

## XI-001 - AUMENTO DA EFICIENCIA OPERACIONAL POR MEIO DO CONTROLE DE PRESSÃO EM POÇOS TUBULARES PROFUNDOS

**Karlos Eduardo Arcanjo da Cruz<sup>(1)</sup>**

Possui graduação em Engenharia Elétrica/Eletrotécnica (2004), mestrado em Economia (2007) e doutorado em Economia (2012) pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Atualmente é engenheiro eletricista da Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA). Na área de pesquisas, atua principalmente nos seguintes temas: regulação econômica, análise de investimentos, economia da energia e economia do saneamento.

**João Maria Martins Araújo**

Possui graduação em Geologia pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte(1994), mestrado em Geociências pela Universidade Federal de Pernambuco(1997) e ensino medio segundo-grau pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte(1988). Tem experiência na área de Geociências, com ênfase em Geologia. Atuando principalmente nos seguintes temas: Geologia, Petrologia, Geoquímica, Geologia Estrutural.

**José Antônio Charão Cunha**

Técnico em Eletrotécnica pelo Instituto Federal de Pernambuco (IFPE). Atualmente, trabalha na Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA) como Coordenador de Poços do Interior (CPI).

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua da Aurora, 763, Boa Vista – Recife/PE. CEP: 50060-010 e-mail: karlosarcanjo@hotmail.com.

### RESUMO

Este trabalho tem por objetivo apresentar os resultados obtidos em um projeto piloto realizado na cidade de Olinda, pertencente ao Estado de Pernambuco, em um poço tubular profundo, que faz injeção direta na rede. O motor utilizado funcionava com operação por partida direta – sem controle algum de pressão. Foi aplicado, então, medidores de pressão e de vazão e também um equipamento inversor de frequência. Essas melhorias provocaram alterações no índice de perdas, como também no consumo de energia elétrica. Ademais, o tempo de vida útil do motor se elevou devido à redução da pressão em excesso na rede de distribuição.

**PALAVRAS-CHAVE:** Eficiência Energética, Inversor de Frequência, Vazão Mínima Noturna

### INTRODUÇÃO

O processo padrão de extração da água subterrânea para abastecimento humano consiste na utilização de um conjunto motor-bomba submersa, que seja capaz de captar a água do aquífero e aduzi-la para um reservatório. No qual, por meio da energia potencial, é feita a sua distribuição de acordo com a demanda. Nesse processo, há também um tratamento químico na água para torná-la aceitável ao consumo humano.

A demanda por água, por sua vez, não é constante ao longo do dia. Em determinados momentos, ocorre uma demanda máxima de água, normalmente, no período conhecido por horário de pico. Em outros momentos, a demanda é mínima, como, por exemplo, entre 3h e 5h (FALKENGERG, 2005).

Ao utilizar um reservatório para controlar essa variação horária da demanda evitam-se transtornos que surgem da adução direta da água aos consumidores.

Em determinados casos, por questões financeiras, de locação, ou mesmo de topologia, não é possível o uso de reservatórios, o que elimina o elemento de ajuste da demanda. Nesse caso, o conjunto motor-bomba deve operar de uma forma que seja capaz de atender a uma demanda máxima, mas ao mesmo tempo, deve atender a uma demanda mínima, o que faz que ele esteja subdimensionado em alguns momentos e sobredimensionado em outros.

Nessa situação, surgem problemas diversos, tais quais pressão elevada na rede, que, segundo Silva e Mikowski (2005), pode ocasionar perdas por vazamento. Além disso pode incorrer em danos ao conjunto motor-bomba, e consumo em excesso de energia elétrica.

Uma solução para esse problema é a utilização de equipamento inversor de frequência, pois, por meio dele, é possível controlar a velocidade e o torque do motor simultaneamente dentro de uma faixa de valores. Com isso, é possível variar a pressão e a vazão ofertada e, conseqüentemente, reduzir as perdas.

Este trabalho tem por objetivo apresentar os resultados obtidos em um projeto piloto realizado na cidade de Olinda, pertencente ao Estado de Pernambuco, em um poço tubular profundo, que faz injeção direta na rede. O motor utilizado funcionava com operação por partida direta – sem controle algum de pressão. Foi aplicado, então, medidores de pressão e de vazão e também um equipamento inversor de frequência.

Essas melhorias provocaram alterações no índice de perdas, como também no consumo de energia elétrica. Ademais, possivelmente, o tempo de vida útil do motor pode ter se elevado devido à redução da pressão em excesso na rede de distribuição.

Esses resultados indicam a importância do trabalho ao contribuir para atenuar um dos principais gastos das empresas de saneamento básico, que é o consumo de energia elétrica (CRUZ, et al., 2011), bem como para atenuação de um dos seus principais problemas.

Para tanto, este artigo subdivide-se em introdução, metodologia, resultados e conclusão. Na metodologia, apresentam-se a forma de instalação dos equipamentos, os resultados esperados e as formas de mensurá-los. No item seguinte, verificam-se os resultados do projeto tanto do ponto de vista operacional, quanto econômico-financeiro. Na conclusão, destacam-se os principais resultados e recomendações.

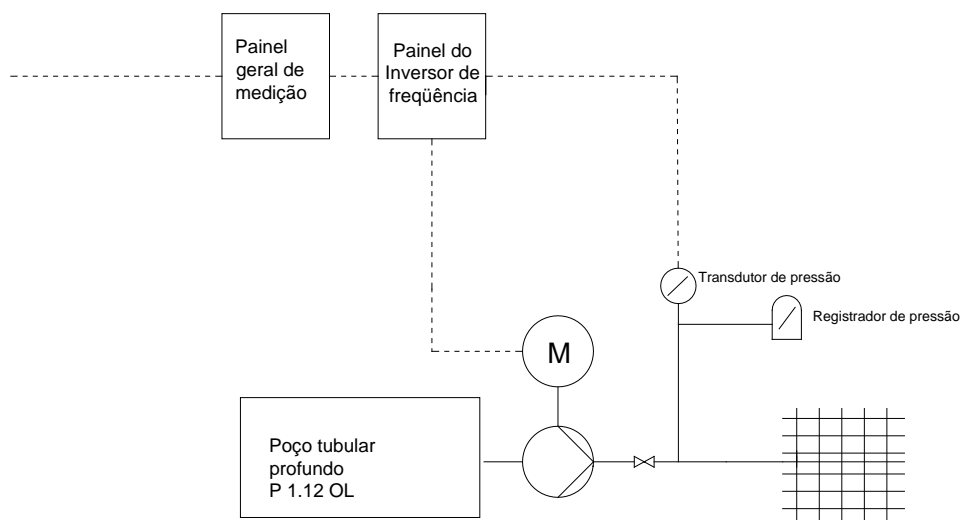
## **METODOLOGIA**

O primeiro passo para a efficientização deste poço foi garantir que a comunidade seria abastecida apenas da água obtida do poço tubular profundo (P1.12-OL), processo conhecido por setorização. Com isso, se obteve o controle total sobre a quantidade de água ofertada e, por conseguinte, da sua pressão na rede.

Após isso, foram instalados no local – especificamente na parte inicial do tubo adutor – o sensor de pressão piezoelétrico e o de vazão do tipo eletromagnético de inserção. No quadro de comando, foi adicionado o instrumento datalogger – utilizado para enviar os dados via internet para acompanhamento remoto.

Além disso, foi alocado um Inversor de Frequência (IF) que possui funções de Controlador Lógico Programável (CLP) internas. Na configuração, esse equipamento recebe as informações da pressão na rede e, por meio de uma programação interna, define a velocidade do motor e conjugado necessários para estabilizar a pressão da rede numa referência pré-estabelecida.

Um esquema dessa ligação é apresentado na Figura 1, na qual se destaca a presença do inversor de frequência, que foi instalado acionando e controlando a velocidade do motor a depender da pressão da rede.



Fonte: elaborado pelos autores

**Figura 1 – Diagrama eletropneumático**

Foram coletados os dados antes e depois da instalação para efeitos de comparação. No entanto, as informações de pressão e vazão ex-ante, limitou-se a apenas duas semanas, visto que foi tempo de o IF entrar em operação. Além disso, foi comparado o valor da conta mensal de energia elétrica ao longo do ano para verificar se houve redução no consumo.

O IF foi instalado em 12 de julho de 2010 com a pressão de referência de 30 mca, depois disto, foi monitorado o comportamento do consumo e do equipamento eletromecânico para se chegar a pressão ideal que, neste caso, foi de 28 mca. Na Tabela 1, é apresentado um resumo deste processo.

**Tabela 1 – Configurações da pressão e frequência da rede elétrica**

Data	Freq. (Hz)	Pressão (mca)	Stand-by (Hz)
12/07/2010	60	30	48
24/07/2010	57	40	48
29/07/2010	57	35	48
05/08/2010	57	30	48
20/08/2010	57	29	48
03/09/2010	57	29	48
11/09/2010	57	28	48

Fonte: elaborado pelos autores

De acordo com a Tabela 1, a frequência (f) máxima na saída do inversor é 57 Hz e mínima é 48 Hz, pois, a partir deste valor, o motor deixa de operar. Em termos percentuais, essa faixa de frequência está diretamente associada à rotação do motor pela equação 1. Que, desenvolvendo-a, chega-se a conclusão que o motor irá opera entre 95% e 80% da rotação nominal (n<sub>1</sub>), considerando-se o escorregamento (s) do motor constante.

$$n_1 = \frac{120f}{p} (1 - s) \quad (01)$$

O torque do motor elétrico (T), por sua vez, depende da frequência da rede elétrica. A equação 2 descreve tal relação. Em que, k representa os valores constantes do motor associados ao material e ao projeto construtivo, V, a tensão de alimentação, i, a corrente de armadura. Por esta equação, verifica-se que só é possível alterar a frequência e manter o conjugado constante se a tensão de alimentação for modificada.

$$T = k \frac{V}{f} i \quad (02)$$

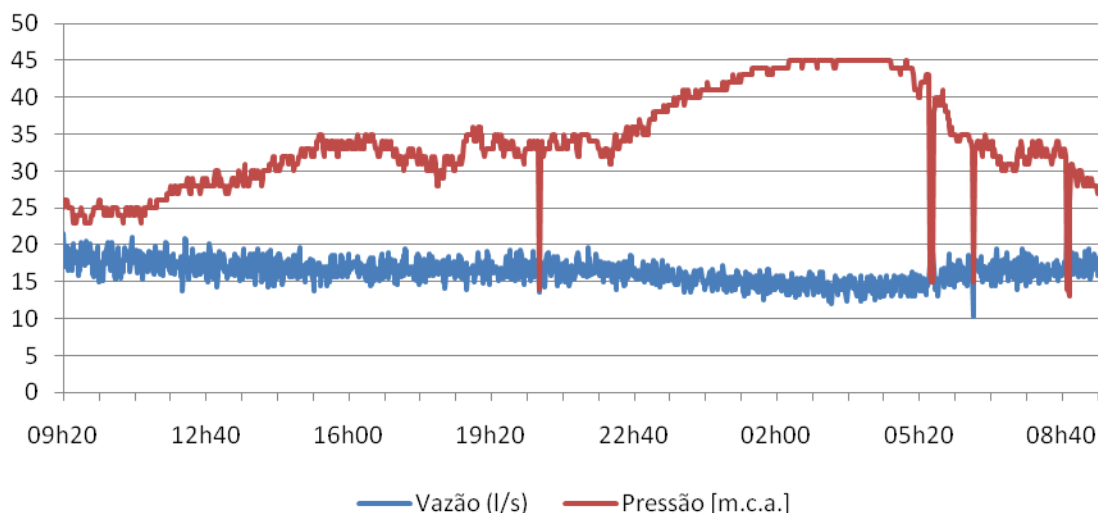
Ao se modificar a rotação do motor, a curva característica da bomba é modificada, de forma que a proporcionalidade da alteração é apresentada na equação 3 (MATTOS; FALCO, 1998). Por ela, se verifica que, caso se diminua a rotação do motor e, conseqüentemente, da bomba, se diminui a vazão (Q) e a pressão na rede. Além disso, se reduz a potência absorvida pela bomba. Nesse caso, se reduz o consumo de energia.

$$\frac{Q}{Q_1} = \frac{n}{n_1} \therefore \frac{H}{H_1} = \left(\frac{n}{n_1}\right)^2 \therefore \frac{P}{P_1} = \left(\frac{n}{n_1}\right)^3 \quad (03)$$

Desse modo, a busca de resultados será no sentido de demonstrar as reduções no consumo de energia elétrica, nas perdas oriundas da pressão na rede em excesso e no desgaste do equipamento.

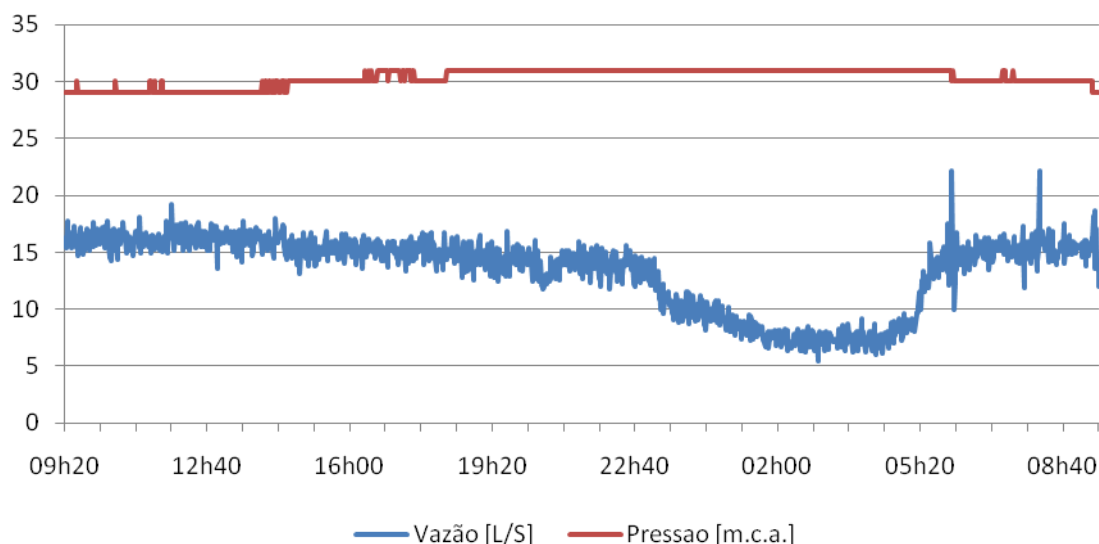
## RESULTADOS

O comportamento inicial do sistema hidráulico apresentava uma considerável variação na pressão da rede. Um exemplo disso é apresentado na Figura 1, na qual foi considerado 24h de análise entre 30 de junho e 01 de julho de 2010 (entre quarta-feira e quinta-feira). Nesse período, a pressão teve períodos abaixo de 30 m.c.a., especialmente entre 9h e 12h, mas também teve períodos de pressão acima de 40 m.c.a., entre 2h e 5h.



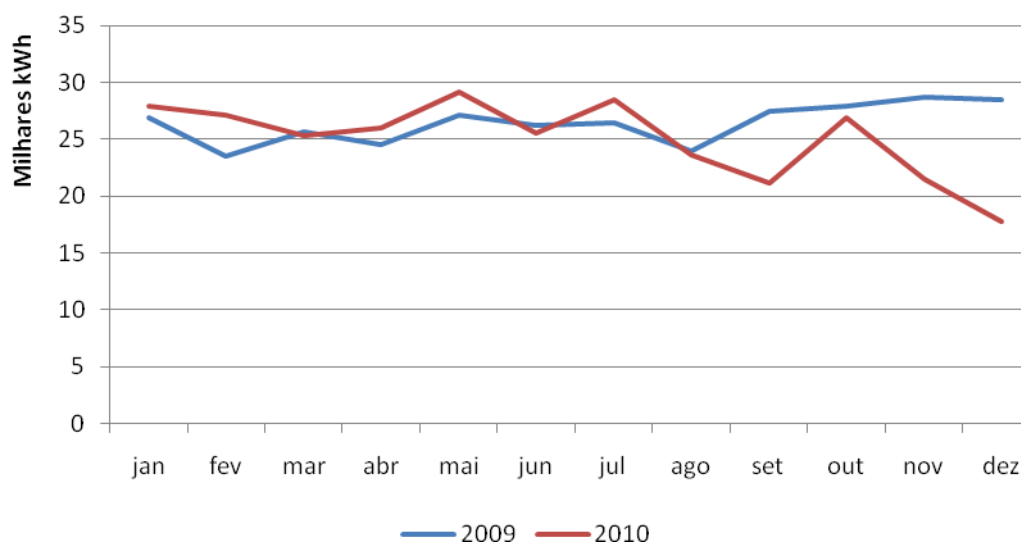
**Figura 1 – Relação entre pressão e vazão do poço entre os dias 30/06/2012 e 01/07/2010 (entre quarta e quinta)**

Após a instalação do inversor de frequência monitorando a pressão e controlando o motor, verifica-se uma considerável melhoria no sistema hidráulico. Um exemplo disso é apresentado na Figura 2, que traz a monitoração de 24h de pressão e vazão entre 25 e 26 de agosto de 2010. Percebe-se que a pressão estava estabilizada em 30 m.c.a. e que houve uma atenuação na vazão noturna (entre 2h e 5h), pois esta estava abaixo de 10 m<sup>3</sup>/h.



**Figura 2 – Relação entre pressão e vazão do poço entre os dias 25/08/2010 e 26/08/2010 (entre quarta e quinta)**

Essa melhoria na pressão da rede e, conseqüente, redução no consumo de água, pode ter contribuído para a redução do consumo de energia elétrica. Na Figura 3, analisa-se esse consumo ao longo dos meses em 2009 e 2010. Por ela, verifica-se que havia uma tendência de o consumo do ano seguinte ser superior ao do primeiro ano para todos os meses, mas houve uma atenuação nisso após a instalação do IF e seus ajustes, em especial, a partir de agosto, pois, em julho, ainda estavam sendo realizadas modificações.



**Figura 3 – Consumo mensal de energia elétrica (comparativo 2009-2010)**

Desse modo, para efeito de análise, se comparou quanto se gastou de energia elétrica entre agosto e dezembro nos dois anos e verificou-se que se for considerado que o conjunto consumiria em 2010 o mesmo que em 2009. Com a intervenção, economizou-se em torno de 25.690 kWh, o que representou aproximadamente R\$ 4.300 em apenas cinco meses.

## CONCLUSÕES

Os resultados indicam que o uso de inversores de frequência para o controle da pressão da rede em conjuntos moto-bomba de poços tubulares profundos que injetam diretamente na rede é possível. Essa configuração provoca uma melhoria na qualidade do sistema, sendo capaz de reduzir a pressão e a vazão mínima noturna.

Alem disso, os resultados apresentados implicam numa economia de energia e redução no desperdício de água, que, por conseguinte, se traduz numa economia financeira, o que torna atrativa esta tecnologia para determinados casos em que não seja possível a construção de reservatórios, ou mesmo em substituição a estes.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CRUZ, K. E. A.; COSTA, H. R. A.; SILVA, L. H. P. Análise da Viabilidade Econômico-Financeira da Utilização de um Gerador Termoelétrico em Substituição à Concessionária de Energia Elétrica no Horário de Ponta. XXVI Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2011, Porto Alegre. Anais do XXVI Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2011.
2. FALKENBERG, A. V. Previsão de consumo urbano de água em curto prazo. Dissertação de Mestrado (Universidade Federal do Paraná), Curitiba-PR, 2005.
3. MATTOS, E. E.; FALCO, R. Bombas Industriais. Interciência, 2a edição. Rio de Janeiro, RJ, 1998.
4. SILVA, K. R. G.; MIKOWSKI, P. A. Metodologia para apoio na gestão de perdas e na gestão de energia em sistemas de abastecimento de água. 23o Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. In: Anais do 23o Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental.