diários de precipitação e outras variáveis (área e mês do ano). Cesconetto (2021) ajustou modelos de simulação de vazão para bacias de todo o estado do Espírito Santo, tendo concluído que o método se mostrou relativamente eficiente, mesmo quando aplicado em bacias não utilizadas no processo de treinamento das RNA's, tendo potencial como ferramenta de suporte à decisão na gestão e planejamento dos recursos hídricos. As séries sintéticas obtidas também podem ser utilizadas para diversos fins, incluindo o dimensionamento de reservatórios de regularização de vazão.

Uma RNA é um sistema de processamento de dados massivamente distribuído e paralelo, possuindo certas características de desempenho que se assemelham a redes neurais biológicas do cérebro humano. Seu desenvolvimento é baseado em regras, como: o processamento dos dados ocorre em vários elementos únicos, denominados neurônios; os sinais são passados entre os neurônios através de ligações ou conexões; cada ligação tem um peso associado que representa sua força de conexão; e em cada neurônio normalmente se aplica uma transformação não-linear, chamada função de ativação, para limitar seu resultado de saída. Normalmente, as RNA's são compostas por três partes: uma camada de entrada contendo variáveis de entrada (*inputs*), uma ou mais camadas ocultas, contendo função de ativação; e uma camada de saída (*output*) contendo um ou mais neurônios (HAYKIN, 2001).

Estimativas provenientes dos chamados métodos modelo-independentes, como a técnica de RNA's, têm sido utilizadas mais recentemente com grande potencialidade na predição de vazões contínuas, e como opção ao uso de modelos chuva-vazão, sobretudo quando não há disponibilidade de dados suficientes para a aplicação de modelos hidrológicos (métodos modelo-dependentes) (RODRIGUES, 2017).

3.4. BACIA HIDROGRÁFICA DO ITAPEMIRIM

A Bacia Hidrográfica do Rio Itapemirim (BHRI) está localizada na região Sul do estado do Espírito Santo, situada entre as latitudes de 20°10' e 21°00' Sul e longitude de 41°00' e 41°30'

Oeste, abrangendo, todo ou em parte, os seguintes municípios: Alegre, Atílio Vivácqua, Cachoeiro de Itapemirim, Castelo, Conceição de Castelo, Ibatiba, Ibitirama, Irupi, Itapemirim, Iúna, Jerônimo Monteiro, Muniz Freire, Muqui, Presidente Kennedy, Vargem Alta, Venda Nova do Imigrante (OLIVEIRA, 2018; THIAGO et al, 2020).

Segundo Leal (2018), a BHRI possui área de 5.919,5 km², o que corresponde a 12,8% do território do estado do Espírito Santo, sendo a maior e principal bacia do Sul do estado, abrangendo a maior parte desta região. O Rio Itapemirim é o seu principal curso d'água, com origem na confluência dos córregos Braço Norte Direito e Braço Norte Esquerdo na parte média da bacia. Posteriormente, o Rio Itapemirim recebe as águas dos rios Castelo e Muqui do Norte, desaguando no Oceano Atlântico (OLIVEIRA, 2018), com sua foz localizada no município de Itapemirim.

De acordo com a Agência Estadual de Recursos Hídricos (AGERH) do estado do Espírito Santo (2020), a área de drenagem da BHRI tem nascentes localizadas na região do Parque Nacional do Caparaó e na Serra de São Domingos, próximos à divisa com o estado de Minas Gerais. Possui precipitação anual média de 1.320 mm/ano, com uma estação seca e os déficits hídricos ocorrendo entre os meses de maio e outubro, e a estação chuvosa entre novembro a abril.

Álvares et al. (2013) e Leal (2018) descrevem a topografia da bacia como bastante acidentada, principalmente ao longo dos divisores de água na Serra do Caparaó, na parte oeste. Os climas existentes na bacia, pela classificação de Köppen, são Cwa – Subtropical úmido, com inverno seco, Cwb – verão temperado na região serrana, e Aw – tropical com inverno seco e verão chuvoso nas regiões mais baixas. O bioma existente na região é o de Mata Atlântica.

Na história da evolução e crescimento de Cachoeiro de Itapemirim, principal cidade do sul do Espírito Santo, o Rio Itapemirim ocupa uma posição importante, sendo o protagonista no processo de colonização, que foi iniciada e realizada às margens deste rio, por onde se escoava a produção agrícola (BERNARDO e ESPINDULA, 2020). A colonização do estado do Espírito Santo teve um papel significativo no desmatamento da maior parte das florestas nativas do estado, incluindo a região Sul. As mudanças ambientais produzidas pelo processo de ocupação foram evidentes, a começar pela destruição sistemática da flora natural para dar lugar aos cafezais, que foram abandonados quando se tornaram pouco produtivos devido às más técnicas agrícolas utilizadas, que em seguida deram lugar às pastagens. Além do uso agrícola,

a expansão populacional é uma das constatações mais óbvias em relação ao uso do solo, pois exige um uso mais intenso da área (DOMINGOS, 2006; FIORESE et al., 2019).

Cerca de 14% da população do estado do Espírito Santo é atendido pela BHRI, na qual as atividades agrícolas e silviculturais (produção industrial sucroalcooleira e na produção agropecuária) possuem importante papel na economia de seus municípios (GARDIMAN et al., 2012), além da exploração mineral de rochas ornamentais (extração e beneficiamento de mármore e granito). A região de Cachoeiro de Itapemirim tornou-se então um importante polo econômico, por ser uma das primeiras regiões a ter ligação com o Rio de Janeiro pela linha férrea, o que atraiu os investimentos industriais como as fábricas de tecido, cimento e papel, serraria industrial e a exploração de Mármore e Granito, que atualmente funcionam juntamente com outras modalidades, como as indústrias de aguardente, frigoríficas e cooperativas de derivados do leite (PASTRO, 2012).

As atividades desempenhadas na BHRI corroboram com a existência da totalidade das áreas hoje ocupadas por pastagens, que no passado eram ocupadas por florestas nativas (Mata Atlântica) e seus ecossistemas associados (SATTLER, 2006). A AGERH (2020) constata que a medida que se percorre a bacia em direção a sua foz, ocorre um aumento das áreas de pastagens, favorecendo os processos erosivos e de assoreamento. Entretanto, este fato não altera expressivamente o balanço hídrico quantitativo atual. O mapa de uso e ocupação do solo, realizado por Leal (2018), demonstra a presença de 2920 km² de pastagem (49,3%), 1294 km² de mata nativa (21,9%) e 219 km² de afloramento rochoso (3,7%), além de 60 km² de solo exposto (1,0%). Estes são parâmetros essenciais para o estudo hidrológico da bacia. Vale lembrar que a área total da bacia contempla diversos usos, como: cafezais, plantios de pinus e eucalipto, cultivos temporários, bananais, mangues, restingas e outros.

4. MATERIAL E MÉTODOS

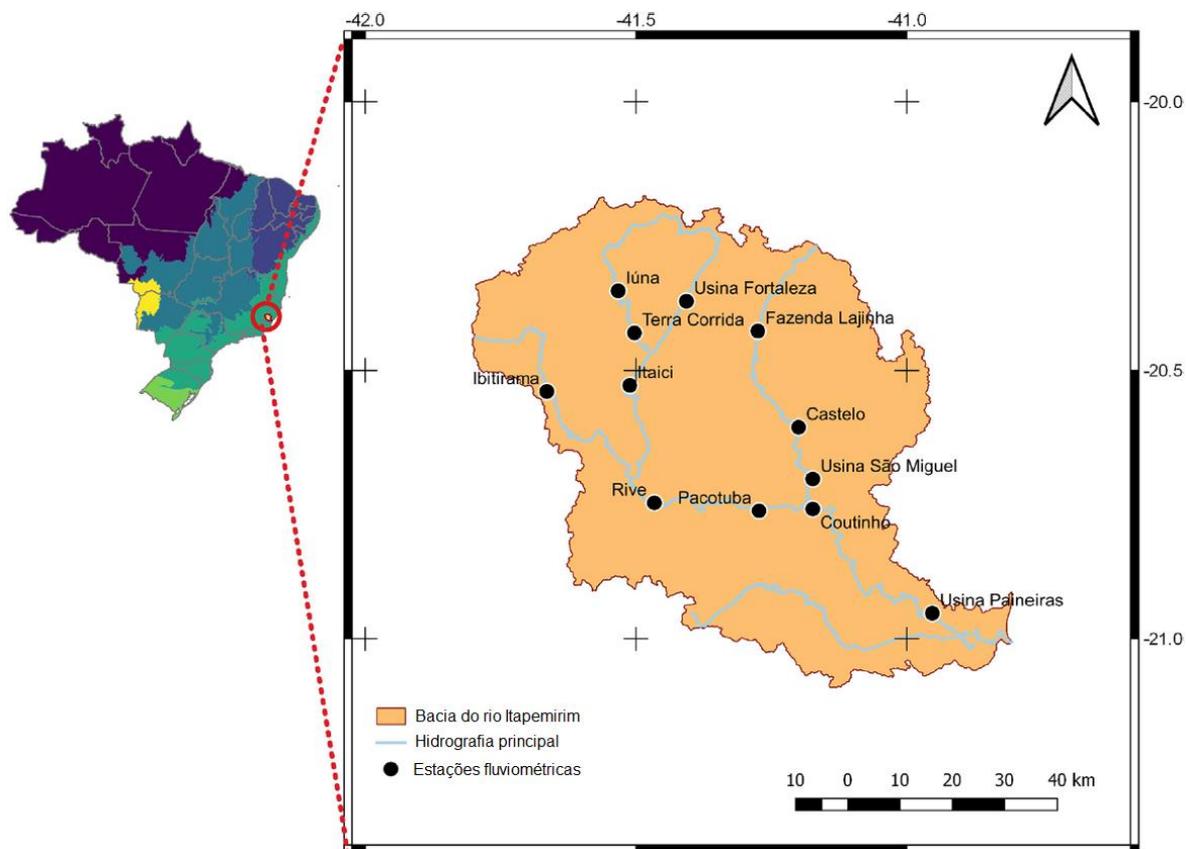
No presente estudo foram avaliados dois métodos (RODRIGUES, 2017 e CESCO NETTO, 2021) para a geração de séries sintéticas de dados diários de vazão aplicados para o dimensionamento da capacidade (volume) de reservatórios de regularização de vazão. Utilizaram-se dados de estações fluviométricas localizadas na bacia hidrográfica do rio Itapemirim. Para cada estação, reservatórios foram dimensionados utilizando dados medidos de vazão, sendo os resultados considerados como referência para comparação. Em seguida, reservatórios foram dimensionados utilizando métodos que usam dados limitados (séries sintéticas), sem utilizar dados medidos de vazão. Finalmente, os resultados foram comparados, visando identificar o melhor método para dimensionar reservatórios sob condição de limitação de dados.

4.1. ÁREA EM ESTUDO

A área em estudo (Figura 1) compreende a Bacia Hidrográfica do Rio Itapemirim (BHRI), situada na região sul do estado do Espírito Santo, com área de drenagem de cerca de 6.000 km², contendo áreas de 19 municípios. Desta forma, a BHRI se mostra uma das mais importantes no estado do Espírito Santo, além de dispor de uma quantidade razoável de postos de monitoramento fluviométrico, com uma estação a cada 545 km².

Foram utilizados dados diários de vazão observadas nas estações fluviométricas (Tabela 1) no período de 1981 a 2016 (36 anos), disponibilizados no Sistema de Informações Hidrológicas - HydroWeb (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2016). Dentre as estações apresentadas na Figura 1, apenas a estação de Ibitirama (57420000) não foi utilizada, por apresentar inconsistência nos dados, conforme relatado por Cesconetto (2021).

Figura 1 – Localização da bacia hidrográfica do Rio Itapemirim, no estado do Espírito Santo, com as estações fluviométricas a serem utilizadas no estudo.



FONTE: Vilanova et al. (2019).

Tabela 1. Estações fluviométricas da bacia do Rio Itapemirim a serem utilizadas no presente estudo.

Código	Estação	Curso d'água	Período utilizado
57350000	Usina Fortaleza	Rio Braço Norte Esquerdo	1981-2016
57360000	Iúna	Rio Pardo	1981-2016
57370000	Terra Corrida Montante	Rio Pardo	1981-2016
57400000	Itaipaci	Rio Braço Norte Esquerdo	1981-2016
57450000	Rive	Rio Itapemirim	1981-2016
57460000	Pacotuba	Rio Itapemirim	1985-2009
57476500	Fazenda Laginha	Rio Castelo	1985-2016
57490000	Castelo	Rio Castelo	1981-2016
57550000	Usina São Miguel	Rio Castelo	1981-2015
57555000	Coutinho	Rio Itapemirim	1981-2009
57580000	Usina Paineiras	Rio Itapemirim	1981-2015

4.2. DIMENSIONAMENTO DE RESERVATÓRIOS DE REGULARIZAÇÃO DE VAZÕES UTILIZANDO DADOS OBSERVADOS DE VAZÃO

Para cada estação fluviométrica contida na Tabela 1, utilizando os dados diários das séries históricas de vazão, foi calculada a capacidade de reservatórios (CR) de regularização de vazão.

Os reservatórios foram dimensionados considerando demanda fixa, conforme a equação de regularização abaixo, adotando-se valores de β iguais a 0,25, 0,50, 0,75 e 1,00:

$$\beta = \frac{\text{Vazão regularizada (m}^3 \text{ s}^{-1}\text{)}}{\text{Vazão média de longa duração (m}^3 \text{ s}^{-1}\text{)}} \quad (1)$$

Em que, β = fração da vazão média de longa duração a ser regularizada (decimal).

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

Os reservatórios foram dimensionados utilizando dois métodos, seguindo-se os mesmos procedimentos realizados por Rodrigues (2017), para fins de comparação dos resultados:

a) Determinação da capacidade do reservatório sem a associação com o período de retorno

Neste caso, foi utilizado o método das diferenças acumuladas (MDA) ou máximo déficit acumulado (LANNA, 1993), no qual se fez o somatório dos déficits entre a vazão afluyente e a vazão necessária para atender a demanda (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 do reservatório com a associação do período de retorno

Para associar a CR a um período de retorno, utilizou-se funções de densidade de probabilidade (FDP's) (KITE, 1977), aplicando a Equação 2.

$$CR_T = \bar{x} + k s \quad (2)$$

Em que, CR_T = capacidade do reservatório associada a um período de retorno T (hm^3); \bar{x} = média dos volumes de déficits acumulados (hm^3); k = fator de frequência (adimensional); e s = desvio padrão dos volumes de déficits acumulados (hm^3).

Foram testadas cinco FDP's (Gumbel, Pearson III, Log Pearson III, Log Normal II, e Log Normal III), adotando-se aquela com melhor ajuste aos dados (FDP com menor erro padrão). Foram calculadas CR's com períodos de retorno de 10, 20, 50 e 100 anos, para uma melhor análise dos resultados e comparação com Rodrigues (2017).

Pela regra de operação anual, foi calculado o volume de déficit acumulado para cada ano da série histórica, obtendo n déficits, sendo n o número de anos da série. A CR (associada ao T desejado) é calculada aplicando-se as FDP's (Equação 2) aos valores de déficits.

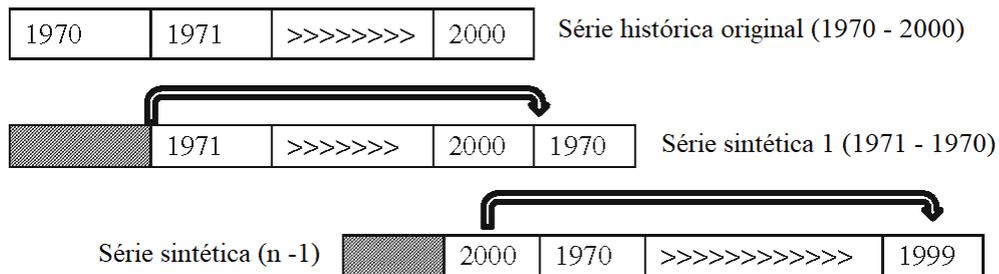
Pela regra de operação plurianual, como todos os anos da série histórica de vazão são analisados conjuntamente, não se pode aplicar FDP's para calcular a CR associada a um período de retorno, pois apenas uma CR é obtida para cada série histórica de vazão.

Assim, visando estimar várias CR's, para possibilitar a aplicação das FDP's e calcular CR's associadas a períodos de retorno, foi utilizado o MDAM – método das diferenças acumuladas modificado (NUNES e PRUSKI, 2015).

No MDAM, 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 ilustrado por Nunes e Pruski (2015) – Figura 2, supondo uma série histórica com período base de 1970 a 2000, a primeira série sintética temporal é criada a partir da realocação do ano de início (1970) para o final da série (após o ano de 2000), com 1971 passando a ser o primeiro ano da nova série (série sintética 1). Este procedimento é repetido,

passando também 1971 para o final da série e assim por diante, até que se chegue à última série possível de ser criada, série sintética (n-1).

Figura 2. Ilustração do procedimento de criação de séries sintéticas temporais pelo método das diferenças acumuladas modificado.



Fonte: Nunes e Pruski (2015).

Dessa forma, de posse de n séries de vazão, compostas pela série histórica original e mais as $(n-1)$ séries sintéticas temporais, calculou-se o volume de déficit acumulado em cada uma. A CR, associada a cada T desejado, foi calculada aplicando-se FDP's (Equação 2) aos valores de déficits.

Os volumes dos reservatórios dimensionados, utilizando os dados medidos de vazão, foram adotados como referência para a comparação dos métodos avaliados (séries sintéticas), descritos na sequência.

4.3. DIMENSIONAMENTO DE RESERVATÓRIOS UTILIZANDO SÉRIES SINTÉTICAS DE DADOS DE VAZÃO

Para cada estação fluviométrica contida na Tabela 1, sem utilizar seus dados medidos de vazão, foi calculada a capacidade de reservatórios de regularização de vazão, a partir de séries sintéticas geradas utilizando os dados diários observados (séries históricas) das outras $n-1$, sendo n o número total de estações (11). Este procedimento é denominado de validação cruzada ou *leave-on-out*.

4.3.1. Método proposto por Rodrigues (2017)

No presente estudo foram geradas e utilizadas séries sintéticas observadas (SSo) de vazões diárias, utilizando o método proposto por Rodrigues (2017), no período adotado de 1981 a 2016. A SSo foi gerada utilizando dados diários de vazão observados e a vazão média de longa duração específica (q_{mld}) também observada, obtidos nas estações fluviométricas localizadas na mesma região hidrologicamente homogênea da seção de interesse. No presente estudo, apenas uma região hidrologicamente homogênea foi considerada, abrangendo toda a BHRI, conforme considerado por Cecílio et al. (2018).

Para se calcular a vazão diária na seção de interesse ($Q_{SI,d}$), a vazão diária específica de cada estação fluviométrica utilizada foi multiplicada pela razão entre a vazão média de longa duração específica (q_{mld}) na seção de interesse (regionalizada) e a vazão média de longa duração (q_{mld}) na seção de controle de cada estação fluviométrica utilizada (observada). Em seguida, multiplica-se o valor médio deste produto, considerando todas as estações utilizadas, pela área de contribuição da seção de interesse (Equação 3).

$$Q_{SI,d} = \frac{\sum_{i=1}^n \left[q_{EFi,d} \left(\frac{q_{mldSI}}{q_{mldEFi}} \right) \right]}{n} \times A_{SI} \quad (3)$$

Em que: $Q_{SI,d}$ é a vazão na seção de interesse no dia d , $m^3 s^{-1}$; d é o dia; n é o número de estações fluviométricas consideradas; $q_{EFi,d}$ é a vazão específica na estação fluviométrica i no dia d , $m^3 s^{-1} km^{-2}$; q_{mldSI} é a vazão média de longa duração específica na seção de interesse (dado regionalizado), $m^3 s^{-1} km^{-2}$; q_{mldEFi} é a vazão média de longa duração específica, na estação fluviométrica i (dado observado), $m^3 s^{-1} km^{-2}$; e A_{SI} é a área de contribuição da seção de interesse, km^2 .

A Q_{mldSI} nas seções de interesse foi estimada utilizando o método tradicional, proveniente da regionalização de vazões realizada por Cecílio et al. (2018) na bacia hidrográfica do rio Itapemirim (Equação 4). Em seguida, a q_{mldSI} foi calculada, dividindo-se a Q_{mldSI} pela área de drenagem situada à montante da seção de interesse (km^2) – A_d .

$$Q_{mldSI} = 0,927841 P_{eq750}^{0,971292} \quad (4)$$

Em que, P_{eq750} = vazão equivalente ao volume precipitado, considerando-se a subtração do fator de abstração de 750 mm da precipitação para a formação das vazões (PRUSKI et al., 2012), $m^3 s^{-1}$.

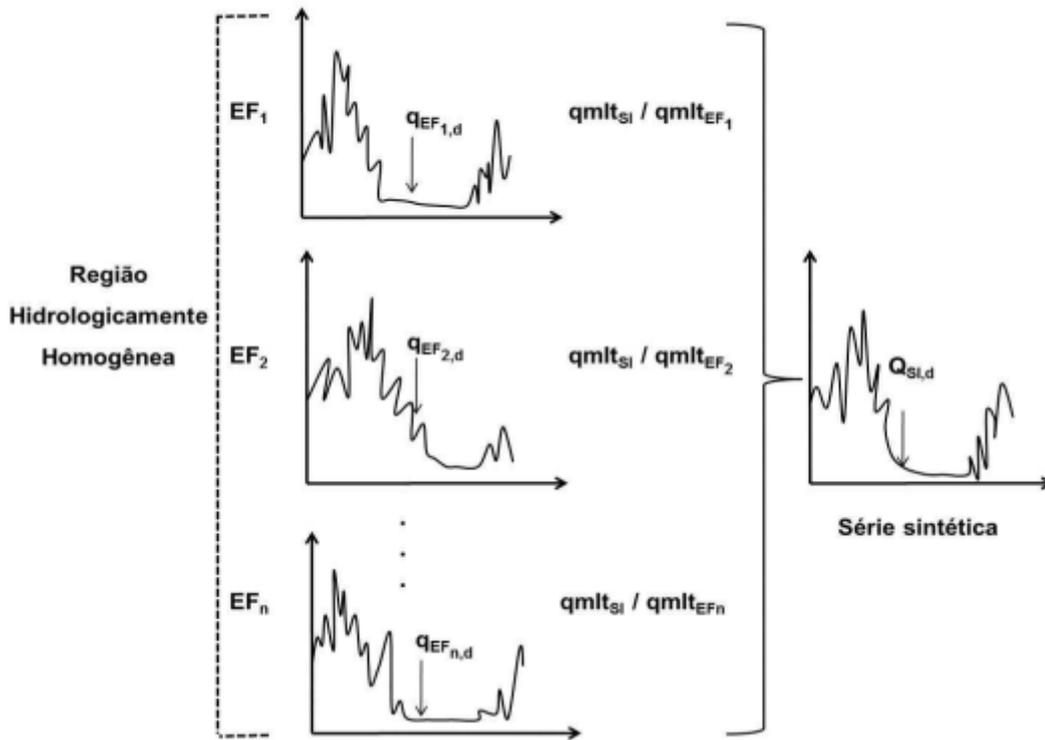
$$P_{eq750} = \frac{(P_a - 750) A_d}{31536} \quad (5)$$

Para calcular a P_{eq750} , foram utilizados dados de precipitação diária, do período 1981 a 2016, disponibilizados por Xavier, King e Scanlon (2015), em *grids* com resolução de $0,25^\circ \times 0,25^\circ$ (27,78 km), utilizando os valores do centroide de cada pixel. Os dados de precipitação utilizados foram os valores médios ocorridos na área de drenagem pertinente a cada estação fluviométrica utilizada, calculados através de polígonos de Thiessen.

As séries sintéticas foram geradas pela aplicação repetida da Equação 3 para cada dia das séries históricas contidas no período base das estações fluviométricas, utilizando-se todas as estações da BHRI consideradas no estudo, conforme exemplificado na Figura 3, com exceção da própria estação existente na seção de interesse. Os cálculos foram realizados utilizando o programa *Hydrology Plus*.

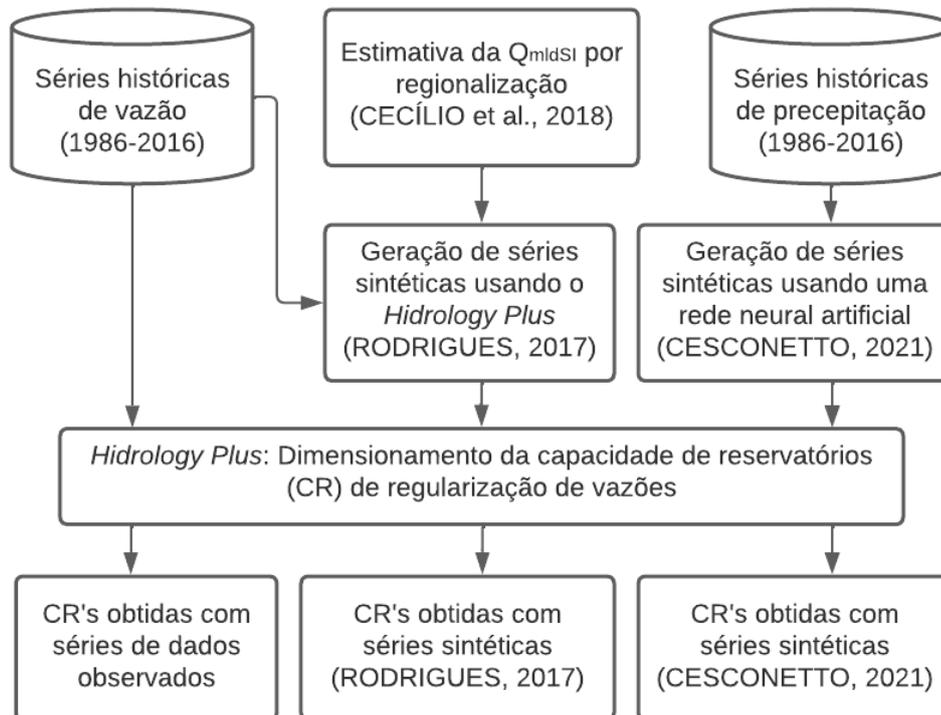
Após a geração das séries sintéticas, os reservatórios de regularização de vazão foram dimensionados para cada estação fluviométrica, seguindo-se os mesmos procedimentos descritos anteriormente (item 4.2), substituindo-se as séries de dados observados pelas respectivas séries sintéticas de vazão diária. Um fluxograma ilustrando as etapas do presente trabalho é apresentado na Figura 4.

Figura 3 – Representação esquemática da obtenção das séries sintéticas de vazões.



Fonte: Rodrigues (2017).

Figura 4 – Fluxograma ilustrando as etapas realizadas no presente trabalho.



Fonte: o autor.

4.3.2. Método proposto por Cesconetto (2021)

Para o dimensionamento de reservatórios de regularização de vazões, foram geradas e utilizadas, também, séries sintéticas de vazões diárias utilizando o modelo geral proposto por Cesconetto (2021), no período de 1981 a 2016.

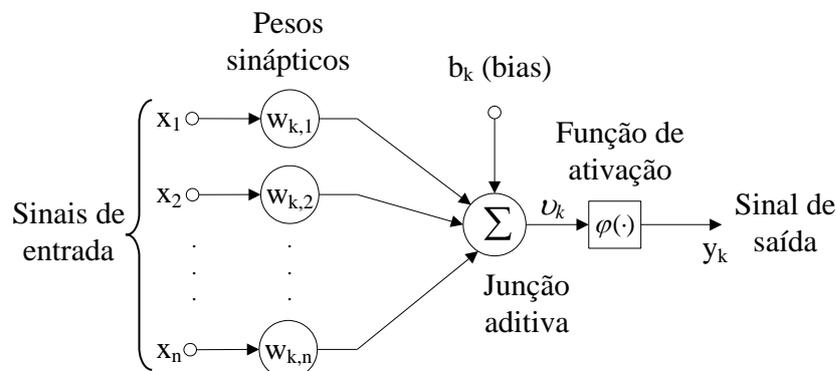
Dentre os modelos testados por Cesconetto (2021), o modelo geral foi adotado neste estudo por possuir maior capacidade de generalização (extrapolação), pelo fato de ter sido obtido a partir do treinamento de uma RNA utilizando simultaneamente dados de diversas bacias hidrográficas localizadas em todo o estado do Espírito Santo, tendo apresentando melhores resultados nas bacias localizadas no sul do estado.

O modelo geral representa uma rede neural artificial do tipo MLP (*perceptron* de múltiplas camadas), contendo: uma camada de entrada com 14 variáveis; uma camada intermediária com 30 neurônios e função de ativação tangente hiperbólica-sigmoide (Equação 6); e um neurônio na camada de saída, com a mesma função de ativação.

$$f(x) = \frac{2}{1 + e^{-2x}} - 1 \quad (6)$$

Cada neurônio da rede neural artificial MLP possui os elementos básicos apresentados na Figura 5.

Figura 5 – Representação de um neurônio artificial, conforme utilizado por Cesconetto (2021).



Fonte: HAYKIN (2001).

Onde: x_n são as entradas, $w_{k,n}$ são os pesos, sendo k igual ao número do neurônio, \sum é a junção aditiva (soma todos os sinais de entrada), b_k é o limiar (bias) do neurônio, v_k é a resultante entre o combinador linear e o limiar, $\varphi(\cdot)$ é a função de ativação (restringe a amplitude de saída e adiciona não-linearidade ao modelo) e y_k é o resultado obtido.

Matematicamente, o neurônio apresentado na Figura 5 pode ser representado pelas equações 7 e 8, com a função de ativação (Equação 6) aplicada na Equação 8:

$$v_k = \sum_{i=1}^n w_{k,i} x_i + b_k \quad (7)$$

$$y_k = \varphi(v_k) \quad (8)$$

O modelo geral de RNA MLP proposto por Cesconetto (2021) permite estimar a vazão (Q) de um curso d'água em determinado dia (t) utilizando os seguintes dados de entrada:

$$Q_t = f(P_t; P_{t-1}; P_{t-2}; P_{t-3}; P_{t-4}; P_{t-5}; P_{t-6}; P_{t-7}; P_{t-8}; P_{30}; P_{60}; P_{90}; \text{Mês}; \text{Área}) \quad (9)$$

Em que, P_t = precipitação ocorrida (mm) no mesmo dia da vazão simulada (Q_t); P_{t-n} = precipitação ocorrida (mm) no n -ésimo dia anterior à vazão simulada; P_{30} , P_{60} e P_{90} = precipitações acumuladas (mm) em 30, 60 e 90 dias anteriores, respectivamente; Mês = número do mês de ocorrência da vazão simulada (1 a 12); e Área = área de drenagem (km^2) à montante do local (curso d'água) onde a vazão está sendo simulada.

Os dados de precipitação utilizados (XAVIER, KING e SCANLON, 2015) como entrada foram os valores médios ocorridos na área de drenagem pertinente a cada estação fluviométrica utilizada, calculados através de polígonos de Thiessen.

Após a geração das séries sintéticas, utilizando *scripts* implementados por Cesconetto (2021) no programa MATLAB[®], os reservatórios de regularização de vazão foram dimensionados para cada estação fluviométrica, seguindo-se os mesmos procedimentos descritos anteriormente (item 4.2), substituindo-se as séries de dados observados pelas respectivas séries sintéticas de vazão diária.

4.5. AVALIAÇÃO DAS METODOLOGIAS DE ESTIMATIVA DA CAPACIDADE DE RESERVATÓRIOS

Através das metodologias propostas por Rodrigues (2017) e Cesconetto (2021), foram obtidas, para cada estação fluviométrica, as capacidades dos reservatórios (volume) calculados.

Os resultados foram comparados, para identificação do melhor método, tendo-se como referências os volumes dos reservatórios calculados usando as séries históricas de vazões diárias de cada estação fluviométrica. Para tanto, utilizaram-se gráficos (dados observados versus estimados), bem como indicadores estatísticos, como o coeficiente de determinação R^2 , o índice de eficiência de Nash-Sutcliffe (NSE) e o índice de qualidade de dimensionamento de reservatórios (IQD).

O coeficiente de determinação (R^2) varia 0 a 1, mostrando o quanto os modelos utilizados conseguem explicar os valores observados (Equação 10). Quanto maior o valor de R^2 , mais explicativo é o modelo e melhor ele se ajusta à amostra.

$$R^2 = \frac{(\sum(V_{obs} - \overline{V_{obs}})(V_{est} - \overline{QV_{est}}))^2}{\sum(V_{obs} - \overline{V_{obs}})^2 \sum(V_{est} - \overline{V_{est}})^2} \quad (10)$$

Em que: V_{obs} = volume do reservatório calculado com dados observados de vazão; V_{est} = volume estimado usando os métodos avaliados; $\overline{V_{obs}}$ = volume médio calculado com dados observados; $\overline{V_{est}}$ = volume médio estimado usando os métodos avaliados. Todas as unidades em hm^3 .

Já o coeficiente de Nash-Sutcliffe (NSE) varia de infinito negativo até o valor máximo de 1, que representará a eficiência máxima (Equação 11). Este método é amplamente utilizado para a avaliação da eficiência de modelos hidrológicos.

$$NSE = 1 - \frac{\sum(Q_{obs} - Q_{calc})^2}{\sum(Q_{obs} - \overline{Q_{obs}})^2} \quad (11)$$

Foi calculado ainda o índice de qualidade de dimensionamento de reservatórios proposto por Rodrigues (2017), obtido pela Equação 12:

$$IQD = \frac{n}{\sum_{i=1}^n [ER_+ + (ER_- \times FP)]} \quad (12)$$

$$ER = \frac{CR_{Estimada} - CR_{Observada}}{CR_{Observada}} \quad (13)$$

Em que: IQD é o índice de qualidade do dimensionamento, adimensional; n é o número de estações fluviométricas utilizadas; ER+ é o erro relativo positivo de cada estação fluviométrica; ER- é o erro relativo negativo de cada estação fluviométrica; e, FP é o fator peso cujo valor adotado foi -1,5 (RODRIGUES, 2017).

No dimensionamento da capacidade de reservatórios para regularização de vazão, normalmente as subestimativas são mais destrutivas do que as superestimativas, pois nessas circunstâncias o projeto não consegue cumprir sua meta de satisfação da demanda. Metodologias que subestimam a capacidade de um reservatório devem ser penalizadas; porém, isso não ocorre quando se emprega um índice baseado em módulos. A ocorrência de superestimativas e subestimativas é respeitada ao utilizar o IQD, diferentemente do R² e NSE, que operam em módulo, pois a análise do ER é realizada entre os CR. O valor IQD varia de 0 a +; quanto maior o número, menor o valor do ER. A CR de cada metodologia para cada estação fluviométrica pode ser maior ou menor que o CR real (RODRIGUES, 2017).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2 são apresentados dados hidrológicos pertinentes às áreas de contribuição das 11 estações fluviométricas utilizadas no presente estudo. As bacias utilizadas, com séries históricas disponíveis de vazão (período de 1981 a 2016), são todas relativamente grandes, com área de drenagem variando de 195 a 5168 km². A partir dos dados de área de drenagem e precipitação média anual observados, foram calculados os valores de P_{eq750} , para aplicação da regionalização proposta por Cecílio et al. (2018), obtendo-se a vazão média de longa duração regionalizada em cada estação fluviométrica. As vazões médias regionalizadas foram utilizadas para a geração de séries sintéticas de vazão diária, conforme proposto por Rodrigues (2017).

Tabela 2. Dados das bacias de contribuição pertinentes às estações fluviométricas da bacia do Rio Itapemirim utilizadas no presente estudo (período de 1981 a 2016).

Código	Q_{mid} (m³/s)	Ad (km²)	Pa (mm)	P_{eq750} (m³/s)	Q_{mid reg.} (m³/s)
57350000	4,52	195,8	1.384,7	3,94	3,51
57360000	7,77	432,3	1.363,6	8,41	7,34
57370000	10,63	586,5	1.373,7	11,6	10,03
57400000	18,07	1.045,4	1.384,9	21,05	17,9
57450000	43,49	2.218,4	1.403,7	45,98	38,22
57460000	48,59	2.720,6	1.415,3	57,4	47,41
57476500	7,48	435,8	1.385,4	8,78	7,65
57490000	14,74	975,4	1.417,3	20,64	17,56
57550000	22,49	1.458,8	1.451,9	32,47	27,26
57555000	76,88	4.510,4	1.446,3	99,59	80,97
57580000	82,52	5.167,9	1.415,3	109,02	88,41

Q_{mid}: vazão média de longa duração observada; Ad: área de drenagem à montante da estação fluviométrica; Pa: precipitação anual média observada na área de drenagem a estação fluviométrica; P_{eq750}: vazão equivalente ao volume precipitado, com subtração do fator de abstração (750 mm); e Q_{mid reg.}: vazão média de longa duração regionalizada.

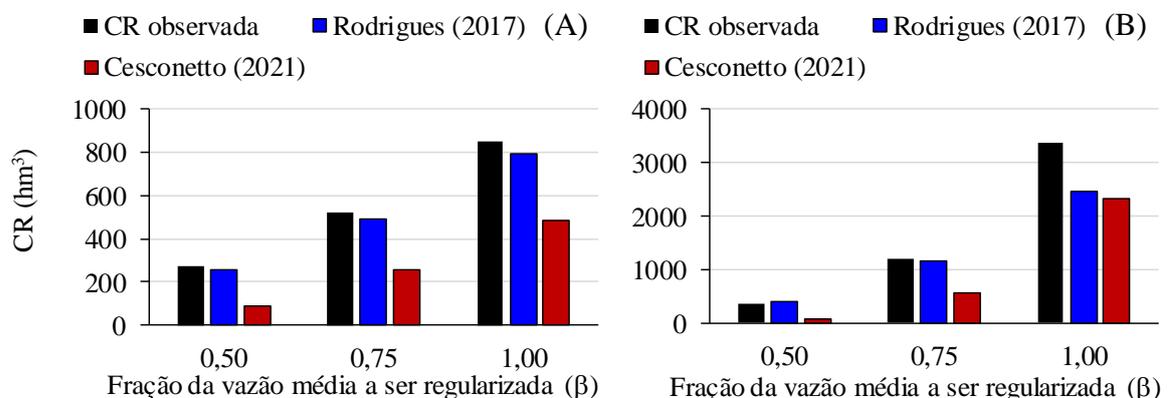
Com os dados de precipitação diária de cada estação fluviométrica (séries históricas), foram geradas também séries sintéticas de vazão diária utilizando redes neurais artificiais, conforme proposto Cesconetto (2021). A partir de ambas as séries sintéticas de vazões, juntamente com as séries históricas de vazões observadas, reservatórios de regularização de vazões foram dimensionados, cujos resultados são apresentados na sequência, e no Apêndice A.

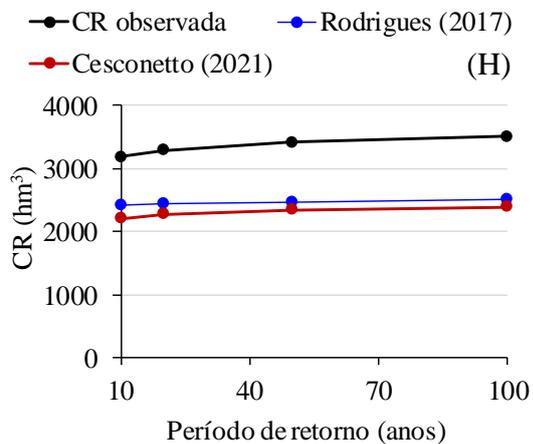
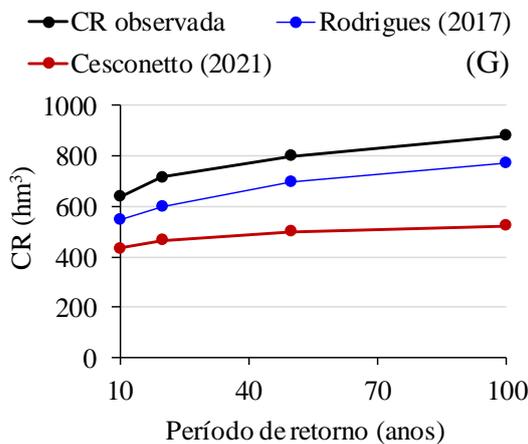
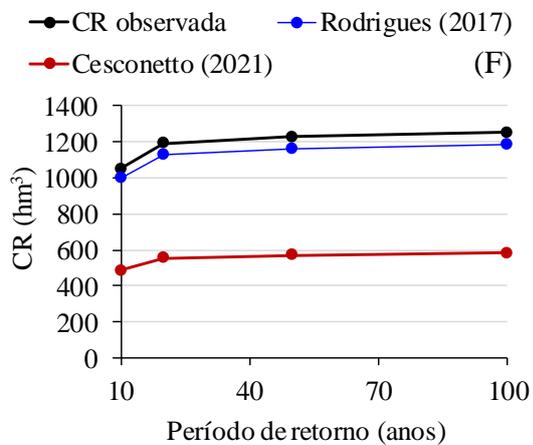
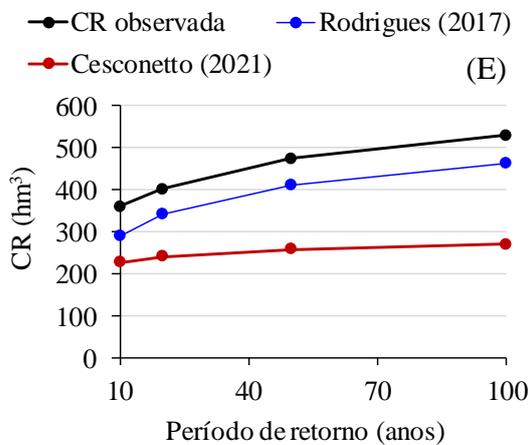
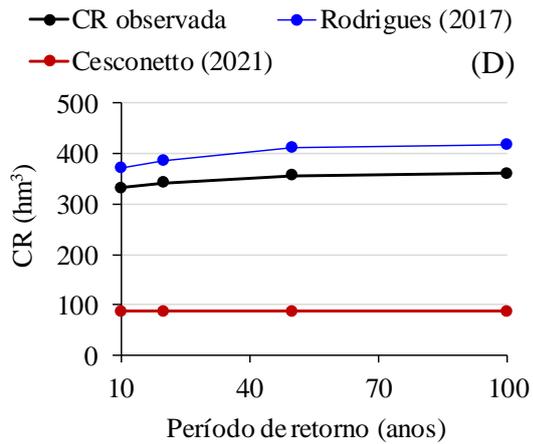
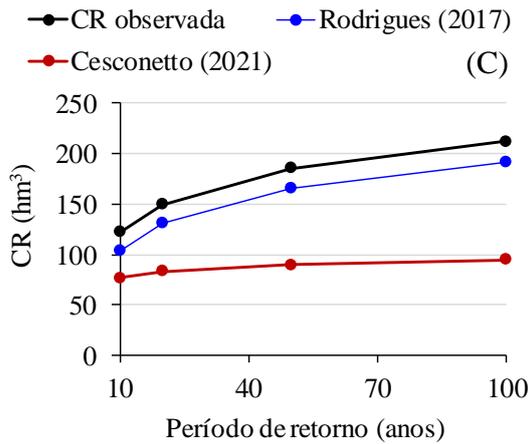
Inicialmente, foram dimensionados reservatórios utilizando valores de β iguais a 0,25; 0,50; 0,75; e 1,00, considerando períodos de retorno de 10, 20, 50 e 100 anos, para as regras de operação de reservatório anual e plurianual. Entretanto, após uma análise preliminar dos resultados, observou-se que, ao dimensionar a CR usando $\beta=0,25$, alguns métodos não apresentaram bom ajustamento à CR observada, apresentando inclusive resultados inconsistentes (indeterminações matemáticas ou valores nulos). Diante disso, optou-se por descartar a apresentação e análise dos resultados para $\beta = 0,25$.

Tal inconsistência nos valores de CR, obtidos com $\beta=0,25$, foram provavelmente produzidos devido à insignificância dos volumes dos reservatórios calculados, uma vez, que para uma pequena fração da vazão média, o resultado obtido também é pequeno, não justificando a necessidade da construção de reservatórios, uma vez que a própria vazão do curso d'água seria suficiente para manter a demanda hídrica satisfatoriamente.

Na Figura 6 são apresentados os valores de CR estimados com as séries sintéticas de vazão, em comparação com as CRs obtidas com as vazões observadas. Adotou-se, como exemplo, a estação fluviométrica 57450000 (Rive), devido à sua representatividade, por possuir uma área de drenagem intermediária, estando localizada numa posição média da BHRI.

Figura 6. Dimensionamento da capacidade de reservatórios (CR) para a estação fluviométrica 57450000 (Rive): sem considerar período de retorno, com regra de operação anual (A) e plurianual (B); e considerando períodos de retorno, com $\beta=0,50$ anual (C) e plurianual (D), com $\beta=0,75$ anual (E) e plurianual (F), e com $\beta=1,00$ anual (G) e plurianual (H).





Nos gráficos (A) e (B) são apresentados os comportamentos dos métodos avaliados sem considerar o período de retorno nos regimes anual e plurianual, respectivamente, para cada valor de β , demonstrando um melhor ajustamento da metodologia proposta por Rodrigues (2017) em relação a CR observada. Porém, a associação da CR a um período de retorno (T) pode garantir o aumento da segurança hídrica, possibilitando menores riscos e impactos. Além disso,

pode-se promover uma maior confiabilidade para o dimensionamento dos reservatórios (Pegram et al., 1980; ASCE, 1996).

Sugere-se a utilização de abordagens que considerem a relação do CR com o T, embora requeiram uma natureza mais sofisticada, o uso da abordagem MDAM e das funções densidade de probabilidade não implicam em uma quantidade significativa de mão de obra adicional que justifique sua não consideração. O dimensionamento de reservatórios para regular as secas com base em abordagens que incorporem um fator de frequência (T) é mais adequado, segundo Naghettini e Pinto (2007), pois a intensidade de um evento de seca está associada à sua frequência de recorrência.

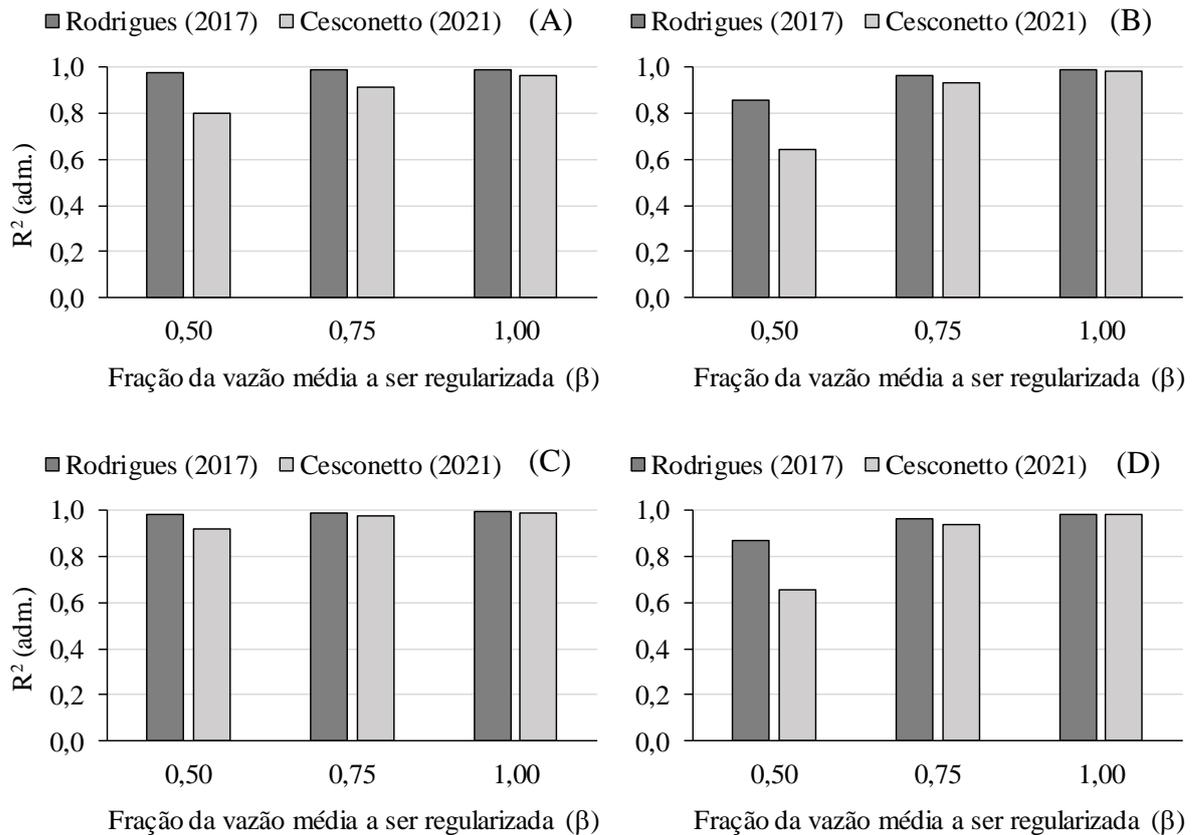
Ao analisar os gráficos (C) e (D), calculados com $\beta=0,50$, com regra de operação anual e plurianual, respectivamente, claramente se observa que o método proposto por Rodrigues (2017) obteve um melhor ajustamento em comparação ao método de Cesconetto (2021), mantendo-se o mesmo padrão quando calculado com $\beta=0,75$, conforme observado nos gráficos (E) e (F), existindo uma tendência de subdimensionamento dos reservatórios quando se usa a série sintética proposta por Cesconetto (2021).

Em contrapartida, ao analisarem-se os gráficos (G), onde foram calculadas CRs para $\beta=1,00$, com regra de operação anual, nota-se uma melhora considerável do método proposto por Cesconetto (2021), demonstrando um ainda melhor ajustamento quando se usa a regra plurianual, com o mesmo valor de β , conforme consta no gráfico (H).

De forma geral, comportamentos semelhantes ao da estação de Rive (57450000) foram observados para todas as demais estações fluviométricas testadas, com o método proposto por Rodrigues (2017) apresentando melhores resultados, uma vez que as CRs estimadas com as séries sintéticas propostas por Cesconetto (2021) apresentaram tendência de subestimar mais as CRs observadas. Esta tendência pode ser visualizada a partir dos resultados médios apresentados na sequência.

Na Figura 7 são apresentados os coeficientes de determinação (R^2) para os cálculos realizados sem período de retorno, bem como os valores obtidos pela média dos períodos de retorno testados (10, 20, 50 e 100 anos), considerando-se as regras de operação anual e plurianual.

Figura 7. Valores do coeficiente de determinação (R^2): 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).

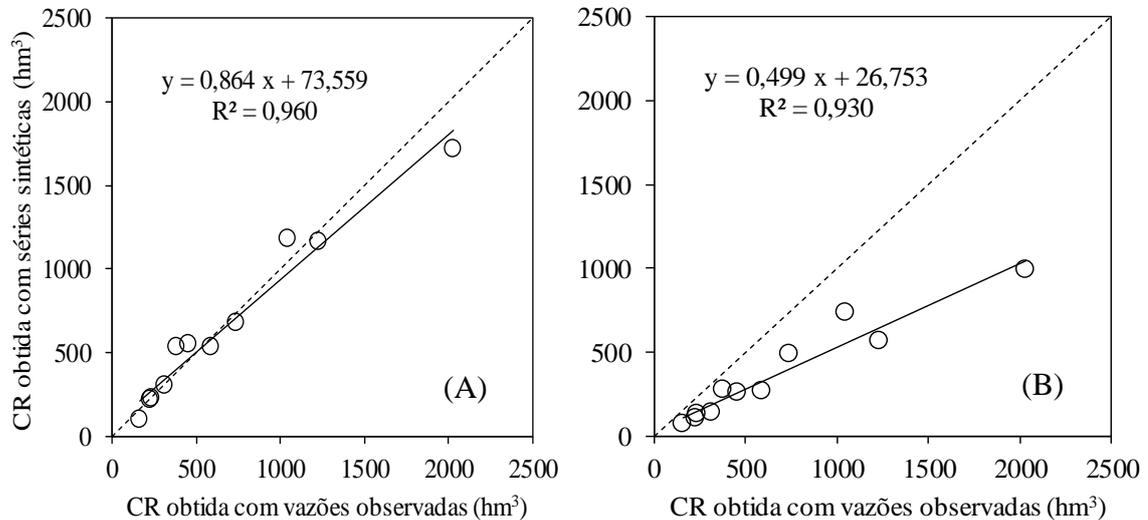


Segundo Charnet et al. (2008), o coeficiente de determinação pode variar de 0 a 1, sendo considerado melhor o ajuste quanto mais próximo de 1, entre os dados de referência e os estimados, apresentando melhor desempenho o método de Rodrigues (2017).

Ao avaliar os gráficos (A) e (B), referentes aos valores de R^2 obtidos com ausência de período de retorno, para os regimes anual e plurianual, respectivamente, nota-se que o método proposto por Rodrigues (2017) obteve um melhor desempenho; porém, ao se avaliar os gráficos (C) e (D), considerando a média dos períodos de retorno, percebe-se que, apesar do método de Rodrigues (2017) ter apresentado melhor desempenho, tanto no regime anual quanto no regime plurianual, o método proposto por Cesconetto (2021) também apresentou ajustamento satisfatório quando calculado para valores de β a partir de 0,75.

Para fins de ilustração dos resultados, são apresentados na Figura 8 exemplos de gráficos de dispersão entre as CRs obtidas com as séries históricas de vazão e as CRs obtidas com as séries sintéticas propostas por Rodrigues (2017) e Cesconetto (2021). Embora o R^2 tenha apresentado valores próximos, com variação de apenas 3%, nota-se claramente, nos gráficos, que o ajuste proporcionado pela série sintética proposta por Rodrigues (2017) é melhor, com os pontos mais próximos da reta pontilhada (1:1).

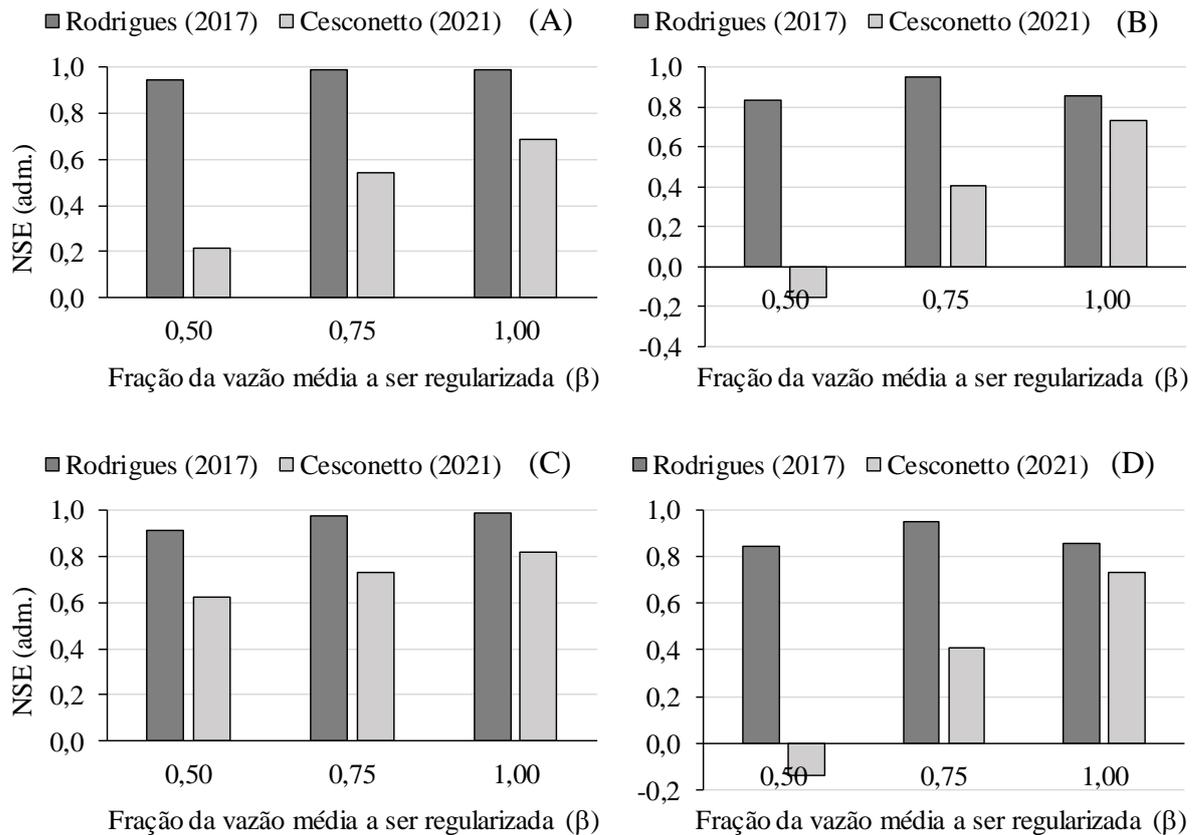
Figura 8. Gráficos de dispersão entre capacidades de reservatórios (CRs) estimadas com vazões observadas e séries sintéticas de vazões geradas com os métodos propostos por (A) Rodrigues (2017) e (B) Cesconetto (2021), com $\beta=0,75$, $T=50$ anos e regra de operação plurianual.



Ao se analisar os valores de R^2 na Figura 7, percebe-se que, na maior parte dos testes realizados, os resultados obtidos com as séries sintéticas de Rodrigues (2017) e Cesconetto (2021) possuem ajustes relativamente semelhantes. Entretanto, embora o coeficiente de determinação seja amplamente utilizado na literatura científica, este não é indicador conclusivo para a avaliação do desempenho de modelos, entre dados observados e estimados, motivo pelo qual outros indicadores estatísticos também foram utilizados no presente trabalho (NSE e IQD).

Na Figura 9 são apresentados os valores de NSE para os cálculos realizados 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 maiores valores de NSE, em relação às séries sintéticas propostas por Cesconetto (2021), que chegou até a apresentar NSE negativo para $\beta=0,50$ plurianual. O NSE pode variar de $-\infty$ a 1, sendo considerado melhor o ajuste quanto mais próximo de 1, entre os dados de referência e os estimados (Krause et al., 2005). Dessa forma, os resultados obtidos utilizando-se as séries sintéticas propostas por Rodrigues (2017) são considerados melhores.

Figura 9. Valores do coeficiente 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).

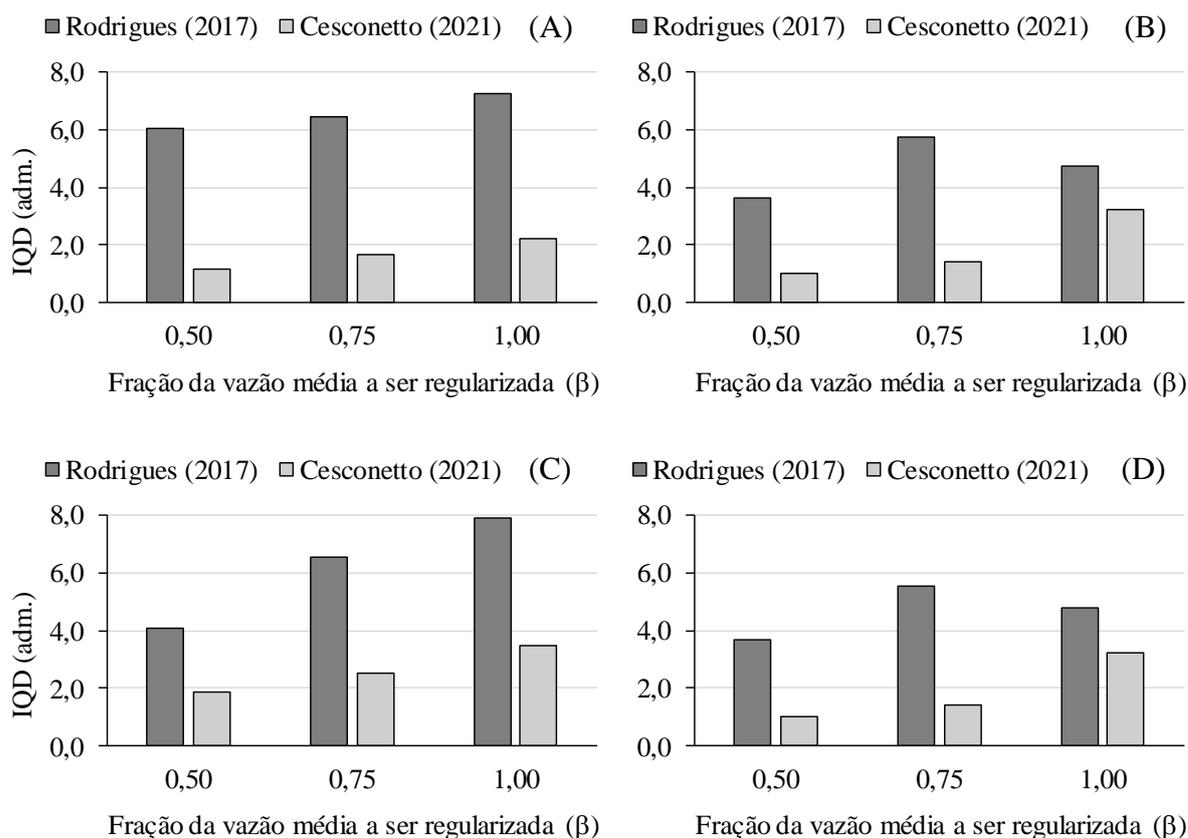


Ao analisar os gráficos (A) e (B), que apresentam os valores de NSE com ausência de período de retorno, para as regras anual e plurianual, respectivamente, nota-se que o método de Rodrigues (2017) resultou em melhor desempenho, apresentando um bom ajustamento com relação à CR observada.

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

Na Figura 10 são apresentados os valores de IQD para os cálculos realizados sem período de retorno, bem como os valores obtidos a partir da média dos períodos de retorno testados (10, 20, 50 e 100 anos), considerando as regras de operação anual e plurianual.

Figura 10. Valores do índice de qualidade de dimensionamento de reservatórios (IQD): 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).



Observando os gráficos (A) e (B), onde o período de retorno não foi considerado, nos regimes anual e plurianual, respectivamente, o método proposto por Rodrigues (2017) apresentou melhor desempenho, repetindo comportamento semelhantes quando se considerou a média dos períodos de retorno, demonstrados nos gráficos (C) e (D).

Analisando-se conjuntamente os resultados obtidos pelo coeficiente de Nash-Sutcliffe - NSE (Figura 9) e o índice de qualidade de dimensionamento de reservatórios - IQD (Figura 10), percebe-se que o método proposto por Cesconetto (2021) apresentou resultados melhores quando associados a maiores valores de β (valores crescentes). Entretanto, o método de Rodrigues (2017) apresentou melhor desempenho geral que o método proposto por Cesconetto (2021), para estimar a capacidade de reservatórios de regularização de vazões.

O IQD pode variar de zero a infinito, com um valor maior indicando um erro relativo menor, entre a CR estimada e a CR calculada pela metodologia de referência (dados observados). O valor de IQD é uma medida de quão bem as abordagens se comparam, com um valor maior indicando uma metodologia melhor para dimensionar a capacidade de reservatórios. O IQD foi proposto por Rodrigues (2017), como um indicador que penaliza mais as subestimativas e menos as superestimativas no dimensionamento da capacidade de reservatórios, pois quando os reservatórios são subestimados, o projeto pode não cumprir sua

meta de atender a demanda hídrica. Os resultados obtidos com o IQD no presente trabalho demonstraram diferenças mais evidentes entre os dois métodos avaliados, sendo um índice mais adequado para a avaliação do dimensionamento de reservatórios (RODRIGUES, 2017).

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. 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 séries sintéticas propostas por Cesconetto (2021), depende-se somente da existência de estações com dados de chuva e vazão (séries históricas), para que se possa treinar (ajustar) uma rede neural artificial e aplicá-la para a geração de séries sintéticas de vazão. Esta relativa maior simplicidade de aplicação, nos dados de entrada, pode ampliar a utilização do método em locais com limitação de dados e estudos.

A BHRI possui uma relativa alta densidade de estações fluviométricas, em comparação com outras bacias brasileiras. Este fato favorece o ajuste de melhores equações de regionalização, como no trabalho realizado por Cecílio et al. (2018), utilizado no presente estudo, resultando em melhores estimativas da vazão média de longa duração. Como esta vazão média regionalizada foi utilizada na geração das séries sintéticas propostas por Rodrigues (2017), tal fato pode ter favorecido os resultados no dimensionamento de reservatórios.

Além disso, enquanto as séries sintéticas de vazão propostas por Rodrigues (2017) foram obtidas utilizando somente dados de uma única região hidrologicamente homogênea (BHRI), o modelo geral (RNA) proposto por Cesconetto (2021), também utilizado para gerar séries sintéticas de vazão, foi ajustado para todo o estado do Espírito Santo, com diferentes regiões hidrológicas. Este fato representa mais um motivo que pode ter influenciado nos resultados, desfavorecendo o modelo geral proposto por Cesconetto (2021).

Uma condição de melhor equidade, para a comparação dos resultados oriundos das séries sintéticas propostas por Cesconetto (2021), com aqueles advindos do método proposto por Rodrigues (2017), poderia ser obtida a partir do ajuste de uma rede neural artificial utilizando somente dados da região hidrologicamente homogênea da BHRI, otimizando-se os parâmetros do modelo, assim como as variáveis de entrada. Tal estudo não foi objetivo no presente trabalho, ficando como recomendação para a realização em trabalhos futuros.

6. CONCLUSÕES

Após a análise dos resultados, com base nos testes realizados, pode-se concluir que o método proposto por Rodrigues (2017) apresentou desempenho superior ao método de geração de séries sintéticas proposto por Cesconetto (2021), para o dimensionamento da capacidade de reservatórios de regularização de vazões, em condições de limitação de dados, na bacia hidrográfica do rio Itapemirim.

As séries sintéticas de vazões geradas utilizando o método proposto por Cesconetto (2021) tenderam a subdimensionar as capacidades dos reservatórios, principalmente para menores vazões a serem regularizadas ($\beta < 0,75$).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGERH (Agência Estadual de Recursos Hídricos). Manual Operativo dos Planos de Recursos Hídricos Capixabas: Bacia Hidrográfica do Rio Itapemirim. **De olho no Rio: Do Plano ao MOP**. 2020.

ALCAMO, J; FLÖRKE, M; MÄRKER, M. Future long-term changes in global water resources driven by socio-economic and climatic changes. **Hydrological Sciences Journal**, v. 52, n. 2, p. 247-275, 2007.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. D. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

ARAÚJO, J. C.; MELO, A. M. C.; FREITAS, J. C. A. Otimização da altura de uma barragem de terra homogênea. **Revista Tecnologia**, v. 25, n. 1, 2004.

ASCE - American Society of Civil Engineers. **Hydrology Handbook**. 2.ed. American Society of Civil Engineers, 784 p. 1996.

BERNARDO, J. L.; ESPINDULA, L. Rio e pertencimento em processos de urbanização: o caso de Cachoeiro de Itapemirim/es. **Pensar Acadêmico**, v. 18, n. 2, p. 246-267, 2020.

BIEMANS, H.; BRESSER, T.; SCHAIK, H.; KABAT P. **Water and climate risks: a plea for climate proofing of water development strategies and measures; 4th World Water Forum, March 2006**. Co-operative Programme on Water and Climate, 2006.

BOMFIM, B. C. D. S.; SANT'ANA, D. R. Análise dos usos-finais de água de uma quitinete em Brasília. In: SANT'ANA, D. **Água e o ambiente construído**. Ponta Grossa (PR): Atena, 2021. Cap. 3. p. 25-36.

BRISCOE, John. Invited opinion interview: two decades at the center of world water policy. **Water Policy**, v. 13, n. 2, p. 147, 2011.

BRITO, F. B. **Conflitos pelo acesso e uso da água: integração do Rio São Francisco com o Paraíba (Eixo Leste)**. 370 f. 2013. Tese (doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do

Sul. Instituto de Geociências. Programa de pós-graduação em Geografia, Porto Alegre: UFRGS/Posgea, 2013.

BUSKER, T.; ROO, A.; GELATI, E.; SCHWATKE, C.; ADAMOVIC, M.; BISSELINK, B.; COTTAM, A. A global lake and reservoir volume analysis using a surface water dataset and satellite altimetry. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 23, n. 2, p. 669-690, 2019.

CAVALCANTI, B. S.; MARQUES, G. R. G. Recursos hídricos e gestão de conflitos: A bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Sul a partir da crise hídrica de 2014-2015. **Revista de Gestão dos Países de Língua Portuguesa**, v. 15, n. 1, p. 4-16, 2016.

CECÍLIO, R. A.; ZANETTI, S. S.; GASPARINI, K. A. C.; CATRINCK, C. N. Avaliação de métodos para regionalização das vazões mínimas e médias na bacia do rio Itapemirim. **Revista Scientia Agraria**, v. 19, n. 2, p. 122-132, 2018.

CESCONETTO, L. B. **Aplicação de redes neurais artificiais para a modelagem hidrológica de bacias hidrográficas**. 90f. 2021. Tese (Doutorado) – Ciências Florestais, Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2021.

CHARNET, R.; FREIRE, C. D. L.; CHARNET, E. M.; BONVINO, H. 2. ed. Análise de modelos de regressão linear com aplicações. **Campinas: Unicamp**, 368p. 2008.

CHIANG, S. M.; TSAY, T. K.; NIX, S. J. Hydrologic regionalization of watersheds. II: Applications. **Journal of water resources planning and management**, v. 128, n. 1, p. 12-20, 2002.

DAUS, M.; KOBERGER, K.; GNUTZMANN, N.; HERTRICH, T.; GLASER, R. Transferring water while transforming landscape: New societal implications, perceptions and challenges of management in the reservoir system Franconian Lake District. **Water**, v. 11, n. 12, p. 2469, 2019.

DOMINGOS, J. L. Estimativa de perda de solo por erosão hídrica em uma bacia hidrográfica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 15., 2006, Aracaju. **Resumos...** Serra Talhada: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 2006.

DOMOKOS, M.; GILYÉN-HOFER, A. Regionalized estimation of reservoir capacity-yield curves in Hungary. **IAHS-AISH publication**, v. 191, p. 239-251, 1989.

ELY, D. F.; LIMBERGER, L.; MANGILI, F. B.; GAMERO, P.; SCHMENGLER, M. Análise de métodos para o preenchimento de falhas aplicados em séries de dados pluviométricos do estado do Paraná (Brasil). **Raega-O Espaço Geográfico em Análise**, v. 51, p. 122-142, 2021. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/raega/article/view/72944/44327>>. Acesso em: 01 maio 2022. doi: <http://dx.doi.org/10.5380/raega.v51i0.72944>.

EMPINOTTI, V. L.; GONTIJO, W. C.; OLIVEIRA, V. E. Federalism, water, and (de) centralization in Brazil: The case of the São Francisco River water diversion. **Regional Environmental Change**, v. 18, n. 6, p. 1655-1666, 2018.

ESPÍRITO SANTO (Estado). Lei Complementar nº 881, de 26 de dezembro de 2017. Estabelece o Programa Estadual de Segurança e Eficiência de Barragens – PESB e dá outras providências. **Assembleia Legislativa do Espírito Santo**, Poder Legislativo, Vitória, ES. Disponível em: <<https://www3.al.es.gov.br/Arquivo/Documents/legislacao/html/lec8812017.html>>

FIGLIARELLI, C. H.; LEITE, V.; LOPES, T. Cobertura florestal no trecho urbano da área de preservação permanente do Rio Itapemirim, município de Cachoeiro de Itapemirim-ES, Brasil. **Enciclopédia Biosfera**, v. 16, n. 29, 2019.

GAO, H. Satellite remote sensing of large lakes and reservoirs: From elevation and area to storage. **WIREs Water**, v. 2, n. 2, p. 147-157, 2015.

GAO, H.; BIRKETT, C.; LETTENMAIER, D. P. Global monitoring of large reservoir storage from satellite remote sensing. **Water Resources Research**, v. 48, n. 9, 2012.

GARDIMAN, B. S.; MAGALHÃES, I. A. L.; FREITAS, C. A. A.; CECÍLIO, R. A. Análise de técnicas de interpolação para espacialização da precipitação pluviométrica na bacia do rio Itapemirim (ES) Analysis of interpolation techniques for spatial rainfall distribution in river basin Itapemirim (ES). **Ambiência**, v. 8, n. 1, p. 61-71, 2012.

GOMIDE, F. L. S. Sobre Reservatórios e Segurança Hídrica. **Organização Industrial e Engenharia**, Curitiba. 2012.

HAUSCHILD, M.; DÖLL, P. Use in Semi-arid Northeastern Brazil-Modeling and Scenario Analysis. Report A0003. **Center for Environmental Systems Research, University of Kassel, Kassel**, 2000.

HAVLÍČEK, M.; DOSTÁL, I.; PAVELKOVÁ, R. Water Reservoirs as a Driver of Anthropogenic Changes in Landscape and Transport Networks: The Czech Republic Experience. **Water**, v. 14, n. 12, p. 1870, 2022.

HAYKIN, S. **Redes neurais: princípios e prática**. 2. ed. Porto Alegre: 2001. p. 900.

KITE, G.W. Frequency and risk analyses in hydrology. **Highlands Ranch: Water Resources Publications**. 1977.

KRAUSE, P.; BOYLE, D. P; BÄSE F. Comparison of different efficiency criteria for hydrological model assessment. **Advances in geosciences**, v. 5, p. 89-97, 2005.

LANNA, A. E. Regularização de vazões em reservatórios. TUCCI, C. E. M. **Hidrologia. Ciência e aplicação**, Porto Alegre: UFRGS, p. 703-725, 1993.

LEAL, A. P. P. N.; CECILIO, R.; ZANETTI, S. Pegada Hídrica na bacia hidrográfica do Rio Itapemirim. **Scientia Agraria**, v. 19, n. 2, p. 100-111, 2018.

LOUCKS, D. P.; VAN BEEK, E.; STEDINGER, J. R.; DIJKMAN, J. P.; VILLARS, M. T. Water resources systems planning and management: Chapter 9 Model sensitivity and uncertainty analysis. 2005.

MEES, A. **Qualidade de água em reservatórios**. Unidade I. Brasília: ANA, 2016. Disponível em: <http://capacitacao.ana.gov.br/conhecerh/bitstream/ana/74/2/Unidade_1.pdf> Acesso em: 15/09/2021.

MEKONNEN, M.; M., HOEKSTRA, A.Y. A global assessment of the water footprint of farm animal products. **Ecosystems**, v. 15, n. 3, p. 401-415, 2012. <https://doi.org/10.1007/s10021-011-9517-8>

MENDES, L. A.; BARROS, M. T. L.; ZAMBON, R. C.; YEH, W. W-G. Trade-off analysis among multiple water uses in a hydropower system: Case of São Francisco River Basin,

Brazil. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v. 141, n. 10, p. 04015014, 2015

MILLINGTON, N. Producing water scarcity in São Paulo, Brazil: The 2014-2015 water crisis and the binding politics of infrastructure. **Political Geography**, v. 65, p. 26-34, 2018.

MULTSCH, S.; KROL, M. S.; PAHLOW, M.; ASSUNÇÃO, A. L.; BARRETTO, A. G.; DE JONG VAN LIER, Q.; BREUER, L. Assessment of potential implications of agricultural irrigation policy on surface water scarcity in Brazil. **Hydrology and earth system sciences**, v. 24, n. 1, p. 307-324, 2020.

NAGHETTINI, M.; PINTO, E. J. A. Hidrologia Estatística. Belo Horizonte, **CPRM-Serviço Geológico do Brasil, Brasil**. 2007.

NUNES, A. A.; PRUSKI, F. F. Improving the determination of reservoir capacities for drought control. **Stochastic environmental research and risk assessment**, v. 29, n. 1, p. 183-191, 2015.

NUNES, A. A., PRUSKI, F. F., PAULA, M. H.; REIS, B. C. M. Optimization of sizing of annual water storage reservoirs considering return period association. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 44, n. 1, 2022.

OBREGON, E.; TUCCI, C. E.; GOLDENFUM, J. A. Regionalização de vazões com base em séries estendidas: bacias afluentes à Lagoa Mirim, RS. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 4, n. 1, p. 57-75, 1999.

OLIVEIRA, J. P.; NEVES, M. A.; CALEGARI, S. S.; GUADAGNIN, F. Compartimentação morfoestrutural da Bacia Hidrográfica do Rio Itapemirim, sul do estado do Espírito Santo. **Geologia USP. Série Científica**, v. 18, n. 2, p. 57-70, 2018.

PASSAIA, O. A.; PAIVA, R. C. D. D.; BRÊDA, J. P. L. F. Análise exploratória do comportamento de reservatórios do Sistema Interligado Nacional. **Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos (23.: Foz do Iguaçu, 2019). Anais [recurso eletrônico]. Porto Alegre: ABRH, 2019, 2019.**

PASTRO, M. S. **Estabelecimento de diretrizes para um programa de manejo de nascentes na Bacia do Rio Itapemirim – ES**. 54 f. 2012. Monografia (Trabalho de conclusão de curso - Engenharia Florestal) Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica, Rio de Janeiro. 2012.

PAUL, N.; ELANGO, L. Predicting future water supply-demand gap with a new reservoir, desalination plant and waste water reuse by water evaluation and planning model for Chennai megacity, India. **Groundwater for Sustainable Development**, v. 7, p. 8-19, 2018.

PEGRAM, G. G. S. On reservoir reliability. **Journal of Hydrology**, v. 47, n. 3-4, p. 269-296, 1980.

PEREIRA, M. A. F.; BARBIEIRO, B. L.; QUEVEDO, D. M. D. Importância do monitoramento e disponibilização de dados hidrológicos para a gestão integrada dos recursos hídricos. **Sociedade & Natureza**, v. 32, p. 292-303, 2022.

PINHEIRO, V. B.; NAGHETTINI, M. Calibração de um modelo chuva-vazão em bacias sem monitoramento fluviométrico a partir de curvas de permanência sintéticas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 15, n. 2, P. 143-156, 2010.

POST, D. A.; JONES, J. A.; GRANT, G. E. An improved methodology for predicting the daily hydrologic response of ungauged catchments. **Environmental modelling & software**, v. 13, n. 3-4, p. 395-403, 1998.

PRUSKI, F. F.; NUNES, A. A.; REGO, F.S.; SOUZA, M. F. Extrapolação de equações de regionalização de vazões mínimas: Alternativas para atenuar os riscos. **Water Resources and Irrigation Management-WRIM**, v. 1, n. 1, p. 51-59, 2012.

RAZAVI, T.; COULIBALY, P. Streamflow prediction in ungauged basins: review of regionalization methods. **Journal of hydrologic engineering**, v. 18, n. 8, p. 958-975, 2013.

RODRIGUES, N. C. **Dimensionamento da capacidade de reservatórios de regularização de vazões utilizando séries sintética**. 89 f. 2017. Tese de Doutorado: Universidade Federal de Viçosa - UFV. Viçosa - MG. 2017.

SANTOS, S.; SANT'ANA, D. Análise do potencial de redução do consumo de água potável pelo aproveitamento de águas pluviais e reúso de águas cinzas na rodoviária do Plano Piloto de Brasília-DF. **Paranoá**, n. 23, p. 84-92, 2019.

SATTLER, M. A. Variabilidade espacial de atributos de um Argissolo vermelho-amarelo sob pastagem e vegetação nativa na bacia hidrográfica do Itapemirim. 98 f. 2016. Dissertação de Mestrado em Produção Vegetal. Universidade Federal do Espírito Santo. Alegre-ES. 2006.

SEAG (Secretaria de Estado da Agricultura, Abastecimento, Aquicultura e Pesca - Estado do Espírito Santo). **Programa de crédito para construção de barragens está em fase final de estruturação**. Disponível em: < <https://seag.es.gov.br/Not%C3%ADcia/programa-de-credito-para-construcao-de-barragens-esta-em-fase-final-de-estruturacao> >. Acesso em: 14 julho 2022.

SENRA, J. B.; NASCIMENTO, N. O. Após 20 anos da lei das águas como anda a Gestão Integrada de Recursos Hídricos do Brasil, no âmbito das Políticas e Planos Nacionais setoriais. **REGA**, v. 14, n. 6, 2017.

SILVA, G. J.; SOUZA FRAGA, M.; SILVA, D. D. Estudo da capacidade de regularização de vazão na bacia do Ribeirão São Bartolomeu visando abastecimento público. **Nativa**, v. 8, n. 1, p. 102-111, 2020.

SIQUEIRA, F. B. Conflitos De Usos Múltiplos Dos Recursos Hídricos E Reservatórios Hidrelétricos No Brasil. 155 f. 2021. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2021.

SOUSA, J. R. C. D. Hydrology Plus: sistema computacional para estudos meteorológicos e hidrológicos. 145 f. 2017. Tese (Doutorado Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa – UFV. Viçosa, MG. 2017.

STAHLI, M.; BADOUX, A.; LUDWIG, A.; STEINER, K.; ZAPPA, M.; HEGG, C. One century of hydrological monitoring in two small catchments with different forest coverage. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 174, n. 1, p. 91-106, 2011.

THIAGO, C. R. L.; MAGALHÃES, I. A. L.; SANTOS, A. R. Identificação de Fragmentos Florestais Potencias para a delimitação de Corredores Ecológicos na bacia hidrográfica do Rio

Itapemirim, ES por meio técnicas de Sensoriamento Remoto. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 2, p. 595-612, 2020.

TORRES, C. J. F.; BRAMBILLA, M.; FONTES, A. S.; MEDEIROS, Y. D. P. Conflitos pelo uso da água para a irrigação, geração de energia hidroelétrica e manutenção do ecossistema aquático no baixo trecho do Rio São Francisco. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 4, p. 195-210, 2015.

TUNDISI, J. G. Reservoirs: new challenges for ecosystem studies and environmental management. **Water Security**, v. 4, p. 1-7, 2018.

VIEIRA, P. R. Dimensionamento de reservatórios em região semiárida utilizando séries sintéticas. 53 f. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa- UFV. Viçosa- MG. 2018.

VILANOVA, R. S.; ZANETTI, S. S.; CECÍLIO, R. A. Assessing combinations of artificial neural networks input/output parameters to better simulate daily streamflow: Case of Brazilian Atlantic Rainforest watersheds. **Computers and electronics in agriculture**, v. 167, p. 105080, 2019.

VÖRÖSMARTY, C. J.; PAHL-WOSTL, C.; BUNN, S. E.; LAWFORD, R. Global water, the anthropocene and the transformation of a science. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, v. 5, n. 6, p. 539-550, 2013.

WINTON, R. S.; CALAMITA, E.; WEHRLI, B. Reviews and syntheses: Dams, water quality and tropical reservoir stratification. **Biogeosciences**, v. 16, n. 8, p. 1657-1671, 2019.

WORLD COMMISSION ON DAMS. **Dams and development: A new framework for decision-making: The report of the world commission on dams**. Earthscan, 2000.

XAVIER, A. C.; KING, C. W.; SCANLON, B. R. Daily gridded meteorological variables in Brazil (1980–2013). **International Journal of Climatology**, v. 36, n. 6, p. 2644-2659, 2016.

YADAV, M.; WAGENER, T.; GUPTA, H. 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, 2007.

ZHUO, L.; HOEKSTRA, A. Y.; WU, P.; ZHAO, X. Monthly blue water footprint caps in a river basin to achieve sustainable water consumption: The role of reservoirs. **Science of the Total Environment**, v. 650, p. 891-899, 2019.

APÊNDICE A

Quadro 1A. Capacidades de reservatórios de regularização de vazão (hm³), obtidas utilizando dados observados de vazão (séries históricas), em estações fluviométricas da bacia do Rio Itapemirim, para diferentes frações da vazão média a ser regularizada (β) e diferentes períodos de retorno (T), com regra de operação de reservatórios anual.

Código da estação	$\beta = 0,50$					$\beta = 0,75$					$\beta = 1,00$				
	Sem T	T=10	T=20	T=50	T=100	Sem T	T=10	T=20	T=50	T=100	Sem T	T=10	T=20	T=50	T=100
57350000	36,56	16,96	21,07	26,39	30,37	64,89	39,63	47,07	56,71	63,93	100,52	70,11	77,35	90,24	99,89
57360000	44,83	15,13	19,72	25,65	30,10	93,88	50,26	61,06	75,04	85,51	155,16	103,36	115,26	136,47	152,37
57370000	73,52	24,51	31,60	40,78	47,66	137,17	74,59	89,71	109,27	123,93	214,38	146,45	162,71	191,48	213,03
57400000	124,54	51,31	65,09	82,93	96,31	256,95	136,41	163,11	197,67	223,57	399,39	245,55	283,27	332,11	368,70
57450000	270,54	122,32	149,76	185,28	211,90	521,99	360,34	401,35	474,63	529,54	853,95	636,60	716,09	800,27	879,08
57460000	184,02	132,25	152,77	186,77	212,26	480,18	387,55	437,45	496,02	536,54	797,26	695,70	765,92	847,22	902,80
57476500	50,12	27,14	33,21	41,06	46,95	100,02	70,51	78,58	93,18	104,12	158,39	119,36	133,81	151,05	166,31
57490000	100,62	45,94	56,66	70,54	80,93	186,57	129,01	149,77	172,95	194,09	274,52	223,26	248,96	278,88	299,41
57550000	115,81	53,70	66,51	83,08	95,51	284,67	163,70	192,73	230,31	258,47	463,86	316,68	347,17	403,30	445,37
57555000	280,71	184,26	218,20	259,00	293,22	693,15	579,41	644,12	717,73	767,27	1211,17	1079,01	1178,32	1289,73	1363,78
57580000	530,81	248,86	302,66	372,29	424,47	1166,00	714,20	795,77	944,78	1056,44	1801,19	1249,80	1413,36	1583,30	1745,24

Quadro 2A. Capacidades de reservatórios de regularização de vazão (hm³), obtidas utilizando dados observados de vazão (séries históricas) em estações fluviométricas da bacia do Rio Itapemirim, para diferentes frações da vazão média a ser regularizada (β) e diferentes períodos de retorno (T), com regra de operação de reservatórios plurianual.

Código da estação	$\beta = 0,50$					$\beta = 0,75$					$\beta = 1,00$				
	Sem T	T=10	T=20	T=50	T=100	Sem T	T=10	T=20	T=50	T=100	Sem T	T=10	T=20	T=50	T=100
57350000	70,17	61,55	68,70	70,95	72,49	159,99	138,01	156,85	161,64	164,92	351,96	332,21	343,41	352,53	365,43
57360000	69,81	63,88	66,30	70,40	71,56	228,25	197,25	223,76	230,61	235,28	458,50	450,67	451,24	462,30	469,82
57370000	109,65	100,75	104,47	110,49	112,17	308,41	270,06	302,05	311,74	318,37	678,46	665,06	673,06	681,07	693,59
57400000	225,12	205,59	220,59	227,49	232,21	584,27	509,35	573,08	590,13	601,78	1165,01	1151,79	1144,89	1175,53	1196,40
57450000	355,02	332,59	342,54	357,00	360,90	1214,07	1051,91	1190,55	1226,39	1250,87	3365,87	3182,87	3287,65	3412,65	3506,10
57460000	184,02	184,02	184,02	184,02	184,02	720,37	711,15	715,69	738,00	753,26	3857,51	3684,31	3825,39	3971,42	4061,55
57476500	83,81	75,72	82,50	84,97	86,66	231,61	202,03	227,84	234,96	239,84	458,14	435,34	455,45	465,89	477,17
57490000	114,41	110,63	112,39	114,73	115,36	376,87	329,88	368,90	381,06	389,38	1235,55	1179,72	1213,67	1245,80	1263,93
57550000	117,64	117,14	117,39	117,69	117,77	450,71	416,11	445,64	453,72	459,18	1669,11	1573,83	1630,48	1691,29	1730,13
57555000	280,71	280,71	280,71	280,71	280,71	1046,86	1042,08	1045,64	1049,66	1052,34	8026,83	7752,36	7963,52	8156,58	8261,53
57580000	617,73	594,08	605,39	619,97	624,02	2018,53	1832,51	1991,94	2034,35	2063,11	7673,44	7106,55	7437,75	7848,26	8172,80

Quadro 3A. Capacidades de reservatórios de regularização de vazão (hm³), obtidas utilizando séries sintéticas de vazão (RODRIGUES, 2017), em estações fluviométricas da bacia do Rio Itapemirim, para diferentes frações da vazão média a ser regularizada (β) e diferentes períodos de retorno (T), com regra de operação de reservatórios anual.

Código da estação	$\beta = 0,50$					$\beta = 0,75$					$\beta = 1,00$				
	Sem T	T=10	T=20	T=50	T=100	Sem T	T=10	T=20	T=50	T=100	Sem T	T=10	T=20	T=50	T=100
57350000	22,84	9,30	11,64	14,67	16,95	44,11	26,49	31,30	37,52	42,18	71,64	49,95	54,95	63,92	70,63
57360000	50,15	20,97	26,13	32,82	37,82	94,33	57,10	67,28	80,46	90,34	151,91	105,89	116,35	135,10	149,15
57370000	67,00	28,00	34,96	43,97	50,72	128,64	77,24	91,09	109,02	122,46	207,32	143,95	158,23	183,81	202,99
57400000	119,55	48,61	60,78	76,53	88,33	216,85	136,61	161,19	193,00	216,85	365,68	255,72	281,10	326,60	360,70
57450000	258,18	104,05	130,67	165,12	190,93	492,76	290,25	343,49	412,40	464,03	792,59	544,71	599,96	698,59	772,50
57460000	160,64	99,57	116,50	143,56	163,84	415,42	335,56	374,50	418,55	448,04	707,18	636,24	693,09	756,45	798,31
57476500	50,60	20,98	26,29	33,16	38,31	95,74	58,94	69,84	83,95	94,52	155,65	110,54	121,68	141,87	157,00
57490000	117,32	47,68	59,84	75,59	87,39	228,81	133,06	157,32	188,73	212,27	366,55	249,37	274,58	319,40	352,99
57550000	139,80	59,90	73,89	92,00	105,57	354,29	193,70	226,78	269,61	301,70	568,78	376,00	410,86	474,90	522,89
57555000	275,75	164,10	189,11	232,85	265,62	711,35	561,61	628,86	706,07	758,47	1211,26	1067,74	1168,05	1282,05	1358,70
57580000	431,11	185,45	229,01	285,39	327,64	1126,83	615,76	720,99	857,20	959,28	1822,54	1204,97	1316,40	1521,20	1674,64

Quadro 4A. Capacidades de reservatórios de regularização de vazão (hm³), obtidas utilizando séries sintéticas de vazão (RODRIGUES, 2017), em estações fluviométricas da bacia do Rio Itapemirim, para diferentes frações da vazão média a ser regularizada (β) e diferentes períodos de retorno (T), com regra de operação de reservatórios plurianual.

Código da estação	$\beta = 0,50$					$\beta = 0,75$					$\beta = 1,00$				
	Sem T	T=10	T=20	T=50	T=100	Sem T	T=10	T=20	T=50	T=100	Sem T	T=10	T=20	T=50	T=100
57350000	34,97	32,04	33,25	35,25	35,82	102,12	88,93	100,12	103,17	105,25	243,16	230,93	237,87	245,93	251,45
57360000	77,60	71,04	73,73	78,24	79,52	220,02	191,36	215,71	222,27	226,76	499,25	477,27	489,77	504,22	514,09
57370000	104,29	95,44	99,05	105,17	106,91	300,17	260,90	294,32	303,24	309,32	670,40	643,63	658,86	676,44	688,41
57400000	181,40	166,37	172,60	182,85	185,73	544,33	459,01	517,72	533,53	544,33	1203,60	1152,38	1181,51	1215,17	1238,14
57450000	408,01	372,97	387,14	411,53	418,52	1149,77	1000,20	1127,19	1161,60	1185,12	2466,30	2420,83	2448,23	2474,90	2522,88
57460000	160,64	160,64	160,64	160,64	160,64	657,85	630,76	651,64	675,96	692,67	3453,81	3206,05	3397,33	3654,31	3844,55
57476500	76,90	70,33	75,88	77,80	79,10	233,94	195,04	220,14	227,32	238,96	537,38	527,61	534,22	547,69	562,75
57490000	187,29	171,10	177,60	188,94	192,21	532,19	462,71	521,85	537,61	548,38	1131,18	1090,85	1113,82	1140,25	1158,21
57550000	144,62	143,31	143,96	144,75	144,97	543,73	500,01	537,13	547,66	554,79	1673,96	1593,86	1640,94	1698,31	1743,02
57555000	275,75	275,75	275,75	275,75	275,75	1156,34	1006,28	1139,69	1179,26	1206,39	5935,95	5539,67	5809,36	6104,71	6296,85
57580000	436,66	435,15	435,90	436,80	437,06	1709,18	1575,12	1689,09	1721,12	1742,81	5225,81	4986,10	5127,97	5282,40	5450,80

Quadro 5A. Capacidades de reservatórios de regularização de vazão (hm³), obtidas utilizando séries sintéticas de vazão (CESCONETTO, 2021), em estações fluviométricas da bacia do Rio Itapemirim, para diferentes frações da vazão média a ser regularizada (β) e diferentes períodos de retorno (T), com regra de operação de reservatórios anual.

Código da estação	$\beta = 0,50$					$\beta = 0,75$					$\beta = 1,00$				
	Sem T	T=10	T=20	T=50	T=100	Sem T	T=10	T=20	T=50	T=100	Sem T	T=10	T=20	T=50	T=100
57350000	11,82	9,37	10,51	11,82	12,70	34,45	29,69	32,24	35,15	37,11	65,43	56,74	61,14	66,25	73,77
57360000	16,56	14,34	15,91	17,69	18,89	59,74	53,34	56,98	61,13	63,91	119,09	107,43	114,22	125,72	132,73
57370000	17,85	15,59	17,21	19,01	20,21	69,60	61,43	65,77	70,73	74,08	144,24	126,27	134,72	148,63	157,29
57400000	43,42	38,83	42,19	45,81	48,14	139,22	122,00	130,48	140,12	146,61	266,34	237,54	252,86	270,51	294,81
57450000	88,87	76,46	82,96	89,93	94,37	256,50	226,42	241,71	258,57	269,61	483,35	433,78	463,93	498,38	521,65
57460000	129,87	106,99	117,27	128,43	135,64	346,07	302,45	321,49	341,72	354,51	590,03	559,71	595,96	636,63	663,67
57476500	21,50	16,78	19,25	22,16	24,18	61,44	53,20	58,25	63,95	67,77	116,78	103,16	111,63	121,34	127,92
57490000	43,63	31,39	36,05	41,57	47,17	127,14	103,96	114,01	125,61	133,51	228,73	201,54	218,69	238,69	252,45
57550000	64,64	45,76	53,16	61,15	68,61	190,51	155,00	170,14	187,36	198,96	349,89	299,90	326,46	357,11	378,00
57555000	190,87	163,65	177,83	193,67	204,14	521,71	460,99	488,57	518,78	538,44	898,18	853,84	903,78	959,40	996,14
57580000	198,35	153,99	167,36	182,04	191,63	564,34	484,02	519,08	558,96	585,80	1036,69	910,05	975,60	1081,44	1148,41

Quadro 6A. Capacidades de reservatórios de regularização de vazão (hm³), obtidas utilizando séries sintéticas de vazão (CESCONETTO, 2021), em estações fluviométricas da bacia do Rio Itapemirim, para diferentes frações da vazão média a ser regularizada (β) e diferentes períodos de retorno (T), com regra de operação de reservatórios plurianual.

Código da estação	$\beta = 0,50$					$\beta = 0,75$					$\beta = 1,00$				
	Sem T	T=10	T=20	T=50	T=100	Sem T	T=10	T=20	T=50	T=100	Sem T	T=10	T=20	T=50	T=100
57350000	11,82	11,82	11,82	11,82	11,82	69,85	62,58	68,80	70,41	71,50	259,14	246,64	254,10	261,59	266,06
57360000	16,56	16,56	16,56	16,56	16,56	103,46	94,24	102,10	104,16	105,56	514,21	498,22	508,16	516,94	544,61
57370000	17,85	17,85	17,85	17,85	17,85	132,18	116,67	129,96	133,34	135,63	593,81	569,97	584,27	598,40	606,75
57400000	43,42	43,42	43,42	43,42	43,42	258,51	231,65	254,62	260,55	264,57	1154,78	1111,64	1138,04	1162,52	1176,03
57450000	86,87	86,87	86,87	86,87	86,87	563,60	484,89	552,47	569,44	581,04	2319,62	2201,20	2271,18	2343,51	2388,11
57460000	129,87	129,87	129,87	129,87	129,87	477,57	445,98	475,22	486,39	493,98	3156,99	3039,99	3135,83	3229,93	3285,07
57476500	21,50	21,50	21,50	21,50	21,50	127,99	113,85	126,17	129,60	131,94	442,33	412,63	431,18	454,64	472,79
57490000	43,63	43,63	43,63	43,63	43,63	271,16	235,02	266,00	273,86	279,23	900,13	843,88	876,25	912,41	947,85
57550000	64,64	64,64	64,64	64,64	64,64	256,88	255,89	256,38	256,97	257,14	1335,45	1257,40	1304,18	1353,15	1383,69
57555000	190,87	190,87	190,87	190,87	190,87	717,02	668,35	712,24	728,13	738,91	4700,09	4537,82	4661,98	4779,93	4846,73
57580000	198,35	198,35	198,35	198,35	198,35	977,15	913,17	967,70	982,76	992,92	4776,19	4597,11	4708,43	4812,05	4869,48