

XI-078 - SISTEMA DE CONTROLE FUZZY NA OPERAÇÃO OTIMIZADA DE REDES SETORIZADAS COM BOMBEAMENTO DIRETO

Kamilla Henrique Mendonça⁽¹⁾

Engenheira Civil pela Universidade Federal da Paraíba, Mestre em Engenharia Mecânica e Doutoranda em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal da Paraíba.

Laís Régis Salvino⁽¹⁾

Física pela Universidade Federal da Paraíba, Mestre em Engenharia Mecânica e Doutoranda em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal da Paraíba.

Anne Caroline Linhares Monteiro⁽¹⁾

Graduanda em Engenharia Civil pela Universidade Federal da Paraíba.

Moisés Menezes Salvino⁽¹⁾

Engenheiro Civil e Analista de Sistemas pela Universidade Federal da Paraíba, Mestre em Engenharia Mecânica e Doutor em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal da Paraíba.

Heber Pimentel Gomes⁽¹⁾

Engenheiro Civil pela Universidade Federal da Paraíba, Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Campina Grande, Doutor pela Universidade Politécnica de Madrid e Professor Titular da Universidade Federal da Paraíba.

Endereço⁽¹⁾: Cidade Universitária – João Pessoa – Paraíba - CEP: 58051-900 - País - Tel: +55 (83) 3216-7200 - site: www.lenhs.ct.ufpb.br.

RESUMO

Garantir o abastecimento da população concomitante ao uso consciente dos recursos hidráulicos e energéticos. Esse é o presente desafio dos gestores e das companhias de abastecimento de água. Em uma sociedade cada vez mais consciente e preocupada com o andamento do consumo desenfreado, a possibilidade de utilização eficiente de recursos indispensáveis ao desenvolvimento humano surge como incentivo ao desenvolvimento de novas tecnologias e pesquisas. Esse trabalho propõe a utilização da lógica *fuzzy* como sistema de controle robusto, aplicado em uma bancada experimental que simula o abastecimento de uma rede com duas zonas de pressão com topografias diferenciadas. Os controladores são ferramentas importantes na operação de processos automatizados que visam à realização de determinada operação de maneira a aproveitar ao máximo as ferramentas e equipamentos que compõem um sistema. Nesse artigo foi desenvolvido um controlador aplicável em um sistema centralizado. O objetivo do controlador é garantir as pressões de serviço nas duas zonas de topografias diferenciadas, a partir do controle da frequência do sistema de impulsão, formado por um conjunto motor bomba; e da angulação de uma válvula redutora de pressão situada a montante da zona de topografia mais baixa. Os resultados apresentados mostraram-se promissores, visto que o controlador conseguiu atuar, levando as pressões aos seus valores de referência, reduzindo o consumo energético, quando comparadas ao sistema sem controlador.

PALAVRAS-CHAVE: Lógica *Fuzzy*, Sistemas de Abastecimento de Água, Controlador.

INTRODUÇÃO

A cada dia, novas tecnologias são desenvolvidas em diversas áreas, com o intuito de tornar as atividades mais eficientes e precisas, além de melhorar a qualidade de vida da população. Quão mais essenciais essas atividades, mais importantes se tornam essas descobertas. O setor de abastecimento de água é fundamental para o desenvolvimento de qualquer região, seja ela de pequeno, médio ou grande porte. Os Sistemas de Abastecimento de Água (SAA) trabalham com dois insumos básicos e estratégicos, água e energia, logo, sua utilização deve ser operacionalizada de maneira eficiente e econômica, reduzindo ao máximo os desperdícios ao longo da sua operação.

Um importante indicador de eficiência em um SAA é o índice de perdas de água, no Brasil este índice varia em torno de 38%, no entanto, em alguns estados alcança valores de 75%. Um dos grandes desafios enfrentados pelas operadoras desses sistemas no Brasil é conseguir efetuar uma redução em seu índice de perdas de água

em cada uma das etapas do seu processo de fornecimento (ABES, 2013). Para Bezerra e Cheung (2013), as perdas reais, conceitualmente definidas como a parcela de água que não chega aos consumidores, em decorrência de vazamentos ou extravasamentos no sistema público de abastecimento; são decorrentes de vazamentos inerentes, não visíveis e visíveis.

As perdas de água registradas em um SAA são inerentes ao seu processo de funcionamento, no entanto, é possível reduzir esses valores a porcentagens mínimas. Para tanto, faz-se necessário um aperfeiçoamento na fase de monitoramento do sistema, com o intuito de registrar os pontos de operações mais deficientes, ou mesmo com valores acima dos propostos na fase de projeto.

O monitoramento dos SAA também é necessário, visto que o mesmo não é operado de maneira linear, ou mesmo previsível. A demanda hídrica de uma determinada região não é uniforme ao longo de todo um ano, ou mesmo ao longo de todo o dia. Há horários ou períodos em que uma maior vazão é solicitada, em meses ou dias mais quente, por exemplo. Neste sentido, a utilização de sistemas automatizados que monitorem de forma segura a pressão na rede, pode ser visto como uma excelente ferramenta para a operação de setores de abastecimento.

Segundo Tsutiya (2006), a automação no abastecimento pode ser aplicada nas operações de captação e distribuição, por exemplo. Enquanto que, equipamentos de medição e transdutores, possibilitam a realização da supervisão e os controles necessários para manter o sistema operando de forma mais eficiente. Os sistemas de abastecimento automatizados permitem a utilização de ferramentas mais sofisticadas, que irão intervir de maneira direta na operação da rede. Esses controles, proporcionados por algoritmos robustos implantados no sistema, podem realizar manobras sem a intervenção do operador, conforme a necessidade de demanda hídrica. A utilização de controladores irá garantir não apenas a permanência dos serviços de abastecimento nos horários de maior consumo, como também permitirá uma diminuição nas perdas, oriundas da redução do excesso de pressão ao longo de toda a rede.

No SAA, onde as perdas ao longo da rede se mostram significativas, a aplicação de um controlador que regule parâmetros tais como vazão e pressão, favorece a economia através da redução da pressão, principalmente, nos momentos de menor consumo. Tendo em vista a redução da vazão nos horários de menor demanda, ou mesmo os vazamentos ao longo da rede de distribuição. Ainda segundo Bezerra e Cheung (2013), uma diminuição de 10% na pressão resulta em uma redução aproximada de 12% no volume perdido por vazamentos.

Este trabalho teve como objetivo o desenvolvimento de um sistema de controle inteligente, sob a ação da lógica *fuzzy*, para a efficientização da operação de uma bancada experimental que simula de um sistema de abastecimento de água com duas zonas de pressão com topografias diferenciadas, com vistas à redução de perdas de água.

MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho foi desenvolvido em uma bancada experimental do Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento da Universidade Federal da Paraíba – LENHS/UFPB. O Sistema Automatizado de Distribuição de Água (SADA) é uma bancada experimental pressurizada que simula um sistema de abastecimento de água, conforme Figura 1.



Figura 1: Rede experimental SADA.

O SADA é composto por duas zonas de pressão, cujos ramais de descarga possuem cotas topográficas diferenciadas. A zona baixa possui cota de 1,50 m e a zona alta uma cota de 6,50 m. Entende-se por zona baixa todo o trecho percorrido continuamente (sem ramificações) desde o reservatório de alimentação (RNF) até o ramal de descarga RD-1. A zona alta é representada pelo trecho percorrido do reservatório até o ramal de descarga RD-2.

A estação elevatória desse sistema é composta por um conjunto motor bomba (CMB). O acionamento do CMB é realizado através de um conversor/inversor de frequência. Quando associado a um sistema de controle automático, o conversor permite manter as pressões de serviço em níveis constantes pré-estabelecidos, adequando, assim, o funcionamento da elevatória às frequentes variações de demanda ocasionalmente ocorridas. Desta forma, evitam-se sobrepensões e gastos energéticos dispensáveis.

Além do CMB, o sistema também apresenta um *booster*, instalado no abastecimento da zona alta, seu funcionamento varia, conforme as variações das demandas. A bancada também está equipada com cinco transdutores de pressão: PT-1, PT-2, PT-3, PT-4 e PT-5, sendo o PT-3 responsável pela medição da pressão da zona baixa e o PT-5 da zona alta. Dois medidores de vazão FT-1 para zona baixa e FT-2 para zona alta. Além de três válvulas redutoras de pressão: CV-1, CV-2 e CV-3, onde a CV-1 simula a variação de consumo na zona baixa e a CV-3 realiza a simulação de consumo na zona alta.

O desenvolvimento deste artigo foi realizado em três etapas: primeiramente foi feito um estudo minucioso do comportamento do sistema, analisando a operação da válvula redutora de pressão e do CMB. O segundo passo foi desenvolver o controlador *fuzzy* a ser aplicado no SADA. E finalmente a utilização do controlador e a análise dos resultados apresentados.

O controle *fuzzy* foi executado em um sistema centralizado. Onde as variáveis de entrada foram a diferença de pressão entre as zonas baixa e alta, e o erro, calculado pela diferença entre o set point e a pressão da Zona Alta. As variáveis de saída foram o ângulo de fechamento da válvula redutora de pressão instalada entre as duas zonas de pressão, e o delta de rotação do CMB.

RESULTADOS

Os controles desenvolvidos, baseado na lógica *fuzzy*, foram aplicados em duas situações: com a máxima demanda, ou seja, as válvulas CV-2 e CV-3 a 40° de ângulo de fechamento; e com a mínima demanda: as válvulas CV-2 e CV-3 a 60° de ângulo de fechamento. Essa angulação foi constatada após a realização de testes na bancada. Esses testes garantiram que angulações acima ou abaixo desses valores de referência, não representaram variações nos resultados obtidos.

Além das duas situações acima descritas, foram realizadas perturbações na planta, com o intuito de constatar o comportamento do controlador e sua capacidade em retornar as pressões de serviço, mesmo após variações bruscas de demanda. A Figura 2 representa a variação das pressões no PT-3 e PT-5, com o CMB trabalhando a uma frequência de 60 Hz e a CV-01 totalmente aberta à 0°, e as válvulas CV-2 e CV-3 a 40°, sem a aplicação do controlador.

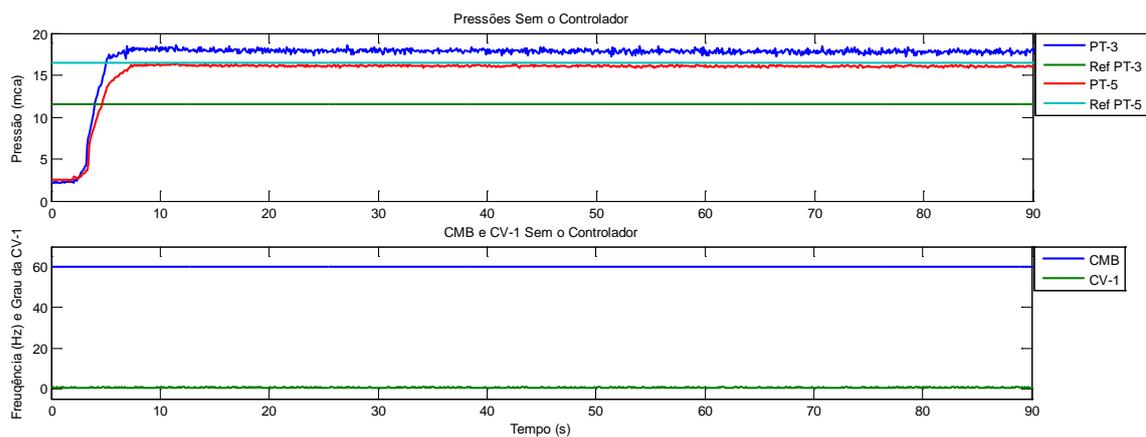


Figura 2: Relação entre as pressões de serviço nas duas zonas de pressão e seus valores de referência, sem a aplicação do controlador na máxima demanda.

A Tabela 1 apresenta os valores médios obtidos dos principais parâmetros do sistema, com a CV-2 e CV-3 a 40°, CV-1 totalmente aberta a 0° e a frequência a 60 Hz.

Tabela1: Parâmetros da planta sem aplicação do controlador (máxima demanda)

Parâmetro	Zona Alta	Zona Baixa
Pressão (mca)	15,46	17,19
Vazão (m ³ /h)	4,39	6,79

Além da operação do sistema, com as válvulas CV-2 e CV-3 simulando a máxima demanda, também foram realizados experimentos para simulação de mínima demanda, ou seja, CV-2 e CV-3 trabalhando a 60°. A Figura 3 apresenta os valores das pressões registrados para este cenário.

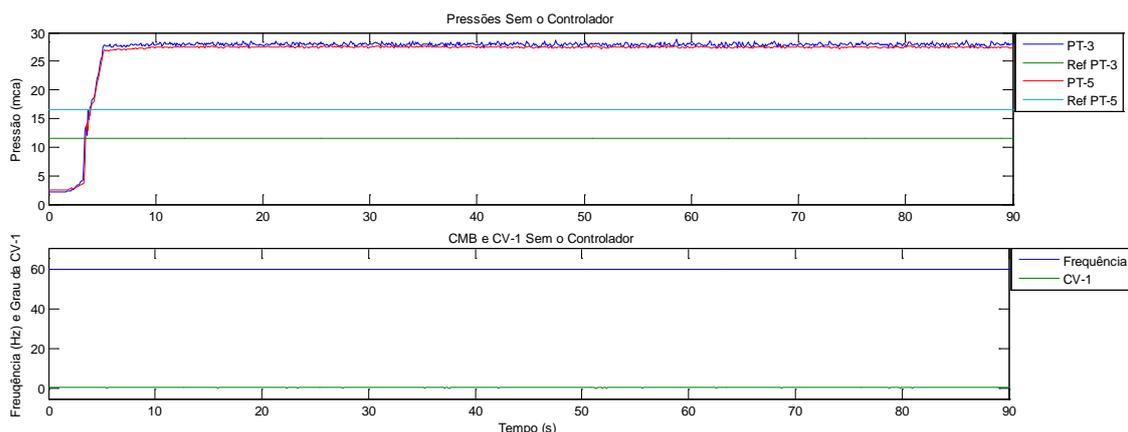


Figura 3: Relação entre as pressões de serviço nas duas zonas de pressão e seus valores de referência, sem a aplicação do controlador na mínima demanda.

A Tabela 2 apresenta os valores médios obtidos dos principais parâmetros do sistema, com a CV-2 e CV-3 a 60°, CV-1 totalmente aberta a 0° e a frequência a 60 Hz.

Tabela2: Parâmetros da planta sem aplicação do controlador (mínima demanda)

Parâmetro	Zona Alta	Zona Baixa
Pressão (mca)	26,38	26,86
Vazão (m ³ /h)	4,78	6,37

O controle fuzzy, submetido ao sistema centralizado, trabalha de maneira integrada com as duas variáveis de controle, CV-1 e CMB, com o objetivo de controlar as variáveis de estado, as pressões na ZB e ZA, de forma dependente, com apenas o acionamento de um controlador. A Figura 4 apresenta o comportamento do sistema, com as válvulas CV-2 e CV-3 simulando a máxima demanda, ou seja, a 40°, com a aplicação do controlador.

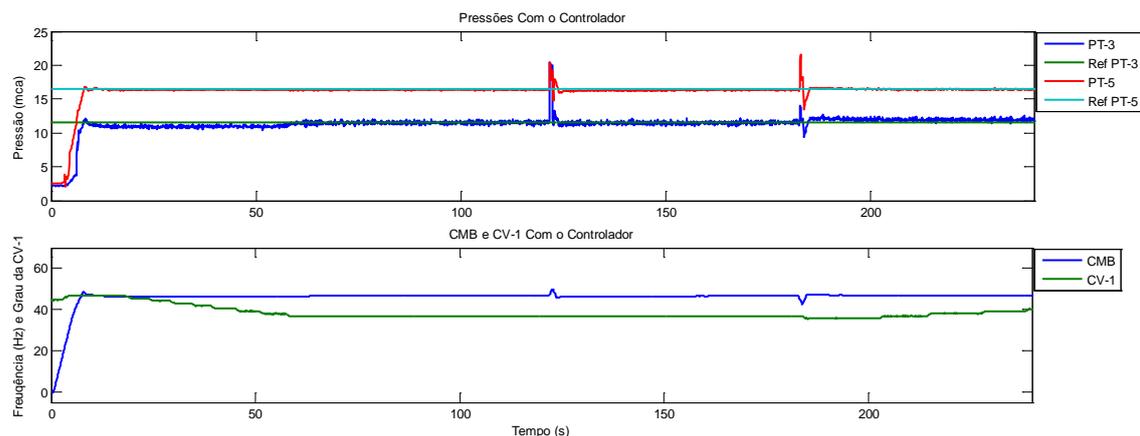


Figura 4: Relação entre as pressões de serviço nas duas zonas de pressão e seus valores de referência, com a aplicação do controlador no sistema centralizado, na máxima demanda.

A Tabela 3 apresenta os valores médios obtidos dos principais parâmetros hidráulicos do sistema com a CV-2 e CV-3 a 40°.

Tabela 3: Parâmetros da planta com aplicação do controlador

Parâmetro	Zona Alta	Zona Baixa
Pressão (mca)	16,50	11,60
Vazão (m ³ /h)	6,67	4,7
CV-1	42,98°	
Frequência do CMB (Hz)	48,69	

Também foram realizados os mesmos procedimentos para a verificação do comportamento da rede a esse controlador, na situação de mínima demanda. A Figura 5 representa o funcionamento do sistema, com as válvulas a 60°.

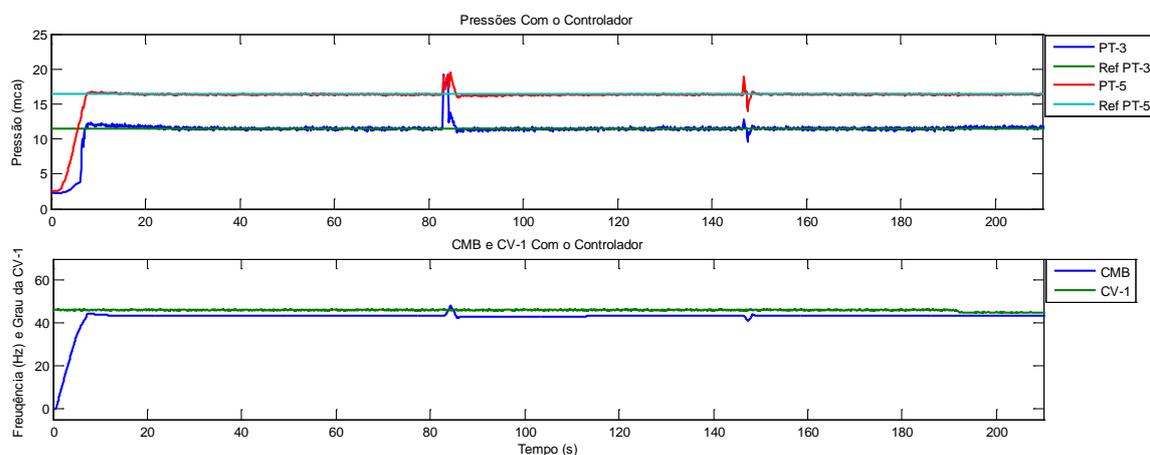


Figura 5: Relação entre as pressões de serviço nas duas zonas de pressão e seus valores de referência, com a aplicação do controlador no sistema centralizado, na mínima demanda.

A Tabela 4 apresenta os valores médios obtidos dos principais parâmetros hidráulicos do sistema com a CV-2 e CV-3 a 60°.

Tabela 4: Parâmetros da planta com aplicação do controlador no sistema descentralizado

Parâmetro	Zona Alta	Zona Baixa
Pressão (mca)	16,50	11,52
Vazão (m ³ /h)	3,6	5,8
CV-1	46,53°	
Frequência do CMB (Hz)	40,99	

DISCUSSÕES DOS RESULTADOS

De acordo com a Figura 3, com a aplicação do controlador, observa-se uma resposta rápida da CV-1 e do CMB, levando as pressões aos seus valores de referência. O CMB, de maneira mais ágil, leva cerca de 8 segundos para atingir o valor de 16,5 mca, enquanto que a válvula demora um pouco mais para encontrar o valor ótimo de sua angulação, garantindo em 58,6 s a pressão de 11,5 mca na ZB.

As perturbações foram realizadas após as duas variáveis de estado terem atingido seus valores de referência, e com um intervalo de 1 minuto entre o primeiro e o segundo distúrbio. Na primeira perturbação, causada pelo fechamento do registro de saída da ZB, observa-se um aumento da frequência no CMB, visto que a vazão na ZB diminuiu, enquanto que na ZA aumentou requerendo maior esforço do CMB. No segundo distúrbio, foi realizado o fechamento do registro de saída da ZA, o que inverteu a situação em termos de vazões, com a diminuição na ZA, o CMB se apresentou menos requisitado, logo, foi constatada uma redução na frequência. Apesar dessas alterações, o controlador se mostrou bastante eficiente, e permitiu que as pressões de serviço fossem novamente atingidas. O teste foi realizado em um intervalo de 3 minutos.

Enquanto que a Figura 4 traz o comportamento do sistema, para situação de mínima demanda. Observa-se que o CMB leva rapidamente as pressões aos seus valores de referência, demorando 7,7 segundos para atingir o valor de 16,5 mca, enquanto que a válvula demora um pouco mais, garantindo em 24,8 s que a pressão de 11,5 mca seja registrada na ZB.

A metodologia empregada na situação de mínima demanda foi similar a representada na Figura 4, com o mesmo intervalo entre as perturbações impostas. Apesar dessas alterações, o controlador se mostrou bastante eficiente, e permitiu que as pressões de serviço fossem novamente atingidas. O teste foi realizado em um intervalo de 2 minutos e 30 segundos.

CONCLUSÕES

O controle não apresentou sobressinal acima de 2 mca, e seu comportamento estacionário foi verificado em menos de 60s de operação após o seu acionamento para o sistema centralizado, nas duas situações de máxima e mínima demanda. Apesar das variações registradas na CV-1, a frequência do CMB mostrou-se mais protagonista em garantir as pressões de serviço nas duas zonas de pressão. Os controladores também se mostraram bastantes eficientes em controlar as pressões, fazendo-as retornarem aos seus valores de referência, mesmo após a imposição de perturbações. Essas variações foram geradas por meio do fechamento e abertura do registro localizado a montante da saída das duas zonas de pressão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. [ABES] – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. Perdas em Sistemas de Abastecimento de Água: Diagnóstico, Potencial de Ganhos com sua Redução e Propostas de Medidas para o Efetivo Combate. 2013.
2. BEZERRA, S.T.M.; CHEUNG, P.B. Perdas de Água – Tecnologias de Controle. 1 ed. João Pessoa: Editora Universitária da Universidade Federal, 220p. ISBN: 9788523707019, 2013.
3. BEZERRA, S.T.M. SILVA, S.A. GOMES, H.P. Operational optimisation of water supply networks using a fuzzy system. Water SA Vol. 38 No. 4, ISSN 0378-4738. July, 2012.
4. TSUTIYA, M. T., Redução do Custo de Energia Elétrica em Sistemas de Abastecimento de Água. ABES Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. São Paulo, 2006.