

XI-067 - ANÁLISE DINÂMICA DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA USANDO VÁLVULAS REDUTORAS DE PRESSÃO E INVERSORES DE FREQUÊNCIA NO CONTROLE DAS PRESSÕES

Kamilla Henrique Mendonça⁽¹⁾

Engenheira Civil pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB). Mestre em Engenharia Mecânica pela UFPB. Doutoranda em Engenharia Mecânica pela (UFPB).

Heber Pimentel Gomes⁽²⁾

Professor Doutor da Universidade Federal da Paraíba - UFPB, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental – DECA, Coordenador/pesquisador do LENHS/UFPB.

Juan Moises Mauricio Villanueva⁽³⁾

Engenheiro Eletrônico pela Universidad Nacional de Ingenieria (UNI/Perú). Mestre em Engenharia Elétrica pela UFMA. Doutorado em Engenharia Elétrica pela PUC-Rio. Professor Adjunto do departamento de Engenharia Elétrica da UFPB.

Camila de Andrade Oliveira⁽⁴⁾

Graduanda em Engenharia Civil pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB), bolsista de iniciação científica pelo CNPq.

Larissa Gomes de Lima⁽⁵⁾

Graduanda em Engenharia Civil pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB)

Endereço⁽¹⁾: Universidade Federal da Paraíba - Cidade Universitária, s/n - Conj. Pres. Castelo Branco III, João Pessoa – PB - CEP: 58059-900 - Brasil - Tel: (83) 3216-7119- e-mail: kamillapdm@hotmail.com

RESUMO

Os sistemas de abastecimento de água lidam com variáveis extremamente complexas de se modelar, visto que interligam o comportamento dinâmico de uma rede, que possui diversas configurações de funcionamento. Desta forma, a utilização de equipamentos modernos e sensíveis, capazes de se adequar a suas variações de operação, contribui para garantir um abastecimento mais eficiente e intermitente, garantindo as vazões e pressões necessárias a cada ponto de operação. O objetivo deste artigo foi, a partir de uma análise dinâmica, avaliar o uso de válvulas redutoras de pressão (VRP), a frequências fixas e variáveis, e a supressão do uso dessas válvulas, em sistemas operando apenas com inversores de frequências. Os testes foram realizados em uma bancada experimental, do Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento, na Universidade Federal da Paraíba–LENHS/UFPB. A bancada simula uma rede pressurizada com quatro saídas monitoras, e totalmente instrumentalizada e automatizada. Os resultados encontrados mostraram que o uso de inversores de frequência e válvulas redutoras de pressão são equipamentos de grande auxílio na otimização de sistemas pressurizados, que atuam controlando as pressões e reduzindo o consumo energético. No entanto, dos três cenários propostos, o uso isolado do inversor apresentou uma redução de 15% da frequência, quando comparado a operação associada de inversor de frequência e VRP.

PALAVRAS-CHAVE: Eficiência energética, Sistemas de abastecimento de água, Inversores de frequência, Sistemas automatizados.

INTRODUÇÃO

O abastecimento de água para múltiplos usos constitui uma das principais prioridades para a gestão dos meios urbano e rural. Dentre as diversas finalidades do uso da água no planeta, a principal é o consumo humano, tendo em vista que o seu gerenciamento é essencial para a manutenção da vida. A gestão dos recursos hídricos é pauta recorrente nos dias atuais, pois tais recursos estão cada dia mais escassos, tanto em quantidade como em qualidade, requerendo dos órgãos gestores o manejo eficiente e sustentável desse recurso (BITTELBRUNN et al. 2016).

Nesse contexto, a eficiência energética constitui o principal objetivo a ser alcançado na gestão de sistemas de abastecimento de água (SAA), tendo em vista que há um consumo elevado de água e energia na operação

desses sistemas. Tal eficiência se traduz, portanto, no gerenciamento adequado dos recursos empregados de modo a garantir uma operação otimizada.

Os sistemas de abastecimento de água são constituídos por uma série de estruturas com a finalidade de captar, tratar, reservar e transportar a água, do manancial ao consumidor final. Durante esse percurso, as perdas de água são inevitáveis, pois, em geral, o abastecimento ocorre por meio de canais e redes complexas, sendo essas limitadas pelas características topográficas do terreno. Porém, essas perdas podem ser minimizadas de modo a se obter uma maior eficiência do sistema. Tal objetivo pode ser alcançado a partir das atividades de operação e manutenção do SAA.

Segundo Tardelli Filho (2016), a operação de um SAA não se restringe apenas a abrir e fechar válvulas, ligar e desligar bombas, assim como, a manutenção desse sistema não se constitui apenas no reparo de tubulações e equipamentos por meio de manutenções corretivas. A melhor maneira de avaliar se essas atividades estão sendo bem desenvolvidas é a determinação das perdas. A geração de indicadores de performance operacionais e suas análises são fundamentais nesse contexto, constituindo parte das ações que devem ser realizadas na operação da rede e em seus componentes.

Geralmente, a garantia do abastecimento de água aos pontos de consumo só é possível a partir de sistemas de bombeamento, devido às restrições impostas pela topografia da região a ser abastecida. Esses sistemas são responsáveis pela maior parcela do consumo de energia dos SAA, tendo em vista que, por vezes, é necessário que se vençam grandes desníveis ao longo da rede, resultando na utilização de bombas com potências elevadas que levam a um consumo energético maior. O conjunto motor bomba tem o seu rendimento reduzido em decorrência do funcionamento ao longo da sua vida útil. Dessa forma, é essencial que sejam realizadas análises do rendimento do conjunto, de modo a se obter a manutenção do seu funcionamento de maneira satisfatória durante esse período.

Durante o dia e ao longo do ano, as vazões demandadas de um SAA variam em função dos hábitos de consumo da população, de fatores climáticos, econômicos, dentre outros. Dessa forma, torna-se necessária a otimização das vazões fornecidas, de modo a evitar a geração excessiva dessas. Tal otimização é possível por meio da operação de sistemas automatizados e da utilização de dispositivos que permitam o controle das vazões fornecidas compatíveis com as vazões demandadas.

Os SAA automatizados são aqueles operados por meio de sistemas de automação e que utilizam dispositivos que permitam o monitoramento e controle remotos da rede em tempo real, possibilitando um gerenciamento mais eficiente do sistema, permitindo ao operador o controle maior do mesmo e, principalmente, das perdas.

Segundo Moura (2010), dentre as ações para a redução dos custos com energia elétrica em SAA, estão a automação e a diminuição do consumo de energia elétrica por meio da variação da rotação de bombas, proporcionada por inversores de frequência. Dentre as principais aplicações da automação em SAA estão o monitoramento da qualidade e controle de bombeamento da água bruta, controle de bombeamento da água tratada e automação das estações de tratamento de água (ETA). Ainda de acordo com Moura (2010), a automação do SAA proporciona uma diminuição dos custos com pessoal, redução do consumo de produtos químicos, melhoria na eficiência dos processos e aumento na segurança de operação do sistema.

Os inversores de frequência são dispositivos que quando associados a sistemas de bombeamento de água, regulam a vazão fornecida pela operação das bombas, por meio da mudança na frequência da corrente elétrica fornecida. Segundo Gomes (2013), o uso desses dispositivos é ideal para sistemas em que há a necessidade de operação com vazões diferentes da de projeto. Dessa forma, tais dispositivos podem ser utilizados nos SAA para promover a redução do consumo de energia e consequentemente contribuir para uma maior eficiência energética desses sistemas.

Segundo Cherem (2016), o uso de inversores de frequência proporciona vantagens hidráulicas, elétricas e econômicas, dentre elas: redução da pressão na tubulação, diminuição do golpe de aríete, melhoria no fator de potência, redução na corrente de partida, possibilidade de integração com sistemas de automação, redução no consumo e, consequentemente, no custo de energia elétrica, resultando numa maior eficiência energética do

sistema. Além disso, os inversores de frequência dispensam a utilização de múltiplos motores ou sistemas mecânicos de variação de velocidade, que introduzem perdas adicionais de energia (MESQUITA, 2009).

De acordo com Mesquita (2009) *apud* Eletrobrás (2005), dentre as medidas que podem tornar o SAA mais eficiente energeticamente estão a melhoria do rendimento da bomba e do motor e a automação do sistema, gerando uma economia estimada de 5% no consumo de energia com a melhoria do rendimento da bomba ou do motor.

Mesquita (2009) analisou a economia de energia obtida a partir da introdução de inversores de frequência na operação de um SAA experimental com motores padrão e de alto rendimento, comparado com a utilização de válvulas de estrangulamento. Os resultados obtidos no estudo permitiram concluir que a utilização dos inversores de frequência, sob as condições simuladas, gera de 32% a 67% de economia de energia, demonstrando a viabilidade do uso desses dispositivos na obtenção de uma maior eficiência energética.

Segundo Camponogara et al. (2017), o único indicador de eficiência energética dos sistemas de abastecimento de água contemplado no Sistema Nacional de Informação do Saneamento (SNIS) é o índice de consumo de energia elétrica, expresso em kWh/m³. Porém, apenas esse indicador não é suficiente para caracterizar a eficiência do sistema como um todo. Ainda de acordo com Camponogara et al. (2017), um indicador mais adequado é o consumo de energia normalizado (CEN) proposto pela *International Water Association* (IWA), no entanto, o mesmo não é particularizado para sistemas de bombeamento com inversores de frequência.

Outra maneira de alcançar uma maior eficiência energética do SAA é com a utilização de válvulas redutoras de pressão (VRP). Como indicado na sua denominação, tais dispositivos atuam reduzindo as pressões, que por vezes podem ser elevadas, desnecessariamente, em decorrência dos sistemas de bombeamento e da própria dinâmica da rede, devido às variações de demanda ao longo do dia. “Dentre as ações voltadas para a gestão eficiente das perdas SAA, o controle da pressão apresenta-se como uma das alternativas mais eficientes para a diminuição do volume de água perdido por perdas reais”. (Sousa, 2017). Além disso, pressões excessivas são responsáveis por rompimentos nas tubulações. Tais consequências revelam a necessidade de otimização das pressões ao longo da rede de abastecimento.

A introdução de quaisquer desses dispositivos requer a realização de estudos com o intuito de verificar a viabilidade da utilização. No presente trabalho, foi avaliado o impacto da utilização dos dispositivos supracitados no rendimento do conjunto motor bomba.

OBJETIVO

Realizar análise de controle da pressão em uma rede piloto de distribuição de água com o uso de inversor de frequência associado a um conjunto motor bomba (CMB) e válvula redutora de pressão (VRP).

MATERIAIS E MÉTODOS

A seguir serão apresentados os elementos necessários para o desenvolvimento desse estudo, e as metodologias empregadas para a realização do levantamento e da análise dos dados.

Descrição da bancada

A bancada adotada para este trabalho é denominada de Sistema Piloto de Distribuição de Água (SPDA). Totalmente instrumentalizada e automatizada, possibilita o desenvolvimento de estudos e pesquisas em redes hidráulicas automatizadas, voltadas primordialmente para eficiência energética e uso consciente da água. A Figura 1 apresenta a disposição espacial do Laboratório de Eficiência Energética em Hidráulica e Saneamento da Universidade Federal da Paraíba (LENHS/UFPB).



Figura 1– Vista espacial do LENHS/UFPB

A bancada possui 155 metros de extensão, com tubulações de PVC (DN 50 - 140 m e DN 100 - 5 m) e ferro dúctil (DN 100 - 10 m), além de conexões como têes, curvas e reduções. O sistema é automatizado, dotado de medidores de vazão, transdutores de pressão, válvulas redutoras de pressão, sendo pressurizado através de um conjunto motor bomba de 5 CV, cuja vazão de recalque é de 13,89 l/s e altura manométrica de 17 mca. O CMB realiza através de bombeamento direto, o abastecimento da rede. A comunicação entre os sensores e atuadores é realizada via cabeamento, através de um Controlador Lógico Programável (CLP).

Além do inversor de frequência associado ao conjunto motor bomba, a bancada possui transdutores de pressão, medidores de vazão e válvulas redutoras de pressão. Suas configurações hidráulicas são bastante flexíveis, podendo trabalhar com diversos tipos de sistemas. Para o desenvolvimento deste trabalho, foram utilizadas três saídas, das cinco existentes, e ao final de cada saída foram instaladas válvulas de controle.

Além dos sensores e atuadores descritos acima, o SPDA também é composto pelos painéis elétricos, que operam em conformidade com o sistema de automação implantado. Sua função é permitir a interface entre os instrumentos da planta e o supervisório, além de servir de painel de comando e proteção aos motores e equipamentos eletroeletrônicos. A interface homem-máquina, que realiza a aferição das medidas e permite a aplicação de controladores na planta é permitida pelo CLP, formado pelos seguintes componentes: fonte de alimentação, CPU, de entradas e saídas analógicas e digitais. A Figura 2 apresenta um layout simplificado explicitando as conexões entre a planta, o CLP e o centro de controle operacional.

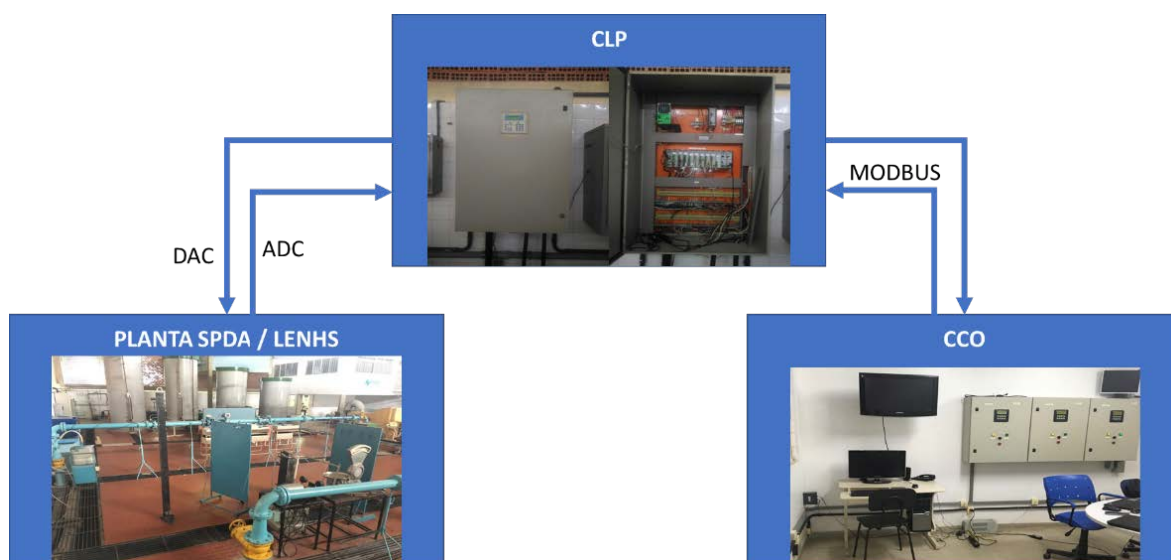


Figura 2 -Diagrama das conexões entre planta real, CLP e Labview®

A partir de um sistema supervisório, são enviados comandos e obtidas informações dos sensores e atuadores presentes na planta. O programa supervisório foi desenvolvido no ambiente do LabVIEW®, que permite a realização de todos os procedimentos necessários para que a planta seja operada, bem como a introdução de controladores, baseados em lógicas diversas, conforme ilustrado na Figura 3.

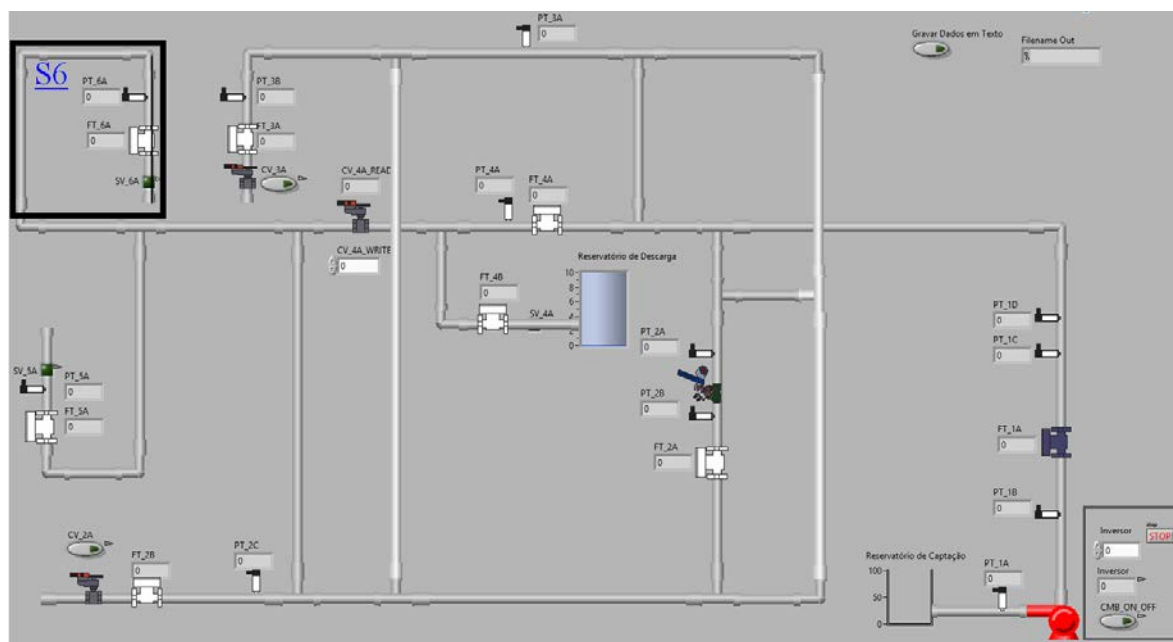


Figura 3 – Diagrama do sistema supervisório no Labview®

Simulações

As simulações propostas foram subdivididas em três testes, para análise do consumo energético da bancada. Conforme descritos abaixo:

- Teste 1 – Conjunto motor bomba trabalhando a 60Hz e controle da pressão feito a partir do uso da VRP;
- Teste 2 – VRP trabalhando totalmente aberta, a 0 grau, e o inversor atuando no controle da pressão;
- Teste 3 – Uso conjunto do inversor de frequência e da VRP atuando no controle da pressão na saída.

O objetivo principal é o controle da pressão, em laço aberto, na saída 6 (ver Figura 3) a 8 mca.

RESULTADOS

Nesta etapa, serão apresentados os resultados obtidos com as aplicações das metodologias propostas no item anterior. Foram realizados três testes, com o objetivo de controlar as pressões a 8 mca em uma das três saídas presentes na rede SPDA. A Figura 4 apresenta os gráficos das pressões, na parte superior, e a situação da VRP e frequência registrada no inversor de frequência, para a situação referente ao Teste 1.

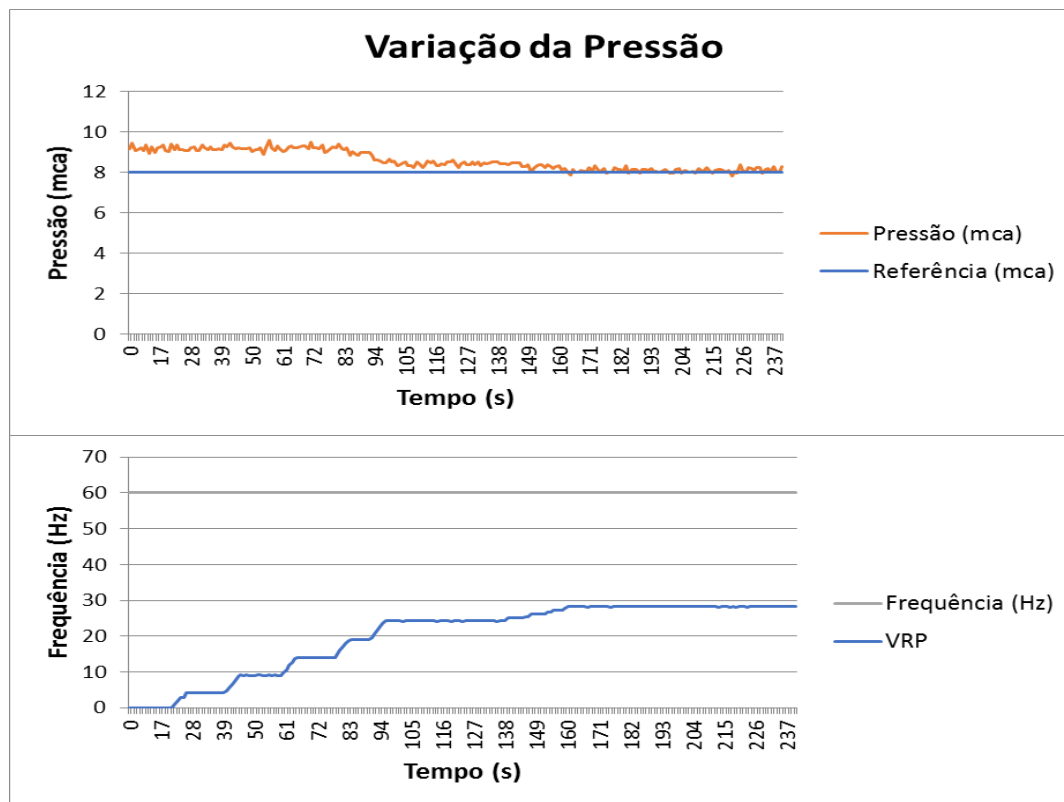


Figura 4 - Controle da pressão com o uso de VRP e frequência a 60Hz

A Figura 4 apresenta os gráficos das pressões, na parte superior, e a situação da VRP e frequência registrada no inversor de frequência, para a situação referente ao Teste 2.

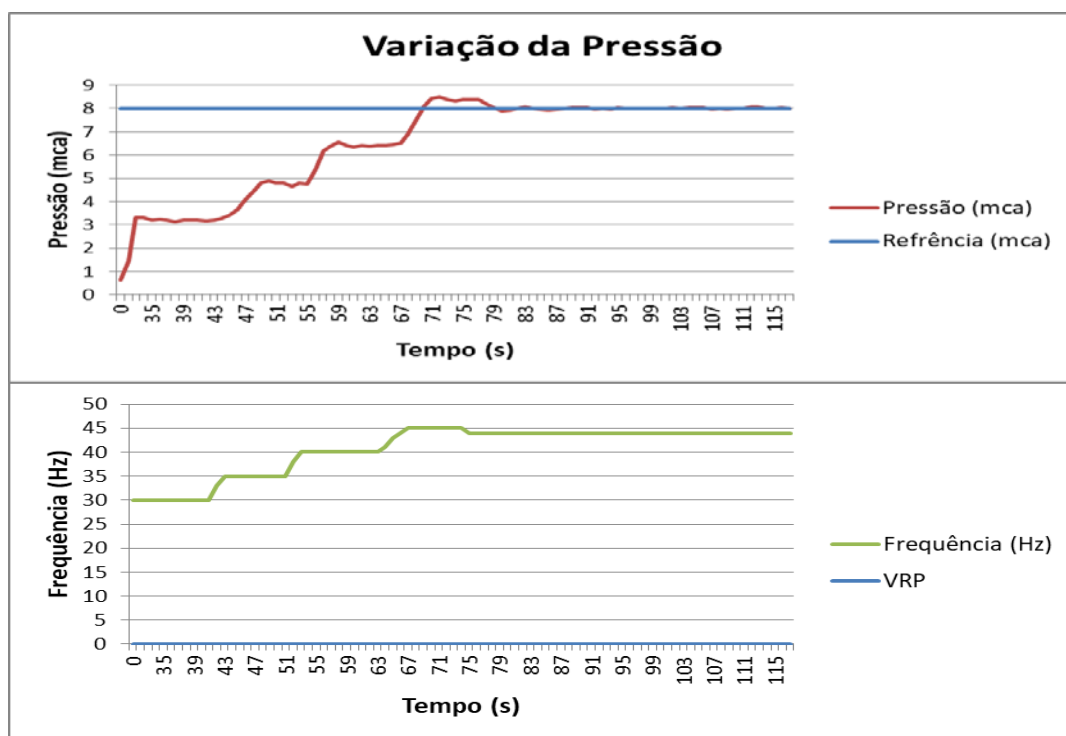


Figura 5 - Controle da pressão com o uso de inversor de frequência e VRP totalmente aberta

A Figura 6 apresenta os gráficos das pressões, na parte superior, e a situação da VRP e frequência registrada no inversor de frequência, para a situação referente ao Teste 3.

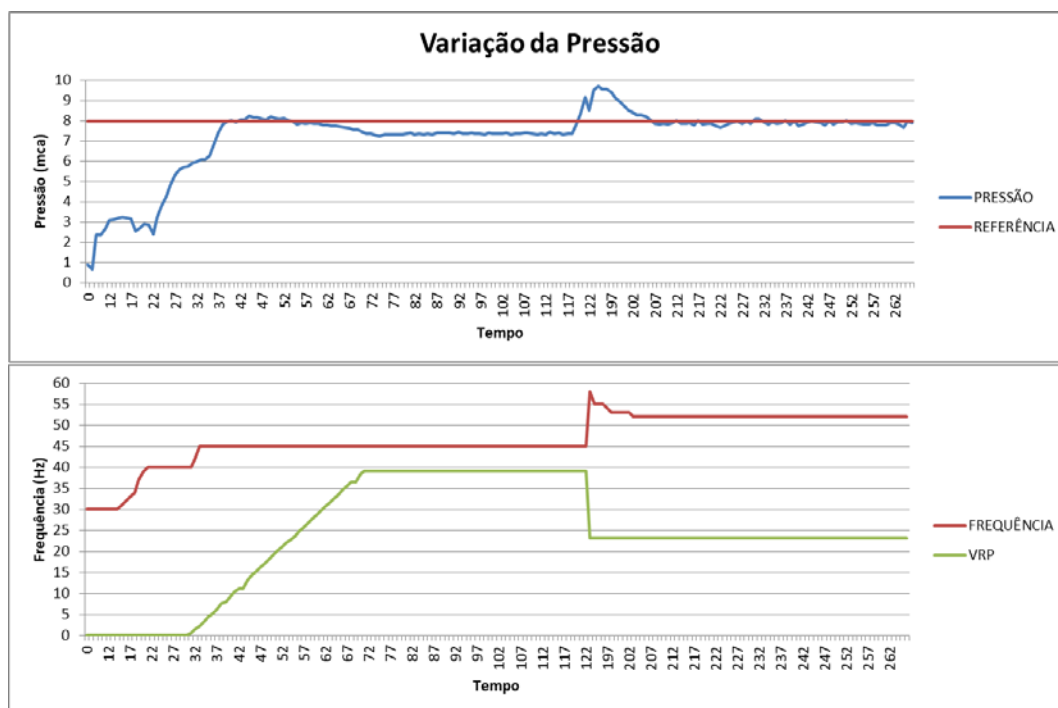


Figura 6 - Controle da pressão com o uso de inversor de frequência e VRP

Análise e Discussões dos Resultados

Após a aplicação das técnicas expostas na fase de metodologia, e com a análise dos gráficos apresentados na etapa de resultados, é possível a análise e discussão de alguns pontos relevantes ao uso de VRP e inversores no controle da pressão.

As primeiras análises terão foco no Teste 1, onde foi atingido o controle da pressão a 8 mca. Analisando os gráficos na Figura 3, percebe-se o controle da pressão, com o uso exclusivo da VRP, e a uma frequência constante de 60 Hz, em aproximadamente 1 minuto e 40 s após o início do funcionamento do sistema. O grau de fechamento ficou em torno de 28°.

A seguir, analisando os gráficos obtidos na Figura 4, o controle da pressão, com o uso exclusivo do inversor de frequência, ocorre em aproximadamente 1 minuto e 20 s após o ligamento do sistema. A VRP trabalhou totalmente aberta, conforme registrado na parte inferior do gráfico. E a frequência registrada para uma operação de 8 mca foi de 44 Hz.

Finalizando a análise dos gráficos, observa-se na Figura 5 o comportamento do sistema, operando com o uso de VRP e inversor de frequência para o controle da pressão a 8 mca. Anterior ao ajuste da pressão ao valor de referência proposto, esperou-se com o fechamento gradual da VRP e a frequência a 45 Hz, que houvesse um controle da pressão, no entanto, as pressões ficaram abaixo do valor de referência. Desta forma, realizou-se um aumento significativo da frequência para se verificar sua influência no incremento da pressão, e uma abertura na angulação da válvula, o que gerou essa perturbação no sistema. Situação essa observada em dois minutos de teste. Após 2 minutos e 20 s, registra-se o controle da pressão no valor desejado, com a válvula atuando a 23° e o inversor a 52 Hz.

Das três configurações propostas, é possível verificar que a situação que conseguiu controlar a pressão a 8 mca, no menor período e com menores valores de frequência foi a configuração proposta no teste 2. A situação proposta no teste 2 apresentou uma redução de 26,7% de frequência de operação, com relação ao Teste 1, visto que a frequência registrada no primeiro teste foi de 60Hz e no segundo de 44 Hz; e uma redução de 15,4% quando relaciona-se a frequência de 52 Hz no terceiro teste com a frequência de 44Hz no Teste 2. Com base nas bibliografias consultadas, é possível afirmar que o uso de frequências menores de operação exige um menor consumo de energia elétrica por parte dos CMB, refletindo assim em um menor consumo energético.

CONCLUSÕES

O uso de inversores de frequência e válvulas redutoras de pressão são essenciais para o estudo de melhores condições e operações em redes de abastecimento de água. O controle das pressões vem se mostrando como umas das técnicas de melhoramento mais eficientes e utilizadas com o objetivo de reduzir as perdas reais e o desperdício de água. Após a análise dos gráficos do comportamento das pressões para os três testes propostos, conclui-se que o uso de inversores de frequência se mostra bastante eficiente no controle das pressões, sem fazer uso de VRP. O Teste 2, apresentou o controle da pressão, com o inversor trabalhando a 44 Hz. Ao diminuir a frequência de rotação do CMB há uma indução a um menor consumo energético, o que viabiliza o uso desses equipamentos como mais uma ferramenta no controle das pressões.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CAMPONOGARA, G., KURITZA, J., CASTIGLIO, G, FERLA, R., MARQUES, M.G., TEIXEIRA, E.D., DE BORJA, J. Indicadores de referência hidroenergéticos em sistemas de abastecimento de água. 13 Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Portuguesa, FEUP, Porto, 13-15 set. 2017.
2. CHEREM, L. B. Avaliação do uso de inversor de frequência em estação elevatória de água. Palmas, 2016. Dissertação de mestrado- Universidade Federal do Tocantins, 2016.
3. BITTELBRUNN, F. BRINCKMANN, R. ANDRETT, M. C. S. PFITSCHER, E. D. Estudo da eficiência dos gastos com saneamento básico dos estados brasileiros e DF entre 2012 a 2014 por meio de Análise Envoltória de Dados. XXIII Congresso Brasileiro de Custos – Porto de Galinhas, PE, Brasil, 16-18 de nov. 2016

4. GOMES, H. P. Sistemas de Irrigação Eficiência Energética. Editora da UFPB. João Pessoa, 2013. Universidade Federal da Paraíba, 2013.
5. MESQUITA, R. P. Análise de viabilidade técnica-econômica para a aplicação de inversores de frequência em sistemas de bombeamento de baixa potência. Guaratinguetá, 2009. Dissertação de mestrado-Faculdade de Engenharia do campus de Guaratinguetá-Universidade Estadual Paulista, 2009.
6. MOURA, G. N. P. A relação entre água e energia: gestão energética nos sistemas de abastecimento de água das companhias de saneamento básico do Brasil. Rio de Janeiro, 2010. Dissertação de mestrado-Programa de Planejamento Energético -Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2010.
7. SOUSA, R. Uso de válvulas redutoras de pressão na otimização de rede setorizada de distribuição de água. João Pessoa, 2017. Dissertação de mestrado-Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica-Universidade Federal da Paraíba, 2017.
8. TARDELLI FILHO, J. Aspectos relevantes do controle de perdas em sistemas públicos de abastecimento de água. Revista DAE (Brasil), v., n., p.6-20, Jan.-Abr. 2016.