

COMPARAÇÃO DE MÉTODOS DE ESTIMATIVA DA VAZÃO NATURAL À BARRAGEM CACHOEIRA

João Rafael Bergamaschi Tercini ⁽¹⁾

Doutorando na Escola Politécnica de Engenharia da Universidade de São Paulo e Engenheiro Ambiental na Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica.

Arisvaldo Vieira Mélo Júnior ⁽²⁾

Professor na Escola Politécnica de Engenharia da Universidade de São Paulo.

Endereço⁽¹⁾: Av. Professor Almeida Prado, n. 83, Travessa 2 - Prédio da Engenharia Civil e Ambiental - Cidade Universitária - São Paulo - SP - CEP: 05508-900 - Brasil - Tel: +55 (11) 3091 5549 - e-mail: tercini@usp.br.

RESUMO

Apesar do conceito de vazão natural ser antigo, não existe bibliografia consolidada que trata do assunto ou metodologia padrão para aplicação em estudos de disponibilidade hídrica, ainda mais tratando-se de reservatórios. O trabalho tem o objetivo de comparar duas metodologias para estimativa da vazão natural à Barragem Cachoeira: regionalização de vazões e balanço hídrico no reservatório. Analisou-se o período de julho de 2015 a outubro de 2019, onde as vazões naturais à Barragem Cachoeira estimada pelo método da regionalização de vazões apresenta valores superiores (em média 2,03 m³/s) aos valores estimados pelo método do balanço hídrico no reservatório. Outras estatísticas também foram avaliadas e corroboram com a afirmação de que o método do balanço hídrico subestima os valores estimados de vazão natural à Barragem Cachoeira. Tal diferença representa uma quantidade expressiva de água para o aproveitamento.

PALAVRAS-CHAVE: Vazão Natural, Barragem Cachoeira, Sistema Cantareira.

INTRODUÇÃO

Segundo ANA e DAEE (2013) a Barragem Cachoeira está localizada na estrada do Rio Cachoeira, km 2, no município de Piracaia, foi construída de 1969 a 1974 e começou a operar em novembro de 1974. A barragem é do tipo aterro compactado com 310 m de comprimento e 40 m de altura. O reservatório tem volume útil de 69,75 hm³ operando do nível máximo normal de 821,88 m (área inundada de 8,6 km²) ao nível mínimo normal de 811,72 m (área inundada de 5,2 km²), abaixo desta cota ainda se estima um volume morto de 46,81 hm³. O controle das vazões a jusante se dá por meio de comportas e vertedores tulipas. A bacia tem área de drenagem de 392 km² e precipitação média de 1763 mm.

A Reservatório Cachoeira faz parte do Sistema Cantareira e recebe uma transferência do Reservatório Jaguari-Jacaré pelo Túnel 7, que é escavado em rocha e revestido de concreto. Tem 5.885 m de extensão com declividade de 17,96%, a área da seção transversal é de 28 m² e pode transportar até 35,0 m³/s. E, por sua vez, o Reservatório Cachoeira entrega uma transferência ao reservatório de Atibainha pelo Túnel 6 que tem 4.769 m de extensão.

Devido a crise hídrica que ocasionou falta de água para abastecimento humano, principalmente na Região Metropolitana de São Paulo, entre 2013 e 2015, foi instalado um fluviômetro a montante do reservatório Cachoeira, na cidade de Piracaia, código 3E-122, nome Cachoeira Montante, latitude 23° 00' 23", longitude 46° 14' 23" e área de drenagem 294 km². O primeiro dado do posto é do dia 12 de junho de 2015.

A figura 1 apresenta o mapa da área de estudo, destacando as bacias da Barragem Cachoeira e do fluviômetro Montante Cachoeira.



Figura 1: Mapa da área de estudo.
Fonte: Autor

Conforme observado na figura 1 a área do posto fluviométrico (294 km²) corresponde a 75% da área de drenagem da barragem (392 km²). O trabalho tem o objetivo de comparar duas metodologias para estimativa da vazão natural à Barragem Cachoeira, a primeira é a regionalização de vazões e a segunda o balanço hídrico no reservatório.

MÉTODOS

A premissa adotada é que na área de estudo as únicas interferências antrópicas significativas são as do Sistema Cantareira. Sendo assim, a vazão medida no fluviômetro pode ser considerada como vazão natural e todas as interferências foram contabilizadas no método do balanço hídrico. Também foi adotado o passo de tempo mensal para cálculo e comparação dos resultados.

O método da regionalização de vazões visa transferir informações de um local para outro da bacia, dentro de uma área com comportamento hidrológico semelhante. Uma das variáveis hidrológicas é a vazão específica (equação 1)

$$q = Q/A \quad (1)$$

Onde:

- q: vazão específica (10⁻⁶m/s);
- Q: vazão natural (m³/s); e
- A: área de drenagem (km²).

Partindo da premissa que as bacias são homogêneas e a vazão específica das bacias hidrográficas do fluviômetro e da barragem são as mesmas, temos a equação 2.

$$Q_b/A_b = Q_f/A_f \quad (2)$$

Onde:

- Q_b: vazão natural à barragem (m³/s);
- A_b: área de drenagem da barragem (km²);
- Q_f: vazão no fluviômetro (m³/s); e

- Af: área de drenagem do fluviômetro (km²).

Substituindo na equação 2 os valores da área de drenagem da barragem por 392 km² e a área de drenagem do fluviômetro por 294 km², temos a equação 3.

$$Q_b = 1,333 Q_f \quad (3)$$

A equação 3 foi utilizada para determinar os valores de vazão natural à Barragem de Cachoeira pelo método de regionalização das vazões transferindo informações do fluviômetro Montante Cachoeira na base de tempo mensal.

O método utilizado foi o balanço hídrico no reservatório, o qual tem como premissa que a variação do volume do reservatório é a soma de todas as entradas, de acordo com a equação 4.

$$\Delta V = (\sum Q_e - \sum Q_s) \Delta t \quad (4)$$

Onde:

- ΔV : variação do volume armazenado no reservatório (m³);
- $\sum Q_e$: soma de todas as entradas (m³/s);
- $\sum Q_s$: soma de todas as saídas (m³/s); e
- Δt : intervalo de tempo (s).

Tomando como entradas a vazão do Túnel 7 e a vazão natural à barragem e como saídas a vazão do Túnel 6 e vazão a jusante da barragem, desenvolvendo a equação 4 chega-se a equação 5.

$$Q_n = (V_f - V_i) / \Delta t - Q_{t7} + Q_{t6} + Q_j \quad (5)$$

Onde:

- Q_n : vazão natural à barragem (m³/s);
- V_f : volume armazenado no reservatório no final do período (m³);
- V_i : volume armazenado no reservatório no início do período (m³);
- Q_{t7} : vazão do Túnel 7 (m³/s);
- Q_{t6} : vazão do Túnel 6 (m³/s); e
- Q_j : vazão a jusante da barragem (m³/s).

A equação 5 foi utilizada para determinar os valores de vazão natural à Barragem de Cachoeira pelo método do balanço hídrico no reservatório, os cálculos foram feitos na base de tempo mensal.

Os dados referentes ao fluviômetro Montante Cachoeira foram consultados em DAEE (2020) e os dados referentes aos volumes armazenados no reservatório, vazão do Túnel 7, vazão do Túnel 6 e vazão a jusante da barragem foram consultados em Sabesp (2020).

RESULTADOS

Os resultados foram processados de acordo com a disponibilidade dos dados do posto fluviométrico, portanto, o período de análise compreende julho de 2015 a outubro de 2019, totalizando 52 meses de dados para estatística e comparações. Os valores das vazões naturais à Barragem Cachoeira estimados pelos dois métodos são apresentados no gráfico da figura 2.

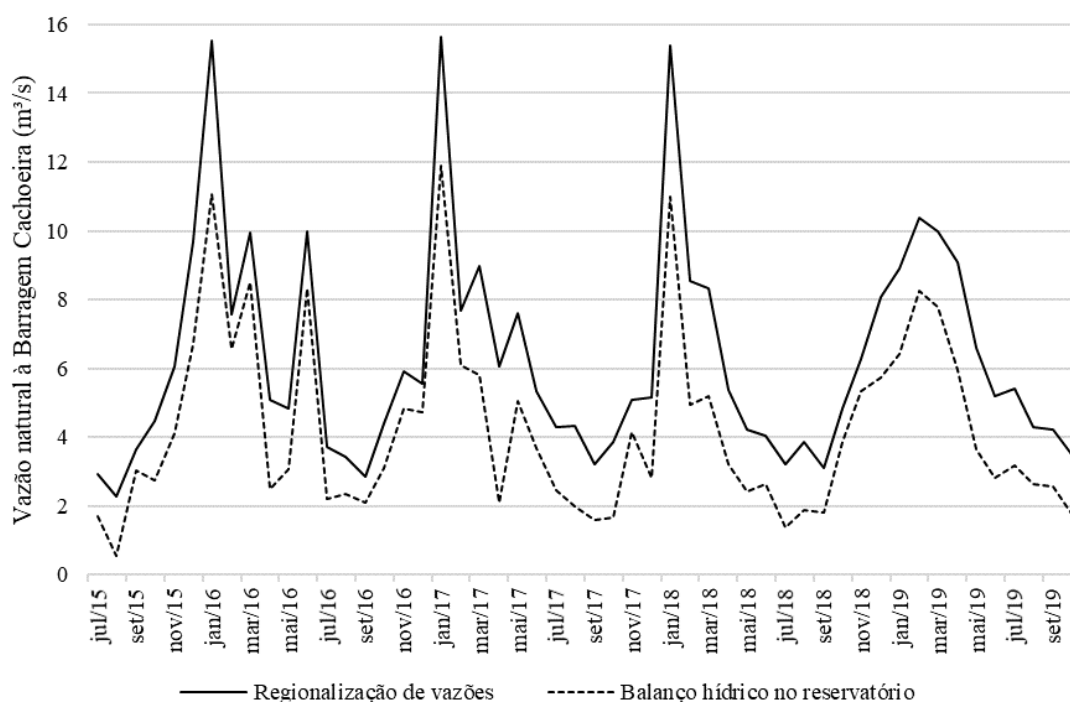


Figura 2: Série das vazões naturais à Barragem Cachoeira estimada pelos dois métodos.
Fonte: Autor

Conforme apresentado na figura 2, os valores estimados pelo método da regionalização de vazões são maiores que os valores estimados pelo método do balanço hídrico no reservatório, sendo as médias 6,30 e 4,27 m³/s, respectivamente, ou seja, uma diferença de 2,03 m³/s entre os métodos. A figura 3 mostra o histograma dos valores obtidos.

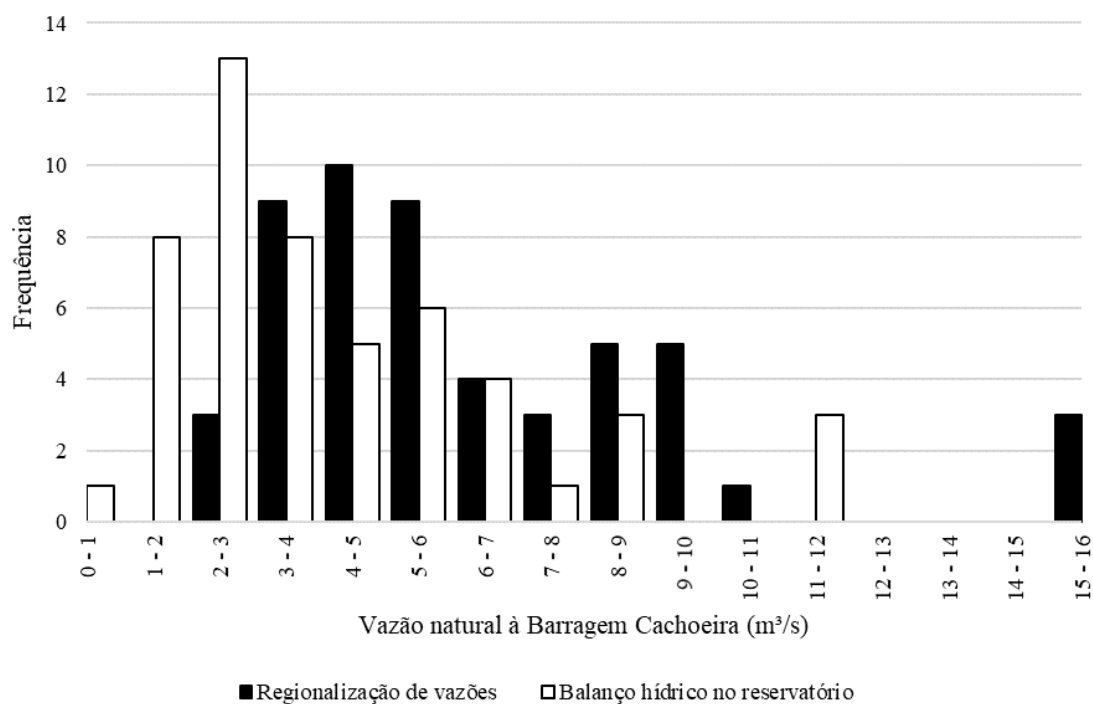


Figura 3: Histograma das vazões naturais à Barragem Cachoeira estimada pelos dois métodos.
Fonte: Autor

O histograma apresentado na figura 3 também aponta que os valores obtidos com o método de regionalização de vazões superam os obtidos com o método do balanço hídrico no reservatório em todas as estatísticas. A tabela 1 mostra tais diferenças.

Tabela 1: Estatística dos valores obtidos e diferença entre os métodos.

Estatísticas	Vazão natural à Barragem Cachoeira (m ³ /s)		Diferença (m ³ /s) [R-B]	Proporção (%) [R/B]
	Regionalização de vazões [R]	Balanço hídrico no reservatório [B]		
Máximo	15,64	11,88	3,76	132
Mediana	5,28	3,20	2,08	165
Mínimo	2,28	0,53	1,75	430
Média	6,30	4,27	2,03	148
Desvio padrão	3,19	2,65	0,54	120

A tabela 1 mostra que as diferenças são mais pronunciadas nas vazões mínimas, onde o método de regionalização de vazões apresenta resultados quatro vezes maior em relação ao balanço hídrico no reservatório. Em termos absolutos as vazões máximas tiveram a maior diferença. O gráfico da figura 4 apresenta as médias para cada mês.

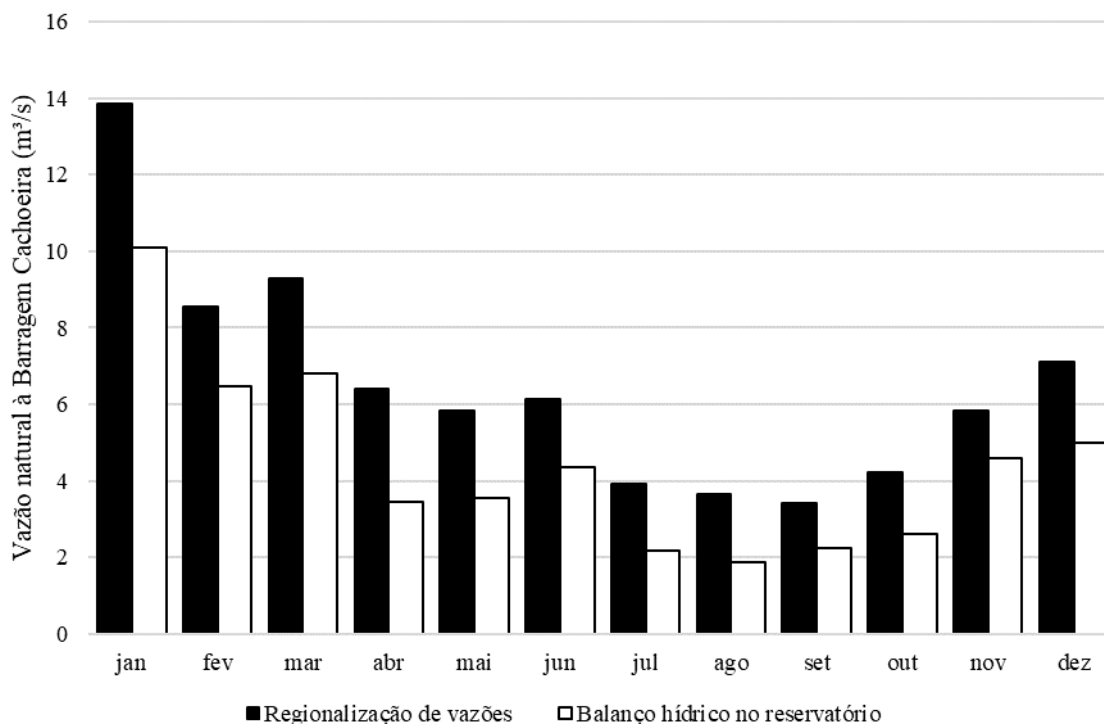


Figura 4: Vazão natural média mensal à Barragem Cachoeira estimada pelos dois métodos.

Fonte: Autor

Conforme observado na figura 4, o comportamento sazonal das vazões naturais para ambos os métodos foi preservado, seguindo a tendência do semestre úmido, de novembro a abril, e seco, de maio a outubro. O gráfico da figura 5 mostra a dispersão das vazões naturais à Barragem Cachoeira estimada pelos dois métodos.

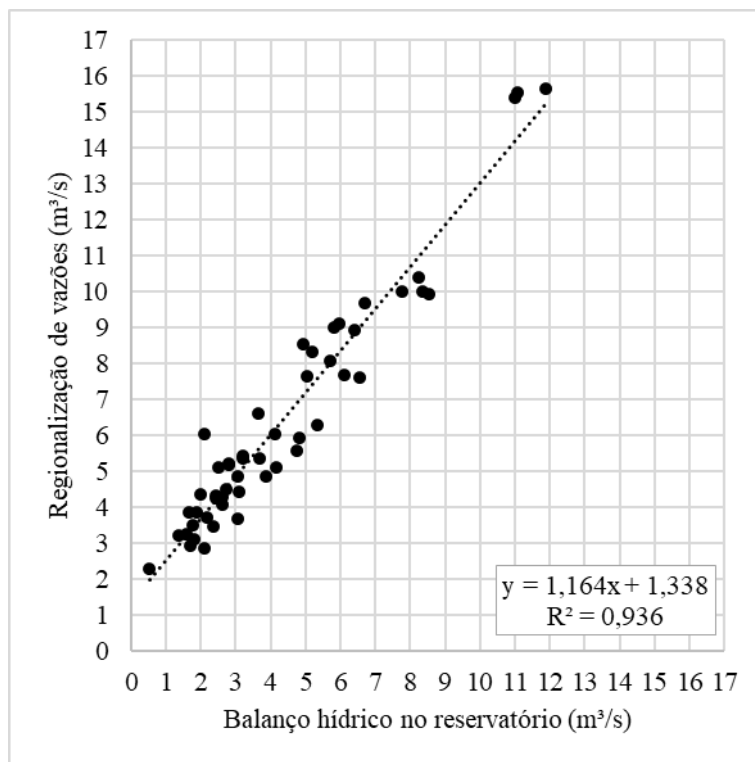


Figura 5: Dispersão das vazões naturais à Barragem Cachoeira estimada pelos dois métodos.
Fonte: Autor

O gráfico de dispersão da figura 5 mostra uma correlação muito forte (acima de 0,9). A constante de interceptação do ajuste linear mostra que o método da regionalização de vazões superestima em 1,34 m³/s sistematicamente em relação ao método do balanço hídrico no reservatório. Além disso, o coeficiente angular de 1,16, ou seja, maior que 45°, indica que o método do balanço hídrico no reservatório subestima em 16% os valores em relação a regionalização de vazões.

Como os valores anuais de evaporação e precipitação são muito próximos na região do estudo, a maior parte dos estudos desconsidera sua influência nos volumes armazenados em reservatório, considerando a evaporação líquida zero. Porém vale discussão a respeito disso: o nível médio do reservatório no período analisado foi de 815,66 m, o que remeteria a 6,37 km² de espelho d'água em média. Se a diferença de 2,03 m³/s em média fosse atribuída à evaporação líquida, tal taxa deveria ser de 10.049 mm/ano. O Reservatório de Sobradinho, situado em região com elevada evaporação líquida, possui taxa de 1.222 mm/ano (PEREIRA et al., 2009). Portanto a hipótese da diferença dos resultados ser atribuída a esse componente do balanço hídrico é falsa.

CONCLUSÃO

Conclui-se que vazões naturais à Barragem Cachoeira estimada pelo método da regionalização de vazões apresenta valores superiores aos valores estimados método do balanço hídrico no reservatório. No período analisado, de julho de 2015 a outubro de 2019, essa diferença foi em média 2,03 m³/s. Tal diferença representa 50% dos valores calculados pelo método do balanço hídrico no reservatório, ou seja, uma quantidade de água expressiva para o aproveitamento.

Outras estatísticas também foram avaliadas e corroboram com a afirmação de que o método do balanço hídrico subestima os valores estimados de vazão natural à Barragem Cachoeira. Os resultados levam a suspeitar das premissas assumidas no método do balanço hídrico. Recomenda-se investigar os componentes de vazão a jusante da barragem e vazões transportadas nos túneis 6 e 7.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANA, Agência Nacional de Águas; DAEE, Departamento de Águas e Energia Elétrica. Dados de Referência Acerca da Outorga do Sistema Cantareira. Ago. 2013.

2. DAEE, Departamento de Águas e Energia Elétrica. Banco de Dados Hidrológicos. Disponível em: <http://www.hidrologia.dae.sp.gov.br/> Acesso em: mai. 2020.
3. Pereira SB, Pruski FF, Silva DD, Ramos MM. Evaporação líquida no lago de Sobradinho e impactos no escoamento devido à construção do reservatório. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. 2009.
4. SABESP, Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. Dados dos sistemas produtores. Disponível em: <http://mananciais.sabesp.com.br>. Acesso em: mai. 2020.