



Universidade Federal de Santa Maria – UFSM
Educação a Distância da UFSM – EAD
Universidade Aberta do Brasil – UAB

**Curso de Pós-Graduação em Eficiência Energética Aplicada aos
Processos Produtivos**

Polo: Novo Hamburgo/RS

**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM BOMBEAMENTOS DE ÁGUA
TRATADA**

LAMB, Maiquel Auri¹

MINUSSI, João Paulo²

RESUMO

Esta pesquisa demonstra, a partir de um estudo de caso em uma empresa de saneamento básico, a redução no consumo de energia elétrica promovida pela automação e otimização operacional de um bombeamento de água tratada. Este sistema teve seu controle de pressão e vazão aperfeiçoado, através da aplicação de inversor de frequência, sensores de pressão/vazão e controle operacional remoto. Além disso, uma de suas bombas antigas foi substituída por um equipamento de maior rendimento elétrico, além de um novo arranjo hidráulico na alimentação das bombas que possibilitou abastecer uma região com maior qualidade e eficiência energética.

Palavras-chave: Eficiência energética, bombeamento, automação.

¹ Engenheiro de Produção Mecânica. Universidade do Vale do Rio dos Sinos. São Leopoldo, RS

² Ph.D. - Universidade de Missouri, EUA. Professor Orientador

ABSTRACT:

This research demonstrates, from a case study in a basic sanitation company, the reduction in electricity consumption promoted by automation and operational optimization of a treated water pumping. This system had its control of pressure and flow optimized through the application of frequency inverters, pressure and flow sensors and operating remote control. Moreover, one of its old pumps was replaced by a higher electrical efficiency equipment and a new hydraulic pump arrangement which allowed a region with higher quality and energy efficiency.

Keywords: Energy efficiency, pumping, automation.

1 INTRODUÇÃO

O Saneamento básico é por definição um conjunto de serviços, infraestruturas e instalações operacionais de abastecimento de água potável; esgotamento sanitário, limpeza urbana, manejo de resíduos sólidos e drenagem e manejo das águas pluviais urbanas (Lei 11.445/07, Art. 3º). É um serviço de suma importância para a saúde pública, pois pelas consequências do tratamento inadequado ou inexistente de efluentes e consumo de água imprópria, morrem mais pessoas que por todas as formas de violência e guerras, tendo seu maior impacto em crianças menores de cinco anos. Precariedade ou ausência do saneamento básico são as causas de aproximadamente de 1,7 milhões de mortes por ano (OMS, 2002 apud ANA – Agência Nacional das Águas, 2011).

Segundo o Relatório de Economia Verde da ONU (2011), o investimento de 0,16% do Produto Interno Bruto (PIB) mundial no setor hídrico poderia reduzir, em menos de quatro anos, a escassez de água e a metade do número de pessoas sem acesso à água potável e ao saneamento básico. O impacto da ineficiência do saneamento básico é tão significativo que em determinados países do Oriente Médio e da África, os custos decorrentes de tratamentos de saúde estão entre 0,5 a 2,5% do PIB (BIRD, 2007 apud ANA, 2011). Segundo relatório da Organização Nações Unidas (UN WWAP, 2009, apud ANA, 2011), somente no continente africano, o prejuízo anual é de aproximadamente US\$ 28,4 bilhões (5% de seu PIB) com gastos relacionados ao caos no saneamento básico.

Segundo o SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (2007), os custos relativos à energia elétrica despendidas em processos operacionais consomem a segunda maior fatia de recursos em uma empresa pública de saneamento básico. Além disso, os estudos revelam que 90% ou 95% desse consumo energético são atribuíveis aos bombeamentos (Tsutuya, 2001 apud Plano Nacional de Eficiência Energética, 2012). Portanto, existe a necessidade de buscar-se uma maior racionalização de recursos nesta área.

Uma das possíveis soluções para tal problema é promover alterações de projeto e operação nos bombeamentos de água bruta e/ou tratada. Desta forma, por meio de algumas intervenções, é possível reduzir os desperdícios de energia elétrica, disponibilizando recursos para promover melhorias em outras áreas desse serviço essencial.

Uma empresa de saneamento básico possui diversos sistemas e potenciais áreas para estudos de eficiência energética. Um dos principais sistemas, senão o mais importante, é o bombeamento de água, seja bruta ou tratada. É o sistema onde ocorre o maior dispêndio de energia elétrica, dando ao fluido a energia hidráulica necessária para ser captado de um rio e enviado à Estação de Tratamento de Água (ETA) e posteriormente distribuído à população. Entretanto, esses bombeamentos nem sempre são eficientes energeticamente. Além de ser antiga, uma boa parte destes opera em regime intermitente com sucessivas partidas de motores elétricos. Para complementar, inúmeras elevatórias ainda são alimentadas por acionamentos obsoletos (ex. partidas diretas, estrela-triângulo, etc...) que induzem a um consumo maior de eletricidade. Outro ponto que afeta a operação de um bombeamento é a queda de pressão ou até mesmo a interrupção no fornecimento de água na sucção das bombas. Além de provocar o fenômeno de cavitação, poderão ocorrer diversas falhas eletromecânicas nos equipamentos. Portanto, a otimização operacional, a renovação dos ativos e a automação do sistema de controle de pressão e vazão se fazem necessárias para reduzirmos tanto o consumo de energia elétrica quanto às perdas físicas no sistema de abastecimento de água.

Com relação às partidas sucessivas de motores elétricos, diversos fabricantes atentam para um limite máximo de partidas por hora. Acima desse limite, o bobinado do motor é afetado, sofrendo um sobreaquecimento e perda da isolação, podendo levar à sua queima prematura (WEG, 2012). Portanto, é necessário que as motobombas operem de maneira mais contínua, minimizando-se assim as falhas

elétricas e mecânicas.

No que se refere aos tipos de acionamento, nota-se ainda, apesar de já serem amplamente utilizadas na indústria, o uso de *soft starters* (chave de partida suave) e inversores de frequência ainda é restrito para algumas aplicações nas empresas de saneamento. Existem diversas elevatórias de água com controle apenas local e com a visualização de poucos parâmetros operacionais. O controle se dá por meio de temporizadores, com ajustes de horários predeterminados, que determinam os períodos de operação das bombas. Esse dispositivo de controle provoca em muitos casos, picos de pressão e vazão nas redes, desperdiçando energia e aumentando exponencialmente o número de rompimentos na rede de distribuição.

Já os problemas relacionados à baixa pressão na sucção das bombas são recorrentes, pois um simples vazamento de água nessa tubulação pode provocar uma queda significativa de pressão e caso o sistema de bombeamento não tenha proteção, as bombas entrarão em regime de cavitação e sofrerão avarias.

Neste contexto, quais são as medidas necessárias para aumentar-se a eficiência de um bombeamento de água tratada que apresenta essas características? Quais os ganhos obtidos através da implementação dessas mudanças e quais os impactos esperados a partir da proposição de modernização do bombeamento? Coube ao trabalho proposto verificar se o rearranjo hidráulico e a automação do bombeamento, seja pela adoção de inversor de frequência, como também pelo controle operacional remoto são suficientes para minimizar os problemas levantados.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

De todo o montante da energia consumida no planeta, cerca de 2% a 3% são utilizados no saneamento básico, mais precisamente nos bombeamentos de água bruta e tratada. Reduzindo-se as perdas, aumenta-se a eficiência do sistema, pois o consumo de energia elétrica está ligado diretamente ao volume bombeado, representando em torno de 0,6kWh por m³ de água tratada. Diminuindo-se o indicador de perdas e incentivando o uso consciente da água, teremos uma queda relevante no custo da energia elétrica, visto que a diminuição do volume de água

recalcada leva a uma diminuição no consumo de energia elétrica (GONÇALVES, 2009).

No Brasil, o saneamento básico também consome cerca de 3% da energia total consumida no país, dentro destes, 90% a 95% são destinados para alimentação de bombas e motores elétricos. Estes, em sua maioria, possuem baixo rendimento elétrico e capacidade sobredimensionada, operando muitas vezes em horários de ponta do sistema elétrico. Esses fatores, em conjuntura com as perdas físicas de água (40% a 60%) verificadas nas empresas de saneamento, acabam elevando as tarifas de dois serviços essenciais: água e eletricidade. Atualmente, soluções que primem pela redução das perdas físicas de água e controle variável da produção e distribuição devem ser estimuladas para reverter esse quadro desfavorável (GONÇALVES, 2009).

A empresa de saneamento é composta basicamente em cinco processos: captação, adução e tratamento de água bruta e reservação e distribuição de água tratada. A figura 1 demonstra toda a cadeia de processos do sistema de tratamento de água.

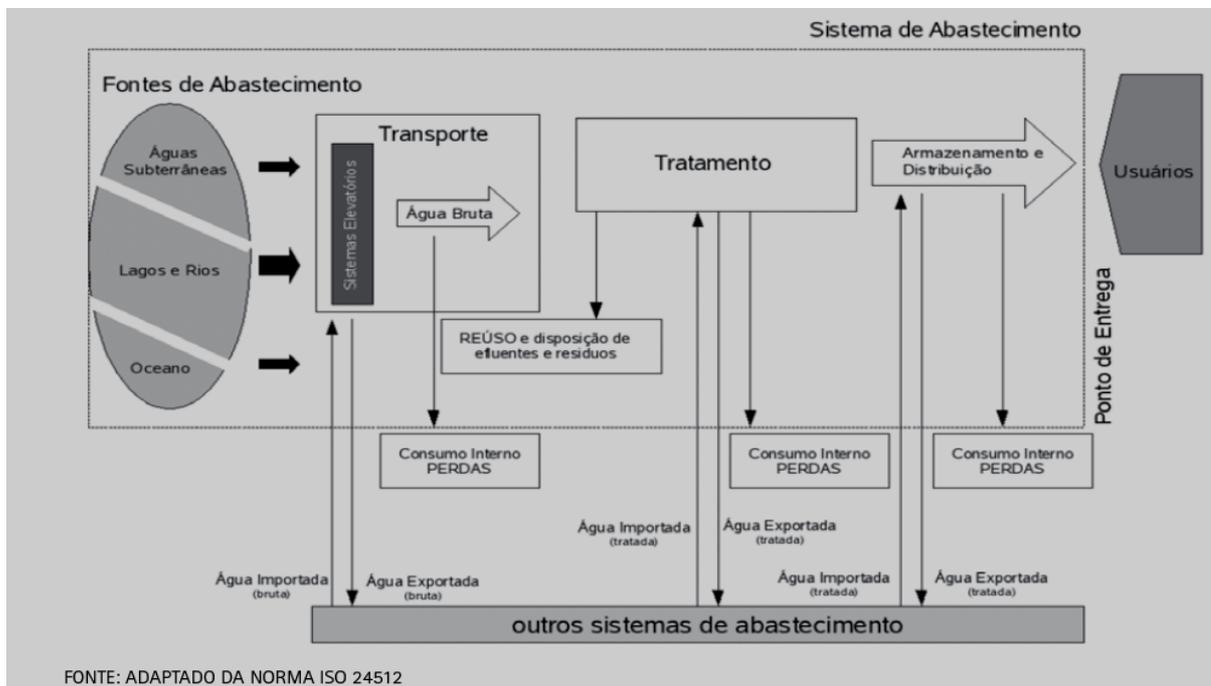


Figura 1 - Processos básicos de uma empresa de saneamento

O processo inicia-se na captação de água superficial (rios, lagos, etc) ou subterrânea (lençol freático), realizado por bombeamentos que inserem energia no fluido para que ele seja transportado até as Estações de Tratamento de Água (ETA).

Esse trajeto, entre a captação até a ETA, é denominado de adução, sendo caracterizado por bombas de grande porte (vazão elevada) assim como tubulações de grandes diâmetros (GONÇALVES, 2009).

Após a etapa de tratamento de água nas estações, a água é bombeada para os reservatórios de acumulação localizados em diferentes pontos da rede de distribuição. Nesta seção do sistema, as tubulações são reduzidas para diâmetros entre 300 mm e 700 mm. A distribuição é caracterizada basicamente pelos reservatórios de acumulação, pelos bombeamentos de elevação e sistemas de medição e controle de vazão (GONÇALVES, 2009).

Com relação aos reservatórios de acumulação, estes são muito importantes para o sistema de abastecimento de água, pois diminuem as flutuações na demanda, equalizam as pressões dos sistemas e reservam água para ocasiões emergenciais como incêndios e falhas. A partir destes componentes, a água é enviada para os consumidores finais através das redes de distribuição. Ainda existem os bombeamentos que pressurizam a rede de distribuição em regiões com baixa pressão, além daqueles que recalcam água para reservatórios mais elevados (GONÇALVES, 2009).

A configuração típica de um sistema de abastecimento pode ser vista na figura 2. O sistema segue a seguinte lógica: Estação Elevatória de Água Bruta (EEAB); Adutora de Água Bruta (AAB); Estação de Tratamento de Água (ETA); Estação Elevatória de Água Tratada (EEAT); Reservatórios (R1, R2 e R3); Booster (B); Adutora de Água Tratada (AAT); Zonas de distribuição de água tratada (ZA e ZB) (GONÇALVES, 2009).

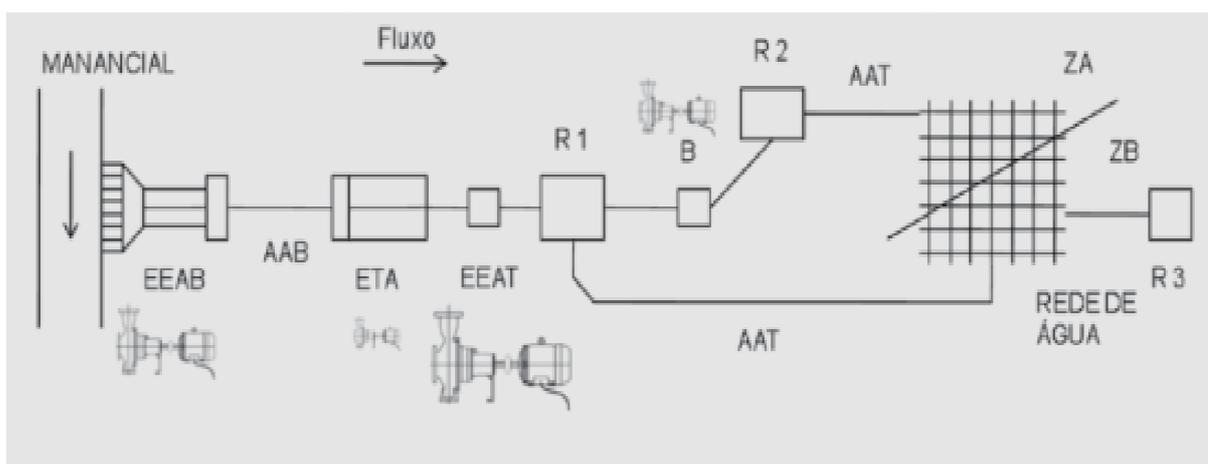


Figura 2 - Fluxograma básico de uma empresa de saneamento

Fonte: Gonçalves, 2009.

Existe demanda por energia elétrica em todas as etapas do sistema de abastecimento de água, dentre os quais se destacam a iluminação das instalações, suprimento para a área administrativa, para os dispositivos de acionamento e controle de motores elétricos. Todavia, são os bombeamentos de captação e distribuição de água os responsáveis pela demanda de até 95% do consumo de energia elétrica de uma empresa de saneamento. Dentro destes bombeamentos, em ordem de porte de volume movimentado, temos a EEAB e a EEAT. Após estes, seguem os bombeamentos de médio porte, estilo *booster*, e por fim, as bombas para pequenas aplicações, tais como a pressurização de trechos de rede e dosagem de produtos químicos (GONÇALVES, 2009).

No que se refere aos fatores que interferem no consumo de energia dos bombeamentos, podemos relacionar os fatores físicos do local em que estão inseridos, tais como a extensão da rede e a topografia da área de abrangência. Sobre os fatores físicos Gonçalves (2009, p.113), menciona que essas características determinam o comprimento da adutora e a altura de recalque mínima (m.c.a) a ser disponibilizada pelo bombeamento de água bruta. Logo, se os sistemas forem instalados em cidades ao nível do mar, por exemplo, o sistema tenderá a ter bombeamentos com potências menores do que em regiões com relevo mais acentuado.

Com relação às perdas de energia no sistema de saneamento, a figura 3 demonstra o diagrama Sankey do conjunto motobomba com os percentuais perdidos em cada componente. Vimos que as maiores perdas estão concentradas na bomba, perfazendo 38,6%. Deste modo, vê-se a importância do correto dimensionamento da bomba, assim como a operação em sua curva de maior rendimento (Gonçalves, 2009).

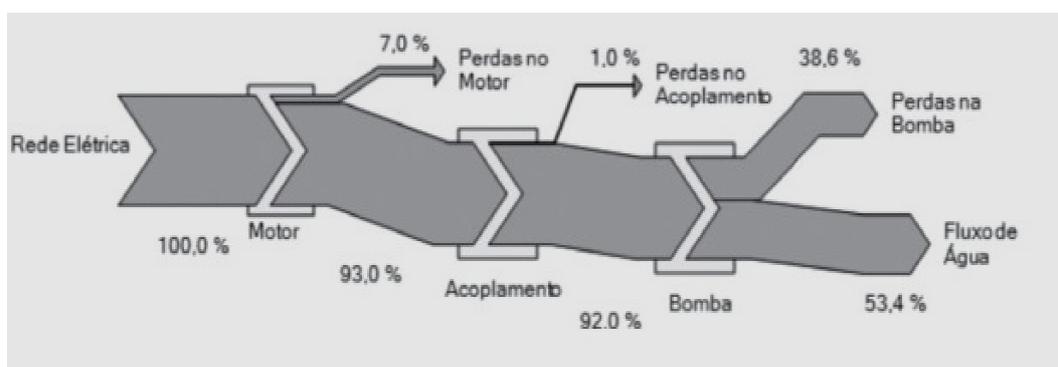


Figura 3 - Diagrama Sankey de uma motobomba

Fonte: Gonçalves, 2009

O consumo de energia elétrica está fortemente atrelado à necessidade de fornecer energia hidráulica aos fluidos. Atualmente, em torno de 63% da aplicação de motores elétricos é destinado para este fim. Desta forma, existe um grande campo para promoção de meios mais eficazes e indispensáveis de controle de fluxo, tais como o controle variável, em detrimento aos métodos tradicionais que aceleram o desgaste mecânico dos equipamentos e as perdas energéticas (MARQUES, 2007, MONTEIRO & ROCHA, 2005).

Com grande ocorrência, tanto na indústria como em empresas de serviços públicos como o saneamento, por exemplo, os bombeamentos, compressores e equipamentos de ventilação operam em rotação constante e suas vazões são controladas a partir de válvulas que restringem a tubulação de recalque. Este artifício é empregado devido à necessidade de um ajuste contínuo do ponto de funcionamento dos equipamentos, a fim de adequar a capacidade à demanda, que dificilmente é constante. Entretanto, o estrangulamento aumenta a pressão interna da bomba e/ou ventilador e conseqüentemente aumentam-se as perdas energéticas do sistema, o que acaba sendo uma ação não recomendada quando dispomos de métodos mais eficientes de controle, como a variação de vazão através da utilização de rotações variáveis (MONTEIRO & ROCHA, 2005, MARQUES, 2006, GONÇALVES, 2009).

Sendo assim, ao suprimirmos a utilização dessas válvulas que inserem perdas de carga no sistema, podemos empregar sistemas de controle de velocidade e vazão (inversores de frequência) em motores elétricos que representam, como já dito anteriormente, mais de 60% das aplicações na indústria e um enorme potencial de economia de energia elétrica (MONTEIRO & ROCHA, 2005).

Com relação aos meios de controle de velocidade e vazão de uma bomba ou ventilador, existem diversas possibilidades dependendo da construção do motor. Para motores com rotor em gaiola ou cascata subsíncrona, podemos utilizar inversores de frequência e controle de tensão; e para motores de indução com rotor bobinado, variação rotórica (MARQUES, 2007).

No que se refere à potência elétrica, Marques (2007, p.105), afirma que esta pode ser calculada em cada ponto de operação do bombeamento pela equação (1):

$$P = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H}{3600 \cdot \eta_M \cdot \eta_B} \quad (1)$$

Onde P é a potência elétrica (kW), Q é a vazão (m³/h), H é a pressão (m), ρ é a massa específica do fluido (kg/m³), g é a aceleração da gravidade (m/s²), η_M é o rendimento do motor (pu) e η_B é o rendimento da bomba (%).

Os ganhos obtidos através da utilização de rotação variável em detrimento ao uso de válvulas que inserem perdas de cargas no sistema podem ser vistos na figura 4:

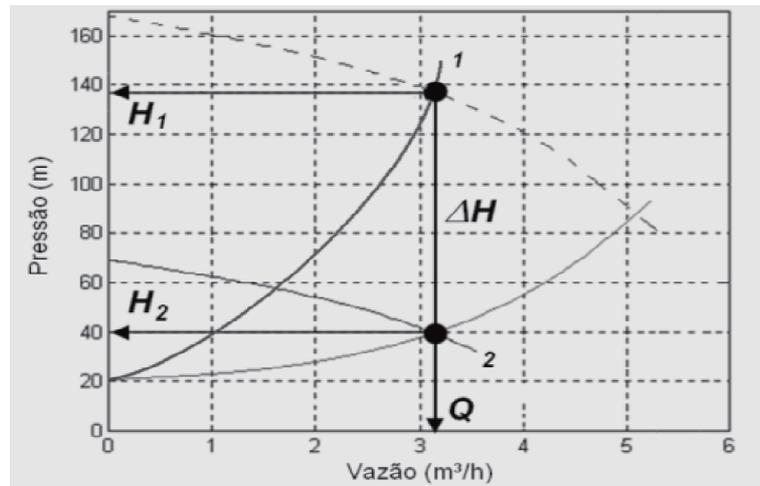


Figura 4 - Operação com válvula de estrangulamento (1) e com rotação variável (2)

Fonte: Marques, 2007.

Para uma determinada vazão Q, ou opera-se com restrição de válvula, conduzindo ao ponto 1, ou opera-se com redução de velocidade, levando ao ponto 2. Esses dois pontos correspondem a uma mesma vazão, porém com pressões diferentes, H1 e H2. Por estar a uma pressão maior, o ponto 1 resultará em uma maior potência demandada em relação ao ponto 2, e, conseqüentemente, a um maior consumo de energia. Se a válvula de estrangulamento for parcialmente fechada à curva do sistema assume uma nova posição, interceptando a curva da bomba no ponto M (MARQUES, 2007).

Não fixando a vazão (figura 5), notamos que o estrangulamento na válvula reduz a vazão (Q_m é menor que Q_p). Ao utilizar esse artifício, aumentamos as perdas e também a altura manométrica a ser vencida pela bomba (H_m é maior que H_p). Entretanto, a bomba irá operar, em muitos casos, em um ponto onde o seu rendimento é menor e, conseqüentemente, o gasto energético será maior também. Na figura 5 estão representadas as duas curvas características de uma bomba

centrífuga que está operando em rotação constante. Vemos que a vazão máxima atingida pela bomba quando a válvula está toda aberta (Q_p), uma vez que para descargas maiores a energia fornecida pela bomba é insuficiente para vencer a altura estática e as resistências da tubulação e seus acessórios (GONÇALVES, 2009).

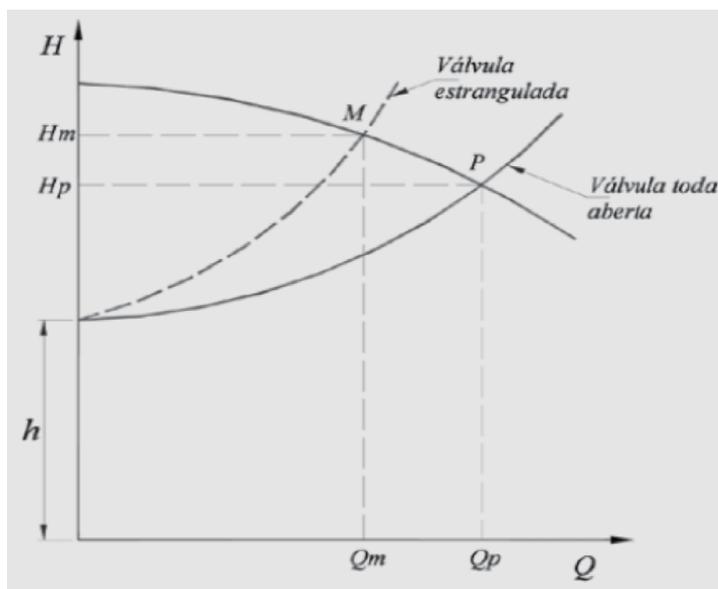


Figura 5 - Influência da válvula de estrangulamento nas variáveis vazão e pressão

Fonte: Gonçalves, 2009.

A economia com o uso de um controle de velocidade em substituição de uma válvula, ΔE (2), é dada como uma função da parcela ΔH , ponderado pelo número de horas, t , que opera nesta condição (MARQUES, 2007, GONÇALVES, 2009).

$$\Delta E = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot \Delta H}{3600 \cdot \eta_M \cdot \eta_B} \cdot t \quad (2)$$

Já Monteiro & Rocha (2005), traz de forma mais simplificada as equações (3,4,5) que trazem as principais relações entre essas grandezas (os índices 1 e 2 referem-se à situação anterior e à situação posterior, respectivamente):

$$N_2 / N_1 = Q_2 / Q_1 \quad (3)$$

$$(N_2 / N_1)^2 = H_2 / H_1 \quad (4)$$

$$(N_2 / N_1)^3 = P_2 / P_1 \quad (5)$$

As principais grandezas envolvidas são: vazão (Q), medida em m^3/s , m^3/h ou l/s ; altura manométrica (H), dada em mca (metros de coluna d'água); rotação (N), dada em rpm; e potência (P), em W).

Em termos práticos, verifica-se que, reduzindo a rotação e,

consequentemente, a vazão em 10%, a potência com adoção de inversor de frequência reduzirá em 27% da potência original (MONTEIRO & ROCHA, 2005).

$$P2 = P1 \times (N2 / N1)^3 = P1 \times (0,9 \times N1 / N1)^3 = 0,73 P1 \quad (6)$$

Além da aplicação de inversores de frequência, é necessário para que possamos reduzir o consumo de energia elétrica em um sistema de bombeamento de água, atentar para os seguintes pontos (MONTEIRO & ROCHA, 2005):

- Verificar se a motobomba está bem dimensionada conforme aplicação;
- Eliminar perdas de água em todo o sistema de distribuição conectado à bomba;
- Eliminar desperdícios e consumos indevidos no sistema;
- Realizar manutenção periódica de acessórios da rede (filtros, conexões, etc);
- Ajustar as bombas conforme as curvas de desempenho;
- Compatibilizar a potência do motor elétrico com a capacidade da bomba, evitando a subutilização do motor, que ocasiona seu baixo fator de potência;
- Minimizar acessórios que provoquem excesso de perda de carga nas tubulações;
- Dimensionar corretamente o diâmetro da tubulação, pois a utilização de diâmetro abaixo do adequado acarreta maior custo com energia;
- Evitar a entrada de ar na tubulação de sucção da bomba;
- Dependendo da forma como são instaladas as bombas, pode ocorrer altura demasiada de sucção, o que, além de diminuir o rendimento, provoca cavitação, reduzindo a vida útil do motor da bomba (para este caso, reduzir a altura de sucção);
- Evitar instalar curvas de raio curto na tubulação.

O autor ainda destaca a utilização de outro controle de vazão a partir da utilização de válvulas: a recirculação do fluido. Nesta condição, a bomba, assim como no modo de operação com válvulas que restringem o fluxo, opera a 100% de sua capacidade (vazão máxima), entretanto, tem-se uma boa parte do fluido desviado e retornado para a sucção do equipamento. Assim como a restrição do

recalque, é outro método ineficiente energeticamente, pois a bomba opera com uma potência além daquela necessária para a aplicação.

Neste contexto, para então atingirmos uma maior eficiência energética de um bombeamento, devemos nos dirigir para o controle variável da rotação do motor, adequando a capacidade da bomba à demanda do sistema (MARQUES, 2007).

Com relação ao componente motor elétrico, mais precisamente o motor de indução trifásico, mais comumente utilizado na indústria, pode ter sua velocidade controlada através de inversores estáticos que variam a sua frequência e tensão de operação. A tensão e a frequência são modificadas proporcionalmente, para que o torque seja mantido constante em cada faixa de velocidade. Entretanto, a principal desvantagem da disseminação dos inversores é o alto investimento inicial, que pode ser amortecido em menor tempo na aplicação com motores de maior potência e de utilização intensa, onde a economia de energia é atraente (MONTEIRO & ROCHA, 2005).

Os motores elétricos de indução possuem inúmeras perdas que afetam o seu rendimento. As principais são as perdas júllicas no estator e no rotor; perdas magnéticas no ferro; perdas mecânicas por atrito e ventilação; além de perdas suplementares (MONTEIRO & ROCHA, 2005).

Neste contexto, surgiram no mercado os motores de alto rendimento que possuem essas perdas minimizadas, aumentando assim o seu rendimento elétrico em relação ao motor padrão. As perdas joule no estator podem ser minimizadas pela redução da resistência ôhmica (aumentando-se a seção de cobre dos condutores). Já o aumento das gaiolas condutoras auxilia na redução das perdas joule no rotor. A redução das perdas no ferro, por sua vez, é obtida através do emprego de materiais com baixas perdas magnéticas, além da utilização de maior volume de material para a redução das densidades de fluxo magnético. Com relação às perdas mecânicas, elas podem ser reduzidas por meio do projeto de ventiladores mais eficientes e rolamentos com menor atrito. E por fim, as perdas suplementares só conseguem ser minimizadas através de um controle de qualidade apurado e na otimização das ranhuras, do entreferro e dos enrolamentos, reduzindo assim as dispersões magnéticas (MONTEIRO & ROCHA, 2005).

Um motor bem dimensionado é aquele que consome de 75% até 100% da sua potência nominal. Se for constatada a operação fora dessa faixa, a substituição é recomendada. Motores antigos e muitas vezes sobredimensionados que possuem

ocorrências frequentes de queima também tem as perdas aumentadas. Além disso, limitam-se a baixos rendimentos quando comparados aos motores atuais que possuem uma melhor distribuição térmica e isolamento elétrica (MARQUES, 2007).

Os critérios para escolha por um motor com rendimento superior em detrimento a um custo superior são essencialmente financeiros. Deverão ser avaliados indicadores relativos ao retorno de capital, a disponibilidade de recursos e de custo do capital de terceiros. Além disso, obviamente, deverá ser quantificada a economia prevista com a adoção da tecnologia superior (MONTEIRO & ROCHA, 2005).

Obtemos o valor da energia economizada através das equações 7 e 9. Foi considerado um motor funcionando em condições nominais e regime contínuo, durante h horas por ano. Para o motor comum, o consumo anual de energia será:

$$E = h \times W = h \times P \times 0,735 / n \text{ (kWh)} \quad (7)$$

Onde:

h = horas de funcionamento por ano;

W = potência absorvida da rede, em kW;

P = potência nominal do motor, em cv;

E = energia consumida em h horas por ano; e

n = rendimento do motor à potência nominal.

Analogamente, para o motor de alto rendimento, tem-se:

$$E' = h \times W' = h \times P \times 0,735 / n' \quad (8)$$

A economia anual de energia devido à adoção de motor de alto rendimento é:

$$e = E' - E = 0,735 \times h \times P \times (1/n - 1/n') \quad (9)$$

Considerando a tarifa comum da energia elétrica C em R\$/kWh e os preços K e K' dos motores padrões e de alto rendimento, respectivamente, o retorno do investimento é dado pela equação 10:

$$\text{Retorno} = \frac{K - K' \text{ anos}}{e \times C} \quad (10)$$

Monteiro & Rocha (2005) recomendam mais algumas ações que otimizam a eficiência energética em sistemas acionados por motores elétricos:

- A operação dos motores deve se situar entre 75% e 90% da potência nominal;
- Para aplicações que exijam duas ou três velocidades diferentes, pode-se utilizar um motor assíncrono com duas ou três velocidades;
- Variadores eletrônicos de velocidade devem ser priorizados, sempre que possível;
- Considerar o emprego de motores com maior rendimento;
- Evitar o uso de motores com capacidade acima daquela necessária para a aplicação. Se possível, substituí-lo quando ocorrer à queima;
- Desligar os motores das máquinas quando estas não estiverem operando por um tempo prolongado.

3 OBJETIVOS

3.1. Objetivo geral

O objetivo geral da pesquisa é demonstrar os ganhos obtidos através de ações de eficiência energética aplicadas em um bombeamento de água tratada.

3.2. Objetivo específico

Os objetivos específicos, que também corroboram para o atendimento do objetivo geral da pesquisa, são:

- Avaliar o custo, o Valor Presente Líquido (VPL) e o Tempo de Retorno Simples (*Payback* Simples) da Fase 1 do projeto de eficiência energética;
- Avaliar o impacto da substituição de uma motobomba de tecnologia superior na operação do bombeamento Roselândia.

4 METODOLOGIA

Nesta etapa do trabalho são descritas as diversas fontes de informações, bem como os procedimentos metodológicos pelos quais o pesquisador desenvolveu seu

projeto de pesquisa. É necessário traçar um plano para solucionar o problema evidenciado na questão de pesquisa, assim como atingir o objetivo proposto. Nesse plano, o pesquisador definiu os tipos de pesquisa, as limitações de estudo (população, amostra, etc) além das ferramentas para a obtenção das informações (questionários, entrevista, formulários, etc). Ao final dessa etapa, foi realizada uma análise criteriosa dos dados e dos resultados obtidos. (BOAVENTURA, 2011; SEVERINO, 2007; BASTOS, 2001).

A pesquisa pode ser dividida basicamente em quatro classes (Quadro 1). Inicialmente, é necessário caracterizá-la de acordo com a natureza da investigação – fundamental ou aplicada. Além dos procedimentos técnicos já comentados anteriormente - pesquisa bibliográfica, estudo de caso e experimental, por exemplo - a pesquisa também possui uma abordagem específica, sendo ela qualitativa e/ou quantitativa (BOAVENTURA, 2011). No entanto Gil (2002) prefere ainda classificar o estudo com relação nos seus objetivos: exploratória, onde ocorre uma maior familiaridade com o problema; a explicativa que identifica as variáveis que condicionam ou modificam a dinâmica dos fenômenos; e a descritiva que caracteriza uma dada população ou fenômeno.

(continua)

Classe	Tipo	Característica
Natureza	Fundamental	Busca gerar, através de investigações e novas descobertas, novos conhecimentos à Ciência. Gera conhecimentos úteis à solução de problemas específicos.
	Aplicada	
Abordagem	Quantitativa	Tanto na coleta como no tratamento de dados são utilizadas técnicas estatísticas, simples ou complexas, para quantificar o trabalho. Modalidade de pesquisa onde o investigador, principal fonte para a obtenção de dados, avalia indutivamente o trabalho, interessando-lhe mais pelo processo e seu significado do que pelo resultado obtido.
	Qualitativa	
Objetivos	Exploratória	Tem como objetivo criar uma maior afinidade com o problema evidenciado pelo trabalho de pesquisa, de maneira a deixá-lo mais explícito ou a desenvolver hipóteses. É realizado um levantamento de dados sobre um objeto específico e de suas manifestações, tornando o campo de pesquisa por ele delimitado.
	Descritiva	Identificam as características de determinada população ou fenômeno. O melhor exemplo é o levantamento ou survey.

Classe	Tipo	Característica	(conclusão)
Procedimentos Técnicos	Pesquisa Bibliográfica	Pesquisa baseada em trabalhos publicados por outros autores, ora impressos (livros, artigos, revistas e dissertações), ora por materiais disponíveis na internet. Todos esses textos, impressos ou digitais, são as fontes que corroboram para o tema de uma nova pesquisa.	
	Pesquisa Documental	Pesquisa elaborada a partir de documentos (textos, fotos, jornais, gravações) que ainda não receberam tratamento analítico e que pelos quais o pesquisador desenvolverá seu trabalho.	
	Levantamento	Modalidade em que ocorre uma coleta de dados (levantamento) a respeito de um objeto de pesquisa a um grande grupo de pessoas.	
	Estudo de Caso	Desenvolvida sobre um caso particular, seguindo os procedimentos da pesquisa de campo (coleta de dados, registro e análise rigorosos). O resultado da pesquisa deve ser apresentado em relatórios qualificados.	
	Pesquisa-Ação	Desenvolvida a partir de um estudo analítico de um objeto, onde o pesquisador tem papel ativo na pesquisa, propondo a um grupo de pessoas, ações que levem a solução do problema ou aprimoramento das práticas analisadas.	

Quadro 1 - Classificação das Pesquisas

Fonte: Boaventura (2011); Severino (2007); Gil (2002).

A partir do quadro 1, pode-se classificar esta pesquisa como sendo de natureza aplicada, já que será destinada para otimizar os bombeamentos de água tratada da empresa de saneamento básico. Com relação à abordagem, a pesquisa baseia-se fundamentalmente em interpretações quantitativas. Já no que tange aos procedimentos técnicos, caracteriza-se pela pesquisa bibliográfica e estudo de caso.

No que se refere aos objetivos, à pesquisa assume uma natureza exploratória, de modo que buscou uma maior familiaridade com o objeto em estudo, onde o pesquisador obteve informações pertinentes a uma estação de bombeamento.

Com relação à estrutura lógica do método científico, podemos dividi-lo basicamente em dois métodos. O primeiro, onde se aplica a raciocínio indutivo, denomina-se método experimental. Já no método matemático, o raciocínio se dá de forma dedutiva. Por sua vez, indução e dedução constituem-se em dois tipos de raciocínios, ou seja, processos argumentativos pelos quais podemos justificar hipóteses (BOAVENTURA, 2011). Os métodos científicos estão apresentados no quadro 2.

Tema	Unidade de Significado
Método Dedutivo	Procedimento lógico que deduz de um aspecto amplo (várias premissas) uma informação particular, obtendo assim uma conclusão.
Método Indutivo	Procedimento lógico onde se estabelece uma condição geral constatada a partir de casos particulares que tiveram um mesmo padrão de comportamento e regularidade. Em outras palavras, a partir do comportamento padrão de um indivíduo, adota-se o mesmo para o restante da família, ou seja, ocorre uma generalização.

Quadro 2 - Classificação dos Métodos Científicos

Fonte: Boaventura (2011); Severino (2007).

O trabalho proposto segue o modelo indutivo, pois seu produto é fruto de um estudo de caso que exemplifica o objeto de estudo em uma empresa de saneamento básico.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O objeto de estudo desta pesquisa foi o bombeamento Roselândia, pertencente à empresa de saneamento básico de Novo Hamburgo. O estudo de caso dividiu-se em duas partes distintas. Na primeira fase foi analisada a influência no consumo energético promovida pelo rearranjo hidráulico, com a mudança no sistema de elevação de água tratada para um sistema *booster* e pela automatização do bombeamento. Desta maneira, permitiu-se que o mesmo operasse de forma automática, com controle de pressão na entrada e saída das bombas. Já a segunda fase da pesquisa, avaliou o impacto da substituição de um conjunto motobomba por um de maior rendimento elétrico e hidráulico.

5.1. Primeira Fase

O *booster* Roselândia era composto por duas motobombas, conforme dados da tabela 1 e figura 6. Ambas eram acionadas através de um painel de comando local, com um esquema tradicional de contadoras que alimentavam os motores elétricos com 380V em estrela-triângulo. Após as mudanças do projeto, com a adoção da automação e controle operacional remoto, passaram a ser acionadas por um inversor de frequência Danfoss.

Tabela 1 - Características técnicas das motobombas

Dados	Motobomba 1	Motobomba 2
Potência	15 cv (11 kW)	15 cv (11 kW)
Rotação	3490 RPM	3495 RPM
Fator de serviço	1.0	1.15
Tensão	380 V	380 V
Corrente	23 A	22 A
Fator de potência	0,88	0,88
Frequência	60 Hz	60 Hz
Rendimento motor	84,5%	84,5%
Rendimento bomba	-	-

Fonte: Autor, 2014.



Figura 6 – Configuração antiga do booster Roselândia

Fonte: Autor, 2014.

Além da automação, outro aspecto importante do trabalho de eficiência energética neste bombeamento foi a alteração da pressão de entrada das motobombas. Como os dois equipamentos eram alimentados diretamente de um reservatório de 5 metros de altura, visto na figura 7, a pressão de sucção era muito baixa, o que afetava a operação das bombas. Para resolver este problema, foi interceptada a rede de entrada do reservatório inferior, ligando-a diretamente nas bombas (Figura 8). Deste modo, os equipamentos que antes operavam com pressão baixa de sucção (5mca) correspondente apenas à altura manométrica do reservatório, passaram a dispor de valores superiores à 20mca.



Figura 7 - Reservatório desativado

Fonte: Autor, 2014.



Figura 8 – Intercepção da rede de sucção das bombas

Fonte: Autor, 2014.

Com o incremento de pressão, foi possível operar as bombas centrífugas dentro de suas curvas de rendimento superior e com frequências menores, modulando seu funcionamento conforme a demanda da região. Como dispositivo de segurança, estabelecemos um limite mínimo de 5mca na sucção das bombas, e caso a pressão for inferior a este valor, a bomba se desligará automaticamente, retornando assim que a pressão for restabelecida. Deste modo, os equipamentos estarão protegidos em casos de rompimentos ou manutenções programadas nas redes de distribuição.

Com relação à variável pressão de saída do bombeamento, foi ajustado no inversor de frequência o *set-point* de 65mca. Com este valor de pressão na saída do *booster*, o ponto crítico (a residência com menor pressão disponível em sua torneira), estabeleceu-se em uma faixa ótima de 10 a 15mca. Com este *set-point* ajustado na programação, o inversor reduzirá a frequência do motor assim que esse limite for atingido. A todo o momento o inversor modulará a frequência do motor para atender a demanda instantânea da região mantendo-se essa pressão especificada (Figura 9). Em outras palavras, obtém-se a melhor condição operacional para cada momento, reduzindo-se ao mínimo o consumo de energia do sistema e ajustando as vazões em todos os horários para funcionamento à velocidade mais apropriada.



Figura 9 – Inversor e quadro de automação

Fonte: Autor, 2014.

Outro ponto importante do trabalho desenvolvido foi à incorporação do respectivo bombeamento ao CCO (Centro de Controle Operacional) do sistema de adução e distribuição de água. O software utilizado é o Elipse SCADA[®], software supervísório (Figura 10) que informa as condições operacionais (vazão, pressão, frequência, etc) dos bombeamentos. Esse supervísório possibilita ajustes de parâmetros operacionais a qualquer momento do dia de forma instantânea.

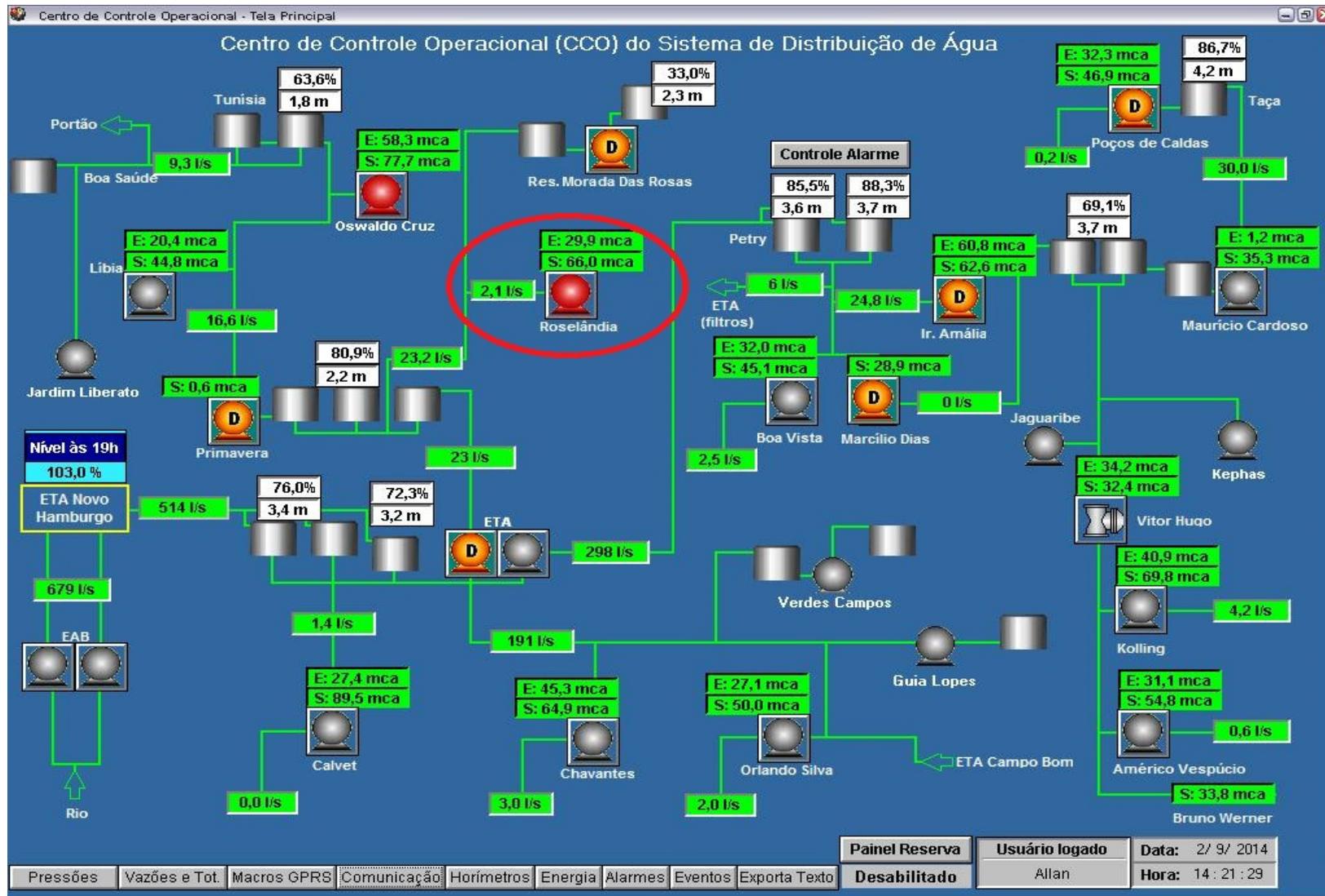


Figura 10 - Tela do Centro de Controle Operacional - SCADA
 Fonte: Autor, 2014.

No que se refere à programação Ladder e parametrização do inversor Danfoss, foram estabelecidos dois modos de operação dos equipamentos:

- *Modo Manual:* O operador poderá comandar as bombas manualmente, podendo configurar a frequência de saída;
- *Modo Automático:* O *booster* funcionará automaticamente com controle a partir do sistema SCADA[®] operando conforme a necessidade da região.

Após a conclusão da programação, foi realizada a instalação física do quadro de automação, composto por diversos itens como o inversor, CLP, modem/rádio, contadoras, além de sensores de pressão e manômetros. Durante as instalações dos equipamentos e a integração dos mesmos, não encontramos muitas dificuldades. A parte mais complicada foi a programação do Ladder do inversor, que demandou um pouco mais de estudo da equipe de Eletrônica.

Com relação aos custos, a tabela 2 traz a relação dos componentes utilizados para compor a automação efetivada em dezembro de 2013. Os itens em destaque constituem-se em incrementos necessários para a transmissão de dados do bombeamento até o CCO. Esses componentes poderiam não ter sido instalados, para efeitos de economia de projeto, pois o bombeamento poderia rodar de forma autônoma sem os mesmos. Entretanto, optou-se pelo projeto mais completo, pois contempla um maior controle operacional.

Tabela 2 - Custos da primeira fase

Quantidade	Descrição	Custo unitário	Custo total
1	Inversor de frequência	R\$ 5.000,00	R\$ 5.000,00
2	Disjuntor unipolar	R\$ 49,50	R\$ 99,00
1	Disjuntor tripolar	R\$ 60,00	R\$ 60,00
3	Protetor de surto	R\$ 136,00	R\$ 408,00
1	Fonte de tensão	R\$ 150,00	R\$ 150,00
2	Contadora	R\$ 70,00	R\$ 140,00
1	Microventilador	R\$ 35,00	R\$ 35,00
1	Relé falta de fase	R\$ 150,00	R\$ 150,00
2	Sensor de pressão	R\$ 400,00	R\$ 800,00
1	Rádio transmissor	R\$ 550,00	R\$ 550,00
1	Modem ABS	R\$ 440,00	R\$ 440,00
1	Cartão analógico	R\$ 420,00	R\$ 420,00
1	CLP	R\$ 1.400,00	R\$ 1.400,00
1	Antena 400MHz	R\$ 300,00	R\$ 300,00
Custo total das alterações da Fase 1 no booster Roselândia			R\$ 9.952,00

Fonte: Autor, 2014.

Após implementação dessas medidas, foi constatado que a automatização, juntamente com o rearranjo hidráulico induziram a uma maior eficiência energética do *booster*. Os resultados obtidos através do projeto de conservação de energia da Fase 1 podem ser vistos na tabela 3.

Tabela 3 - Comparativo Jan/13-Out/13 x Jan/14-Out/14

Período (mês)	Consumo (kWh)	Período (mês)	Consumo (kWh)
Jan/13	5.281	Jan/14	4.707
Fev/13	5.482	Fev/14	3.365
Mar/13	5.174	Mar/14	3.565
Abr/13	5.836	Abr/14	3.375
Mai/13	5.098	Mai/14	3.641
Jun/13	4.464	Jun/14	3.803
Jul/13	5.313	Jul/14	3.495
Ago/13	3.846	Ago/14	3.794
Set/13	4.024	Set/14	3.996
Out/13	4.228	Out/14	3.961
Total	48.476	Total	37.702

Fonte: Autor, 2014.

Está clara ainda mais a economia quando visualizamos nas figuras 11 e 12, a tendência de queda no consumo energético no bombeamento analisado.

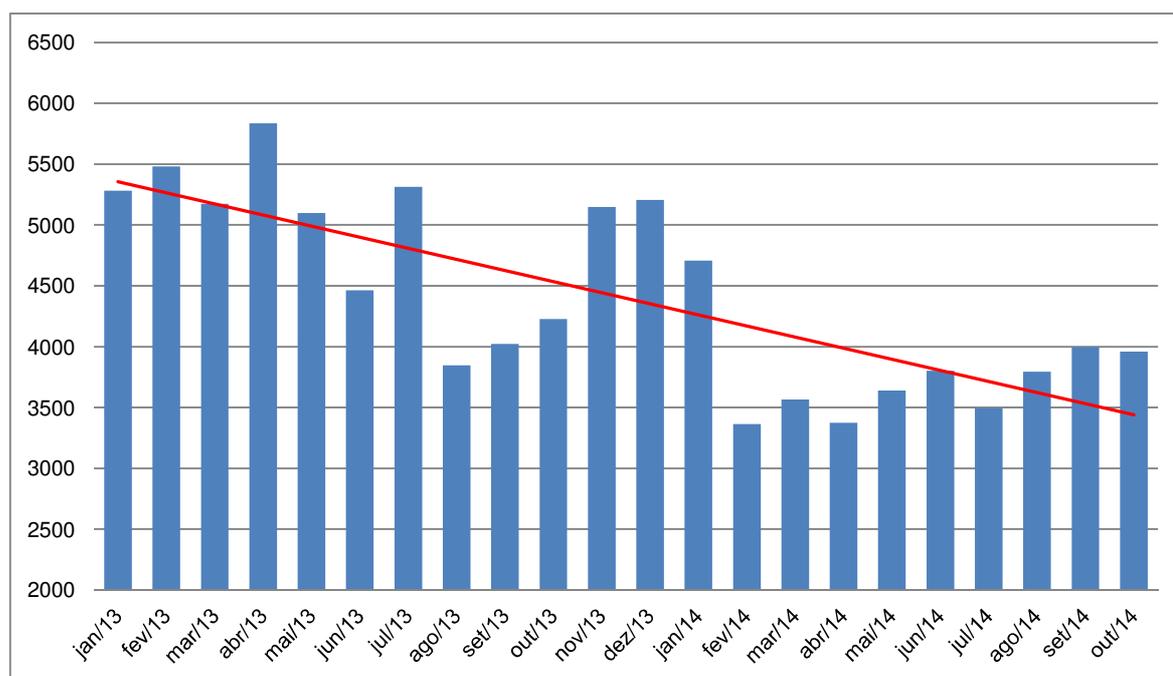


Figura 11 - Consumo kWh/mês (Jan/13 – Out/14)

Fonte: Autor, 2014.

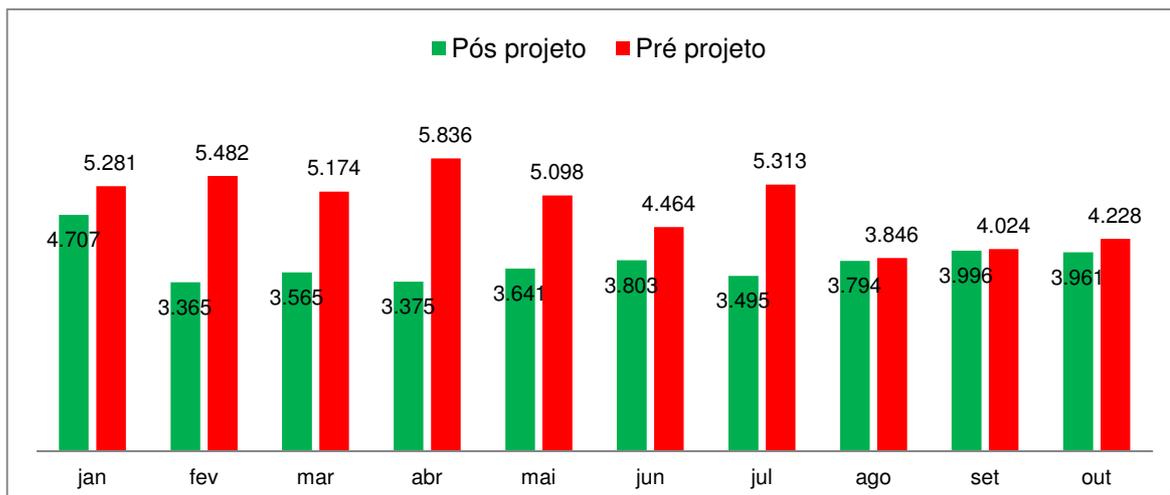


Figura 12- Comparação do consumo antes e depois da automação

Fonte: Autor, 2014.

Vimos que em períodos iguais, em 10 meses de análise, o consumo energético diminuiu significativamente, apesar do contínuo aumento de economias abastecidas pelo bombeamento. O consumo total registrado no período de janeiro de 2013 até outubro de 2013 foi de 48.476 kWh, bem superior à energia despendida de janeiro de 2014 até outubro de 2014 que foi de 37.702 kWh. Portanto, no período analisado, houve uma economia gerada de 11.044 kWh que multiplicados a uma tarifa média de R\$0,25, resulta em uma redução de R\$2.761,00.

A economia gerada de aproximadamente R\$3.200,00 por ano (estimativa) que faz que o investimento de R\$9.952,00 tenha um *Payback* simples ($PB=I/E$ – Investimento/economia gerada) de aproximadamente 3,1 anos. Considerando-se uma taxa juros de 10% ao ano, uma vida útil de 10 anos dos equipamentos e a economia gerada no período, chegamos a um VPL positivo de R\$9.710,62 conforme cálculo abaixo:

$$VPL = -I + A \times (FVP)$$

$$VPL = - 9.952,00 + 3.200,00 \times [(1+0,10)^{10} - 1] / [0,10 \times (1+0,10)^{10}]$$

$$VPL = - 9.952,00 + 3.200,00 \times [1,593742 / 0,259374]$$

$$VPL = - 9.952,00 + 3.200,00 \times 6,14457$$

$$VPL = - 9.952,00 + 19.662,62$$

$$\mathbf{VPL = + R\$9.710,62}$$

No que se refere ao modo de operação, mais importante do que os ganhos financeiros advindos do menor consumo energético, foi o incremento de qualidade na operação do bombeamento Roselândia. A figura 13 mostra um funcionamento

mais constante do equipamento, com redução significativa das “repartidas” dos motores. A pressão de recalque, representada pela linha azul do gráfico, pode ser utilizada para exemplificar essa melhoria. Antes, a bomba ligava e desligava inúmeras vezes por dia, e atualmente, seus desligamentos tornaram-se esporádicos.

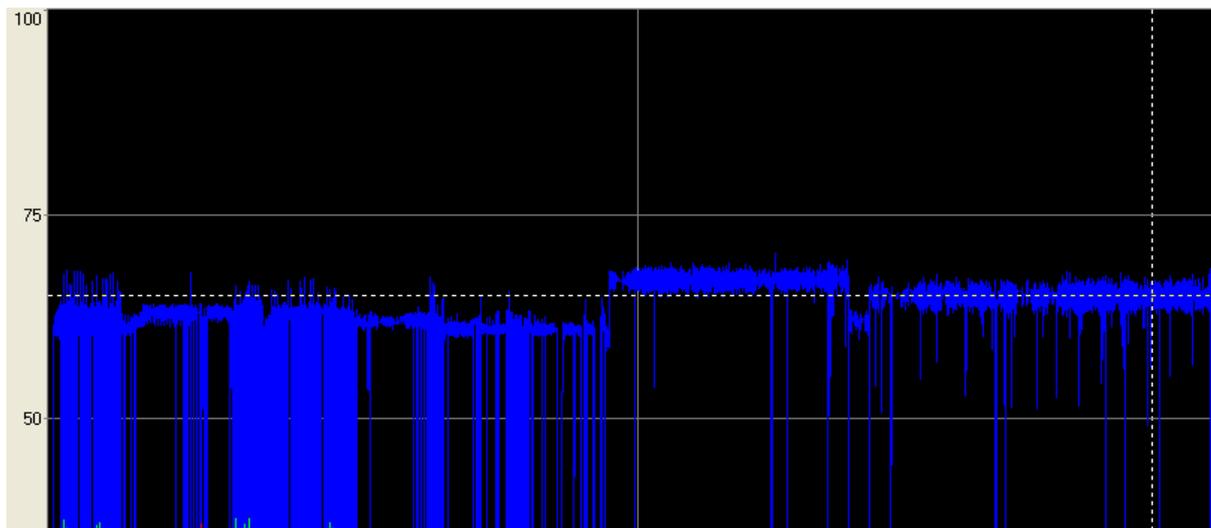


Figura 13 – Regime de trabalho intermitente da bomba
Fonte: Empresa, 2014.

5.2. Segunda Fase

A segunda fase, ocorrida em outubro de 2014, consistiu na modernização do *booster* por meio da substituição de uma motobomba. Os motivos que levaram a esta substituição foram à obsolescência, os problemas mecânicos frequentes e o baixo rendimento hidráulico apresentado pelo equipamento pré-existente. A comparação entre as características técnicas entre os equipamentos pode ser vista na tabela 4. Os itens em destaque são aqueles com maior representação na análise de eficiência e demonstram a superioridade da nova motobomba.

Tabela 4 - Comparação entre motobombas

Dados	Bomba antiga	Bomba nova
Potência	15 cv (11 kW)	15 cv (11 kW)
Rotação	3495 RPM	3520 RPM
Fator de serviço	1,15	1,15
Tensão	380 V	380 V
Corrente	22 A	21 A
Fator de potência	0,85	0,88
Vazão máxima	10 l/s	14 l/s
Pressão máxima	70 mca	72 mca
Frequência	60 Hz	60 Hz
Rendimento motor	84,5%	90,5%
Rendimento bomba	--	57,0%

Fonte: Autor (2014)

O investimento realizado foi de aproximadamente R\$3.400,00 referente à aquisição da motobomba, mais o custo de R\$1.000,00 em novos acessórios, tais como válvulas de esfera de 4", conexões e extensões de tubulações de aço galvanizado. A figura 14 traz as mudanças físicas visíveis no bombeamento.



Figura 14 - Bombeamento renovado

Fonte: Autor, 2014.

A motobomba 2 (direita) iniciou sua operação em 14/10/2014 e alguns parâmetros já se destacaram quando comparados aos da motobomba 1 (esquerda), conforme visto na tabela 5 e figura 15. Vimos que a pressão de *set-point* (65 mca) é atingida pela motobomba 2 em frequências menores, com vazão superior e conseqüentemente, um consumo de corrente inferior à motobomba 1. Os dados foram coletados a cada 5 minutos, ao total de três pontos para cada bomba.

Tabela 5 - Coleta de parâmetros após instalação da motobomba

Set-point (m.c.a)	Motobomba 1			Motobomba 2		
	Frequência (Hz)	Corrente (A)	Vazão (l/s)	Frequência (Hz)	Corrente (A)	Vazão (l/s)
65	55,1	16	5,5	50,9	13,8	5,6
	54,2	15,5	5,2	49	12,6	4,8
	50,2	13,2	4,1	48	11,8	3,95

Fonte: Autor (2014)

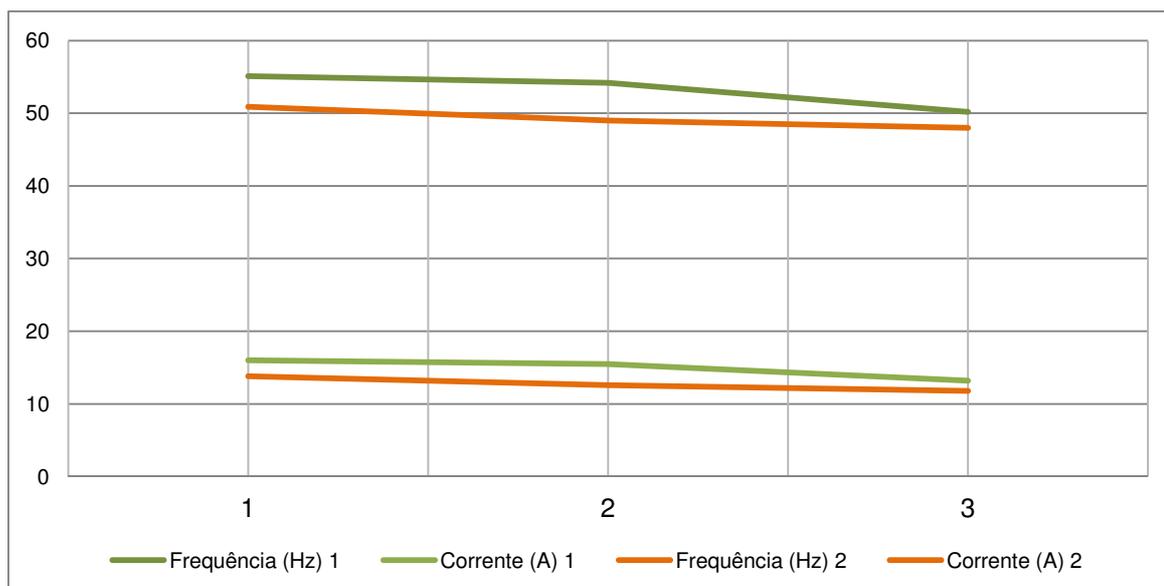


Figura 15 - Comparativo frequência x corrente após substituição de bombas

Fonte: Autor (2014)

Podemos visualizar na figura 16 a comparação de diversos parâmetros operacionais das motobombas. Até o dia 28/10/14, a motobomba 2 (equipamento novo) estava em operação. Já no dia 29/10/14 foi acionada a motobomba 1 (equipamento em paralelo) a fim de podermos avaliar a operação e o consumo energético dos diferentes equipamentos. Vimos na linha rosa, correspondente às oscilações de frequência (Hz), a mudança nos traços dessa variável, com valores mais altos e persistentes por longos períodos no dia 29/10/14 (círculo 2), ao contrário da motobomba 2 que apresentou frequências médias mais baixas (círculo 1), demonstrando assim uma maior eficiência do novo conjunto para atender a mesma pressão de *set-point*. Ou seja, a motobomba 2 está trabalhando com cargas médias mais baixas e conseqüentemente consumindo correntes médias inferiores daquelas obtidas pela bomba mais antiga em paralelo. Esses dados foram obtidos através do software supervisor durante o período de 25/10 até 30/10/14 em dias com temperaturas máximas de 34°C em Novo Hamburgo.

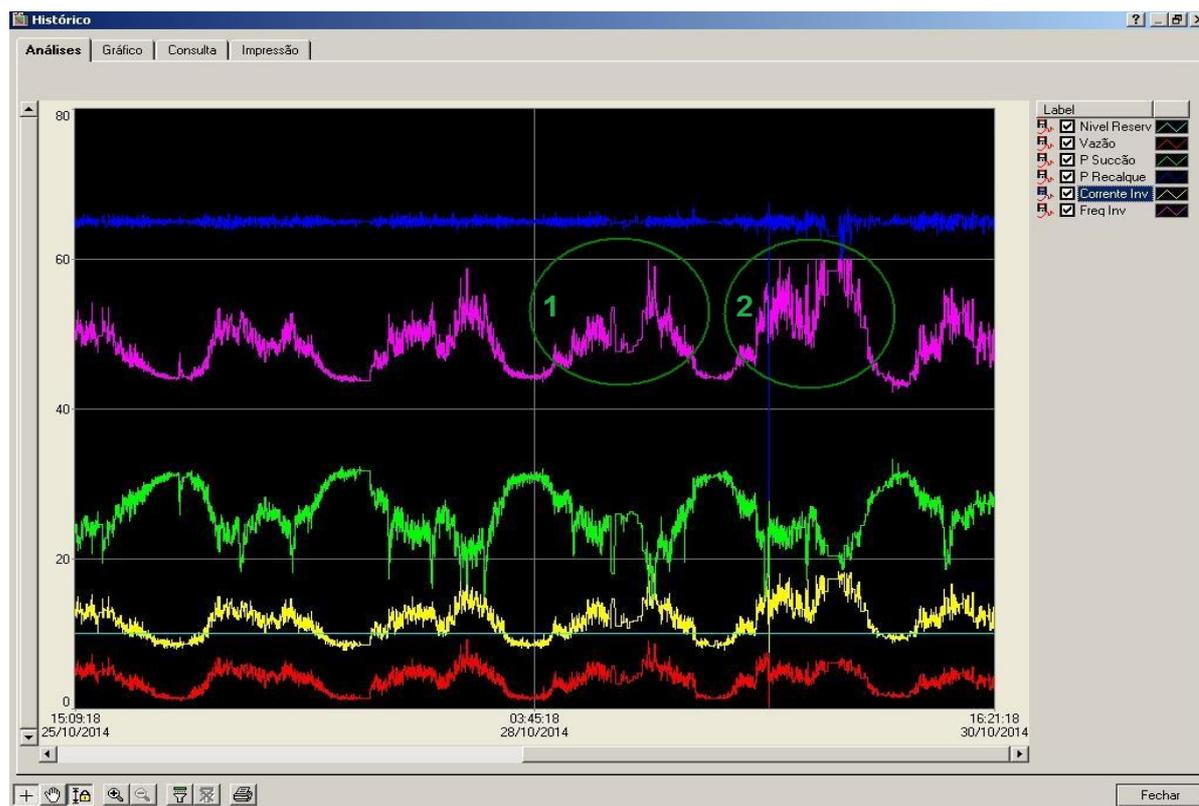


Figura 16 - Comportamento da frequência

Fonte: Empresa (2014)

Com relação às variáveis de consumo de corrente e vazão, visualizamos na figura 17 nos mesmos dias de operação (28 e 29/10/14) o comportamento da corrente elétrica e da vazão das bombas analisadas. É notável o aumento médio da corrente elétrica da motobomba 1, que acompanhou a frequência conforme visto na figura 16 e destacado no círculo 2 da figura 17. Este círculo 2 possui em seu interior uma maior quantidade de linhas de oscilação de corrente do que o círculo 1, representando assim, maiores períodos de operação em frequências elevadas. A motobomba 2 operou em frequências médias mais baixas também no período da noite, onde o consumo de água é naturalmente menor, como visualizado no destaque 3. Mesmo neste período, vimos que ao trocarmos de motobomba, a corrente consumida é superior utilizando-se a motobomba mais antiga (círculo 4).

No que se refere à vazão, notamos que o novo equipamento fornece maior vazão quando o sistema lhe solicita. O destaque 5 possui um pico de vazão bem superior ao destacado no círculo 6, onde a motobomba mais antiga estava em funcionamento.

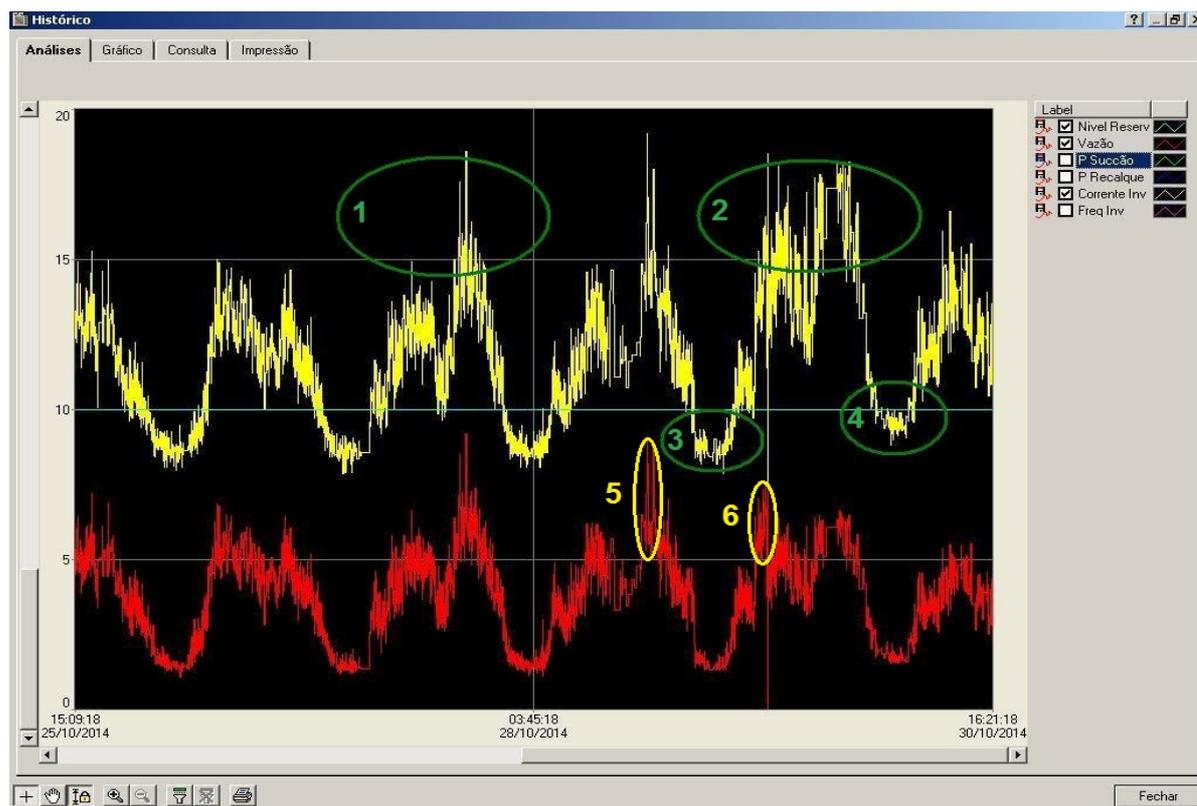


Figura 17 - Comportamento da corrente elétrica

Fonte: Empresa (2014)

Comparando-se o consumo do bombeamento em novembro de 2013 e novembro 2014, período que podemos avaliar os resultados da Fase 2 do projeto, vimos a queda significativa do consumo de energia, mesmo num mês de forte calor e alta demanda de água tratada. Somente neste mês de avaliação, obtivemos uma economia de 1.141kWh, totalizando uma economia de R\$285,25 conforme figura 18. Uma melhor avaliação poderá ser obtida após um período maior de acompanhamento.

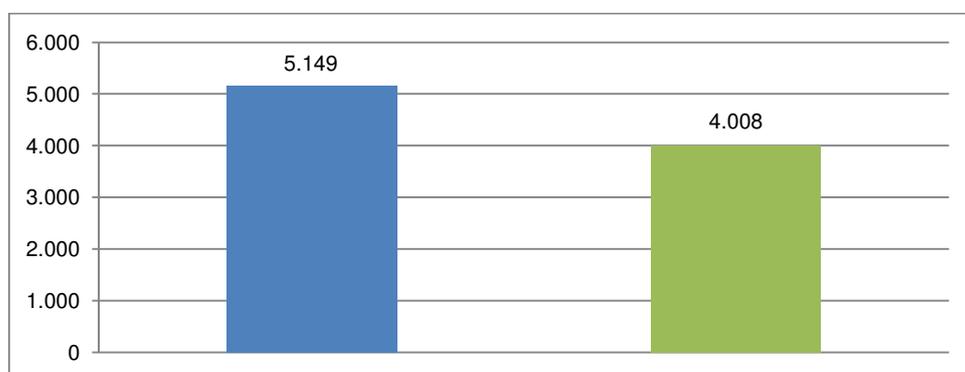


Figura 18 – Comparação do consumo (kWh) Nov/13 e Nov/14

Fonte: Empresa (2014)

6 CONCLUSÕES

Ao final deste trabalho, chegamos às seguintes conclusões a respeito da efficientização do bombeamento Roselândia:

- O rearranjo hidráulico, passando pela mudança na forma de alimentação das bombas, representou uma significativa melhoria operacional, visto o aumento da pressão de sucção e diminuição drástica de partidas das motobombas;
- Os reservatórios inferior e superior foram anulados no projeto, pois apresentavam problemas estruturais, falta de capacidade e autonomia, além de controles ineficientes de nível de água. Modificando-se o modo de operação das bombas, que antes recalavam a água tratada do reservatório inferior para o superior, para um sistema de pressurização da rede de distribuição tipo *booster*, obtivemos uma melhoria na qualidade de distribuição de água, a uma pressão mais homogênea e com maior disponibilidade do sistema;
- A automação do bombeamento foi extremamente importante para o controle operacional e para a redução do consumo energético. Antes o bombeamento era acionado de forma manual e operava a uma frequência de 60Hz. Ou seja, as bombas operavam em sua capacidade máxima, por curtos períodos de tempo, o que tornava a operação intermitente, como inúmeras partidas por hora. Após a incorporação do controle eletrônico, o bombeamento passou a consumir exatamente a energia necessária para atender a necessidade da região. Desta forma, a operação passou de um regime intermitente, para um regime de modulação, variando-se a frequência dos motores, eliminando-se as frequentes repartidas das bombas e reduzindo-se a energia despendida. Além disso, foi inserido o bombeamento no controle operacional remoto, o que permitiu a transmissão dos dados via rádio para uma base de monitoramento na sede da empresa. Agora, podemos alterar diversas variáveis operacionais sem a necessidade de deslocamentos ao local, além de facilitar diagnósticos de falhas;

- E por fim, a substituição de um conjunto motobomba de maior rendimento hidráulico e elétrico propiciou uma economia energética relevante, melhorando os resultados globais do projeto.

Em síntese, vimos que tanto o objetivo geral quanto o específico foram atendidos, pois foram executadas diversas ações que induziram a uma maior eficiência energética no bombeamento em questão. Além disso, os indicadores financeiros, tanto VPL como *Payback* Simples indicaram um projeto sustentável e viável economicamente. Esperamos dar continuidade aos projetos de eficiência energética englobando mais bombeamentos e embarcando cada vez mais tecnologia a esses sistemas tão importantes para a área de saneamento básico.

7 TRABALHOS FUTUROS

Dando a continuidade nos projetos de eficiência energética da companhia de saneamento, será estudada a viabilidade técnica e financeira de automatização e renovação de outros bombeamentos na cidade de Novo Hamburgo. Naqueles onde existe uma possibilidade de significativa redução energética, serão adotadas medidas semelhantes às aplicadas no *booster* Roselândia.

Outro ponto que poderá ser desenvolvido num futuro próximo é o estudo para a utilização de motores de alto rendimento Premium, com rendimentos superiores a 95% nestes possíveis bombeamentos. Serão calculados diversos indicadores para verificar se o incremento de tecnologia é acompanhado por um maior retorno energético que compense esse investimento extra.

REFERÊNCIAS

- ANA, Agência Nacional de Águas (Brasil). **Cuidando das águas: soluções para melhorar a qualidade dos recursos hídricos**. Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente. Brasília: ANA, 2011;
- BOAVENTURA, Edivaldo M. **Metodologia da Pesquisa: Monografia, Dissertação, Tese**. 1ª edição 5ª reimpressão. São Paulo: Atlas, 2011;
- GIL, Antônio Carlos. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 4. Ed. São Paulo: Atlas, 2002;
- GONÇALVES, Ricardo Franci. **Conservação de água e energia em sistemas prediais e públicos de abastecimento de água**. Rio de Janeiro: ABES, 2009;
- MAIA, J.L.P; BAHIA, S.R. **Eficiência energética nos sistemas de saneamento**. Rio de Janeiro: Procel: IBAM, 2001;
- MME – Ministério de Minas e Energia. **Plano Nacional de Eficiência Energética**, 2011;
- MONTEIRO, Marco Aurélio; ROCHA, Leonardo Resende Rivetti. **Gestão Energética**. Centrais Elétricas Brasileiras, FUPAI/EFFICIENTIA. Rio de Janeiro: Eletrobrás, 2005;
- SEVERINO, Antonio Joaquim. **Metodologia do Trabalho Científico**. 23ª Edição revisada e atualizada. São Paulo: Cortez, 2007.
- SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Aplicativo Série Histórica 9; Água e Esgotos 1995 – 2008 e Resíduos Sólidos 2002 – 2008**. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Outubro, 2010;
- UN WWAP, The United Nations World Water Development Report 3. **Water In a Changing World**. Published jointly by The United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO), France, United Kingdom: 2009.