



## **48 - MODELAGEM HIDRÁULICA EM SISTEMAS DE COLETA E AFASTAMENTO DE ESGOTO COMO FERRAMENTA DE GESTÃO OPERACIONAL**

### **Rodrigo Alexandre da Silva Spakovskis<sup>(1)</sup>**

Tecnólogo em obras hidráulicas e obras de terra e pavimentação pela Faculdade de Tecnologia de São Paulo (FATEC/SP), Engenheiro civil pela universidade Nove de Julho (UNINOVE) e mestrando em recursos hídricos, energéticos e ambientais pela Faculdade de engenharia civil (FEC/UNICAMP). Analista de sistemas de saneamento da Unidade de Negócios Sul (MS) na Companhia de saneamento básico do Estado de São Paulo (SABESP).

### **Marcelo Gomes<sup>(2)</sup>**

Tecnólogo em Automação Industrial pela Universidade do Grande ABC (UNIABC), pós-graduando em Gestão Empresarial pela Fundação Getúlio Vargas (FGV). Encarregado do sistema de operação e coleta da Unidade de Negócios Sul (MS) na Companhia de saneamento básico do Estado de São Paulo (SABESP).

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Graham Bell, 647 – Alto da Boa Vista – São Paulo – SP – CEP: 04737-030 – Brasil – Tel: +55 (11) 5682-9950 – e-mail: rspakovskis@sabesp.com.br

### **RESUMO**

No Brasil o tipo predominante de sistema de coleta e afastamento de esgoto é o separador absoluto que tem como principal objetivo a redução de custos dos órgãos acessórios do sistema. Um dos componentes de maior importância em sistemas de coleta e afastamento de esgotos são as estações elevatórias, responsáveis pelo escoamento dos efluentes que não podem ser afastados por ação da gravidade. Tais estações devem ser projetadas com concepção adequada para cada caso, utilizando-se convenientemente equipamentos e métodos construtivos para que seus custos sejam os mínimos possíveis e sem perda de eficiência no tocante ao afastamento dos esgotos das residências. Foi com esse objetivo que um modelo hidráulico foi construído e calibrado, para observância de mudança de comportamento na estação e melhoria da gestão para tomada de decisão no tocante a alteração na forma de operação do sistema quando uma nova demanda surgir na área da bacia de escoamento e proposição de alteração do ponto de funcionamento do conjunto motobomba para economia de energia elétrica.

**PALAVRAS-CHAVE:** Modelagem hidráulica, gestão operacional, elevatória de esgotos.

### **INTRODUÇÃO**

Os sistemas de coleta e afastamento de esgotos no Brasil ainda sofrem com os baixos investimentos para sua expansão. Segundo o sistema nacional de informações sobre saneamento (SNIS, 2016) o Brasil tem em média 51,9% de cobertura no atendimento desse serviço, distribuídos nas cinco regiões do país sendo a região sudeste a de melhor índice 78,6% e a região norte a de pior índice 10,5%.

Grande parte das despesas das companhias operadoras dos sistemas de coleta e afastamento de esgotos do país está relacionada com os custos de energia elétrica. A maior parcela das despesas das companhias é com pessoal próprio, inclusive mão de obra terceirizada, 59,9% e o segundo item mais relevante na composição das despesas é a energia elétrica, aplicada em estações elevatórias de água e esgotos em sua grande parte, com 14,6% do montante geral.

As companhias operadoras investem em melhorias na gestão operacional com objetivo de diminuir custos e assim tornar suas ações mais eficientes. Dessa forma, modelos hidráulicos que possam favorecer as tomadas de decisão para que os recursos financeiros possam ser investidos de forma eficaz tornam-se cada vez mais necessário para tais companhias.



## OBJETIVO

Para que as tomadas de decisão sejam o máximo assertivas pelo gestor do sistema é necessário que o mesmo tenha informações precisas e que possa observar os cenários atual e futuro de operação do sistema, de forma a saber quais serão os impactos de sua decisão. Assim um modelo hidráulico de uma bacia de esgotamento foi construído e calibrado e será apresentado ilustrando os cenários atual e futuro e mostrando o impacto de uma mudança de cenário devido a um aumento da demanda na bacia de esgotamento e como isso afeta o consumo de energia elétrica e o custo diário de operação.

## MÉTODO

O trabalho foi desenvolvido em cinco fases. A primeira fase foi a de extração de dados vetoriais de uma base de dados através de um sistema de informação georeferenciada e conversão para um software comercial.

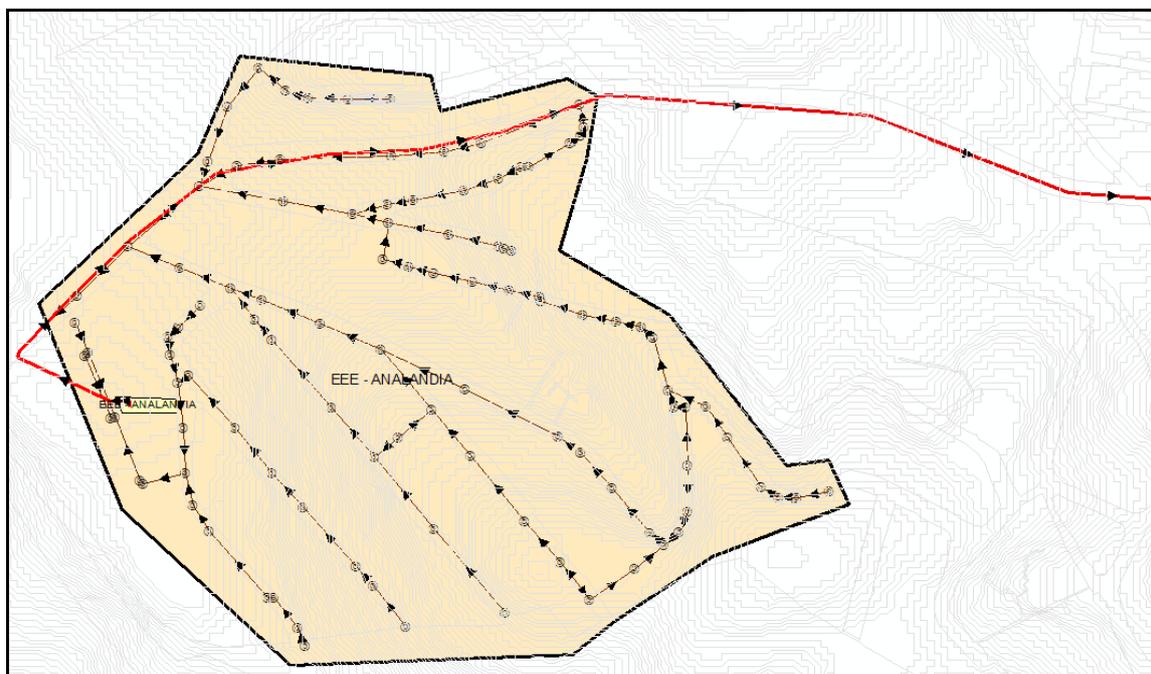
Na segunda fase o modelo foi construído, observando inconsistência de dados, como por exemplo declividades de rede, diâmetros de coletores e cotas de terreno com valores incoerentes, falta de dados dos diversos componentes integrantes do sistema, coleta de dados dos conjuntos eletromecânicos como vazão de projeto e altura manométrica e assim permitindo que o modelo tivesse todas as condições hidráulicas verificadas.

A Terceira fase foi a de calibração, ou seja, a comparação entre as informações operacionais coletadas em campo e o comportamento do modelo construído. Nessa terceira fase se dá os ajustes para que o modelo retorne os dados coletados em campo para a validação e assim a modelagem hidráulica está concluída.

Na quarta fase aplica-se um outro cenário ao modelo para que seja feita uma comparação entre a operação atual e a futura. Também é aplicada a tarifa de energia elétrica da concessionária local para se observar os valores empregados na operação da estação ao longo de um dia.

Na quinta e última fase faz-se uma análise das situações dos cenários e propostas podem ser elaboradas de forma básica, com intuito de se maximizar a eficiência operacional do sistema.

Na figura 1 abaixo a bacia de esgotamento é delimitada e a linha de recalque da estação elevatória de esgotos (EEE) Jardim Analândia é destacada na cor vermelha.



**Figura 1: Bacia de esgotamento da EEE Analândia**

A bacia de esgotamento em estudo possui as características conforme a tabela 1.

**Tabela 1: Tipos de ligações e contribuições de esgotos para cenário atual e futuro.**

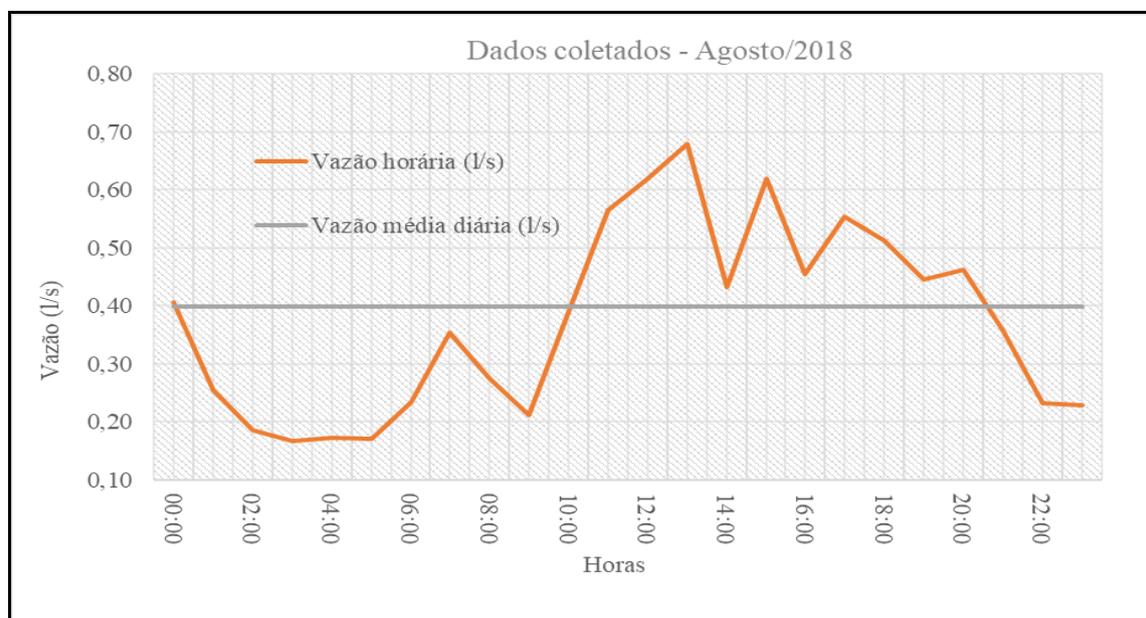
TIPO DE LIGAÇÃO	CENÁRIO	VOLUME (m³/mês)	Total de ligações
Residencial	ATUAL	1.110,4	892
Comercial		8,8	12
Misto		24,9	11
Publico		12,8	2
Novo empreendimento	FUTURO	20.113,9	1
<b>Total</b>		<b>21.270,8</b>	<b>918</b>

Na tabela 2 são apresentadas as características da infraestrutura da bacia em análise.

**Tabela 2: Infraestrutura da bacia de esgotamento**

Redes	Diâmetro	Extensão	material
	200	3796,7	PVC
	100	990	FºFº
Estrutura	Quantidade	Conjunto moto bomba	
PV's	92	Q (l/s)	9,2
PI's	7	H (m)	85
TL's	7		

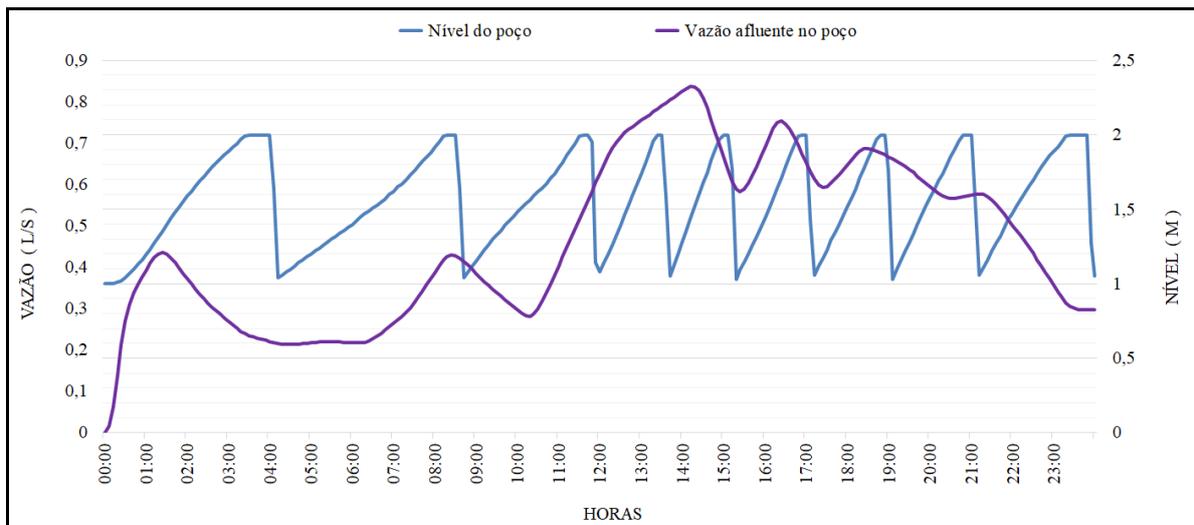
Para ajuste do modelo construído se fez necessária a coleta de dados de campo. Os dados mais relevantes para uma calibração eficiente de modelos hidráulicos de esgotos são a vazão afluyente à estação ( $Q_a$ ), sendo a máxima horária e a média diária as mais importantes, vazão de recalque de bomba ( $Q_r$ ), a altura manométrica de recalque da bomba ( $H_r$ ) e o comportamento de cada uma dessas variáveis ao longo de um dia de operação. Foram coletados dados do local conforme a figura 2.



**Figura 2 – Dados coletados de campo**

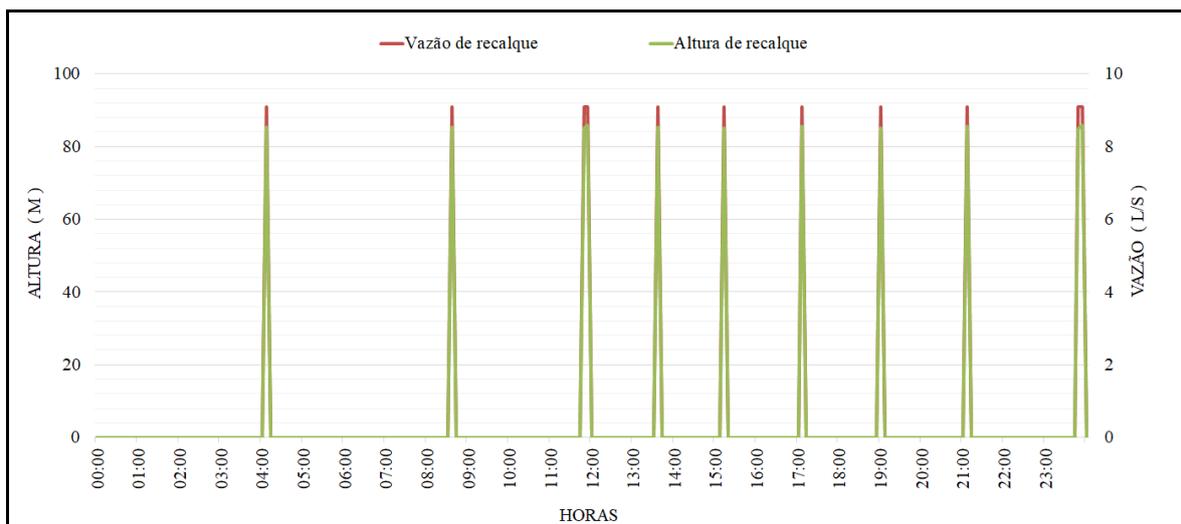
Segundo TSUTIYA e SOBRINHO (2000) esse comportamento da vazão de esgotos é típico na maioria dos sistemas no Brasil.

A figura 3 ilustra o comportamento operacional da EEE Analândia ao longo de um dia qualquer no tocante às variáveis de nível no poço de sucção e vazão efluente.



**Figura 3: Variação das vazões afluentes e nível de poço - Bacia da EEE Analândia**

A figura 4 ilustra o comportamento operacional da EEE Analândia ao longo de um dia qualquer no tocante às variáveis de vazão e pressão de recalque do conjunto motobomba do local.



**Figura 4: Variação das vazões de recalque e altura recalque - Bacia da EEE Analândia**

## RESULTADOS OBTIDOS

O modelo então foi validado pois os dados observados em campo foram compatíveis com o do modelo “calibrado” dentro de um erro aceitável e dentro de limites pré-estabelecidos de aceitação conforme tabela 3.

**Tabela 3: Dados de comparação entre modelo calibrado e dados de campo**

PARÂMETRO OBSERVADO	LIMITE DE TOLERÂNCIA AO ERRO (%)	DADOS DE CAMPO	DADOS DO MODELO	AMPLITUDE DO ERRO (%)
Vazão (l/s)	< 5	9,2	9,15	0,6
Altura de recalque (m)	< 5	83,5	85,9	- 2,8
Nº de partidas (quantidade)	< 10	9	9	0
Variação de nível do poço (m)	< 5	1	0,98	2,0

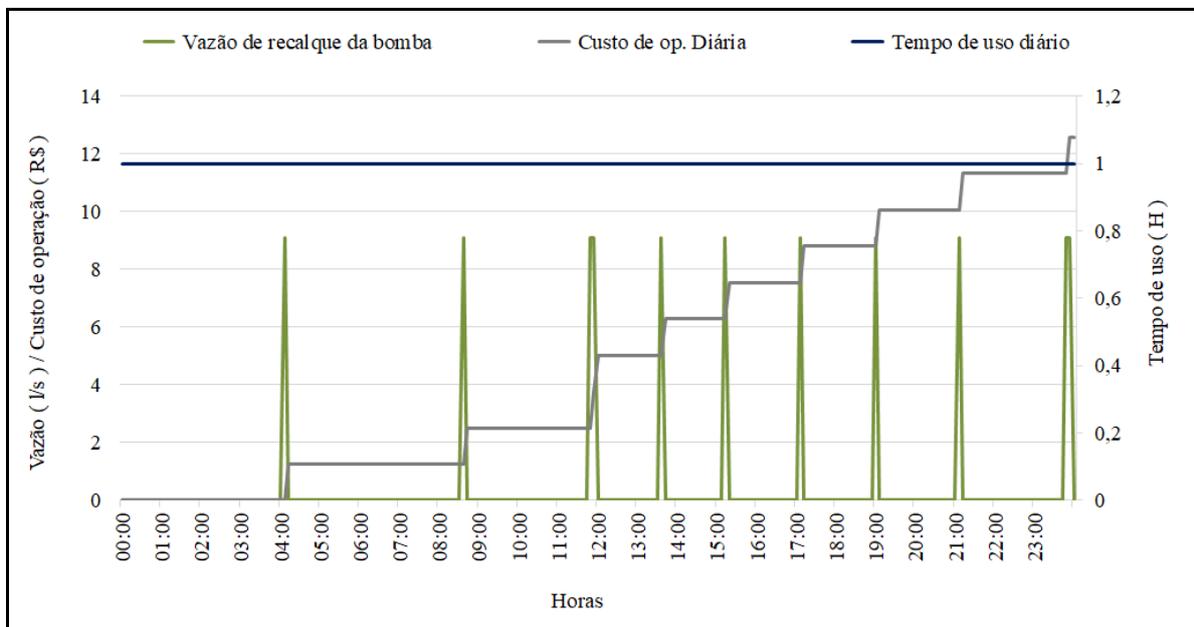
Após a verificação que os limites de tolerância do modelo estavam aceitáveis passou-se para a fase de análise tarifária da conta de energia elétrica para operação da EEE, inserção da referida tarifa no gerenciador do modelo e análise do resultado apresentado.

Conforme PORTO (2006) a potência hidráulica de uma máquina de fluxo pode ser obtida pela seguinte equação:

$$POT_h = \gamma \cdot Q \cdot H = 9,8 \cdot 10^3 \cdot Q \cdot H \text{ (W)} \quad \text{equação (1)}$$

O valor observado na conta de energia elétrica fornecida pela companhia local tinha um custo diário aproximado de R\$ 12,36. O modelo calibrado e com a inserção da tarifa horária no valor de R\$/Kwh 0,46 trouxe como resposta um custo diário no valor de R\$ 12,58, ou seja, uma diferença de apenas 1,75%, tornando assim o modelo totalmente confiável para lançamento de qualquer alteração, como por exemplo aumento de demanda e trazendo resultados confiáveis como resposta.

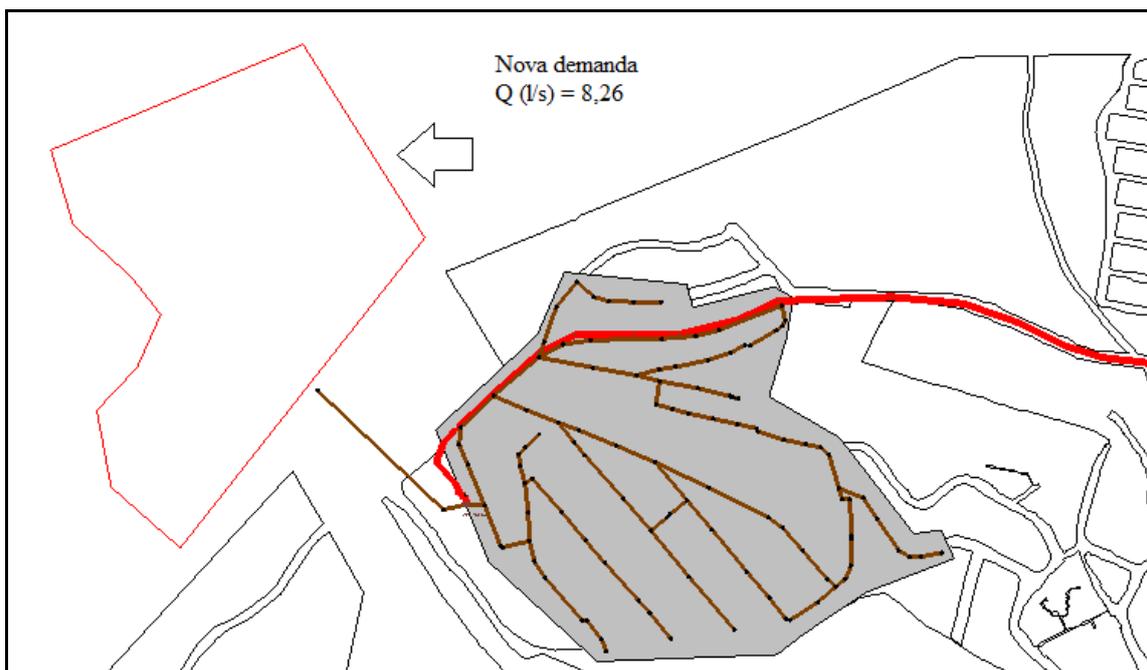
A figura 5 abaixo ilustra o desempenho tarifário ao longo de um dia de operação, bem como os momentos de acionamento do conjunto moto-bomba com a vazão de recalque e o tempo de uso do conjunto da referida EEE Analândia.



**Figura 5: Variação operacional e custo de operação da EEE Analândia**

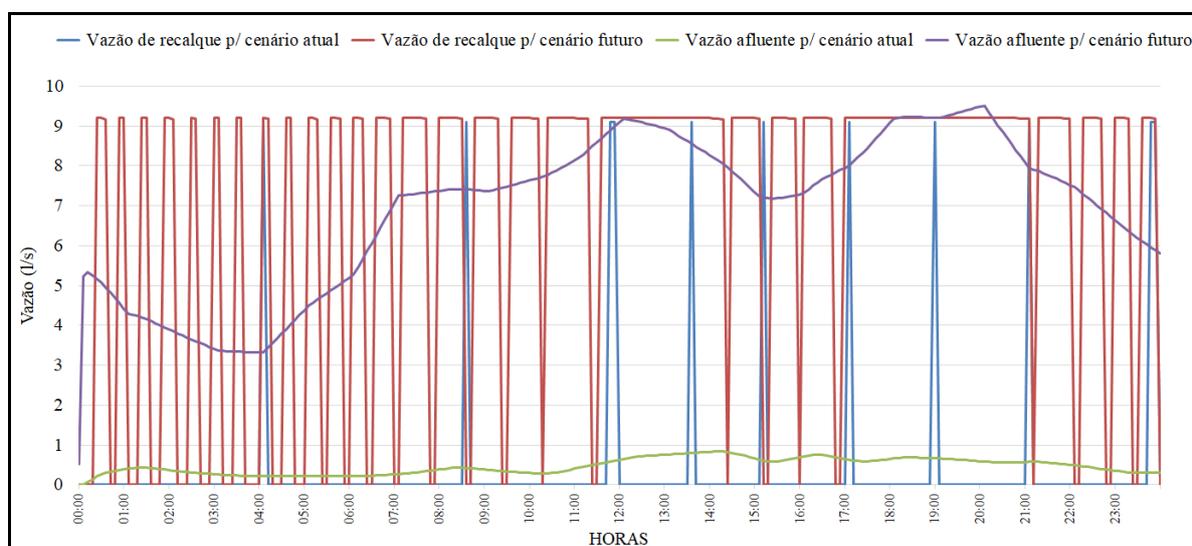
## NOVA DEMANDA

Para um novo cenário, expansão de demanda contribuinte na área da bacia de esgotamento devido a um novo empreendimento, os dados de vazão foram inseridos no modelo e o comportamento dessa contribuição extra foi adotado como o mesmo de toda bacia contribuinte. Essa demanda extra se tratava de uma situação real de um novo empreendimento na bacia de esgotamento e é ilustrado através da figura 6.

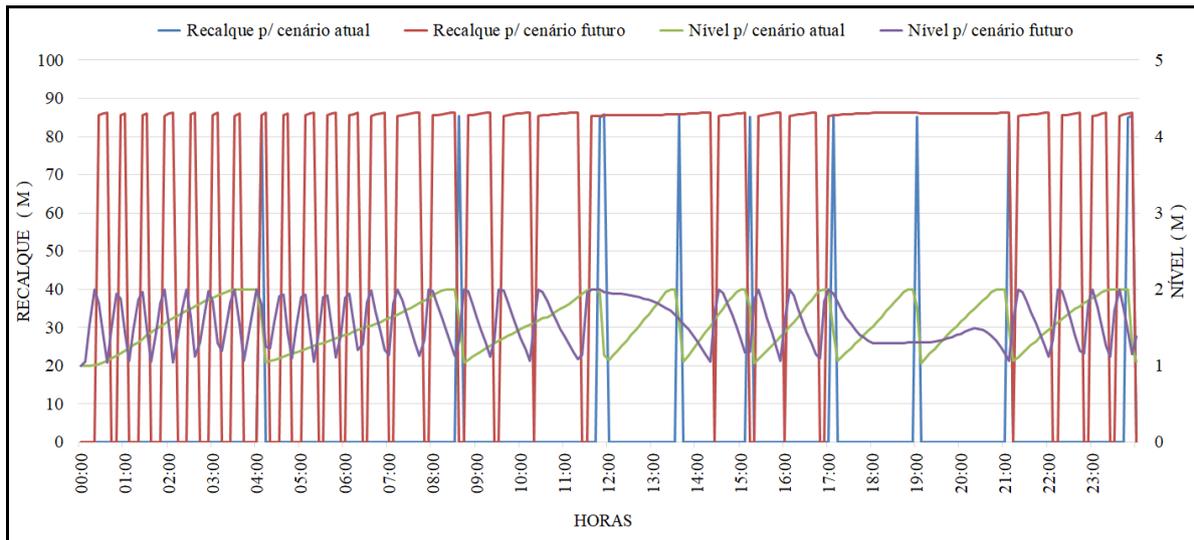


**Figura 6: Inclusão de demanda na área da bacia de esgotamento da EEE Analândia**

O modelo calibrado então para dois cenários, atual e futuro é ilustrado nas figuras 7 e 8 e exprime as condições operacionais para as duas situações.

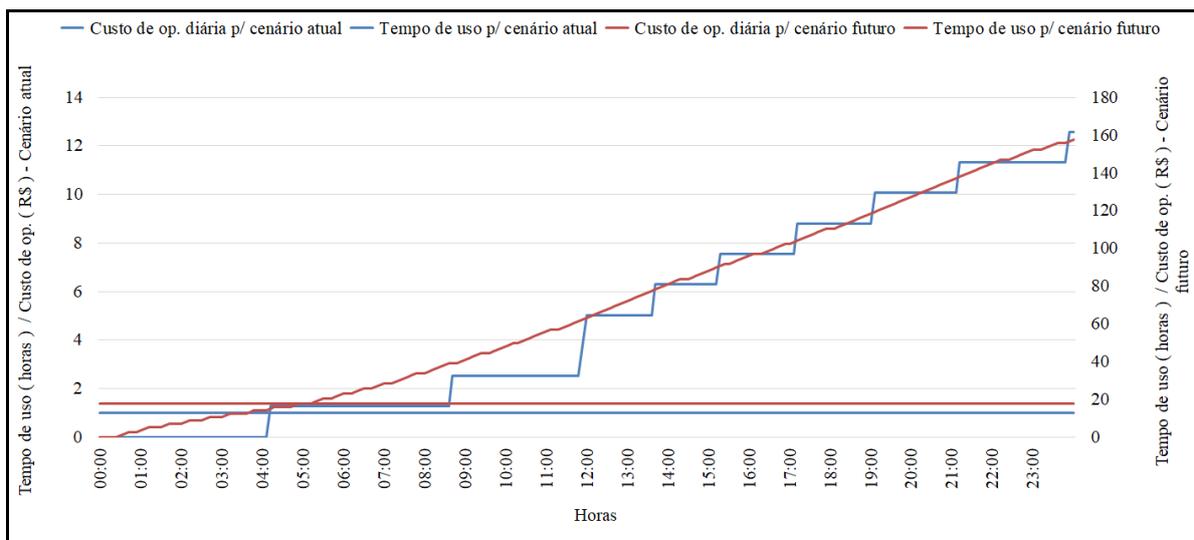


**Figura 7: Variação das vazões de entrada e saída na EE Analândia para cenário atual e futuro**



**Figura 8: Variação do nível do poço de sucção e alturas de recalque na EE Analândia para cenário atual e futuro**

De posse do modelo calibrado para as duas situações de demanda efluente à EEE Analândia e uma vez que os custos de tarifa de fornecimento de energia elétrica não se alteram foi possível comparar os custos de operação para os dois cenários. A figura 9 ilustra a comparação descrita.



**Figura 9 – Comparação entre cenários para o conjunto moto bomba da EEE Analândia - Custos e tempo de uso**

### ALTERAÇÃO NO PONTO DE ROTAÇÃO DA BOMBA

O modelo calibrado foi submetido a outra análise. Uma vez conhecido o comportamento da EEE uma determinada alteração na rotação do conjunto motobomba pode ser aplicado ao modelo. O cenário atual foi o escolhido para efetuar a alteração no ponto de funcionamento do conjunto motobomba.

Conforme PORTO (2006) máquinas hidráulicas podem ser comparadas segundo a conhecida relação de semelhança. Assim sendo as semelhanças seguem a relação conforme equações abaixo:

$$H_1 / H_2 = (\eta_1 / \eta_2)^2 \cdot (D_1 / D_2)^2 \quad \text{equação (2)}$$

$$Q_1 / Q_2 = (\eta_1 / \eta_2) \cdot (D_1 / D_2)^3 \quad \text{equação (3)}$$

Onde:

H: altura de manométrica da bomba (m);

D: diâmetro da tubulação (m);

Q: vazão da bomba (m³/s);

$\eta$ : eficiência no ponto de rotação específica (%);

1 e 2: são índices distintos para velocidades de rotação distintas.

Simpson e Marchi (2013) observam que as relações de semelhança não levam em conta os fatores que não se ajustam com a velocidade, o que pode resultar em estimativas com erros relativos significativos, em especial para a eficiência de bombas de pequeno porte. Os autores citam que uma fórmula adequada para o cálculo da eficiência para um novo ponto de operação pode ser observada conforme a fórmula proposta por Sárbu e Borza (1998) e que oferece bons resultados para redução da velocidade de rotação em até 70% do valor da rotação nominal. A equação 4 proposta por Sárbu e Borza é indicada abaixo.

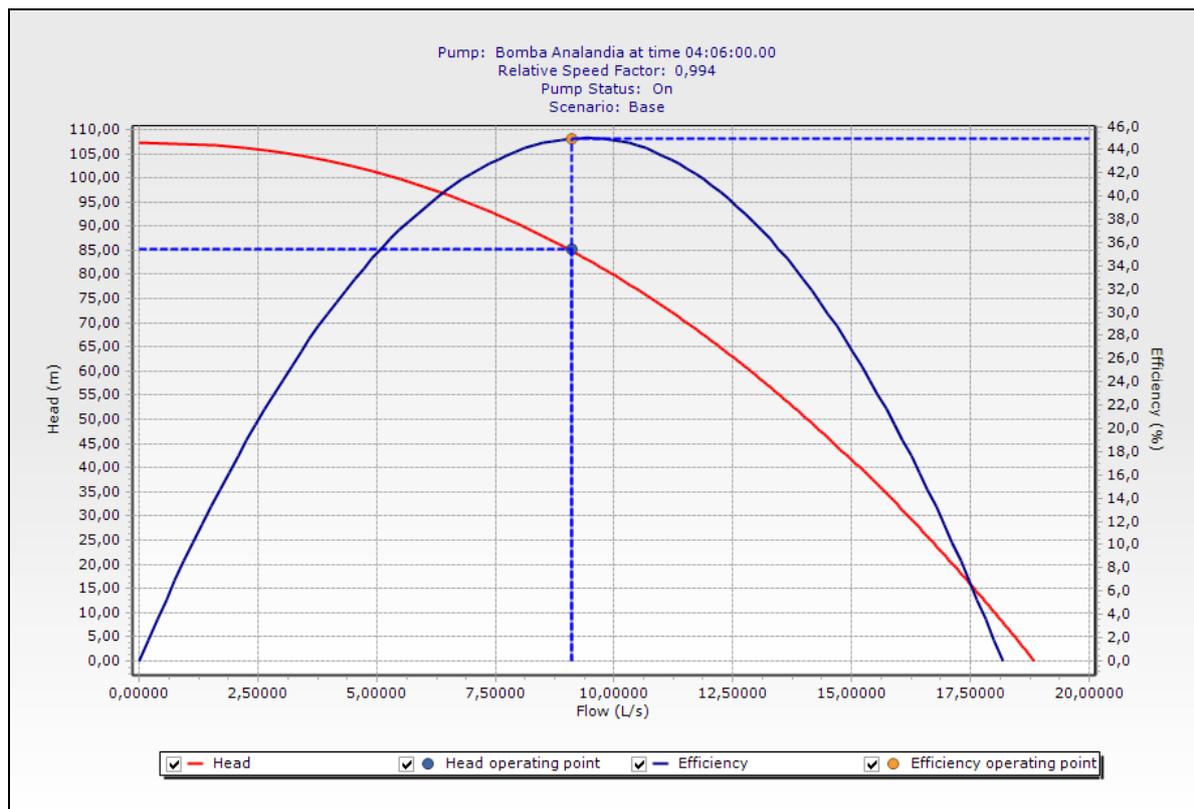
$$\eta_2 = 1 - (1 - \eta_1) (N_1 / N_2)^{0,1} \quad \text{equação (4)}$$

Onde:

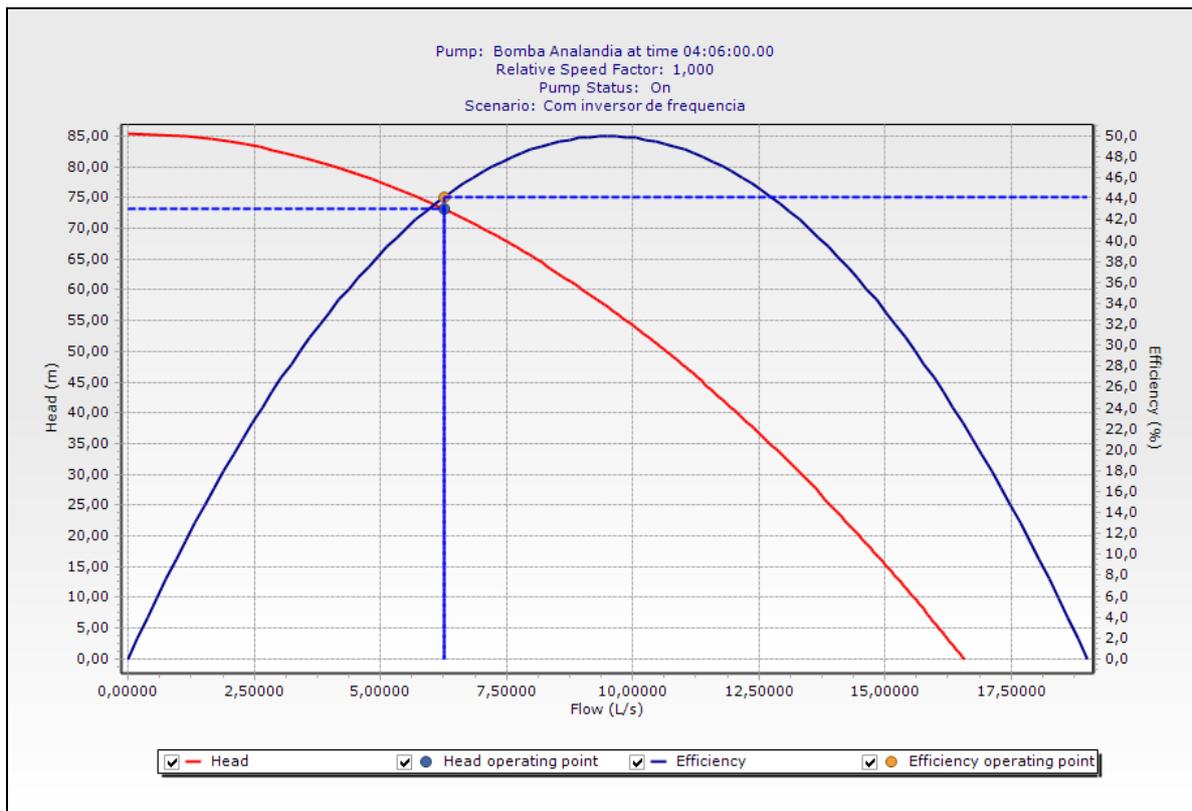
$\eta$ : eficiência no ponto de rotação específica (%);

N: velocidade de rotação (rpm)

No estudo desenvolvido a alteração da velocidade de rotação do conjunto motobomba foi de 90% da rotação nominal, assim as condições hidráulicas de atendimento ao projeto foram mantidas. As figuras 10 e 11 ilustram a alteração da velocidade de rotação para duas condições, “N” nominal e “90% N”.

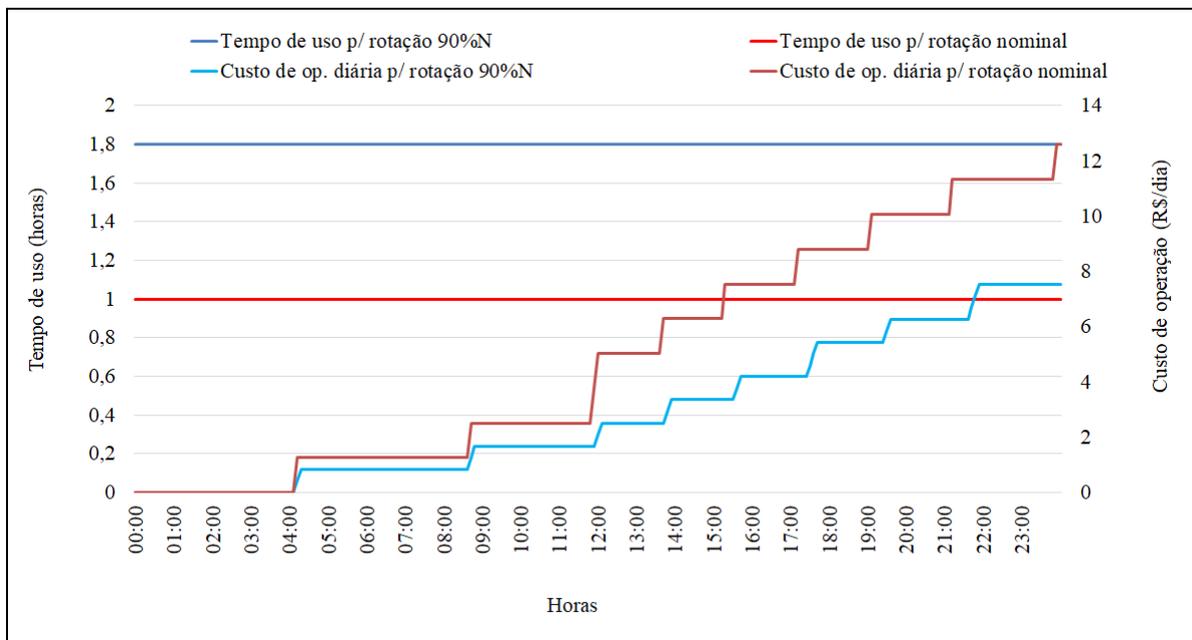


**Figura 10 – Condição operacional para velocidade de rotação “N”**



**Figura 11 – Condição operacional para velocidade de rotação “90%N”**

A aplicação das equações 2 e 3 no modelo resultaram as condições de retorno do custo de operação conforme pode ser observado na figura 12.



**Figura 12 – Comparação entre cenários para o conjunto motobomba, rotação nominal “N” e rotação alterada “90%N”**



## ANÁLISE DOS RESULTADOS

Observa-se a grande diferença entre os custos na comparação entre os cenários atual e futuro. A instalação do novo empreendimento demandará um aumento de aproximadamente R\$ 143,00/dia na operação desse sistema, o valor irá variar de R\$ 14,00 no cenário atual para R\$ 157,00 no cenário futuro, valores aproximados. Isso se comprova uma vez que a demanda média de vazões afluentes à EEE Analândia migrariam de um valor de vazão de 0,5 l/s em cenário atual para 8,26 l/s em um cenário futuro. Além da constatação de mudança dos custos de operação diária, nota-se também um aumento significativo do número de partidas do conjunto moto-bomba para a nova configuração de cenário, assim trazendo à operação do sistema um custo por desgaste prematuro do conjunto em um tempo reduzido se comparado com o cenário atual.

Uma outra constatação é no tocante à variação da rotação do conjunto motobomba. A alteração do ponto de funcionamento do conjunto motobomba alterou o número de partidas por dia entre os cenários com velocidade de rotação “N” e rotação “90%N”, no primeiro caso o conjunto era acionado nove vezes ao longo de um dia e no segundo caso esse número caiu para oito vezes ao dia. Dependendo do cenário de análise essa variação pode gerar economia no valor final da conta de energia elétrica, além de proporcionar maior ou menor desgaste nos componentes do conjunto devido ao seu número de partidas para a operação do sistema.

## CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O modelo hidráulico construído e “calibrado” se mostrou uma ferramenta útil de gestão para tomada de decisão do gestor do processo de operação do sistema de coleta e afastamento de esgotos. Uma vez calibrado, o modelo pode prever cenários que trarão assertividade na gestão operacional do processo.

Futuras análises do modelo poderão ainda, se for o caso, exprimir fadiga dos conjuntos moto-bomba, tempo de detenção de esgotos na estação elevatória, vida útil do conjunto moto-bomba em função do número de partidas, etc. De posse dessas informações, cabe ao gestor do sistema procurar dispositivos de mitigação do grande aumento de consumo que podem ser aparelhos variadores de velocidade, como por exemplo inversor de frequência, troca do conjunto elevatório ou até mesmo negociação para diminuição da nova demanda contribuinte.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT NBR 9649/1986. Projeto de redes coletoras de esgoto sanitário. Rio de Janeiro, 1986.
2. ABNT NBR 9649/1986. Projeto de estações elevatórias de esgoto sanitário. Rio de Janeiro, 1992.
3. MINISTÉRIO DAS CIDADES. Secretaria nacional de saneamento ambiental. Anuário SNIS, 2016.
4. PORTO, R. M. Hidráulica básica. 4ª Edição, São Carlos, 2006.
5. SÁRBU, I. & BORZA, I. (1998) *Energetic optimization of water pumping in distribution systems*. Mechanical Engineering, v. 42, n. 2, p. 141-152
6. SIMPSON, A.R. & MARCHI, A. (2013) *Evaluating the approximation of the affinity laws and improving the efficiency estimate for variable speed pumps*. Journal of Hydraulic Engineering, v. 139, n. 12, p. 1314-1317
7. TSUTIYA, M. T., SOBRINHO, P. A. *Coleta e transporte de esgoto sanitário*. 2ª Edição. São Paulo, 2000.