

AVALIAÇÃO DAS PERDAS NA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE MOTO-BOMBAS UTILIZADAS EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA.

Nikolas Ricardo Platchek Calomeno (Universidade do Planalto Catarinense) E-mail: ncalomeno@gmail.com
Valdeci Jose Costa (Universidade do Planalto Catarinense)

Resumo – Um dos parâmetros fundamentais para dimensionar qualquer rede de abastecimento, é a perda de carga, desde comuns instalações hidrossanitárias residenciais até significativas estações de recalque. Neste estudo são avaliadas as perdas de eficiência energética ocorridas nas moto-bombas do Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento (LATIENS) da Universidade do Planalto Catarinense (UNIPLAC). Nos experimentos foram comparados resultados entre diferentes métodos de partida de moto-bombas, o direto, soft-start, estrela triângulo e inversor de frequência avaliando as pressões, vazões e temperatura. Os cálculos foram executados pelo modelo método de Bernoulli e Darcy-Weinsbach. Foi analisada a compatibilidade do modelo numérico para obtenções das perdas de carga nas moto-bombas do LATIENS, a qual é enfatizada a influência devido a demasiada quantidade de singularidades e a difícil determinação de dados condizentes com projetos de campo. Foi possível estabelecer diferenças entre as formas de partida, bem como o desempenho dos conjuntos moto bomba, atuando individualmente, ou em série e em paralelo.

Palavras-Chave – Perda de Carga em Redes de Distribuição de Água. Perda de Carga em Moto-Bombas, Eficiência Energética.

AVALIAÇÃO DAS PERDAS NA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE MOTO-BOMBAS UTILIZADAS EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA.

Abstract – One of the fundamental guidelines to measure any water supply net is the head loss, since comun residential hydraulic facilities even to significative booster station. On this study, the loss of energetic efficiency occurred on the hydraulic works in the Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento (LATIENS) of the Universidade do Planalto Catarinense (UNIPLAC) are evaluated. On the experiments, the results were compared between differents starting methods of hydraulic works: directly, star triangle, soft start and frequency changer evaluating the pressure, flows and temperature. The calculation were executed by the model method of Bernoulli and Darcy- Weinsbach. The compatibility of the numeric model for the obtainment of head loss in hydraulic woks of LATIENS were analyzed, which is emphasized the influence due to the over the top amount of singularities and the hard determination of data consistent with field projects. It was possible to establish the differences between the types of start, as well the development of the hydraulic work sets, individually acting, in series and in parallel.

Keywords – Head Loss in Water Supply Net, Head Loss in Hydraulic Works, Efficient Energy Use

1. INTRODUÇÃO

Existe hoje no Brasil uma expectativa bastante significativa com relação ao suprimento de energia elétrica nos próximos anos, resultado da falta de gestão e investimentos no setor. Existe também apelo à redução de emissões que possam estar relacionadas ao aquecimento global. Este cenário tem contribuído para que o consumidor busque formas de conservação da energia elétrica e promova o seu uso eficaz (Araújo Neto, 2008). A importância da política de conservação de energia cresce em termos mundiais, especialmente face aos altos custos de novos aproveitamentos energéticos, o que torna indispensável o desenvolvimento de políticas que visam o uso racional da energia.

Entre dois e três por cento do consumo de energia do mundo são usados no bombeamento e tratamento de água para residências urbanas e usos industriais. No Brasil, segundo o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento, o sector de saneamento consome aproximadamente 8300 MWh o que corresponde a 2,5% do consumo nacional em 2006, figurando como o segundo maior item no custo do saneamento (atrás apenas da folha de pessoal) (Araújo Neto, 2008).

Face à esta realidade e com a consciência de que novos caminhos devem ser encontrados, centra-se a atenção no uso racional da energia na área de saneamento. Uma das formas de contribuição é restringir o desperdício, perseguindo soluções compatíveis com as exigências de melhoria da eficiência (ELETROBRÁS, 2005 e ELETROBRÁS/PROCEL, 2005).

O aumento da população urbana leva ao aumento da demanda por água potável, e deixa evidente a fragilidade e a falta de otimização de nossas redes de abastecimento de água. Dentro de uma rede de distribuição de água entende-se por rede de abastecimento, de acordo com a NBR 12218/1994 como “Parte do sistema de abastecimento formada de tubulações e órgãos acessórios, destinada a colocar água potável à disposição dos consumidores, de forma contínua, em quantidade e pressão recomendadas”.

Para atingir essa pressão recomendada muitas vezes é necessária a utilização de moto-bombas e para o dimensionamento destas, é necessário pensar diretamente no traçado do projeto da rede, nas perdas de carga que podem ocorrer, no consumo de energia, na pressão mínima a ser obtida no ponto mais desfavorável, o material a ser utilizado, a qualidade das bombas, a eficiência energética das bombas, diferentes diâmetros, alturas, entre outros fatores que influem diretamente no custo de operação.

Tradicionalmente, os sistemas de abastecimento de água utilizam uma bomba, ou um grupo de bombas, selecionadas para garantir a máxima vazão necessária ao sistema, nas condições de rendimento máximo. Entretanto, quando o sistema solicita uma vazão menor, torna-se necessário efetuar o controle de vazão da bomba através da mudança de suas características ou das características do sistema de bombeamento. O controle de vazão das bombas, através das modificações nas características do sistema de bombeamento, pode ser realizado através de manobras de válvulas, enquanto que o controle de vazão, pelas variações da curva característica da bomba, pode ser feito através do controle do número de bombas e pela variação da rotação das mesmas. Dentre os vários tipos de equipamentos de variação de rotação destaca-se o inversor de frequência, que é um equipamento eletrônico que varia a frequência da tensão aplicada e, conseqüentemente, a rotação do motor. No caso de bombas centrífugas, isso resulta na possibilidade de controlar a vazão. Além disso, o inversor pode ser utilizado para partida e parada suave do motor, pois aumentando ou diminuindo sua rotação através de uma rampa de aceleração, faz-se com que a corrente de partida ou parada possa ser controlada (Araújo Neto, 2008).

Neste sentido é pertinente e atual o estudo das perdas em moto-bombas utilizadas em sistemas de abastecimento de modo a analisar a eficiência energética de máquinas hidráulicas de velocidade variável, bem como avaliar a influência da vazão, pressão e temperatura em diferentes condições de operação. Neste estudo foi utilizada a estrutura do Laboratório de Eficiência Hidráulica e Energética, localizado no Centro de Ciências Exatas e Tecnologias da Universidade do Planalto Catarinense (LATIENS/UNIPLAC), objetivando avaliar a eficiência energética de duas moto-bombas nele instaladas variando-se formas e parâmetros de operação.

De acordo com Araújo Neto (2008), a perda de carga ao longo de trechos de tubulações, que tenham seções transversais de escoamento, pode ser considerada uniforme ao longo de seu comprimento e é chamada de perda de carga contínua, linear ou distribuída. Há perdas de carga devido a qualquer alteração das tubulações, qualquer obstáculo que modifique o escoamento normal passa a ser conhecida como perda de carga singular ou localizada. De acordo com (CRANE CO, 1982) a perda de energia nas singularidades é maior do que nos locais de tubulação contínua. Existem diferentes tipos de fórmulas para calcular as perdas de carga, neste projeto foi utilizada a equação de Darcy-Weinsbach para estimar as perdas anteriores aos medidores de pressão. Para determinação do fator f de perda de carga foi utilizada a equação de Moody.

Segundo dados recentes, as empresas de abastecimento de água e saneamento gastam aproximadamente 50% dos custos operacionais com energia elétrica, dos quais mais de 95% podem ser associados aos custos de bombeamento, principalmente pelos conjuntos moto-bomba das estações elevatórias dos sistemas de abastecimento de água. Embora não sejam divulgados dados consolidados, estima-se que a despesa anual das companhias prestadoras de serviços de saneamento do Brasil com perdas energéticas é de R\$ 375 milhões. Um dos principais motivos do desperdício energético, por exemplo, é o superdimensionamento das estruturas em relação à demanda real do processo (Makino, 2012).

O setor de saneamento, por ser a parcela da indústria com maiores índices de perda e desperdício nos processos de produção e distribuição de seu produto, vem sendo objeto de programas de redução da perda e do desperdício de energia elétrica desenvolvidos pelo Ministério de Minas e Energia por meio da Eletrobrás, que tem procurado motivar as concessionárias do setor de saneamento para o planejamento dos sistemas considerando o uso racional. Os sistemas de abastecimento de água são caracterizados por constantes alterações de seus parâmetros operacionais, seja pelo envelhecimento do sistema ou pelo crescimento da demanda.

Esses componentes isolados ou associados levam a restrições hidráulicas, gerando elevadas perdas de cargas e deficiências no abastecimento que são compensadas com a utilização da energia elétrica, através da aplicação de estações de bombeamento. Outra condição resultante do envelhecimento e crescimento do sistema de abastecimento é a inadequação dos equipamentos, ou seja, instalações que ao longo do tempo não são atualizadas de acordo com as novas necessidades do sistema e tecnologias disponíveis, ocasionando equipamentos com baixo rendimento e elevado consumo de energia elétrica (SANEAS, 2008).

Para Savar et. al. (2009), as bombas centrífugas estão, provavelmente, entre as máquinas mais utilizadas em instalações industriais, bem como na vida comum. Depois de ser inventada passou por um longo caminho evolutivo até que se tornou acessível para várias aplicações. Seu princípio físico foi descrito séculos atrás por Euler, através de uma equação bem conhecida. Parte significativa do consumo de energia elétrica é usada para bombas centrífugas. Apesar de uma vasta gama de tipos e tamanhos de bombas centrífugas a escolha de um modelo adequado para uma determinada aplicação parece ser um problema sério. Como resultado das práticas de engenharia, bombas são muitas vezes substancialmente maiores do que elas precisam ser e são requisitos de processamento de uma planta industrial. As bombas centrífugas podem muitas vezes, ser de grandes dimensões por causa de "arredondamento para cima", tentando acomodar aumentos graduais em tubo de

rugosidade superficial e resistência ao fluxo ao longo tempo, ou antecipando futuras expansões de capacidade da planta. Além disso, requisitos de bombeamento podem não ter sido claramente definidos durante a fase de projeto.

Existem pontos ideais para operação de bombas, onde a eficiência da bomba é mais elevada, dependendo diretamente de cada sistema de redes adotado, isso faz com que a operação do bombear torne-se ineficiente energeticamente em algumas situações, porque a taxa de fluxo é normalmente regulada com desvio ou por controle de sua aceleração. Como enfatizado anteriormente, o trabalho eficiente da bomba centrífuga economiza energia e reduz os custos de operação. Agora, a questão é como atingir esse objetivo, especialmente nos casos em que o funcionamento da bomba ineficiente é detectado. Uma solução para as bombas de grandes dimensões é a substituição ou reforma do rotor, e ainda a implantação de inversores de frequência.

Já para Zhang *et al.* (2010), as bombas de fluxo axial são aplicadas em engenharia hidráulica, drenagem e irrigação. O fluxo de uma bomba é muito influenciado pela turbulência e viscosidade. O vazamento e o fluxo instável levam à cavitação. Um mínimo desgaste do rotor induz um fluxo instável e flutuação de pressão, sendo causa de vibração, ruído, fissuras e até rachaduras. Zhang *et al.* (2010) fizeram um estudo de simulação em bombas axiais empregando a formulação de Navier-Stokes, e o espectro da frequência foi obtido com Transformada de Fourier. Segundo eles, a distribuição de velocidade axial é periódica e é afetada pelo número de lâminas do estator na saída do rotor. Os resultados experimentais mostram que o fluxo é quase axial e a pré-rotação é muito pequena na entrada do rotor, isto devido à folga, o vazamento, a pressão, e a velocidade na saída do rotor.

De acordo com Paszota (2009), ainda não existem ferramentas computacionais seguras que possam determinar o comportamento da energia de acionamento de bombas pois também não existem métodos experimentais seguros para a determinação de coeficientes de perda de energia e parâmetros independentes de operação. Em função deste pressuposto, ele desenvolveu métodos para determinação das características energéticas de bombas e motores hidráulicos de rotação, bem como métodos modificados para determinar a energia dos sistemas de transmissão hidrostática. Para tal, realizou testes laboratoriais em bombas e motores hidráulicos utilizando o método de determinação de perdas de energia. Esse método é resultado da leitura tradicional de um sistema de acionamento hidrostático ilustrado pelo diagrama de Sankey. Este diagrama estabelece a partir de um balanço de energia, que o valor da corrente de alimentação de entrada é igual o valor combinado dos fluxos da potência de saída.

Visando o alcance dessa finalidade, o emprego de inversores de frequência em sistema de bombeamento e análise das perdas, atualmente vem se tornando um aspecto fundamental para a otimização do consumo de energia e da operacionalidade do sistema.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento (LATIENS) integra o Centro de Ciências Exatas e Tecnologia (CCET) e a rede LEHNS, localizado na Universidade do Planalto Catarinense (UNIPLAC). O LATIENS foi construído através de cooperação entre as Centrais Elétricas Brasileiras S.A. – Eletrobrás, a Universidade do Planalto Catarinense e o Governo do Estado de Santa Catarina.

O LATIENS conta com uma bancada fixa que pode simular de maneira genérica uma rede de abastecimento de água. Nele estão instalados os equipamentos: conjuntos moto-bomba, tubulações de sucção e recalque feitos de PVC, válvulas, medidores, etc.. A

A topologia de rede utilizada é formada por tubulações de PVC, com diâmetros de 50 mm na sucção e recalque em ambas as moto-bombas utilizadas. A rede LATIENS possui um grande número de singularidades e muitos medidores de pressão e vazão, diferente das redes de abastecimento que comumente tem grandes distâncias e poucos acessórios e na maioria das vezes ausente de instrumentação.

A sucção de água é feita a partir de duas bombas da marca Thebe TH25/150 de 3500 rotações por minuto 60 Hz, que podem ser operadas individualmente ou associadas em paralelo ou em série. As bombas podem ser acionadas através de inversores de frequência, partida soft start, estrela triângulo ou direta. Com intuito de simular diferentes solicitações ao decorrer da rede, como se fossem vazamentos ou consumidores, podem ser estabelecidas diferentes topologias para fins de estudos científicos.

mostra imagens do LATIENS. Todos os dados foram adquiridos através de equipamentos telemétricos que gravam seus dados em um computador a cada segundo e é operado através de um sistema supervisório.



Figura 1- Imagens da bancada fixa do LATIENS

A topologia de rede utilizada é formada por tubulações de PVC, com diâmetros de 50 mm na sucção e recalque em ambas as moto-bombas utilizadas. A rede LATIENS possui um grande número de singularidades e muitos medidores de pressão e vazão, diferente das redes de abastecimento que comumente tem grandes distâncias e poucos acessórios e na maioria das vezes ausente de instrumentação.

A sucção de água é feita a partir de duas bombas da marca Thebe TH25/150 de 3500 rotações por minuto 60 Hz, que podem ser operadas individualmente ou associadas em paralelo ou em série. As bombas podem ser acionadas através de inversores de frequência, partida soft start, estrela triângulo ou direta. Com intuito de simular diferentes solicitações ao decorrer da rede, como se fossem vazamentos ou consumidores, podem ser estabelecidas diferentes topologias para fins de estudos científicos.

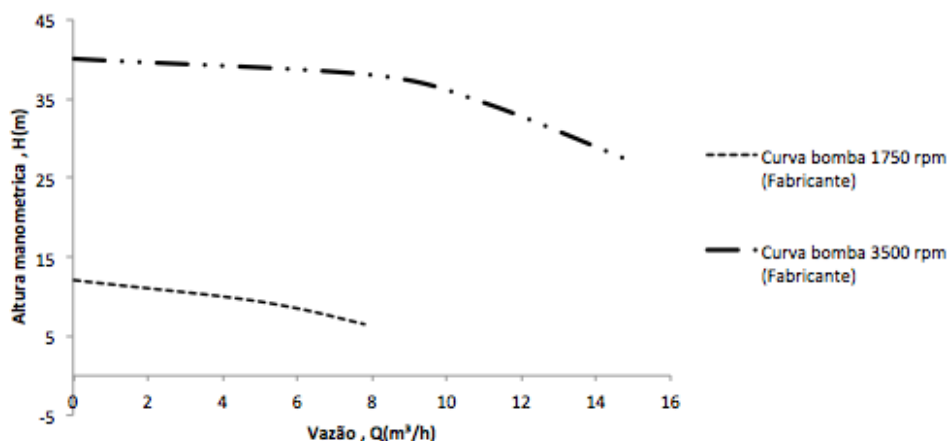
Para liberar o fluxo de água na rede de distribuição há válvulas solenoides de acionamento elétrico. As manobras realizadas dentro da rede de abastecimento podem ser executadas por válvulas tipo esfera, tanto manuais como acionadas por solenoides.

A obtenção de dados de vazão é feita através de medidores de vazão eletromagnéticos (MVE) da linha GF Signet. O medidor de vazão atua suficientemente para velocidades entre

0,05 e 10 m/s com um erro máximo de 0,5% no valor da vazão. Há medidores instalados nos inícios e finais de seções de tubulação e em trechos da rede de distribuição onde se pode simular alguma interferência. Este equipamento além de determinar a grandeza da vazão permite o conhecimento do sentido do escoamento.

Transdutores piezoresistivos (TP) da marca Eberhardt instalados na rede de distribuição, antes da bomba e 65 cm a jusante da mesma, são os responsáveis pela medição de pressão.

Os ensaios realizados tinham o objetivo de avaliar as perdas em moto-bombas utilizadas em sistemas de abasteciment



o, com intuito de analisar a eficiência energética de tecnologias hidráulicas de velocidade variável, bem como obter resultados devido a influência da vazão, pressão e temperatura em diferentes condições de operação e a implantação de inversores de frequência. Para tanto, a vazão foi regulada por estrangulamento de válvula. Como referência, tomou-se uma curva das bombas fornecidas pelo fabricante a 1750 rpm e 3500 rpm, indicada na Figura 2.

Figura 2 - Curva do fabricante

A Figura 3 mostra a tela de vista geral do sistema supervisório, que é um esquema da bancada fixa, parte horizontal e parte vertical. O reservatório situa-se abaixo dos conjuntos moto-bomba. As tubulações utilizadas estão no esquema a direita na Figura 2. Os condutos levam a água através de caminhos pré-estabelecidos, em circuito fechado, retornando a água para o reservatório inferior, evitando desperdício. Antes do conjunto Moto-Bomba 2 (CMB2) está localizado o Transdutor de Pressão (TP19); após a bomba está o (TP16) e o medidor de vazão eletromagnético (MV07) está no final da seção analisada. O TP20 está localizado antes do (CBM1) seguido do TP18. Quando analisados os circuitos em série e paralelo é utilizado como parâmetro o TP15 anterior ao medidor de vazão.

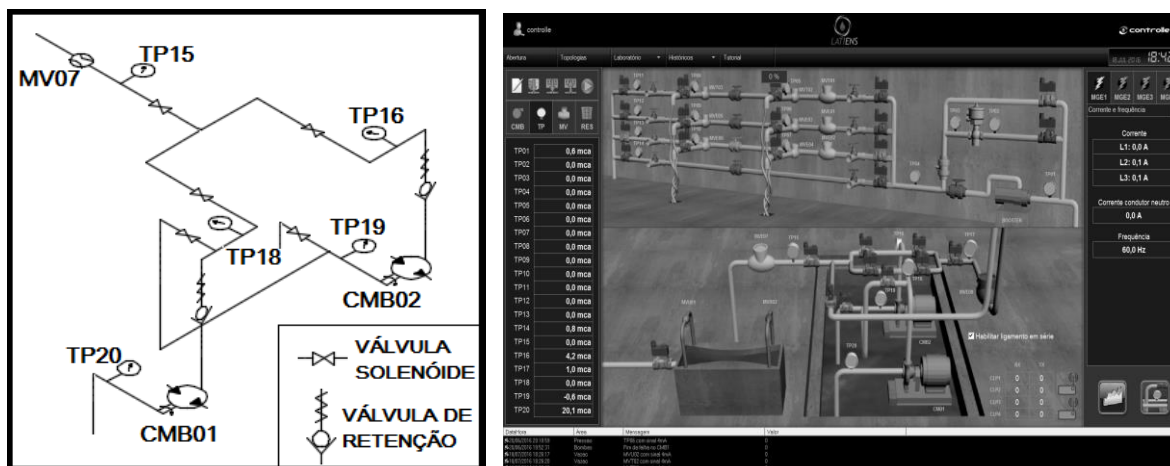


Figura 3 - Tela de vista geral do sistema como aparece no supervisório de controle do LATIENS e esquema gráfico da seção utilizada nos experimentos.

Inicialmente foi avaliado, testado e escolhido o percurso a ser percorrido para não mascarar os resultados e obter-se vazão satisfatória para confecção das curvas da bomba, e como seriam operadas as bombas, por ligação direta, estrela triângulo, soft-start ou inversor de frequência e frequência de rotação das mesmas. Dentre os diferentes cenários possíveis, iniciou-se pela ligação direta do Conjunto Moto-Bomba 2 (CMB2), abastecido pelo reservatório inferior e conduzindo pela rede ramificada. Foi controlada a vazão por válvula estranguladora a jusante. Foram aduzidas diferentes vazões e pressões estrangulando a válvula. Na ligação direta a moto-bomba é ligada a rotação nominal de 3500 rpm, o que resulta na vazão máxima capaz de bombear, na topologia adotada. A válvula foi fechada sem executar o Shout-off (desligamento total) devido ao sistema possuir uma dispositivo de segurança que auto desliga quando as pressões na tubulação atingem 38 mca. Ao aumentar a singularidade de perda de carga fechando a válvula globo, diminuindo a sua abertura, acaba-se por exigir uma potência elevada da moto-bomba, o que aumenta o consumo de energia, e aumenta a turbulência o que pode influenciar nas medições.

O ensaio seguinte foi realizado com o CMB1 da mesma forma descrita para o CMB2; lembrando que ambos os conjuntos possuem singularidades parecidas quando avaliados separadamente. Em seguida foram executados ensaios com ligação estrela-triângulo e soft-start, os quais ligam as bombas somente na rotação nominal e diferem apenas pelo modo de partida das moto-bombas evitando grandes picos de utilização de energia como na partida direta. Por fim deu-se inicio aos ensaios utilizando o inversor de frequência.

Nos ensaios com inversor de frequência foram estabelecidas duas velocidades de rotação, inicialmente à rotação de 1750 rpm seguindo o método citado anteriormente e em seguida à rotação de 3500 rpm. Foram ensaiadas separadamente e por ligação em série, ajustando a topologia para que o conjunto moto-bomba 1 ficasse a montante do conjunto moto-bomba 2, e ligadas no mesmo instante. E por fim foi executado o ensaio com os conjuntos ligados em paralelo nas rotações de 1750 rpm e 3500 rpm, sem executar shut-off.

É esperado que as moto-bombas tenham desempenho, no mínimo, semelhantes; pressões e vazões iguais, pois ambos os sistemas possuem mesma cota, mesmo diâmetro e mesmo tipo de bomba; com singularidades semelhantes. Já nos ensaios em paralelo e em série espera-se que o desempenho das bombas seja adicionado. Os dados foram obtidos pelo sistema e analisados através de planilha e gráficos em função do tempo. Tanto vazões como

pressões em função do tempo, foram gravados a cada segundo por telemetria. A duração de cada experimento, após ser estabelecida a metodologia definitiva, foi de 15 a 20 minutos, em média. A Tabela 1 apresenta um resumo dos ensaios realizados.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste item são checados os dados adquiridos no modelo experimental com os objetivos propostos. Em todos os testes realizados não foram observadas diferenças significativas de temperatura do fluido de trabalho durante o regime de operação. A variação de temperatura da água mesmo em sistema fechado foi de apenas 1 grau Celsius, não influenciando significativamente nas perdas envolvendo as moto-bombas. Este fato ocorre, pois os equipamentos são teoricamente de alta eficiência energética, isto é, motores com rendimento superior a 85%. Este resultado nos leva a inferir que num sistema real, com instalações supostamente abertas, a temperatura não será parâmetro de influência de eficiência energética.

Nos testes realizados com o conjunto moto-bomba2 (CMB2), utilizando as ligações Direta, Estrela-Triângulo, Soft-Start a 3500 rpm e com inversor de frequência a 3500 rpm e 1750 rpm, como esperado, foram encontrados os mesmos valores das perdas de carga linear e singular, pressão e vazão, para rotação nominal, para todas as formas de partidas. Quando a rotação foi reduzida para 50% da nominal, ou seja, 1750 rpm a vazão diminuiu aproximadamente 58% e a pressão diminuiu 38%, já deixando clara possibilidade de regulação de pressão e mudanças de vazões utilizando o inversor de maneira mais econômica.

Tabela 1 - Resumo dos ensaios, vazões máximas e pressões

Ensaio	Ligação de Bombas	Rotação (rpm)	Vazão no Medidor de Referência (m3/h)	Pressão no Transdutor de Referência (mca)
E2	B	3500	7,54	8,2
E1	B	3500	14,8	17,6
E2	A	1750	3,2	5,1
E3	A	3500	11,2	14,5
E4	A	3500	16,6	20,7
E3	A	1750	5,4	3,1
E4	A	1750	7,6	5,1

E1 – Conjunto Moto-Bomba1; E2 – Conjunto Moto-Bomba2; E3 – Ligação Em Série; E4 –Ligação Em Paralelo; A - Direta, Estrela, Soft-Start E Inversor; B- Inversor De Frequência

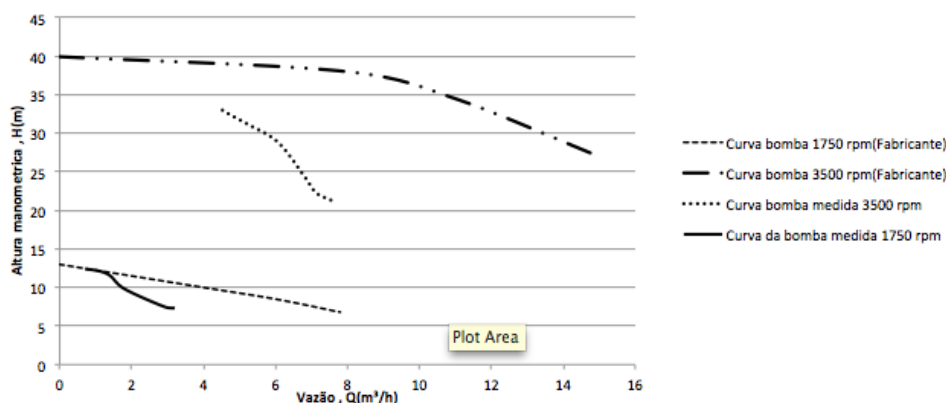


Figura 4 – Comparação Curva CMB2 com Curvas do fabricante

Na Figura 4, observa-se o comparativo entre as curvas de bomba fornecidas pelo fabricante e as curvas obtidas experimentalmente no LATIENS para o conjunto CMB2, no decorrer deste estudo. As vazões obtidas nos experimentos, a 3500 rpm, variaram entre 4,5m³/h até 7,54 m³/h. Como se pode observar, no início da curva há uma defasagem de aproximadamente 15% entre o valor fornecido pelo fabricante e o valor obtido em laboratório. Já ao final da curva a diferença acentua-se para 45%, o que demonstra problemas de rendimento com o conjunto CMB2. As hipóteses para este baixo desempenho estão ligados a fatores mecânicos, como desgaste do rotor em decorrência de cavitação, falta de manutenção na bomba, problemas no eixo, e também devido às perdas singulares anteriores aos transdutores piezômetros, nos quais foram medidas as pressões. Na rotação de 1750 rpm, as vazões obtidas ficaram entre 0,7m³/h e 3,2m³/h. Neste caso nota-se a diminuição das perdas devido a singularidades e ao final da curva a diferença entre o valor teórico e o experimental foi de aproximadamente 33%; confirmando os resultados obtidos para a rotação de 3500 rpm. Com estes resultados pode-se afirmar há uma sensibilidade do sistema a qualquer variação paramétrica, de topologia, de medição de variáveis e mesmo de precisão dos equipamentos.

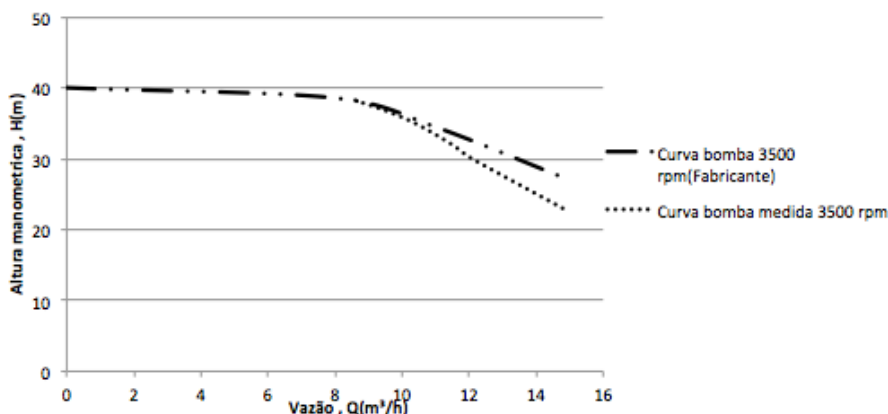


Figura 5 – Comparação Curva CMB1 com Curvas do fabricante

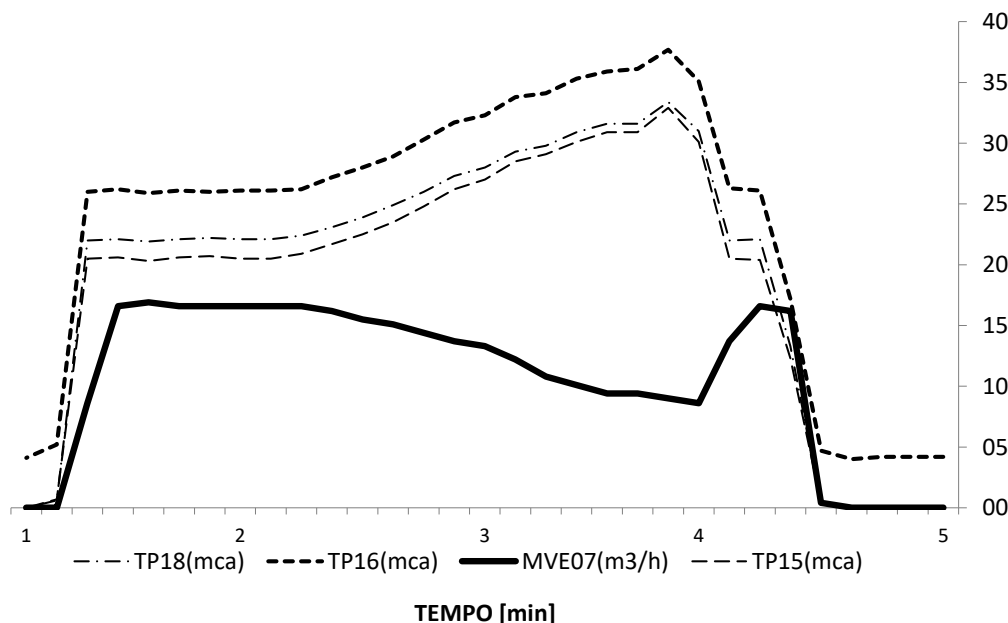


Figura 6 – Comparativo das Curvas do CBM1 e CBM2 com ambas em Paralelo a 3500 rpm.

Na Figura 5 faz-se uma comparação entre os resultados experimentais obtidos neste estudo com os valores teóricos fornecidos pelo fabricante do conjunto CMB1. As vazões obtidas ficaram entre 8,6 m³/h e 14,8 m³/h a 3500 rpm. Como se pode observar, as alturas são praticamente coincidentes durante todo o intervalo testado, havendo uma pequena diferença de aproximadamente 15% ao final da curva. Isto implica que o conjunto CMB2 já apresenta algum desgaste, mas com muito menor intensidade que o conjunto CMB2. A comparação de rendimento para a vazão de 1750 rpm não pode ser efetuada em função de problemas técnicos ocorridos recentemente no LATIENS.

Na Figura 6, observa-se o comparativo entre as pressões obtidas ao longo da linha, quando as bombas são ligadas em paralelo, bem como a vazão total obtida à medida que se fecha a válvula globo localizada antes do TP15. De acordo com Gomes (2009), associar duas ou mais bombas é fazer com que elas trabalhem lado a lado, aspirando a água do mesmo reservatório com tubulações de sucção independente e descarregando na mesma linha de recalque. Nota-se que o TP16 está com a pressão superior aos outros medidores; o TP18 está com pressão acima da pressão resultante no T15, que se localiza na tubulação resultante de recalque, o que deixa claro o melhor desempenho do CMB1, e prováveis problemas relacionados com o CBM2, além do menor desempenho da mesma. A vazão aumentou, porém, 25% abaixo do esperado, de acordo com os resultados mostrados na Tabela 1. Teoricamente, as vazões deveriam ser somadas quando se associam duas bombas em paralelo, contudo, neste estudo os resultados mostraram que na prática podem ocorrer discrepâncias em função das características físicas das bombas envolvidas.

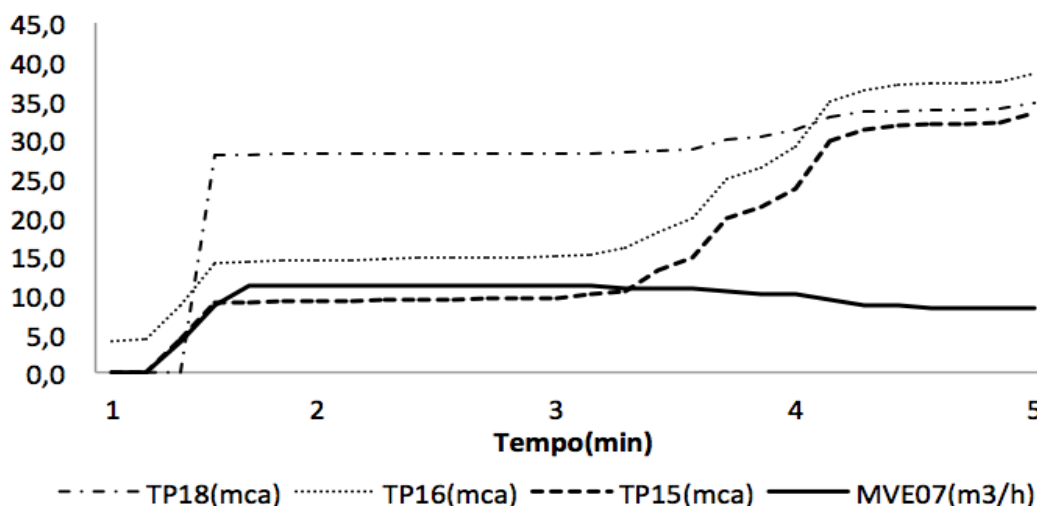


Figura 7 – Comparação Curvas CBM1 e CBM2 com ambas em Série a 3500 rpm

Na Figura 7, faz-se um comparativo entre as pressões obtidas ao longo da linha para as bombas ligadas em série, a uma rotação de 3500 rpm, a medida em que se fecha a válvula globo localizada antes do TP15. De acordo com Gomes (2009), para associar em série, duas ou mais bombas, é necessário que a descarga da primeira moto-bomba descarregue na aspiração da segunda unidade. Observando-se os resultados obtidos para o TP18, nota-se melhor desempenho inicial do CMB1 com pressão de saída elevada, seguindo até o CMB2 o

qual deveria somar os desempenhos, porém isto não ocorreu devido as perdas de carga nas singularidades. Contudo, a partir de 3,2 min, quando se inicia o fechamento da válvula, o TP16 apresenta incremento significativo na pressão, mais que dobrando seu valor, mostrando o comportamento não-linear da pressão.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

São poucos os lugares do Brasil que se preocupam com Saneamento da forma como deveria ser. Muitos locais ainda pensam em apenas implementá-lo, e não em uma gestão sustentável e eficiente energeticamente. Deixando clara a importância da figura do Engenheiro como meio de conscientizar sobre a grande necessidade e benefícios de um projeto com eficiência energética e com parâmetros tecnológicos adequados à situação como foi observado no trabalho. O método de estabilizar vazões somente utilizando válvulas pode não ser o mais adequado dependendo da situação e ainda é o mais utilizado, existem métodos mais eficientes, como a utilização de inversores de frequência com controle da vazão. Conforme analisado ao longo dos experimentos compreende-se que, com os ensaios realizados, não é aceitável fazer uma generalização das diferenças de temperatura, vazão e pressão encontradas entre as bombas, devido sua variação tanto em função das condições das moto-bombas avaliadas, quanto ao coeficiente de atrito e número de Reynolds anteriores aos medidores. O que gerou um grande problema para validar um modelo numérico para o sistema de moto-bombas do LATIENS.

Determinados valores ficaram abaixo do esperado e outros acima, o que pode ser devido ao modo simplificado do modelo de cálculo. Problemas mecânicos com os conjuntos moto-bomba e as inúmeras singularidades do sistema, além do local de instalação dos medidores de pressão podem ter influenciado os resultados obtidos. Comparando com instalações reais de redes de distribuição, as simplificações não devem ter o mesmo efeito ao ocorrido no LATIENS, causados pelas singularidades e topologia do laboratório.

As perdas de carga que ocorreram no método de bombas em série e paralelo tiveram valores bastante satisfatórios. Considerando as pressões devido o método utilizado para cálculo e perda e carga experimental, no qual são consideradas as diferenças entre três medidores de pressão e vazão obtida.

Por fim, após a análise dos dados fica claro que o emprego do inversor de frequência para ajustar a pressão e vazão que o sistema demanda, proporciona economia significativa de energia. Saliente-se ainda a necessidade de um projeto executado dentro das normas técnicas levando em conta parâmetros de eficiência energética, pois a minimização de perdas singulares possíveis e diferenças hidráulicas entre os acessórios instalados e os utilizados pela bibliografia, permite o conhecimento da consequência da existência de peças extras na tubulação. Paralelamente o diagnóstico da eficiência energética apresenta particular importância. Além disso, avaliações frequentes das condições das bombas utilizadas, fazendo-se da manutenção preventiva, evitam-se grandes problemas e gastos de energia em excesso.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao apoio financeiro concedido pela Universidade do Planalto Catarinense – UNIPLAC e ao programa FUMDES.

6. REFERÊNCIAS

ARAÚJO NETO, M. S. *Medidas de Eficiência Energética em Serviços de Distribuição de Água e Saneamento*. Porto, 2008, 111p. Dissertação de mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal.

CRANE CO. *Flow of Fluids: through valves, fittings, and pipe*. New York ,1982.

ELETROBRÁS. *Catálogos do Programa de Combate ao Desperdício de Energia*. Procel/Eletróbrás. 2005.

ELETROBRÁS/PROCEL. *Casos de Sucesso. Eficiência Energética no Saneamento Básico-SABESP- Projeto Santana*. Número 006, 4p. Rio de Janeiro, Junho de 2005.

GOMES, H. P. *Sistemas de Bombeamento de Água: eficiência energética*. Editora Universitária UFPB João Pessoa- PB, 2009.

KAYA, D., YAGMUR, E. A., YIGIT, K. S., KILIC, F. C., EREN, A. S., CELIK, C. *Energy efficiency in pumps*. Energy Conversion and Management, 49, pp. 1662-1673, 2008.

MAKINO, D. L. *Eficiência Energética em Sistemas de Abastecimento de Água Usando Bombas de Rotação Variável*. Limeira, 2012, 152p. Dissertação de mestrado, Faculdade de Tecnologia da Universidade Estadual de Campinas, Limeira, SP.

PASZOTA, Z. *The operating field of a hydrostatic drive system parameters of the energy efficiency investigations of pumps and hydraulic motors*. Polish Maritime Research 4(62), V. 16, pp. 16-21, 2009.

RODRIGUES, W. *Critérios para o uso eficiente de inversores de frequência em sistemas de bombeamento de água*. 2007. 208 p. Tese de Doutorado em Engenharia Civil, na área de Recursos Hídricos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas - SP.

SAVAR, M., KOZMAR, H., SUTLOVIC, I. *Improving centrifugal pump efficiency by impeller trimming*. Desalination, 249, pp 654-659, 2009.

SOUSA, M. *Aproveitamentos energéticos em sistemas de saneamento*. 2005. 111p. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, na área de Recursos Hídricos – Universidade Estadual de Campinas, Campinas – SP.

ZHANG, D., SHI, W., CHEN, B., GUAN, X. *Unsteady Flow Analysis and Experimental Investigation of Axial-Flow Pump*. Journal of Hydrodynamics, 22(1), pp. 35-43, 2010.