

REVISTA AIDIS

de Ingeniería y Ciencias Ambientales:
Investigación, desarrollo y práctica.

AVALIAÇÃO DA IMPORTÂNCIA DO VOLUME ÚTIL DE RESERVATÓRIO ELEVADO PARA A DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA PARA ÁREA URBANA

*Francisca Nara da Conceição Moreira¹
Augusto da Gama Rego²
José Almir Rodrigues Pereira³

EVALUATION OF THE IMPORTANCE OF USEFUL VOLUME OF HIGH RESERVOIR FOR THE DISTRIBUTION OF WATER FOR URBAN AREA

Recibido el 8 de marzo de 2018; Aceptado el 7 de junio de 2019

Abstract

The importance of the useful volume of high reservoir for hydroenergetic efficiency in urban water supply systems. The research was carried out in the Guanabara, Ananindeua, Belém, Pará Pumping and Reservation System. The work was divided into three stages, namely, the determination of the Guanabara Sector Flow Hidrogram. In the second stage, the hydroenergetic conditions of the operating volume of the reservoir system were analyzed. And in the third step the cost analysis of the hydroenergetic conditions of the useful volume of the elevated reservoir was carried out. In the research it was verified that the useful volume of the high reservoir of the Guanabara Sector does not allow the reduction of water pumping at the peak hour, which, naturally, influences the value of the electric energy expense and that the high reservoir was being used as "junction box". Thus, there is a need to study alternatives with the purpose of modifying the current operating situation of the Guanabara Sector's reservation unit, aiming at reducing electricity consumption and expenditure.

Keywords: ananindeua, Useful volume, water distribution tank, urban área.

¹ Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Pará (UFPA), Brasil.

² Faculdade de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal do Pará (UFPA), Brasil.

³ Instituto Federal do Pará, Brasil.

* Autor correspondiente: Instituto de Tecnologia da Universidade Federal do Pará (PPGEC/ITEC), Universidade Federal do Pará – UFPA. Email: naramoreira2012@gmail.com

Resumo

A importância do volume útil de reservatório elevado para eficiência hidroenergética em sistemas de abastecimento de água em área urbana. A pesquisa foi realizada no sistema de bombeamento e reservação de água do Setor Guanabara, Ananindeua, Belém, Pará. Para isto, o trabalho foi dividido em três etapas, a saber, na primeira foi realizada a determinação do Hidrograma de vazão do Setor Guanabara. Na segunda Etapa ocorreu a análise das condições hidroenergética do volume útil de operação do sistema de reservação. E na terceira Etapa foi realizada a análise de custo das condições hidroenergética do volume útil do reservatório elevado. Na pesquisa foi verificado que o volume útil do reservatório elevado do Setor Guanabara não permite a redução do bombeamento de água no posto horário de ponta, o que, naturalmente, influencia no valor da despesa de energia elétrica e que o reservatório elevado estava sendo utilizado como “caixa de passagem”. Assim, verifica-se a necessidade de estudar alternativas com a finalidade de modificar a atual situação operacional da unidade de reservação do Setor Guanabara, visando a redução do consumo e despesa de energia elétrica.

Palavras chave: ananindeua, Useful volume, water distribution tank, urban area.

Introdução

O reservatório é unidade de grande importância no sistema de abastecimento de água, pois é possível regularizar vazão na rede de distribuição e evitar tensões cíclicas (Tsutiya, 2006; Wallace *et al.*, 2016). Além disso, proporciona maior estabilidade no fornecimento de água, e armazena água no horário de ponta do sistema elétrico, reduzindo os custos com energia elétrica (Puleo *et al.*, 2014; Bolognesia, 2014).

Porém, um dos principais problemas no sistema de reservação de água é a utilização ineficiente do volume útil, o que pode ocasionar descontrole operacional e fazer com que os reservatórios necessitem de bombeamento no horário de ponta, em que as tarifas de energia elétrica tendem a serem mais onerosas.

Todavia, nas normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) não são considerados o consumo e o custo de energia elétrica no dimensionamento dos reservatórios para os SAA's. Por conseguinte, isso tem contribuído para altos custos de energia elétrica, com relação direta na despesa para os prestadores dos serviços de abastecimento de água.

Por outro lado, faz-se necessária utilização eficiente do volume útil de reservação, logo, planejamento e controle dos níveis dos reservatórios, a fim de garantir o atendimento da demanda e minimizar custos operacionais. Tais metas revelam a importância deste trabalho, o qual pode proporcionar tanto economia significativa, como também melhor uso do sistema elétrico brasileiro.

Dessa forma, a pesquisa parte do princípio de que conhecendo as variações dos níveis úteis de reservação é possível diagnosticar problemas e levantar soluções para redução de despesas e

melhoria na qualidade dos serviços prestados (Tsutiya, 2006; Ietsugu, 2012; Matrosov, 2015). Assim, o trabalho teve como objetivo verificar a relação do volume útil de reservação com o desempenho hidroenergético em um setor de distribuição de água.

Metodologia

Área de estudo

A pesquisa foi realizada no 37º Setor de Abastecimento de Água Guanabara, localizado no Bairro da Guanabara, município de Ananindeua, Região Metropolitana de Belém (RMB), Pará, Brasil, conforme mostrado na Figura 1. Esse setor é operado pela Companhia de Saneamento do Estado do Pará (COSANPA) e foi projetado com final de plano em 2016 para abastecer 27250 habitantes com consumo per capita de água de 150 l/hab.dia, ou seja, demanda de aproximadamente 7357.68 m³ diários.

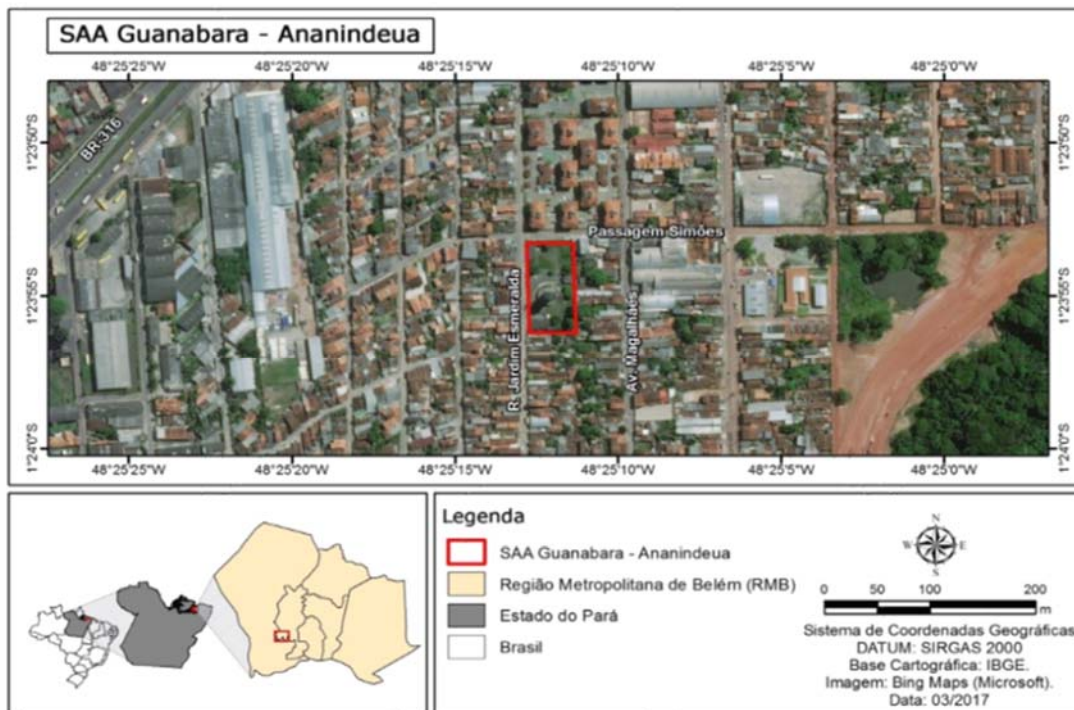


Figura 1. Localização do Setor Guanabara no município de Ananindeua, Pará.

A pesquisa foi desenvolvida em três etapas. Inicialmente foi realizada a análise da variação dos níveis de reservação do reservatório elevado. Na segunda Etapa Condições hidroenergético e na terceira Etapa foi avaliado as condições hidroenergéticas do sistema.

Para o desenvolvimento desse trabalho foram consultadas informações na base dados do Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento da Universidade Federal da Pará (LENHS UFPA). Nesse sentido, encontrou-se monitoramento dos parâmetros hidráulicos realizados pela Equipe LENHS UFPA de forma contínua no período de 17 a 24 de Outubro de 2014. Todavia, foram abordados somente os dados referentes ao dia 23.

Para a análise dos resultados, foram desenvolvidos gráficos específicos no software Minitab 18 relacionando as grandezas hidroenergéticas, para identificação de problemas operacionais e para definição das principais medidas corretivas.

Etapa 1. Determinar Hidrograma de vazão do Setor Guanabara

Nessa etapa foi realizada a caracterização do sistema, como, as unidades componentes do Setor Guanabara, vazão distribuída e população atendida. Por conseguinte, com os valores de vazão de distribuição do sistema foi determinado da curva de consumo diária do Setor Guanabara.

Etapa 2. Análise das condições hidroenergética do volume útil de operação do sistema de reservação

Na Análise das condições hidroenergéticas do sistema de reservação foi verificada a variação, comportamento e utilização dos níveis dos reservatórios apoiado e elevado, e o volume de água armazenado.

Etapa 3. Análise de custo das condições hidroenergética do volume útil do reservatório elevado

Nessa etapa foi verificado o comportamento hidroenergético em função do monitoramento de distribuição do reservatório elevado. A partir disso, foram determinados valores de energia elétrica para determinar o consumo no horário de ponta e fora de ponta do setor elétrico.

Resultados e discussão

Determinação do hidrograma de vazão do setor guanabara

O Setor Guanabara é composto por subadutora, reservatório apoiado, estação elevatória de água tratada, reservatório elevado e rede de distribuição de água, Esse Setor integra o Sistema Bolonha e é composto por subadutora, reservatório apoiado, estação elevatória de água tratada, reservatório elevado e rede de distribuição de água. Esse sistema foi projetado com final de plano em 2016 para abastecer 27250 habitantes com consumo per capita de água de 150 l/hab.dia e demanda de aproximadamente 7357.68 m³ diários. Na Figura 2 é mostrada a configuração que melhor representa esse SAA. Tal sistema utiliza água superficial que é captada do rio Guamá para o lago Água Preta o qual mantém o nível do lago Bolonha por gravidade. O lago Bolonha juntamente com o lago Água Preta e o rio Guamá fazem parte do Complexo Hídrico Estadual do Utinga, e embora existam, nascentes naturais nos lagos, 90% das suas águas são captadas no rio Guamá por meio de sistema de bombeamento (Vasconcelos; Souza, 2011).

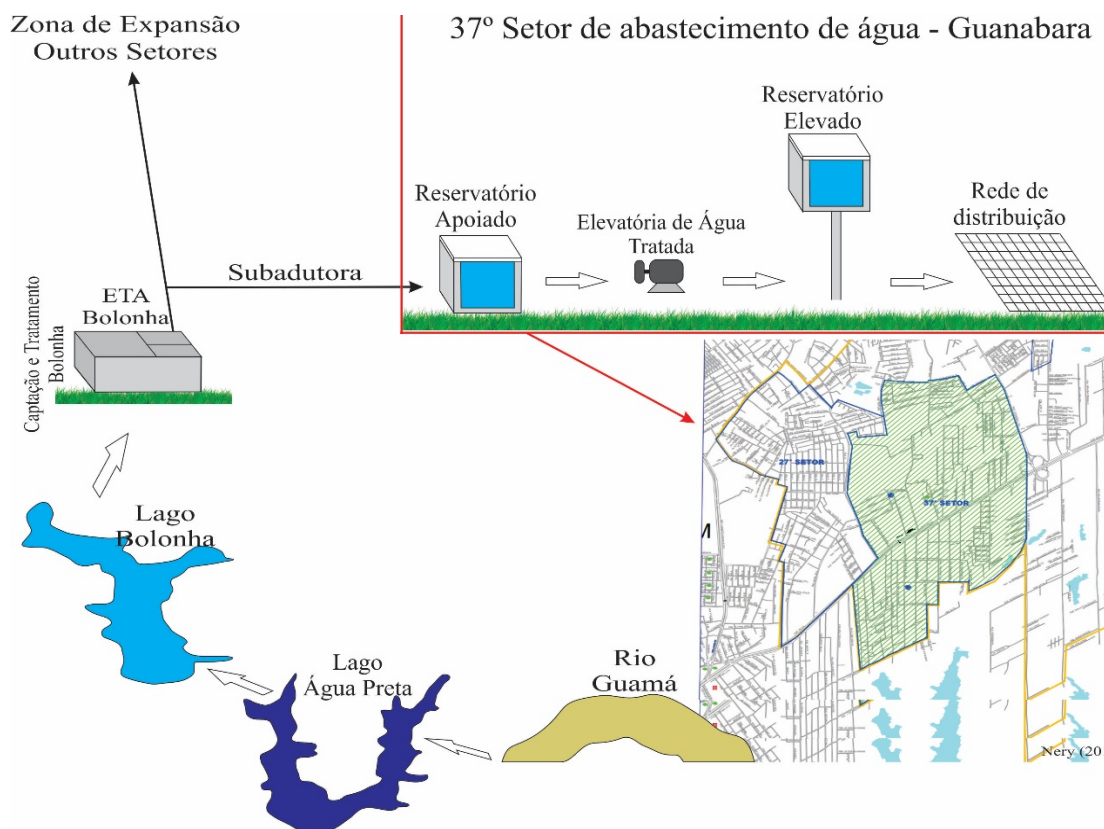


Figura 2. Configuração a do Setor de Abastecimento de Água do Guanabara.

Nas proximidades localiza-se a estação de água tratada Bolonha onde ocorre o tratamento de água. Posteriormente, a água tratada é distribuída para diversos setores da Zona de Expansão, dentre eles o setor Guanabara.

Ademais, com base no monitoramento dos parâmetros hidráulicos realizados pela Equipe LENHS UFPA (2014), foi determinada a curva de consumo no Setor Guanabara, conforme mostrado na Figura 3. O volume de água distribuído em um dia no Setor Guanabara foi de 8390.15 m³ e vazão média de 349.59 m³/h.

A curva de consumo diária é positiva quando o volume de alimentação é maior do que o volume de distribuição, e negativa no caso contrário. Na Figura 3 é mostrado que as 06:00 horas a vazão de consumo ultrapasa a vazão de adução, de modo que o reservatório começa a esvaziar, terminado as 22:00 horas. Entre os intervalos de 23:00: e 05:00 horas, a adução supera o consumo e o reservatório acumula água para cedê-la ao setor no intervalo de tempo 06:00 e 22:00, complementando a adução.

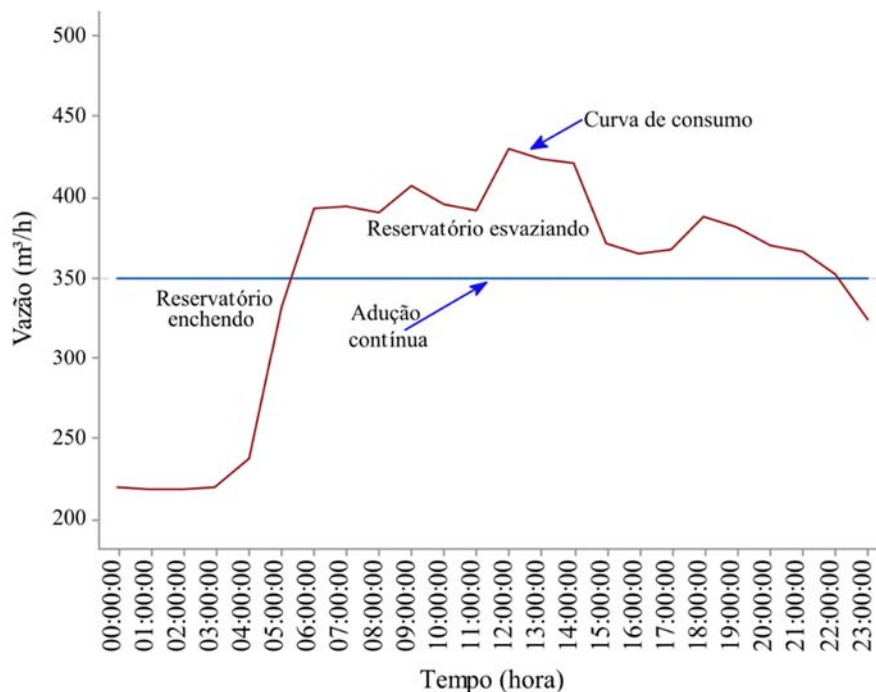


Figura 3. Curva de consumo do Setor Guanabara.

Análise das condições hidroenergética do volume útil de operação do sistema de reservação

A vazão média diária de água na entrada do reservatório apoiado do Setor Guanabara foi de 317.15 m³/h, a qual é aduzida por subadutora, tendo registro de derivação instalado para realizações de medição de vazão (Figura 4) e registro de manobra manual para controlar a vazão afluyente ao reservatório apoiado (Figura 5).



Figura 4. Entrada da Subadutora no R.A.



Figura 5. Registro na entrada do R.A.

Na Figura 6 é apresentado o comportamento horário da altura da lâmina líquida do nível do reservatório apoiado, encontradas nos dados das variações das vazões hidráulicas nas 24 horas da rotina operacional do sistema de bombeamento e reservação do Setor Guanabara.

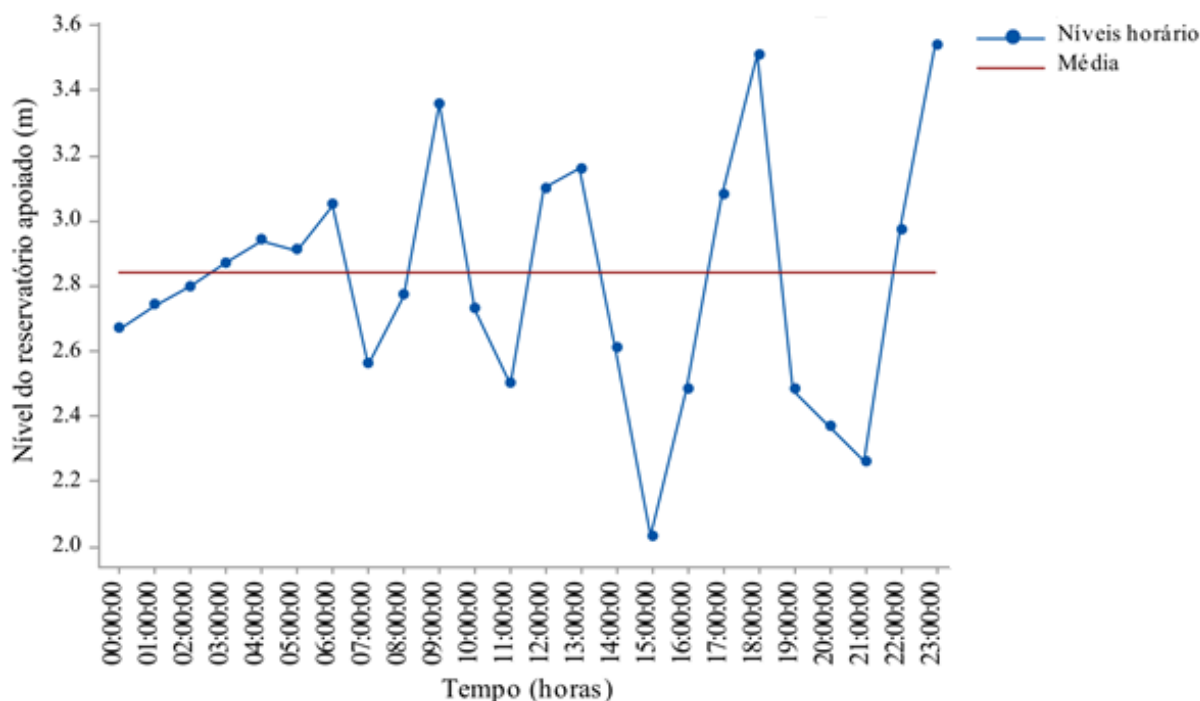


Figura 6. Comportamento horário do nível do reservatório apoiado.

Com as variações das vazões hidráulicas do nível da lâmina d'água do reservatório apoiado foi possível verificar que a altura da lâmina líquida aumentou continuamente no período de 00h00min às 06h00min, indicando que a vazão de entrada no reservatório apoiado é maior que a vazão recalçada pelos CMB's para o reservatório elevado. Neste sentido, o consumo de água foi menor quando comparado ao de outros horários do dia. Nos demais horários, a altura da lâmina líquida oscilou.

No intervalo das 18h00min às 21h00min também foram observados níveis baixos da lâmina líquida, resultando na necessidade de funcionamento dos CMB's nesse horário. Considerando que a tarifa de energia elétrica no 37º setor é do tipo horosazonal, neste sentido, cabe observar que para esse horário o custo de energia elétrica é mais oneroso. Ademais, o nível de água do reservatório apoiado aumentou a partir das 23h00min, em razão da redução do bombeamento de água para o reservatório elevado e do menor consumo.

Na Figura 7 é mostrado o comportamento dos níveis de reservação operados no Setor Guanabara no dia 23. Logo, observa-se que a operação ultrapassou o nível máximo estabelecido no projeto (3.80 m), o que pode ter ocorrido por problemas de operação.

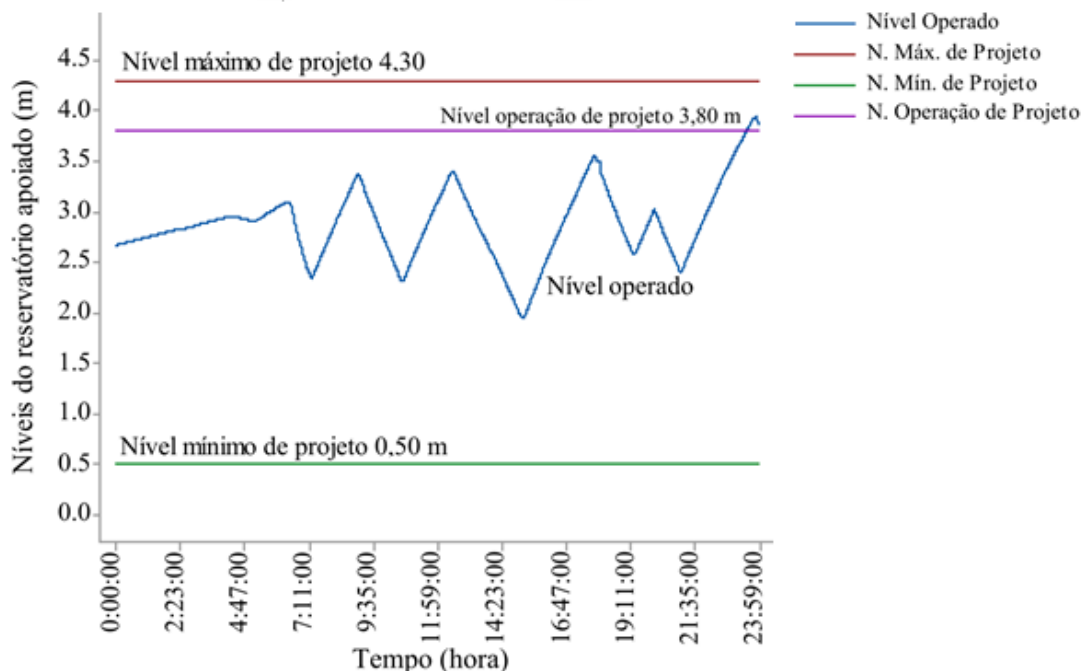


Figura 7. Variação do nível do reservatório apoiado - Setor Guanabara.

O nível máximo de projeto do reservatório apoiado é de 4.30 m e o nível mínimo de 0.50 m. Todavia, é verificado que esses níveis não foram operados de forma correta. Por outro lado, os níveis mínimo e máximo de operação variaram entre 1.95 e 3.94 m respectivamente, não atendendo o estabelecido no projeto de 0.50 m, nem o nível operação de 3.80 m.

A utilização ineficiente do volume útil do reservatório apoiado geram impactos negativos. A respeito disso, Shokri (2014) resalta que a posição do nível da água no reservatório pode reduzir em até 36% o consumo de energia elétrica.

O volume do reservatório apoiado é sempre em função do balanço hídrico, ou seja, A rotina operacional do reservatório apoiado não é fixa, pois é relacionada com a demanda de consumo de água distribuída, ou seja, aduzida e bombeada. Se o volume bombeado é maior do que o aduzido, o nível do reservatório apoiado diminui, uma vez que, esta sendo bombeado mais do que o reservatório está recebendo.

Em contrapartida, se somente uma das bombas estiver desligada, geralmente o que é distribuído é maior do que está sendo bombeado (Abday, 2014; Sobrinho; Borja, 2016). Dessa forma, o nível tende a aumentar novamente, um exemplo desse comportamento é mostrado no Figura 8. A respeito disso, Gomes (2012), Soler *et al.* (2016) e Silva (2015) comentam que os principais parâmetros de controle operacional dos reservatórios são o nível da lâmina líquida e as vazões de entrada e de saída do reservatório. Esses parâmetros devem ser utilizados como referência no monitoramento de reservatório.

Vale ressaltar que o nível do reservatório elevado também varia conforme a distribuição e de acordo com a demanda, o reservatório apoiado sofrerá modificações equivalentes ao do reservatório elevado ao longo do dia, pois, quando o CMB é acionado para recalcar água ao reservatório elevado o nível o reservatório apoiado diminui, e neste sentido os níveis dos reservatórios apoiado e elevado do setor do Guanabara se comportaram de forma inversamente proporcional, conforme mostrados no Figura 9.

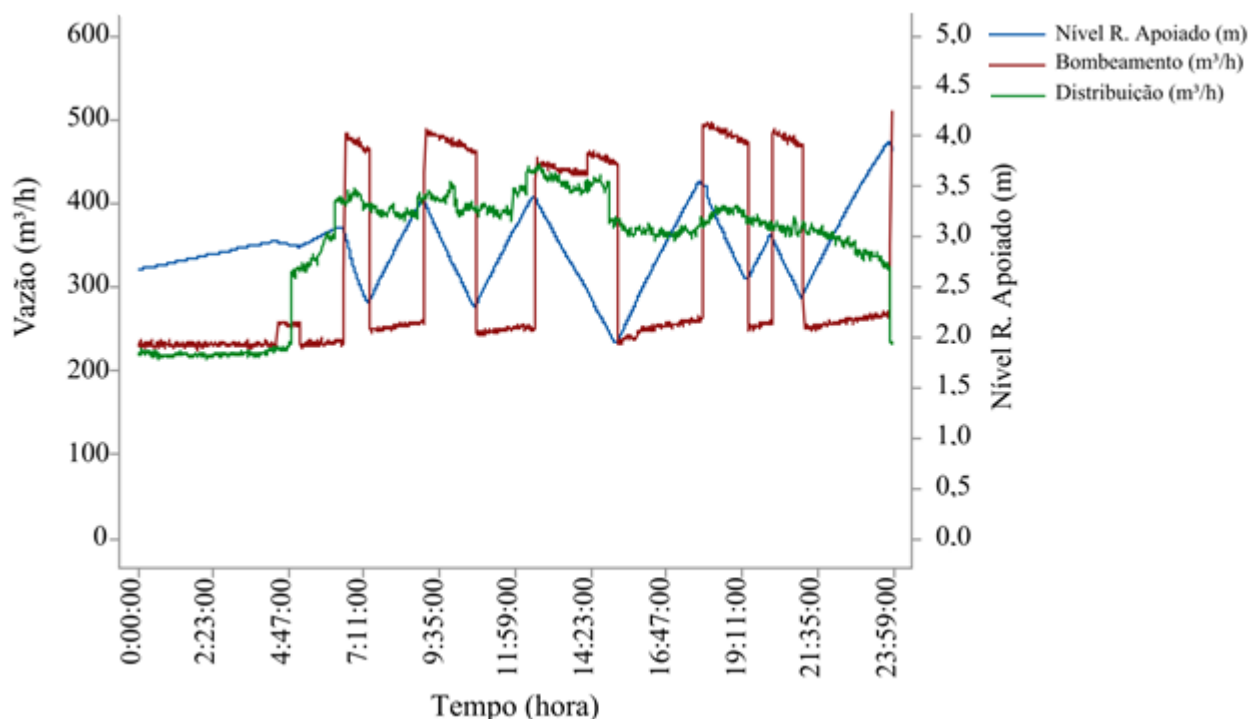


Figura 8. Operação do Reservatório apoiado.

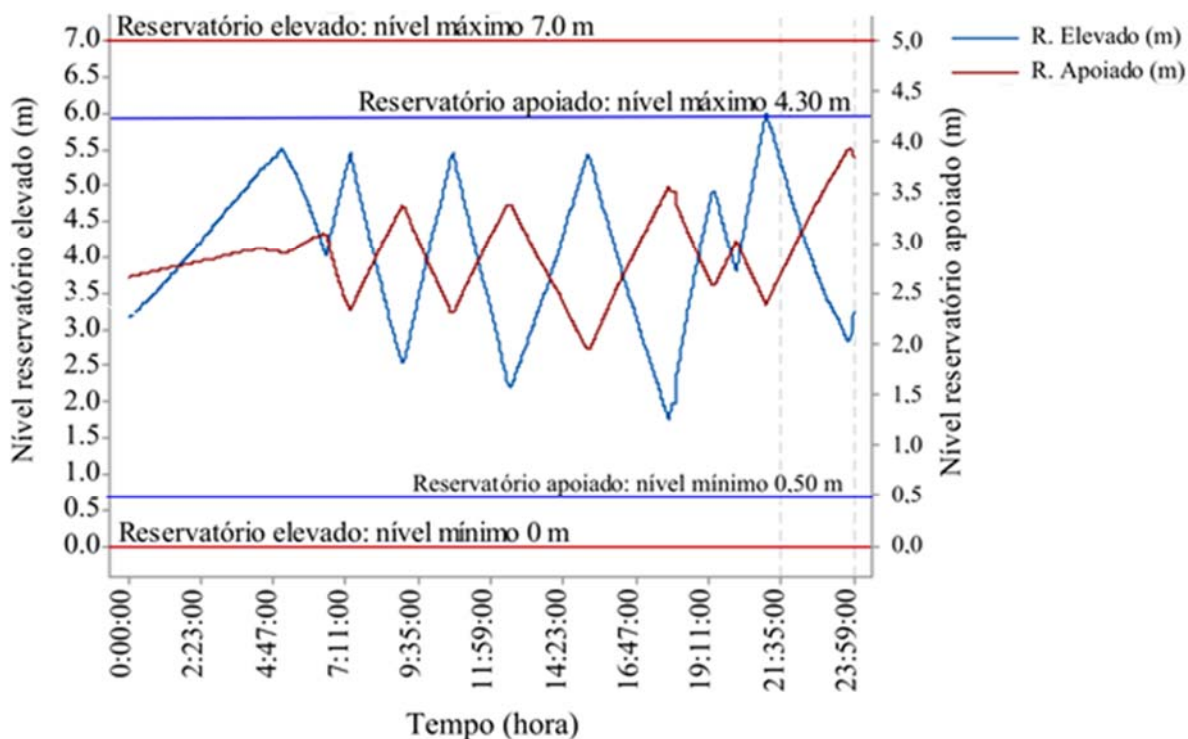


Figura 9. Comportamento dos níveis dos reservatórios apoiado e elevado.

Com base nos dados das variações das vazões hidráulicas foi constatada a utilização ineficiente do volume útil do reservatório apoiado. Por conseguinte, foram verificadas alturas máxima de 3.94 m e mínima de 1.95 m, isso representou 47.63% (393.37 m³) do volume útil de operação do reservatório apoiado de 751.16 m³, ou seja, mais da metade (52.37%) do volume não foi utilizado, conforme mostrado na Figura 10.

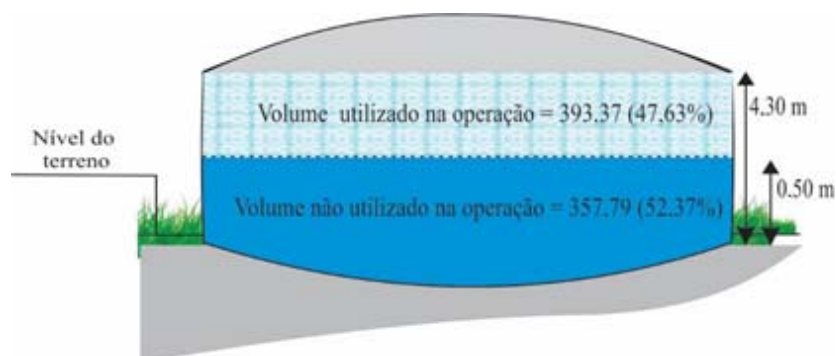


Figura 10. Volume de água utilizado na operação do reservatório apoiado do 37º setor.

Assim, os principais problemas constatados em relação ao nível de reservação foram, a não utilização de toda altura útil do reservatório apoiado e do volume útil projetado para operação. Além dos baixos níveis de reservação instantes antes do posto horário de ponta, quando a tarifação de energia elétrica tende a ser mais onerosa.

Foi observado volume distribuído no dia de 8.390,15 m³ de água, por sua vez, a maior vazão distribuída ocorreu as 12:00 (430.25 m³/h) e mínima as 02:00 (218.90 m³/h), horário similar a outras curvas de consumo de outros setores na Região Metropolitana de Belém, Pará. Essa vazão diária será utilizada para o dimensionamento do volume útil de reservação na etapa 2.

O nível máximo e mínimo de reservação do reservatório elevado monitorado na atual operação do Setor Guanabara não coincidiu com valores estabelecidos no projeto, sendo esses de 7.0 e 0 metros respectivamente, conforme mostrado no Figura 11. Foi verificada forma diferente de operação dos níveis de reservação do reservatório elevado, com isso é mostrado no Gráfico 6 que o nível baixou próximo a 1.80 m e em outros momentos operou entre o nível mínimo de 1.77 m e máximo de 6.01 m, funcionando, assim, como caixa de passagem, não realizando sua função principal que é de regularizar vazões ao longo do dia, tal problemática é dicutida por Tsutiya (2006), Gomes (2012), Freitas (2016) e Ozcelik (2017).

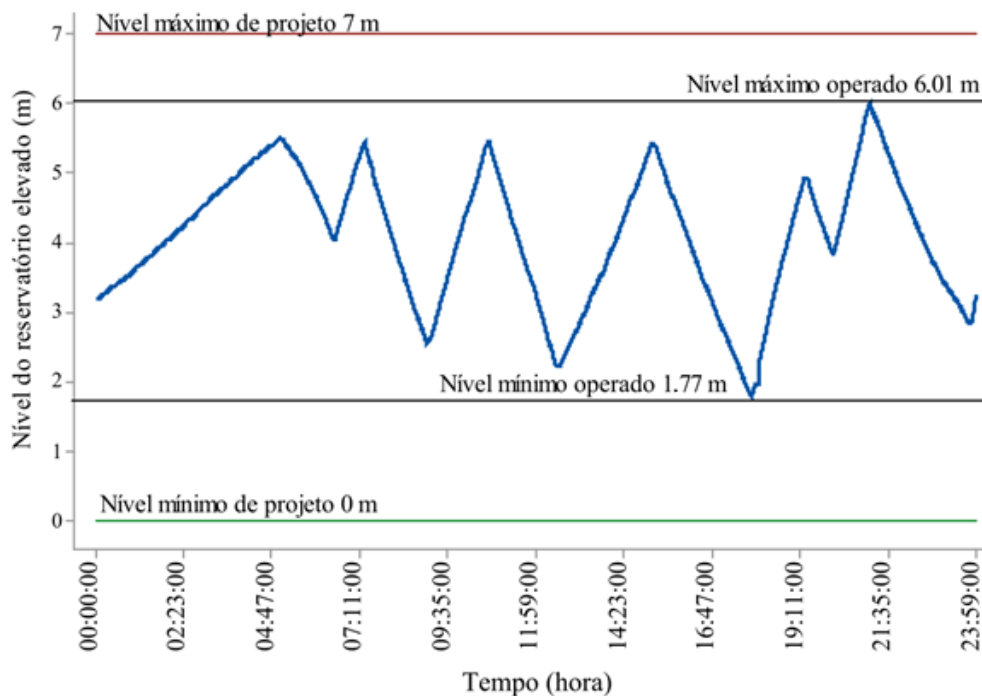


Figura 11. Variação do nível do reservatório Elevado - Setor Guanabara.

O número elevado de ciclos de acionamento e desligamento dos CMB da elevatória de água tratada é indício de volume útil de reservação no reservatório elevado abaixo da demanda existente (Vilanova, 2015). Portanto, sendo necessário estudo criterioso da real demanda que o reservatório elevado pode atender e verificação da possibilidade de reduções de demanda, por redução de perdas reais. Na Figura 12 é mostrado o comportamento do hidrograma de vazão. Vale observar que o hidrograma de distribuição de água não é característico, em razão das manobras realizadas no registro da tubulação de descida do reservatório elevado e que essa curva obedece ao mesmo padrão da vazão bombeada (Relatório Técnico, 2014). Com isso, o controle da vazão de distribuição é realizado com o acionamento ou desligamento dos CMB's.

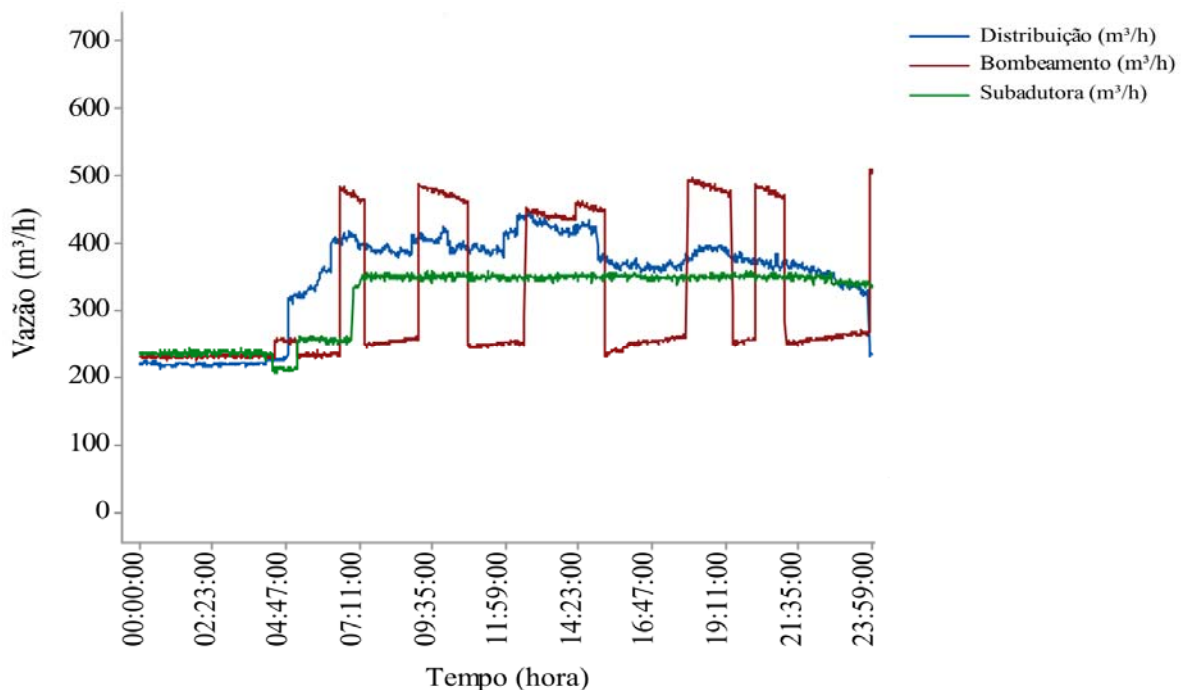


Figura 12. Vazão na subadutora, no bombeamento e na distribuição do Setor Guanabara.

A prática de controle da vazão distribuída com o acionamento do CMB é prejudicial ao sistema, por alguns motivos, a saber, as manobras contínuas dos registros recalque podem diminuir a vida útil dos próprios registros, bem como a vida útil do CMB, pois o mesmo acaba funcionando com carga superior para qual foi dimensionado previamente.

Além disso, a regulagem da vazão distribuída faz com que a pressão dinâmica na rede de distribuição de água possa estar abaixo do valor da NBR 12218 (1994), o que pode causar falta de água a população. Também faz com que o hidrograma de distribuição se torne descaracterizado, impedindo o cálculo exato do coeficiente da hora de maior consumo.

Assim, o volume de água bombeado no posto horário de ponta deve ser analisado para ser modulado para horários anteriores, para que seja possível a paralisação do bombeamento no posto horário de ponta para a tarifa de energia elétrica, desde que a demanda de água no setor seja controlada.

Análise de custo das condições hidroenergética do volume útil do reservatório elevado

Na Tabela 1 são mostrados os valores na operação do Setor Guanabara monitorados pela Equipe LENHS – UFPA. Logo, o bombeamento de água no posto horário de ponta foi de 1185.54 m³ e no posto horário fora de ponta foi de 6517.85 m³. A soma desses volumes gerou despesa mensal de energia elétrica de 33402.51 kW e R\$ 27801.53.

Na simulação para os dados de projeto, foi verificado que o bombeamento de água no posto horário de ponta correspondeu a 8.51% (691.91 m³), sendo que, mensalmente, isso representaria 47.82% na despesa total (R\$ 25789.54). Portanto, apesar de existir o volume projetado e o volume de monitoramento é preciso ainda investigar qual o volume teórico útil é mais eficiente hidroenergeticamente para o Setor Guanabara.

Tabela 1. Valores hidroenergéticos dos volumes de operação do Setor Guanabara.

Vazão de Bombeamento (m ³)		Despesas							
		Energia Elétrica kW (mês)		R\$					
H.P	H.F.P	H.P	H.F.P	Mês		Total/mês	Ano		Total/ano
				R\$/H.P	R\$/H.F.P	R\$	R\$/H.P	R\$/H.F.P	R\$
1185.54	6517.85	5174.36	28228.15	13799.67	14001.87	27801.53	165595.99	168022.42	333618.42

Legenda: H.P: Posto Horário de Ponta; H.F.P: Posto Horário Fora de Ponta.

Análise geral do sistema

Com base no volume distribuído monitorado pela Equipe LENHS (2014) no Setor Guanabara foi verificado que o consumo per capita estava superior daquele projetado, ou seja, o volume de água o qual estava sendo distribuído era maior daquele consultado no projeto executivo, conforme mostrado na Tabela 2.

Tabela 2. Comparação dos dados de projeto e de operação - Setor Guanabara.

Dados	volume (m ³) R _{apoiado}	volume (m ³) R _{elevado}	distribuição (m ³ /dia)	Distribuição/ Reservatório	Pop. hab.	q l.hab.dia	Nível (m)
Projeto	850	500	4087.50	8.18	27.250	150	7 0
Monitorado	402.74	302.86	8390.15	27.70	27.250	308*	6.01 1.77

*(8.390,15÷27.250 x 1000 = 308).

Vale comentar também que a operação do SAA projetado para o Setor Guanabara não cumpriu as recomendações da NBR 12217 (1994), haja vista, que o volume para atendimento de final de plano estava superdimensionado, conforme verificado nas variações das vazões dos parâmetros hidráulicos, mostrados na Tabela 2.

É importante ressaltar que durante um dia, o volume de água distribuído no 37° SAA se manteve superior ao valor de 4087.50 m³/dia (projetado), tendo em vista, que o volume distribuído monitorado foi de 8390.15 m³/dia, sendo esse, cerca de duas vezes maior do valor projetado (4087.50 m³/dia), ou seja, valor 105.26% acima do consumo efetivo teórico de água projetado pela Consultoria, Engenharia Sanitária e Ambiental - CESAN (1996).

Em relação aos níveis de reservação, foi verificada a utilização ineficiente na operação do reservatório apoiado, o mesmo ocorrendo com o reservatório elevado, pois, na rotina operacional são utilizados níveis de água diferentes dos valores mínimos e máximos estabelecidos no projeto.

A diminuição da altura entre os níveis de água máximo e mínimo acarreta redução no volume útil desses reservatórios, fazendo com que os mesmos funcionem como caixas de passagem, já que a demanda de água potável é maior que a capacidade de reservação.

Além disso, vale pontuar problemas em relação ao nível de reservação, tais como, a não utilização adequada da altura útil dos reservatórios; baixos níveis de reservação antes do horário de ponta e a inexistência de padrão de manobra de registro para controle da vazão de entrada no reservatório apoiado, tal pensando também é compartilhado por Ghosh *et al.* (2016) e Rause (2017). Neste contexto, verifica-se a necessidade de urgente estudo de volume útil de reservação para a regularização da demanda no Setor Guanabara.

Conclusão

Na pesquisa foi verificado que o volume útil de reservação não é adequado para reduzir o bombeamento de água no horário de ponta, o que, naturalmente, influencia na despesa de energia elétrica do Setor Guanabara.

É importante ressaltar que durante um dia, o volume de água distribuído foi superior ao valor projetado de 4087.50 m³/dia, já que o monitoramento do volume distribuído foi de 8390.15 m³/dia, ou seja valor 105.26% acima do consumo efetivo teórico de água projetado.

Em relação aos níveis de reservação, foi verificada a utilização ineficiente na operação dos reservatórios, já que não foram utilizados os níveis mínimos e máximos estabelecidos no projeto.

Com isso, o nível de água na reservação foi baixo nos períodos próximos ao horário de ponta, naturalmente, obrigando a continuidade do bombeamento de água.

Portanto, é preciso que sejam estudadas alternativas para modificar a atual situação operacional da unidade de reservação do setor Guanabara, visando a redução do consumo e despesa de energia elétrica, uma vez que, a questão hidroenergética é muito importante nos dias atuais para os SAA's.

Referência bibliográfica

- Abday, M. A. H., Gupta, R., Tanyimboh, T. T. (2014) Modelling Pressure Deficient Water Distribution Networks in Epanet. *Procedia Engineering*, **89**, 626-631.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1994) NBR 12218 - projeto de rede de distribuição de água para 384 abastecimento público, Rio de Janeiro, 4 pp.
- Freitas, M. F. (2016) Avaliação de riscos geológicos no planejamento energético eólico no Rio Grande do Norte, 386 Fortaleza. *Revista de Eng Sanit Ambient*, **15**(1), 117-129.
- Ghosh, R. Kansal, A. Aghi, S. (2016) Implications of end-user behaviour in response to deficiencies in water supply for electricity consumption - A case study of Delhi. *Original Research Article. Journal of Hydrology*, **536**, 400-408.
- Gomes, H. P. (2009) Sistemas de Abastecimento de Água: dimensionamento econômico e operação de redes de elevatórias. 3. ed. João Pessoa: Editora Universitária UFPB, 298 pp.
- Gomes, H.P., Bezerra, S.T.M. (2012) Ações de eficiência energética. In: GOMES, H.P., CARVALHO, P. S. O. (Org.). Manual de sistemas de bombeamento - eficiência energética. João Pessoa: Editora Universitária, UFPB. 129-394, 140 pp.
- Krause, A., Rotter, V. S. (2017) Linking energy-sanitation-agriculture: Intersectional resource management in smallholder households in Tanzania. *Original Research Article Science of The Total Environment*, **590-591**, 514-530.
- Matrosov, E., Huskova, I., Kasprzyk, J., Harou, J., Lambert, C., Reed, P. (2015) Manyobjective optimization and visual analytics reveal key trade-offs for London's water supply. *J. Hydrol.* **531**(3), 1040-1053.
- Ozcelik, M. (2017) Alternative model for electricity and water supply after disaster. Süleyman Demirel University, Engineering Faculty, *Geological Engineering*, Isparta, Turkey, p. 1658-3655 pp.
- Puleo, V., Morley, M., Freni, G., Savić, D. (2014) Multi-stage linear programming optimization for pump scheduling. *Procedia Engineering*, **70**, 1378-1385 pp.
- Relatório Técnico: (2014) Diagnóstico Hidroenergético da Estação Elevatória de Água 404 Tratada do setor Guanabara/José Almir Rodrigues Pereira, Petrônio Vieira Júnior, Augusto da Gama Rego, Coordenadores. Belém: Universidade Federal do Pará. Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento, Eletrobras, 236 pp.
- Shokri, A., Bozorg, O., Mariño, M. A. (2014) Multi-objective quantity-quality reservoir operation in sudden pollution. *Water Resour. Manag.* **28**, 567-586.
- Silva, M. J. S., Araújo, C. S., Bezerra, S. T. M., Arnaud, S., Souto, C. R., GOMES, H. P. (2015) Sistema de controle adaptativo aplicado a um sistema de distribuição de água com ênfase na eficiência energética. *Revista de Eng Sanit Ambient*, **20**(3), 405-413.
- Sobrinho, R. A., Borja. P. C. (2016) Gestão das perdas de água e energia em sistema de abastecimento de água da Embasa: um estudo dos fatores intervenientes na RMS. *Revista de Eng Sanit Ambient*, **21**(4), 783-795 pp.



- Soler, E. M., Toledo, F. B. T., Santos, M. O. S., Arenales, M. N. (2016) Otimização dos custos de energia elétrica na programação da captação, armazenamento e distribuição de água. *Production*, **26**(2), 385-401. doi: 418 10.1590/0103-6513.146113.
- Tsutiya, M. T. (2006) Abastecimento de água: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 4 ed., 643 pp.
- Wallace, K. J., Wagner, C., Smith, M.J. (2016) Eliciting human values for conservation planning and decisions: a global issue. *J. Environ. Manag.* **170**, 160-168.