

25º. Encontro Técnico AESABESP

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E O PONTO DE MELHOR EFICIÊNCIA (BEP) DE BOMBAS CENTRÍFUGAS

Marcos Tadeu Pereira⁽¹⁾

Pesquisador do IPT- Instituto de Pesquisas Tecnológicas, Professor da Escola Politécnica da USP, Doutor em Engenharia Mecânica.

Marcio Nunes

Pesquisador do IPT, Engenheiro Mecânico, Responsável pelo Laboratório de Bombas do IPT.

Nilson Massami Taira

Chefe do Laboratório de Fluidodinâmica e Eficiência Energética do IPT. Mestre em Engenharia Mecânica.

Endereço⁽¹⁾: Av Prof Almeida Prado, 528, Cidade Universitária, Butantã, São Paulo, SP CEP 05508901 – tel 011-37674756 marcostp@ipt.br

RESUMO

O artigo trata de realizar uma revisão sobre a questão da eficiência energética em instalações hidráulicas e de bombeamento. São apresentados dados que demonstram a importância econômica do assunto, as perspectivas de avanços na área e os pontos principais que devem ser atacados para garantir a eficiência de instalações. São mostradas também fotos de ensaios e curvas de bombas ensaiadas no IPT dentro do programa de etiquetagem de bombas de até 25 cv, implantado pelo INMETRO -PROCEL.

PALAVRAS-CHAVE: eficiência energética, BEP ponto de melhor eficiência de bomba centrífuga, sistemas de bombeamento.

INTRODUÇÃO

A redução do consumo de energia é uma meta global atual e representa economia de custos para as empresas e consumidores, economia para os governos (que não precisam investir apressadamente em novas instalações para produção de energia), diminuição do aquecimento global (por conta de gases de efeito estufa gerados na produção termoelétrica de energia) e proteção ao meio ambiente.

No artigo “The impact of the Energy Policy Act”⁽¹⁾, Tom Stone avalia esta lei de energia americana de 2005 e chama a atenção para o que se gasta em bombeamentos naquele país: o setor industrial consome 33,6% de toda a energia usada nos EUA, e os sistemas de bombeamento, que são os segundos maiores consumidores de energia depois de motores – demandam entre 27% e 33% da energia total consumida no setor industrial. Os números no Brasil não são muito diferentes.

Stone afirma no mesmo artigo que o desperdício de energia em sistemas de bombeamento é tão sério nos EUA que **pode ser muito maior que qualquer economia de energia** que aquele país venha a fazer em outros setores.

O artigo também aborda ensaios de bombas realizados segundo o programa de etiquetagem de bombas centrífugas quanto a eficiência energética, e os ensaios de modelos realizados neste programa, no IPT.

Este artigo faz uma análise da importância de se melhorar a eficiência de bombas e de estações de bombeamento.

OBJETIVO

Este artigo faz uma análise da importância de se melhorar a eficiência de bombas e de estações de bombeamento, e seu principal objetivo é apontar dados recentes mostrando a necessidade e o potencial de melhora da eficiência energética de instalações de bombeamento. Mostra também as instalações do IPT onde são realizados ensaios de bombas para o sistema de etiquetagem de bombas quanto a eficiência, para o sistema INMETRO-PROCEL.

O POTENCIAL DE REDUÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA EM BOMBAS E SISTEMAS DE BOMBEAMENTO

Segundo o Programa Nacional de Eficiência Energética (PNEf)⁽²⁾, o potencial técnico de recuperação de energia elétrica apenas no setor de saneamento brasileiro é de **45,19% do consumo atual do setor**, sem considerar o aproveitamento de potenciais hidráulicos disponíveis (MME, 2010). Ou seja, 4,7 TWh poderiam ser economizados por ano, o equivalente a 1,2% do consumo de energia elétrica do país, o que é uma fração muito grande, mais interessante ainda se for considerado que, em média, cerca de **90%** do consumo de energia em empresas de saneamento se deve a sistemas de bombeamento (bombas e sopradores).

Estes números demonstram a necessidade e o potencial enorme das ações de eficiência energética que venham a ser efetuadas particularmente no uso de bombas e, principalmente, nas estações de bombeamento.

O artigo de Stone afirma que:

- *“ainda que o custo da energia seja monitorado de perto e gerenciado ao nível da planta, o uso real de energia pode não ser o foco de gerentes de instalações, sempre mais preocupados com a confiabilidade da produção que com o custo da ineficiência energética.”*
- *“existe também ausência de conexão entre os orçamentos para a compra de equipamentos e a operação, o que significa que as compras daqueles equipamentos frequentemente resultam em práticas de aumento da ineficiência”.*

Estas duas questões são impactantes no Brasil particularmente nas situações em que há uso de bombas de grande porte ou haja um número elevado de bombas. Na operação de instalações de bombeamento, raramente o gerente se ocupa da eficiência energética, preocupado que está com a operação e manutenção da entrega de seus produtos. Quanto ao sistema de compras brasileiro, é mais complexo que nos EUA, especialmente em setores onde há concentração de empresas estatais, submetidas à lei 8666, onde geralmente a compra é efetuada pelo melhor preço de aquisição e não há a prática nem estudos ou mecanismos desenvolvidos para avaliar o Custo do Ciclo de Vida de um produto como uma bomba.

A questão do Ciclo de Vida de uma bomba é muito importante, pois segundo mostrado no artigo “Energy efficiency-Best practice guide-Pumping systems”⁽³⁾, os custos de energia e de manutenção respondem por mais de **50 a 95%** dos custos de propriedade da bomba, com os custos iniciais representando em média **menos de 15%** dos custos de ciclo de vida da bomba. Ou seja, a operação (incluindo manutenção) de uma bomba representa um item financeiro muito importante ao se considerar a compra de bombas e o projeto de sistemas hidráulicos.

Deve-se ressaltar que no site da BPMA⁽⁴⁾ - British Pump Manufacturers Association, é descrito que, enquanto se poderia melhorar a eficiência de bombas em até 4%, o maior potencial de ganhos de

eficiência, de até 37%, está nas mudanças realizadas nos sistemas de bombeamento. Este dado indica a complexidade da situação: é necessário melhorar a eficiência das bombas instaladas, mas seria muito mais eficaz tratar do sistema como um todo, pois os ganhos mais significativos de energia se concentram no projeto e operação dos sistemas de bombeamento.

A literatura e experiência do Laboratório de Fluidodinâmica e Eficiência Energética do IPT mostram que os grandes problemas a serem resolvidos para melhorar a eficiência energética de instalações de bombeamento são:

- a) usar a bomba mais adequada à vazão e carga necessárias,
- b) adequar a operação ao modo mais eficiente do ponto de vista energético,
- c) adequar a instalação para diminuir a perda de carga da tubulação,
- d) projetar instalações de bombeamento com os parâmetros corretos para evitar as necessidades de atingir pontos de operação por meio de regulagens por perda de carga em válvulas.

O potencial de recuperação de energia em instalações de bombeamento é sempre muito elevado, por vários fatores:

- a maior parte das instalações hidráulicas de grande porte são antigas, com muitos problemas de “hardware” e de operação.
- as questões ambientais e suas implicações são recentes e a formação de engenheiros ainda não contempla os aspectos de projetos pautados pela eficiência energética.
- o custo do ciclo de vida de um equipamento ainda não é avaliado de forma regular nos projetos.
- os projetos hidráulicos de instalações são feitos utilizando equações e coeficientes de perda de carga levantados na década de 1930. Já se mostrou em três estudos realizados no exterior (nas décadas de 1960 e dois na década de 1990), que as incertezas nos valores destes coeficientes, especialmente para grandes diâmetros de tubulações e números de Reynolds elevados, alcançam no mínimo 15%, chegando a 250% no caso de cálculo de certas singularidades.
- Os projetos e operação quase nunca estão focados no atendimento das metas hidráulicas com a melhor eficiência possível.

Há em decorrência destes fatores um grande espaço para melhoras possíveis em sistemas de bombeamento.

FATORES QUE AFETAM A EFICIÊNCIA EM SISTEMAS DE BOMBEAMENTO

No trabalho de Worrel e Galitsky⁽⁵⁾, são apontados dados importantes sobre como recuperar energia em sistemas de bombeamento:

- *“Utilização de motores e bombas mais eficientes. Nos EUA, 16% das bombas possuem mais de 20 anos. A eficiência de bombeamento pode degradar de 10 a 25% neste período;*
- *Redução da pressão de bombeamento por meio da modulação da pressão e da vazão nas redes de distribuição;*
- *Melhoria nos sistemas de controle e monitoração, com manutenção adequada;*
- *Estudar criticamente a possibilidade de redução de necessidade de bombeamentos;*
- *Dimensionamento correto da bomba. Onde as cargas de pico puderem ser reduzidas, o tamanho da bomba também poderá ser reduzido: correções de bombas*

superdimensionadas podem economizar entre 15 a 25% do consumo de eletricidade (na média, para a indústria americana);

- *Uso de Dispositivos de Variação de Frequência (DVF). 82% das bombas na indústria americana não possuem DFVs. Ao mesmo tempo em que ajusta a carga, a modulação de velocidades em bombas pode economizar entre 20 a 50% do consumo de energia;*

Somados a estes indicadores, podem ser levantadas outras questões também muito importantes:

- *Dimensionamento correto dos dutos: a incerteza no cálculo de perda de carga distribuída está ao redor de 15% e incerteza em conexões chega a 250%. Foi estimado que, para a indústria de papel dos Estados Unidos, o retrofit de diâmetros de tubos pode economizar entre 5 a 20 no consumo de energia, em média;*
- *Problemas com tubulações: perda de energia excessiva devido à disposição não otimizada, energeticamente, de dutos nas estações de bombeamento; tubulações com aumento paulatino de incrustação, que vai aumentando lentamente o consumo de energia; regulagem de vazões por meio de válvulas ou de by-pass, que demandam superdimensionamento energético do sistema;*
- *Problemas com a operação do sistema (regime de operação do sistema de bombeamento deve ser estudado e otimizado; uso desnecessário de válvulas para regular a vazão; melhora na gestão de contratos com as concessionárias de energia elétrica).*

O BEP E AS CURVAS DE BOMBAS E DE SISTEMAS

Bombas centrífugas apresentam curvas características similares às da figura a seguir, onde também é mostrada a curva do sistema e é indicado o ponto de melhor eficiência (Best Efficiency Point - BEP) da bomba.

O BEP de uma bomba é o ponto onde a bomba atinge a maior eficiência possível, e deveria ser o ponto de operação de qualquer bomba, o que quase nunca se consegue no mundo real.

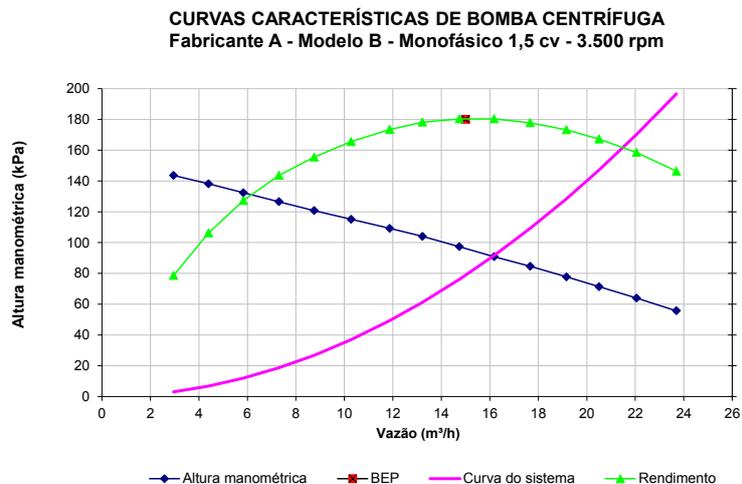


Figura 1 - Gráfico com curvas características de bomba, com a indicação de uma curva de um sistema, com o BEP indicado.

Nesta curva genérica, deve ser observado que o ponto de operação real, caracterizado pelo encontro da curva de carga da bomba com a curva de carga do sistema onde a bomba está instalada, está situado à direita do BEP, o que significa que a operação da bomba não é tão eficiente quanto poderia ser.

Adicionalmente, deve-se ressaltar que a curva de carga de uma bomba sofre degradações com o tempo, devido ao aumento de folgas, atrito, desgastes, etc., mas é essencialmente a curva sobre a qual deve ser construída a curva do sistema onde irá operar. Já os sistemas podem compreender uma grande quantidade de componentes, incluindo tubos, conexões, válvulas, tanques, e unidades de processo, e a simples ação de fechamento ou abertura de uma válvula muda completamente o ponto de operação de uma bomba.

Conforme mostrado no livro *Improving Pumping System Performance* ⁽⁶⁾, o BEP é ponto no qual a eficiência de operação é máxima e a carga nos mancais radiais é a menor possível. O BEP é função da configuração de entrada da bomba, do projeto do impelidor e da carcaça, e da velocidade da bomba.

Ainda segundo a mesma referência, no BEP a eficiência está no máximo porque o líquido entra nas pás do impelidor e no difusor da maneira mais suave possível, sem choques, da forma mais uniforme possível, sem separação, e de forma controlada.

Por estes motivos, ao operar nesta região, a bomba não é significativamente afetada por cargas hidráulicas desbalanceadas ou vibrações. O livro apresenta ainda um fato importante: como a maioria das bombas centrífugas são equipadas com mancais de rolamento, e como a vida útil deste tipo de mancal é função inversa do cubo da carga, ao se selecionar uma bomba com ponto de operação próximo ao BEP, isso amplia de modo significativo o intervalo entre trocas de mancais.

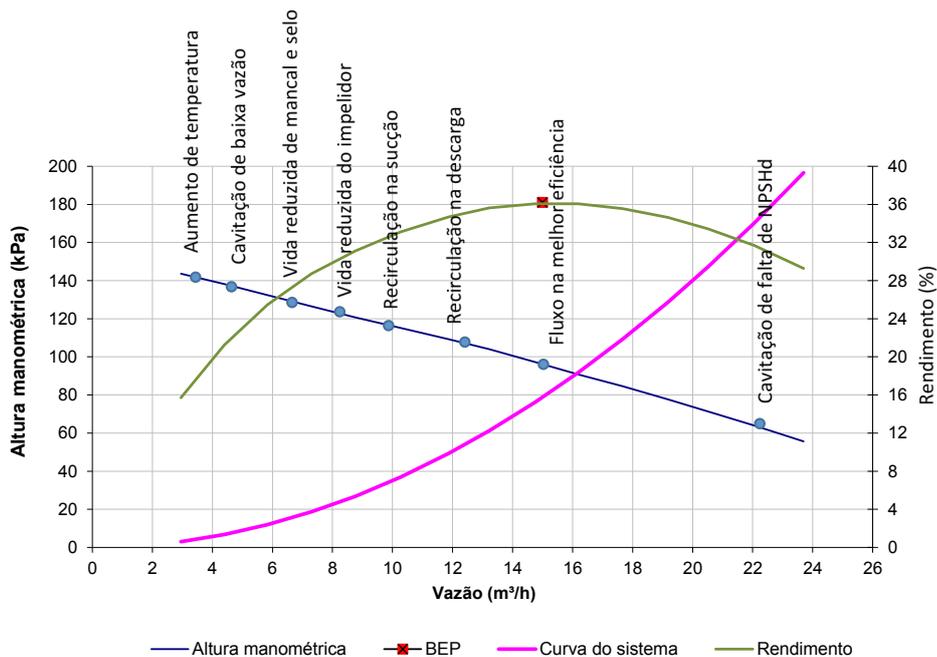


Figura 2 Limiar de possíveis efeitos adversos quando operando distante do BEP. Figura adaptada do “Guide to the selection of rotodynamics pumps”, do Europump.

A figura 2, adaptada do Guide to the selection of rotodynamics pumps ⁽⁷⁾, mostra diversas possibilidades de problemas na operação de bombas, em função do local onde a curva do sistema cruza a curva da bomba. O melhor ponto de cruzamento é obviamente no BEP, e à medida que se afasta deste ponto existem pontos indicados onde os problemas ocorrem. Ou seja, a eficiência baixa é também um indicador poderoso de possíveis problemas com a bomba: não se perde apenas energia ao se operar fora do BEP, mas sua integridade é também bastante afetada.

Portanto, para se evitar os problemas mecânicos e de consumo excessivo de energia é necessário que a bomba opere próxima ao BEP.

O livro “Improving Pumping System Performance”⁽⁶⁾ aponta observações importantes sobre este tema:

“O risco de danificar componentes de bomba devido à cavitação deve ser reduzido. As vibrações devem ser minimizadas, beneficiando outros equipamentos. O ruído deve ser minimizado, melhorando o meio ambiente. Pulsações de pressão devem ser minimizadas, reduzindo o risco de problemas na bomba como um todo. A figura indicou alguns problemas que podem resultar da operação distante do BEP. Alguns destes problemas podem não ser sérios em bombas pequenas, mas aumentam em severidade à medida que a potência da bomba aumenta, o que deve ser discutido com o fornecedor da bomba.

As eficiências de cada lado do BEP podem ser mais estáveis para algumas bombas que para outras, o que tem a ver com o ângulo da pá do impelidor na sua entrada.

Bombas podem ter níveis de eficiência variáveis, de 35% a 90%, mas se for possível operar próximo ao BEP, então é minimizado o custo de energia, além de diminuir as cargas na bomba e exigência de manutenção para uma bomba particular. O custo de superdimensionar bombas se estende além da conta de energia. O fluido em excesso pode ser dissipado por uma válvula, um dispositivo regulador de vazão ou pelo próprio sistema de tubulação, o que aumenta o desgaste do sistema e os custos de manutenção.

Desgaste de assento de válvulas, que resulta de estrangulamento do excesso de vazão e de cavitação, cria um problema significativo de manutenção e pode diminuir o intervalo entre paradas. Similarmente, o ruído e vibração causado por vazão excessiva cria tensões nas soldas e suportes da tubulação, e em casos severos isto pode causar ruptura das paredes dos tubos”.

A SELEÇÃO DE BOMBAS CONSIDERANDO-SE O BEP

Apresentar o BEP de cada bomba é uma medida muito importante, pois permite ao projetista escolher a bomba mais eficiente possível para a aplicação desejada, o que pode implicar em economia de energia e menos gastos com manutenção, se a bomba operar de fato neste ponto.

É conveniente fazer uma discussão sobre a eficiência de bombas, como a apresentada por Joe Evans no artigo “Centrifugal pump efficiency – what, how, why & when?” ⁽⁸⁾

A equação que relaciona velocidades específicas e sua geometria correspondente às aplicações reais de carga, vazão e velocidade específica é a seguinte:

$$ns = \frac{n^2 \sqrt{Q}}{H^{0,75}}$$

Onde n_s é a velocidade específica, n é a rotação em rpm, Q é vazão em m^3/s e H é a carga em metros (a velocidade específica pode ser definida em função de outros sistemas de unidades, e nesses casos os valores são diferentes).

A figura a seguir apresenta os diversos tipos de impelidores e de curvas características de bombas em função da velocidade específica.

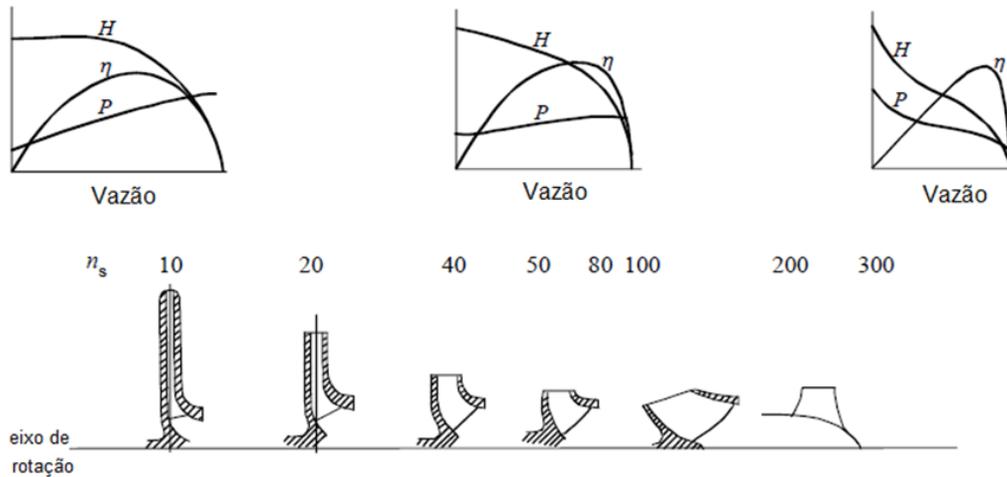


Figura 3: efeito da rotação específica n_s nas curvas características e na geometria do impelidor de uma bomba centrífuga. A direção do escoamento muda de radial para axial com o aumento da velocidade específica (Figura tirada de Ahonen T.⁽⁹⁾)

Deve ser observado como a curva de eficiência vai se deslocando para a direita, na medida em que se aumenta a velocidade específica, e os ângulos de entrada e de saída nos rotores dos diversos tipos de bomba. Este ponto será retomado mais adiante, mostrando que o ajuste de uma curva do 2º grau nem sempre é a melhor opção para parametrizar os pontos obtidos nos ensaios, como é exigido atualmente pela legislação brasileira.

Joe Evans⁽⁸⁾ mostra que, de um modo geral, a eficiência de um impelidor atinge seu máximo a uma velocidade específica entre 40 e 60, embora eficiências favoráveis possam ocorrer em quaisquer velocidades. Também a área ao redor do ponto de melhor eficiência (BEP – Best Efficiency Point), tende a ser mais achatada e larga à medida que a velocidade específica diminui. A figura mostra que a forma da curva de carga está relacionada com as velocidades específicas: baixas velocidades específicas (10 a 40) produzem curvas relativamente achatadas enquanto altas velocidades (acima de 100) produzem curvas extremamente íngremes. Estes resultados se devem à forma da pá (reta contra curvada para trás) em várias velocidades específicas.

A velocidade específica ainda fornece uma informação adicional: as características da curva de potência. À velocidades específicas abaixo de 70, a potência cai com a diminuição da vazão e atinge o mínimo na carga de shut-off (vazão zero). A curva de potência permanece relativamente plana entre 80 e 100 e aumenta em direção à vazão zero para n_s superiores a 100. À velocidades específicas acima de 180 as curvas de potência e carga são quase paralelas umas às outras, ou seja, a potência está no valor máximo em vazão zero e no valor mínimo em vazão máxima.

Como é colocado por Evans:

“a forma e espaçamento das pás do impelidor têm um grande efeito sobre a eficiência. Embora a bomba ideal devesse ter um número infinito de pás, o mundo real limita este número a 5 a 7 pás para bombas típicas, e ainda menos pás para bombas que trabalhem com sólidos.

Por outro lado, o escoamento teria que ser exatamente paralelo às superfícies das pás, mas isso também não ocorre. Apesar disso, os projetistas seguem regras bem documentadas e a perda de eficiência nas pás permanece relativamente constante (2,5%) na faixa de velocidades específicas entre 10 e 140.

Atrito no disco, causado pelo contato entre a parede do impelidor e as superfícies do cubo da carcaça devido ao bombeamento, pode reduzir a eficiência do impelidor em outros 4 a 15%, em velocidades específicas abaixo de 40, mas diminui a 2% ou menos a 60 ou acima. Assim, dependendo do projeto, o impelidor pode reduzir a eficiência global da bomba entre 4,5% a 17,5%.

A voluta também contribui na ineficiência. À velocidades específicas menores que 60, ela perde valor entre 1% a 2,5%, mas as perdas podem chegar a 10% em velocidades específicas superiores a 100. ...

A eficiência volumétrica representa a perda de potência devido ao vazamento pelos anéis de desgaste, folgas na frente das pás (impelidores semi abertos), e orifícios de balanceamento na blindagem traseira de um impelidor. De modo geral, o vazamento aumenta com a diminuição na velocidade específica, vazão, ou numa combinação das duas.

As perdas mecânicas são a parte final das perdas, ...representando as perdas causadas pelos mancais dos eixos e selos para bombas montadas em estruturas (já para conjuntos moto-bombas as perdas nos mancais estão contidas na eficiência do motor). Estas perdas aumentam com a diminuição da vazão ou velocidade específica; podem ser esperadas perdas de 5% para bombas acopladas e de 1% para bombas montadas em estruturas. À vazões e velocidades específicas maiores, as perdas mecânicas caem bem abaixo de 1%”

Ensaio de bombas realizados no IPT dentro do programa INMETRO-PROCEL, de eficiência

No Brasil, foi sancionada a Lei no.10.295 em outubro de 2001, também conhecida como “Lei de Eficiência Energética”, na esteira do apagão elétrico que ocorreu naquele ano. Essa Lei tornou compulsório o que o PBE – Programa Brasileiro de Etiquetagem do INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia e o PROCEL - Programa Brasileiro de Conservação de Energia Elétrica, da ELETROBRAS, já faziam de forma voluntária antes dessa data.

O objetivo dessa Lei é avaliar a eficiência energética de equipamentos consumidores de energia, nacionais e importados, e estabelecer níveis mínimos de consumo, com o intuito de retirar do mercado equipamentos considerados ineficientes. O PBE e o PROCEL têm se mostrado bem sucedido na orientação dos consumidores quanto à aquisição de equipamentos cada vez mais eficientes, e a partir de 2012 decidiu aplicar a mesma metodologia de etiquetagem a bombas centrífugas de pequeno porte, monofásicas e trifásicas, com potências de até 25 cv. O Selo PROCEL ELETROBRAS de Economia de Energia, ou simplesmente Selo PROCEL, havia sido instituído por Decreto Presidencial em 8 de dezembro de 1993 e existiu de forma voluntária até 2012, quando o INMETRO abraçou o programa, tornando-o **compulsório** para bombas.

A figura 4 mostra uma bomba em ensaio na bancada e a figura 5 mostra partes da bancada.



Figura 4 – Bancada instalada para ensaio no circuito de testes.

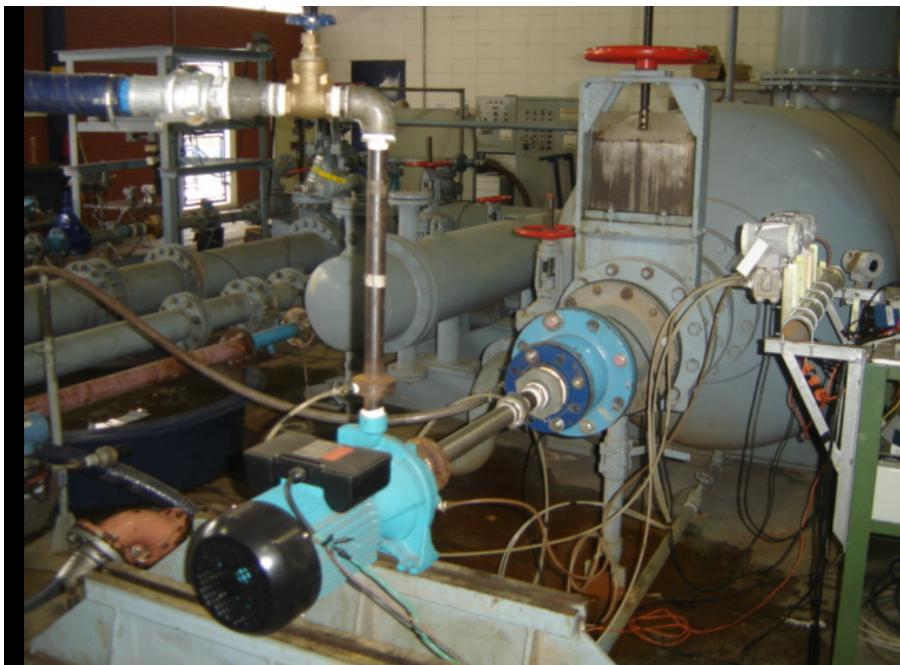


Figura 5 – Bomba instalada para ensaio no reservatório.

A figura 6 mostra uma curva típica de bomba obtida, com a indicação do ponto de melhor eficiência (BEP).

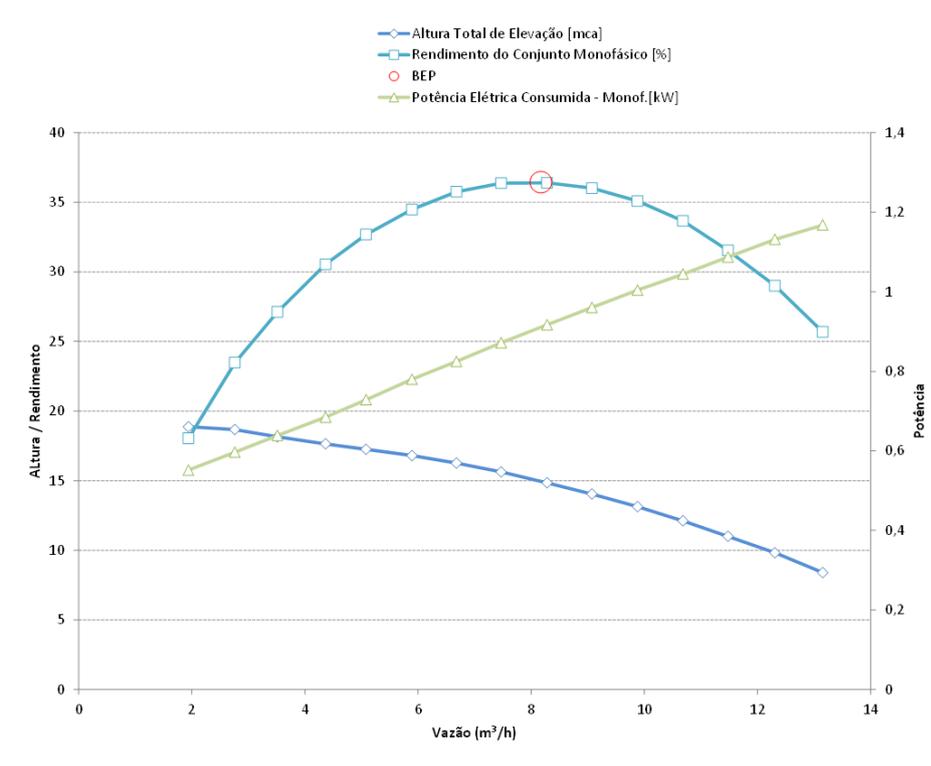


Figura 6. Exemplo de curvas características de bomba, levantadas em ensaio realizado no Laboratório de Bombas do IPT.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A informação disponível deixa claro que a economia de energia em sistemas de bombeamento é a melhor oportunidade possível dentre as economias de energia visíveis em sistemas industriais. O potencial de economia global em sistemas de bombeamento, nos EUA, é superior ao que se ganharia com a implementação de outras formas de aproveitamento de energias alternativas. Não se dispõe destes números no Brasil, mas analisando-se alguns números disponibilizados pelo PNEf, pode-se ter situação semelhante no Brasil.

A eficiência energética é um assunto extremamente importante para as empresas de saneamento, onde as despesas com o consumo de energia são normalmente as maiores depois da conta salários. E é mais importante ainda porque em grande parte são medidas de fácil implementação e de grande eficácia.

As empresas ainda não perceberam todo o potencial que a análise hidráulica pode oferecer em termos de eficiência energética. Pode-se chamar a atenção para alguns fatos:

- O projeto hidráulico de uma instalação deve ser voltado para atingir os objetivos de vazão e pressão, mas balizado pela preocupação com a eficiência energética da instalação. Os engenheiros normalmente não foram instruídos ou treinados para esta ação. Apenas para exemplificar, não se consegue medir eficiência energética sem medição de vazão, e as estações de bombeamento de esgoto nunca são projetadas com medição de vazão, o que torna inviável a avaliação da degradação da eficiência, e de adoção de medidas de correção e melhoramento quanto à diminuição do uso de energia.
- Uso de coeficientes de perda de carga inadequados à realidade dos dutos utilizados e “envelhecidos” no uso no Brasil. Sabe-se que os coeficientes utilizados têm valores maiores que os corretos, o que implica constantemente em superdimensionamento de

bombas, que depois serão reguladas por válvulas, levando a perdas de energia. Para corrigir esta situação deve-se trabalhar no sentido do levantamento de novos valores de perda de carga. Devido às características desta atividade, a investigação tomará muito tempo e recursos, e o ideal seria iniciar gestões no sentido de conseguir financiamento via agências de fomento.

- A instrumentação utilizada em empresas de saneamento nem sempre ajuda a melhorar a eficiência energética. Para melhorar algo, deve-se medir e ter parâmetros de comparação e, em muitas instalações a medição de vazão não existe ou é realizada de forma precária. Sem a medição de vazão fica impossível avaliar a eficiência de bombeamento de qualquer sistema.
- Atacar apenas a questão da melhor tarifa adequada ao horário é uma boa medida, mas aborda apenas um ponto da questão, e não é a mais eficaz frente à situação média das estações de bombeamento.
- O sistema de etiquetagem de bombas até 25 cv, implantado pelo INMETRO /PROCEL, poderá permitir uma melhora na qualidade das compras: pelo menos já há uma referência de eficiência que poderá fazer parte de editais de compra, adicionando uma característica técnica.
- Operar o sistema com foco também na eficiência energética poderá representar importante economia de recursos gastos com energia.

A realização de melhoras na eficiência energética é o meio mais rápido, barato e racional de se atender às crescentes necessidades energéticas da sociedade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Stone, T. The impact of the Energy Policy Act. World Pumps, volume 2009, Issue 511, April 2009.
2. Programa Nacional de Eficiência Energética (PNEf). MME, Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético. Versão de 18 de outubro de 2011.
3. Energy efficiency, Best practice guide, Pumping systems - Systems © Sustainability Victoria 2009.
4. BPMA - British Pump Manufacturers Association - <http://www.bpma.org.uk/page.asp?node=18&sec=Home>
5. Worrel, E., Galitsky, C. Energy Efficiency Improvement and Cost Saving Opportunities For Petroleum Refineries - An ENERGY STAR® Guide for Energy and Plant Managers. Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, fevereiro 2005, número LBNL-56183.
6. "Improving Pumping System Performance - A Sourcebook for Industry", Second Edition, do DOE e Hydraulics Institute.
7. Guide to the selection of rotodynamics pumps", do Europump. http://europump.net/uploads/Guide_to_the_Selection_of_Rotodynamic_Pumps_Final.pdf, conforme download em março de 2014.
8. Evans, J. Centrifugal pump efficiency – what, how, why & when?. Conforme download em março 2014: <http://pump-flo.com/pump-library/pump-library-archive/joe-evans,-phd/centrifugal-pump-efficiency-what,-how,-why-when.aspx>
9. Anohen, T. Monitoring of centrifugal pump operation by a frequency meter. Tese submetida à Lappeenranta University of Technology, Finlândia para o grau de PhD em 27 de maio de 2011. Download em março de 2014 no site: <https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/69656/isbn9789522650764.pdf?sequence=1>