

PLANEJAMENTO HIDROENERGÉTICO PARA O GANHO DE CAPACIDADE DE ARMAZENAMENTO POR MEIO DO ALTEAMENTO DE UM VERTEDOURO LATERAL

Igor Renan Braga dos Santos, Geraldo Lúcio Tiago Filho e Oswaldo Honorato de Souza Jr.

Universidade Federal de Itajubá, Brasil.

E-mail: igorrenan@unifei.edu.br, tiago@unifei.edu.br y oswaldo@unifei.edu.br

Introdução

O Brasil é um país propício à implantação de reservatórios de regularização de vazões que geralmente são de usos múltiplos, tais como: abastecimento d'água, irrigação, geração de energia elétrica, navegação, dentre outros (MULLER, 1995). No entanto, devido a diversos fatores, tais como as pressões socioambientais, a construção de novos reservatórios tem sido restrinvidos cada vez mais. Com o cenário atual, o ganho de capacidade de armazenamento com o alteamento de reservatórios já existentes tem-se tornado uma alternativa interessante. No entanto, obras estruturais que envolvem todo o corpo da barragem são relativamente caras, e, dependendo do alteamento, podem inviabilizá-lo, principalmente para pequenos reservatórios. Com isso, uma alternativa geralmente utilizada, quando a borda livre é grande.

Materiais e métodos

Para realização do planejamento hidroenergético, inicialmente, determinou-se de quanto o acréscimo de capacidade de volume no reservatório, advindo da alteração da cota de vertimento e o valor do incremento na vazão regularizada. Para isso, foram realizadas análises hidráulicas-hidrológicas no reservatório, englobando o cálculo do ganho de capacidade de armazenamento, por meio da análise da regularização e do diagrama de Conti-Varlet. Uma vez definida as vazões regularizadas são feitos estudos de ganhos de energia em aproveitamentos hidrelétricos instalados em cascata a jusante do reservatório de regularização.

O estudo de caso para esse trabalho foi considerado a Represa Lindolfo Pio da Silva Dias, também denominada Barragem Ribeirão do Cipó, latitude 21°51'13"S e longitude 46°36'29"O, de propriedade do Departamento Municipal de Energia elétrica do município de Poços de Caldas, MG

Resultados e discussões

Conhecidas as vazões naturais afluentes, calculou-se o provável volume deste reservatório para atender inicialmente a lei de regularização $y(t) = 1$, conforme sugerido por Villela e Mattos (1975), ou seja, manter uma vazão regularizada constante e igual à média (\bar{Q}) nos períodos de estiagem. Visto que este reservatório apresentou uma vazão média (\bar{Q}) de aproximadamente 2,02 [m³/s], e que os meses considerados como período de estiagem são de maio a outubro, tem-se que o volume mínimo do reservatório para atender essa lei é de aproximadamente 28 milhões de metros cúbicos.

Para estas condições estabelecidas inicialmente, a operação seria dada por uma vazão regularizada de 1,52 [m³/s] somada ao fluxo residual de 0,50 [m³/s] durante os meses de estiagem (maio a outubro), e mantendo apenas o fluxo residual de 0,50 [m³/s] no restante do período (novembro a abril). A capacidade mínima estipulada para essa operação é de 28,2 milhões de metros cúbicos, sendo o volume útil atual suficiente.

No entanto, de acordo com os dados disponibilizados pela concessionária, e perante os dados apresentados no licenciamento ambiental para construção do barramento

(SUPRAM, 2012), a operação exercida atualmente informa que valores na ordem de 2,27 [m³/s] durante os meses de seca, e de 0,50 [m³/s] no restante do período. Ou seja, estabelece-se uma vazão de regularização de 1,635 [m³/s] e um fluxo residual permanente de 0,50 [m³/s].

Nesse caso, para essas condições, o volume útil mínimo necessário estimado foi de 32 milhões de metros cúbicos. De forma que, realizando uma extrapolação da curva cota versus volume, verificou-se a necessidade de haver um alteamento de 0,5 metros do nível da água no reservatório.

A fim de verificar a capacidade mínima do reservatório de aproximadamente 30 milhões de metros cúbicos para atendimento desta lei de regularização no período crítico, identificado como sendo de maio a outubro, utilizou-se o diagrama de massas, para determinar graficamente o volume útil do reservatório (Figura 1). Para tanto, levantou-se a curva de vazões acumuladas de regularização, a qual pode ser compreendida também como uma curva de demanda para o Diagrama de Rippl.

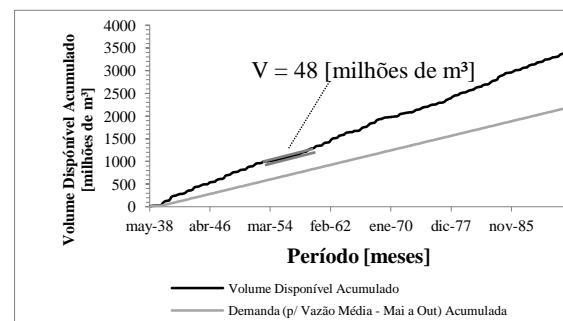


Figura 1.- Diagrama de Rippl.

A partir do Diagrama de Rippl, identificou-se como o período mais crítico da série o intervalo de out/52 a out/59, resultando num volume útil de aproximadamente 48 milhões de metros cúbicos. Com isto, infere-se que este método superestima a capacidade mínima do reservatório, a qual atualmente é de aproximadamente 30 milhões de metros cúbicos para atendimento da regularização da vazão média da série ($\bar{Q} = 2,02$ [m³/s]) nos meses de maio a outubro, e de $Q = 0,50$ [m³/s] no restante dos meses.

De forma a se determinar um método um pouco mais preciso que o Diagrama de Rippl (Curva de Massas), utilizou-se do diagrama de Rippl residual (Figura 2), visto que o uso da escala das vazões =, resulta em maior precisão.

Com esse método foi identificado como o período mais crítico da série, para esta demanda, o intervalo de out/52 a out/59, o mesmo constatado pelo método do Diagrama de Rippl (Figura 54). Dessa forma, com este período obteve-se volume útil de aproximadamente 35 milhões de metros cúbicos, bem próximo da capacidade máxima atual do reservatório do Cipó (30 milhões de cúbicos).

Para determinação do volume útil necessário nesta forma de operação, e para as demais possibilidades, levantou-se curvas de probabilidades de regularização, relacionando vazão regularizada e volume útil necessário para mantê-la. Para este levantamento, considerou-se uma manutenção de vazão residual

de 0,50 [m³/s] em todos os meses, sendo variada a vazão de regularização nos meses de seca (maio a outubro). Nesse estudo foram considerados níveis de garantias de regularização na ordem de 100%, 95% e 90%. (Figura 3).

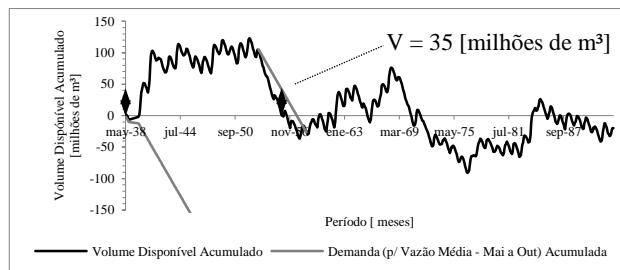


Figura 2.- Diagrama de Rippl Residual

Por meio da análise da Figura 3, têm-se que, para o atual volume, isto é, aproximadamente 30 milhões de metros cúbicos, as alternativas de regularização são de 1,29 [m³/s], com 100% de garantia, 2,25 [m³/s] com 95% de garantia e 2,59 [%] para 90% de garantia.

Para determinação do incremento na vazão regularizada em função do ganho de volume de armazenamento advindo da alteração da cota de vertimento, relacionou-se a curva de regularização com a curva cota x volume. Dessa maneira, levantou-se a uma curva relacionando a cota de vertimento e vazão regularizada, a qual está representada na Figura 4.

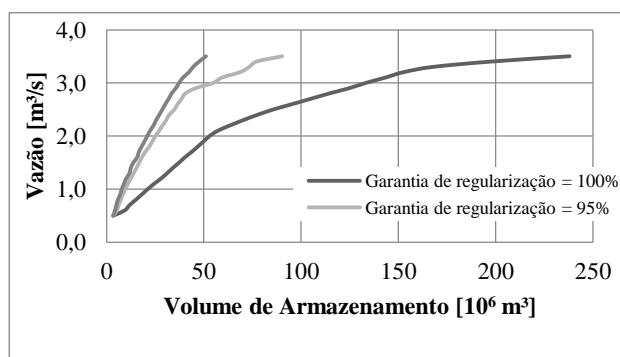


Figura 3.- Curvas de Regularização

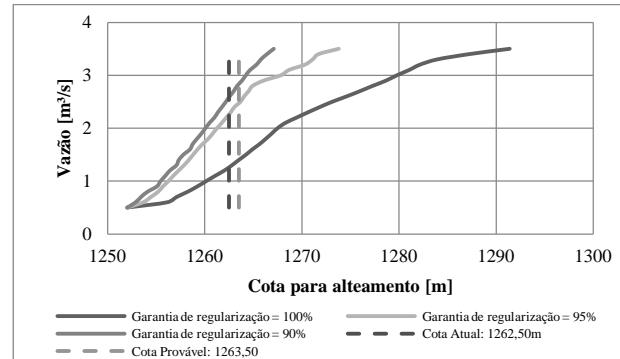


Figura 4.- Possibilidades de alteração da cota de vertimento associada ao ganho de vazão regularizada

Para a operação atual, no valor de 2,26 [m³/s], estimou-se um valor de volume útil necessário de 30 milhões de metros cúbicos, ou seja, condizente com os valores de capacidade de volume útil do reservatório do Cipó atualmente, sendo identificado 95% de nível de garantia. Para manutenção do mesmo nível de garantia, a alteração da cota de vertimento em 1 metro, têm-se um incremento na vazão de aproximadamente 0,21 [m³/s], apresentando um ganho de armazenamento de aproximadamente 5 milhões de metros cúbicos.

Tabela 2.- Relação entre vazão regularizada, volume útil necessário e cota de vertimento, para diversos níveis de garantia.

Cota de vertimento [m]	Nível de Garantia [%]	Vazão regularizada [m ³ /s]	Volume útil necessário [10 ⁶ m ³]
1262,50	100	1,26	29,0
	95	2,26	30,2
	90	2,59	29,9
1263,50	100	1,40	34,0
	95	2,47	35,0
	90	2,83	34,2

De forma a comprovar a vazão máxima regularizada, utilizou-se o Diagrama de Conti-Varlet. Para tal, redesenhou-se o diagrama de massas, para os respectivos períodos, deslocado das capacidades do reservatório supracitadas.

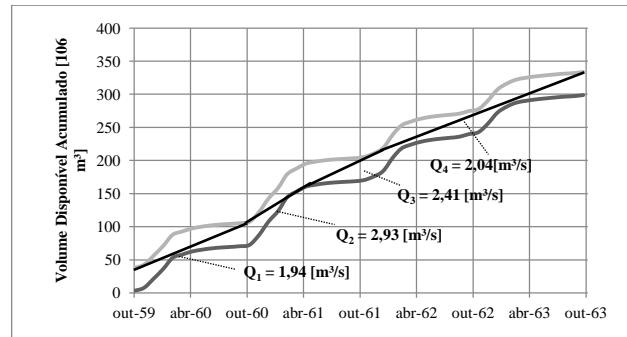


Figura 5.- Diagrama de Conti-Varlet, para a capacidade provável do reservatório de 35 milhões de m³, e período úmido da série histórica.

Para o período analisado no diagrama de Conti-Varlet, por meio da Figura 5, para a capacidade de 35 milhões de metros cúbicos – alteamento de 1 metro com garantia de regularização de 95%, têm-se que a determinação da regularização máxima é de 2,41 [m³/s]. Salienta-se que as vazões regularizadas resultantes das extremidades das curvas foram desconsideradas, visto que não apresentam período de análise completo, sendo, portanto, consideradas apenas as vazões regularizadas parciais, do período de outubro/1960 a outubro/1962. O valor de máxima vazão regularizada determinado pelo diagrama de Conti-Varlet estão condizentes com os apresentados na análise da curva de regularização, para 95% de garantia de regularização.

Considerações finais

Com a alteração da cota de vertimento em 1 [m], mantendo-se o nível de garantia de 95%, têm-se um incremento de aproximadamente 0,21 [m³/s] na vazão regularizada e de 5 milhões de metros cúbicos na capacidade de armazenamento. Isso permite um ganho energético de aproximadamente 3341 [MWh/ano] em toda a cascata de reservatórios que no qual a barragem do Cipó se insere.

Referencias

- Branker, K. Pathak, M. J. M.; Pearce, J. M. (2011). A review of solar photovoltaic levelized cost of electricity. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 15, n. 9, p. 4470–4482.
- Müller, A. C. (1995). *Hidrelétricas, meio ambiente e desenvolvimento*. São Paulo: Makron Books, 1995. 393 p.
- Rangel, M. S. (2016.). *Estudo de viabilidade econômica de geração de eletricidade por fonte renováveis no Brasil*. Trabalho final de graduação (em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Itajubá, Instituto de Recursos Naturais, Itajubá. 2016.
- SUPRAM (Superintendência Regional de Regularização Ambiental). (2012) Parecer Único SUPRAM SUL. Protocolo nº 0013637/2012. Autoriza a construção do Barramento. Licenciamento Ambiental nº 11381/2005/003/2010. Varginha, p. 1–14.
- Villela, S. M. and Mattos, A. (1975). *Hidrologia Aplicada*. São Paulo: McGraw-Hill. 1975. 245 p.