

XXIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

Desnível operacional de água em reservatórios de sistemas de abastecimento e seus impactos no funcionamento de conjuntos motobomba

Joice Cristini Kuritza¹; Mariane Kempka², Isabella Fillus³, Paulo Henrique Baldson Da Silva⁴, Pedro Guido Mottes Bassegio⁵, Guilherme Santanna Castiglio⁶, Leandro do Espírito Santo Soares⁷, Mauricio Dai Pra⁸, Marcelo Giulian Marques⁹

Palavras-Chave – Chave-boia; fadiga; manutenção;

INTRODUÇÃO

O consumo de energia nos sistemas de abastecimento de água e de esgotamento sanitário representa um elevado custo para as companhias prestadoras dos serviços de saneamento, ficando atrás apenas dos gastos com recursos humanos no orçamento destas empresas. No entanto, o monitoramento do rendimento das estações elevatórias de água é feito de forma incipiente, ou nulo, na maioria dos prestadores brasileiros, principalmente devido à indisponibilidade de dados que requerem instrumentação e à falta de pessoal qualificado para leitura e interpretação. Nesse contexto, muitos pesquisadores têm direcionado esforços para fomentar as ações de eficiência energética no setor do saneamento, a destacar Ramos et al. (2010), Muranho et al. (2012), Vilanova (2012), Coelho e Andrade-Campos (2014), Solera et al. (2016), Macedo e Bezerra (2017), Moreira, Ferreira e Pereira (2017), Kuritza (2017), Luna et al. (2019), Lopes (2020), entre outros.

A tomada de decisão no que concerne à operação dos sistemas elevatórios impacta diretamente a conservação e vida útil de seus componentes eletromecânicos. As boas práticas de operação e manutenção dos equipamentos exige planejamento e avaliações específicas para cada sistema. Por isso, deve-se manter um plano para manutenção preventiva e corretiva dos motores e das bombas aumentando, com isso, a vida útil desses equipamentos e a redução da necessidade de investimentos, entre outras vantagens. Gomes (2012) aponta algumas falhas que podem ser observadas, como por exemplo, a vibração excessiva em conjuntos motobomba, sobreaquecimento dos mancais, dos enrolamentos dos motores e dos transformadores, tensões e correntes inadequadas aos motores utilizados, bombas operando em condições anormais, entre outras.

Ademais, Tedesco (1997) destaca que a frequência de partidas é um item pouco considerado, mas muito importante, pois os motores elétricos tem limitações do número de partidas por hora para evitar superaquecimento. Também, se o sistema de bombeamento estiver associado a um manancial subterrâneo, deve-se ter tempo suficiente para sua recuperação evitando danos ao aquíferos e à estrutura do poço.

1) Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Avenida Laura Pacheco Bastos, 800 - Industrial, Guarapuava - PR, 85053-525, joicekuritza@professores.utfpr.edu.br.

2) Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Avenida Laura Pacheco Bastos, 800 - Industrial, Guarapuava - PR, 85053-525, marianekempka@professores.utfpr.edu.br.

3) Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Avenida Laura Pacheco Bastos, 800 - Industrial, Guarapuava - PR, 85053-525, isabellafillus@hotmail.com.

4) Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Avenida Laura Pacheco Bastos, 800 - Industrial, Guarapuava - PR, 85053-525, paulohopo@gmail.com.

5) Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Av. Bento Gonçalves, 9500, Porto Alegre - RS, pedroguido33@hotmail.com.

6) Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia, Av. Osvaldo Aranha, 103, Centro, Porto Alegre - RS, guilhermecastiglio@gmail.com.

7) Departamento de Água e Esgotos de Santana do Livramento- RS, leandro.es.soares@gmail.com

8) Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Av. Bento Gonçalves, 9500, Porto Alegre - RS, mauricio.daipra@ufrgs.br.

9) Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Av. Bento Gonçalves, 9500, Porto Alegre - RS, mgiulianm@gmail.com.

A operação do conjunto motobomba é comandada por sensores de nível localizados no reservatório superior, cujo desnível operacional de água (Δh) atualmente praticado pela companhia de saneamento é 0,5 m, que representa 76 m³, considerando a área de 152 m² do reservatório. O volume operacional de 76 m³ representa apenas 16% do volume útil do reservatório, o que indica que o reservatório pode estar sendo subutilizado, principalmente sob o ponto de vista da eficiência energética da operação e da vida útil do conjunto motobomba. Ressalta-se que a alteração do nível operacional do reservatório tem impacto direto nas pressões na rede e, por isso, em alguns casos pode ser inviável operar o sistema com desníveis operacionais maiores. A avaliação dessa situação pode ser realizada de modo mais criterioso com o auxílio de *softwares* de simulação hidráulica da rede, como o EPANET.

O Quadro 2 mostra os registros de tempo de funcionamento da bomba, o volume de consumo diário, o número de acionamentos da bomba e a vazão média diária bombeada. Da análise destas informações, verificou-se que há uma relação inversamente proporcional entre o volume bombeado e o padrão de operação (número de acionamentos do sistema de bombeamento), pois o maior número de acionamentos da bomba aconteceu nos dias de menor volume consumido, Figura 2.

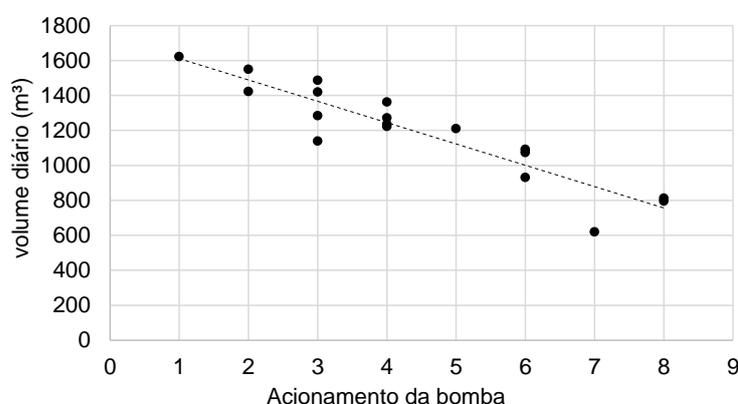
Quadro 2 – Dados médios de operação do subsistema de bombeamento

Dia	Tempo de funcionamento da bomba (h)	Volume (m ³)	Nº acionamentos	Vazão média bombeada (m ³ /h)	Dia	Tempo de funcionamento da bomba (h)	Volume (m ³)	Nº acionamentos	Vazão média bombeada (m ³ /h)
1	18.33	1622*	1	88.49	10	12.93	1139	3	88.09
2	15.94	1420	3	89.08	11	10.16	931	6	91.63
3	6.63	620**	7	93.51	12	13.54	1235	4	91.21
4	14.05	1272	4	90.53	13	14.09	1285	3	91.20
5	13.61	1223	4	89.86	14	8.06	795	8	98.64
6	16.21	1423	2	87.79	15	12.6	1210	5	96.03
7	11.77	1073	6	91.16	16	16.44	1550	2	94.28
8	16.99	1487	3	87.52	17	7.85	812	8	103.44
9	15.52	1363	4	87.82	18	10.81	1092	6	101.02

* Volume máximo de água consumido

** Volume mínimo de água consumido

Figura 2 – Volume de consumo diário *versus* o número de acionamentos (liga/desliga) do conjunto motobomba.

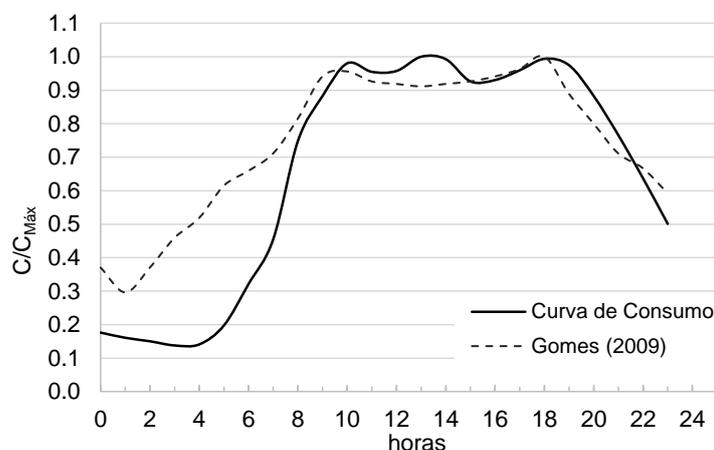


É importante destacar que os registros ocorreram no ano de 2020, período em que se registrou estiagem no estado. Desta forma, o subsistema destacado exportou água para o subsistema de captação superficial, o que justifica a expressiva diferença entre os volumes consumidos ao longo dos dias.

OBTENÇÃO DA CURVA DE CONSUMO

A quantidade de água consumida em um sistema público de abastecimento de água varia ao longo do ano e é influenciada pelos hábitos da população, pelas condições climáticas, entre outros. Durante o dia, a vazão consumida também varia continuamente. Nas horas diurnas, em geral, a vazão supera o valor médio, atingindo valores máximos próximos ao meio-dia, já durante a noite o consumo cai significativamente, atingindo valores mínimos durante a madrugada. Gomes (2009) apresenta uma curva padrão de demanda de água, ao longo de um dia, característica dos sistemas de abastecimento de água brasileiros. Esta curva mostra-se reproduzida na Figura 3, juntamente com a curva de consumo utilizada neste trabalho, obtida a partir dos registros de nível de água no reservatório superior associado aos registros de vazão bombeada, por um período de 10 dias. As duas curvas estão apresentadas de forma adimensionalizada, onde para cada hora o consumo (C) foi adimensionalizado pelo consumo máximo diário ($C_{MÁX}$). A curva de consumo utilizada neste trabalho representa a média dos consumos horários adimensionais para o período supracitado.

Figura 3 – Curva de consumo adimensionalizada



Como observado na Figura 3, a curva de consumo possui comportamento semelhante ao exposto por Gomes (2009), com maior consumo entre 08 e 18 horas, horário comercial, com valores mínimos ocorrendo por volta das 04 horas, no período da madrugada.

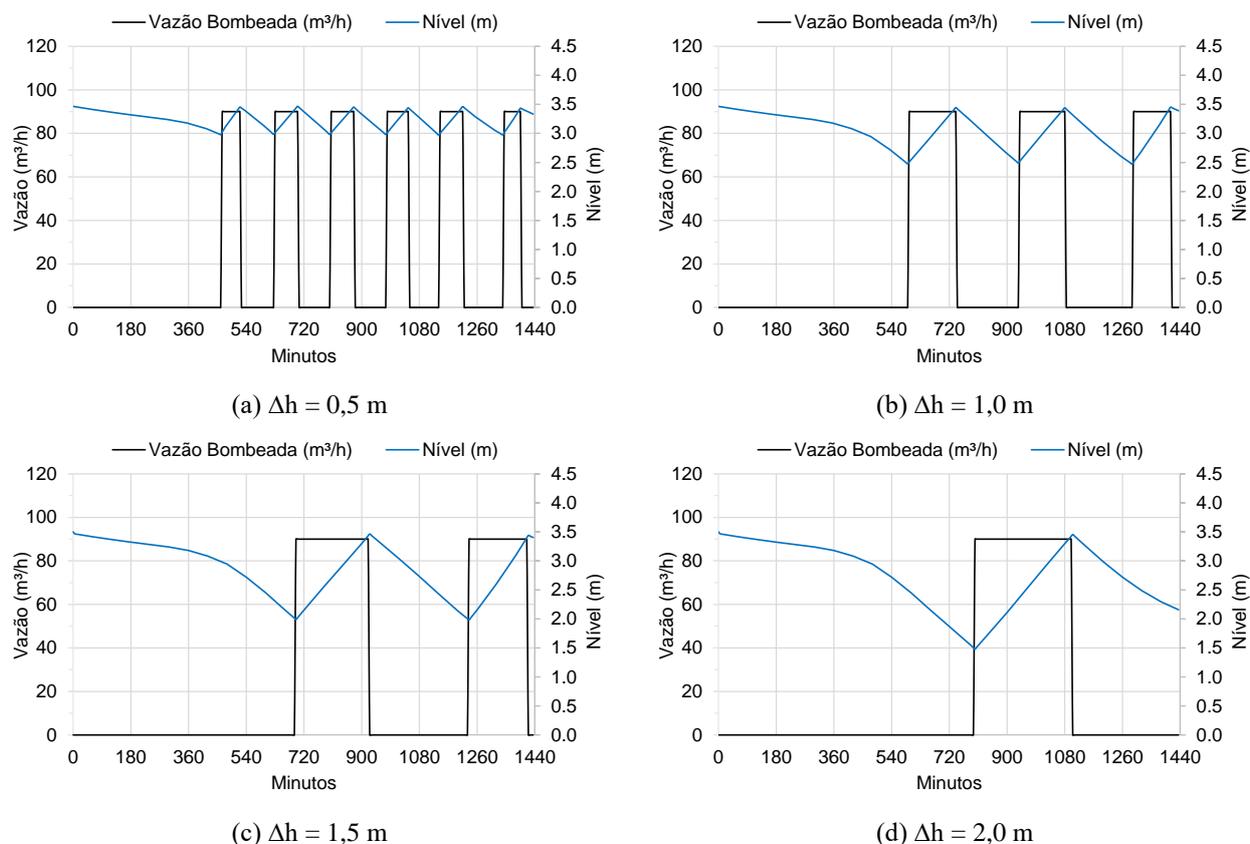
ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O perfil adimensional de consumo foi transformado em curva de consumo para representar o maior e o menor volume consumido de água no período analisado (Quadro 2). Para cada volume consumido, foram simulados quatro desníveis operacionais de água (Δh): 0,50 m, 1,0 m, 1,5 m e 2,0 m, com o objetivo de verificar o efeito desta variação no regime de operação da bomba.

De acordo com Mesquita et al. (2006) a constante partida e parada das bombas conduz a problemas como: altos picos de corrente devido à partida direta dos motores elétricos; alto custo de energia devido a não adaptação da velocidade da bomba à operação; alta tensão mecânica nos componentes mecânicos, devido à partida brusca dos motores; e diminuição da vida útil dos componentes mecânicos devido à fadiga, ocasionada pelo grande número de partida durante a operação. Além disso, os fabricantes deste tipo de equipamento também recomendam que se evite partidas sucessivas em um curto período de tempo. O fabricante da bomba instalada no local de estudo indica que o tempo de intervalo de uma partida não deve ser inferior a 15 minutos. Assim, estes aspectos foram considerados para analisar os resultados obtidos com as simulações realizadas.

Na Figura 4 são apresentados os resultados de operação da bomba para o volume mínimo de água consumido de 620 m³.

Figura 4 – Níveis de água no reservatório (m) e vazão bombeada (m^3/h) para o volume mínimo de água consumido.

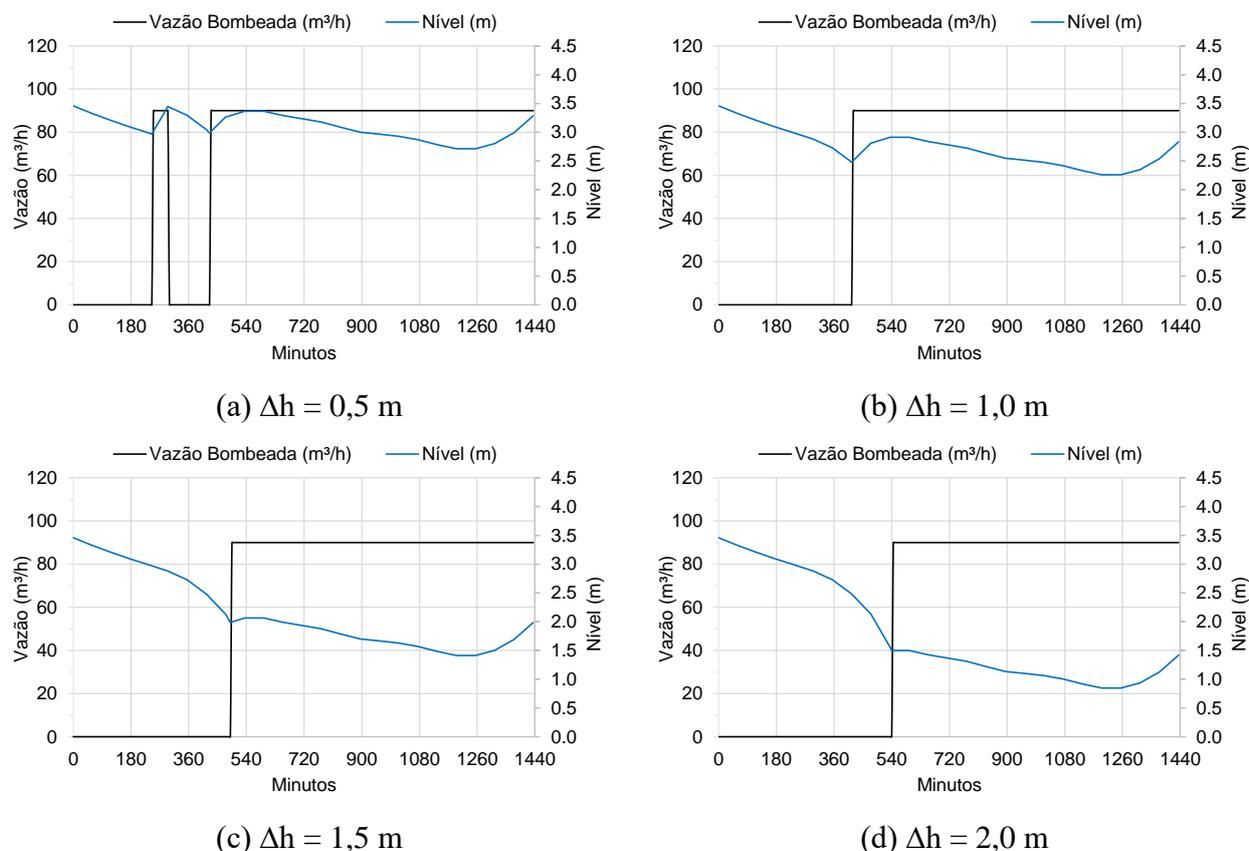


Nas quatro situações apresentadas na Figura 4 as condições operacionais de consumo, volume e tempo de funcionamento, são iguais. Contudo, observa-se que a alteração do desnível operacional provoca mudanças significativas no número de acionamentos do conjunto motobomba.

A

Figura 5 apresenta os resultados de operação da bomba para o volume máximo de água consumido ($1622m^3$). Diferente do cenário anterior, para o maior consumo, o desnível operacional tem menor impacto no número de acionamentos do sistema, já que a vazão bombeada é menor que o consumo de água e, por isso, o nível de água não atinge a marca programada para desligar, com exceção do desnível operacional de água igual a 0,5 m, no qual observam-se dois acionamentos.

Figura 5– Níveis de água no reservatório (m) e vazão bombeada (m^3/h) para consumo máximo diário.



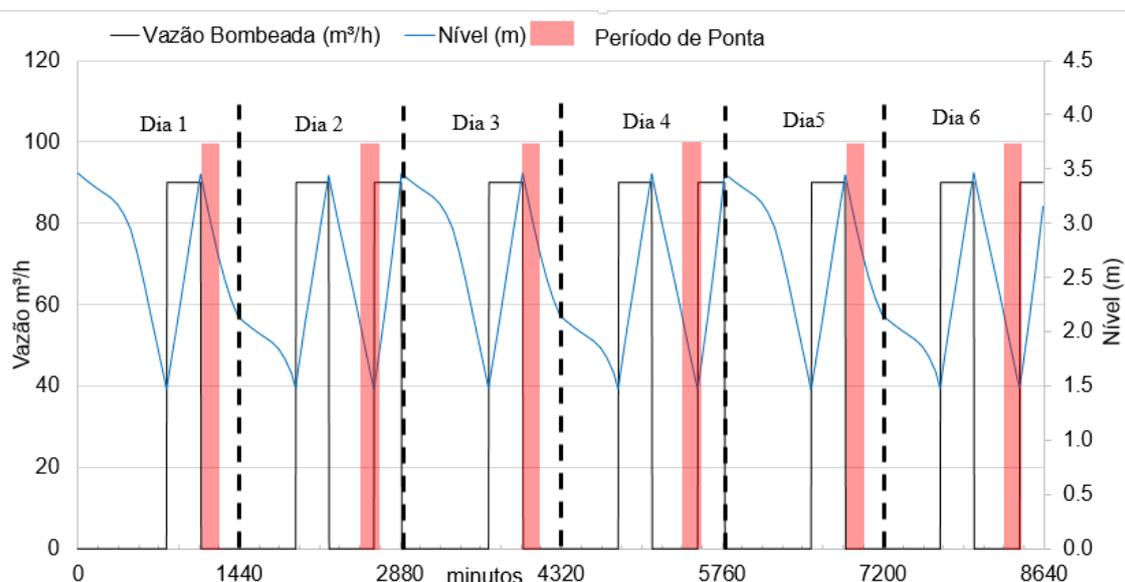
A comparação entre os volumes de consumo permite concluir que, para o volume mínimo, o sistema de bombeamento opera cerca de 6,8 horas (408 minutos). Por outro lado, para o volume máximo, o sistema opera, em média, 18 horas (1080 minutos). Ressalta-se que os períodos de funcionamento podem ser ininterruptos, situação em que o sistema é acionado apenas uma vez e permanece ligado, ou intercalados por períodos de desligamento do sistema.

Considerando o número de acionamentos, frente aos aspectos de diminuição da vida útil e fadiga dos componentes eletromecânicos, a situação menos favorável à conservação, com 6 acionamentos, foi observada para o volume de consumo e desnível operacional mínimos, 600 m^3 e $0,5 \text{ m}$, respectivamente (Figura 4a). Nesse caso, o tempo médio de funcionamento em cada acionamento foi de 1,25 horas (75 minutos).

Outro fator que pode ser discutido é a distribuição dos acionamentos ao longo do dia, especialmente, no que tange à tarifação diferenciada de energia dos períodos de ponta e fora de ponta. Nesse sentido, observa-se, por exemplo, que na simulação para o volume de consumo mínimo, com desnível operacional de água igual a 2 m (Figura 4d), apesar de o sistema ter sido acionado uma única vez, este acionamento poderia coincidir com o período de ponta. Assim, para que a análise seja mais acurada é importante que o período de simulação seja ampliado.

A fim de elucidar o impacto do período de simulação nos resultados foi avaliado, para o período de 6 dias, o comportamento da operação com consumo mínimo e desnível operacional máximo. Na Figura 6 observa-se a diferença nos horários e no número de acionamentos diários.

Figura 6– Simulação da operação do reservatório para o consumo mínimo diário (600 m^3) e desnível operacional de água máximo (2 m).



Nos dias 1, 3 e 5 observam-se apenas um acionamento, que se encerra imediatamente após o início do horário de ponta. Já nos dias 2, 4 e 6 verificam-se dois acionamentos, o primeiro, no período fora de ponta, e o segundo, iniciando ao final do período de ponta.

Todavia, é importante destacar que simulações como a deste trabalho, para SAA reais, são mais complexas, pois o volume de água consumido pela população varia diariamente e, portanto, a determinação de um padrão de operação vai exigir um número maior de dias de medição e posterior simulação, considerando as diferenças no padrão de consumo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A operação dos sistemas de bombeamento tem relação direta com os custos dispendidos com energia elétrica e com manutenção dos equipamentos em sistemas de abastecimento de água. A proposta deste trabalho foi avaliar o impacto que o desnível operacional de água de um reservatório superior tem na operação do conjunto motobomba a ele associado, considerando dois cenários de volume de consumo (m^3/dia) e quatro desníveis operacionais de água. Das análises apresentadas, seguem as seguintes considerações finais:

- a alteração do desnível operacional dos reservatórios provoca mudanças significativas no número de acionamentos do conjunto motobomba;
- para volumes de consumo maiores, o desnível operacional tem menor impacto no número de acionamentos. Além disso, nestes casos, pode ocorrer que o consumo seja superior a vazão bombeada, exigindo maior tempo de funcionamento;
- os períodos de funcionamento podem ser ininterruptos, situação em que o sistema é acionado apenas uma vez e permanece ligado, ou intercalados por períodos de desligamento do conjunto motobomba. Nas situações simuladas o primeiro caso está associado ao maior e o segundo ao menor desnível operacional do reservatório;
- para os cenários abordados, a situação menos favorável à conservação eletromecânica dos equipamentos, com 6 acionamentos, foi observada para o volume de consumo e desnível operacional mínimos, 600 m^3 e 0,5 m, respectivamente.

A operação de um sistema de bombeamento em um SAA envolve muitos fatores, desde aspectos econômicos e técnicos, que devem ser observados com vistas a garantir o abastecimento da população de modo eficiente. Nesse sentido, simulações da operação dos reservatórios e, também, do sistema de bombeamento, devem ser realizadas de modo a obter resultados coerentes com a prática.

Portanto, para a tomada de decisão da equipe gestora e operacional das companhias de saneamento, torna-se importante incluir a maior parte dos fatores intervenientes possíveis nas simulações como, por exemplo, os diferentes volumes de consumo diários com a adoção de um número suficiente de dias de simulação, que permitam reconhecer padrões de consumo e operação que possam ser extrapolados para o contexto real.

REFERÊNCIAS

COELHO, B.; ANDRADE-CAMPOS, A. G. Efficiency achievement in water supply system – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. v. 30, p. 59-84, 2014.

GOMES, H. P. *Sistemas de Bombeamento: eficiência energética*. 2 ed. João Pessoa: Editora Universitária UFPB, 2012. 459 p.

KURITZA, J. C. *Sistemas de bombeamento de água com velocidade de rotação variável*. 2017. 161 f. (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2017.

LOPES, R. M. *Metodologia para otimização da regra de operação e avaliação do custo do ciclo de vida de sistemas de bombeamento de água*. 2020. 166 f. (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2020.

LUNA, T. et al. Improving energy efficiency in water supply systems with pump scheduling optimization. *Journal of Cleaner Production*, [s.l.], v. 213, p.342-356, mar. 2019. Elsevier BV.

MACÊDO, J. E.S.; BEZERRA, S. T. M. Design of Optimal Water Distribution Systems Using Particle Swarm Optimization In: *Ibero-American Seminar on Water and Drainage Networks, XV.*, 2017. Bogotá. Disponível em: < https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3109110>. Acesso em 18 jun. 2021.

MESQUITA, A. L. A.; SILVA, L. J. S.; ABRAHIM JÚNIOR, O. PEREIRA, J. A. R.; SILVA, A. C. P. Aspectos Importantes na Utilização de Bombas Centrífugas em Velocidade Variável para a Redução do Consumo de Energia. In: *Seminário Iberoamericano sobre Sistemas de Abastecimento Urbano de Água*, 6, João Pessoa, 2006. Anais. Disponível em: <[http://www.lenhs.ct.ufpb.br/html/downloads/serea/6serea/TRABALHOS/trabalhoA%20\(7\).pdf](http://www.lenhs.ct.ufpb.br/html/downloads/serea/6serea/TRABALHOS/trabalhoA%20(7).pdf)>. Acesso em: 20 jun. 2021.

MOREIRA, F. N. C.; FERREIRA, J. F. H.; PEREIRA, J. A. R. Impact of Water Loss on Lost Electric Energy in Water Pumping Stations. In: *Ibero-American Seminar on Water and Drainage Networks, XV.*, 2017. Bogotá. Disponível em: <https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3112994>. Acesso em 14 jun. 2021.

MURANHO, J. et al. WaterNetGen: an EPANET extension for automatic water distribution network models generation and pipe sizing. *Water Science and Technology: Water Supply*, [s.l.], v. 1, n. 12, p.117-123, fev. 2012.

RAMOS, H. M. et al. Energy efficiency in a water supply system: energy consumption and CO2 emission. *Water Science and Engineering*. v. 3, n. 3, p. 331-340, 2010.

BRASIL. *Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: 25º Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto - 2019*. Brasília: Ministério do Desenvolvimento Regional, 2020.

SOLERA, E. M.; TOLEDO, F. M. B; SANTOS, M. O.; ARENALES, M. N. Otimização dos custos de energia elétrica na programação da captação, armazenamento e distribuição de água. *Production*, v. 26, n. 2, p. 385-401, 2016.

TEDESCO, M. V. Dimensionamento de Equipamentos para Extração de Água em Poços Tubulares. In: *Encontro Nacional de Perfuradores de Poços*, 10, 1997. Anais. Disponível em: <<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/22353/14687>>. Acesso em 25 jun. 2021.

VILANOVA, M. R. N, *Desenvolvimento e avaliação de indicadores de eficiência hidráulica e energética para sistemas de abastecimento de água como ferramenta de suporte à tomada de decisões*. (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2012.