

XI-1298 - LÓGICA FUZZY APLICADA AO CONTROLE DE PERDAS DE ÁGUA UTILIZANDO VÁLVULA REDUTORA DE PRESSÃO

Leonardo Costa Silva ⁽¹⁾

Engenheiro Civil, Pós-Graduado em Gestão Pública, Engenharia de Sistemas, Modelagem Hidráulica e Técnico Eletrotécnica.

Antônio Carlos Câmara Junior ⁽²⁾

Engenheiro Civil pela Universidade FUMEC. Mestre em Saneamento, Meio Ambiente, Hidráulica e Recursos Hídricos pela Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais (EE/UFGM). Especialista em Gestão Empresarial pela Fundação Getúlio Vargas (FGV). Gerente da Unidade de Serviço de Apoio Operacional Norte (USON) da COPASA-MG.

Flávio de Paula ⁽³⁾

Engenheiro Civil, Pós-Graduado em Saneamento e Meio Ambiente e Perícia e Avaliações.

Jurandir Vieira Lima ⁽⁴⁾

Engenheiro Civil, Pós-Graduado em Saneamento e Meio Ambiente e MBA Gestão de Pessoas.

Endereço ⁽¹⁾: Av. Doutor Mário Tourinho, km 3,5 - Bairro Mangués - Montes Claros - MG - CEP: 39403-476 - Brasil - Tel: +55 (38) 3229-5763 - Cel: +55 (38) 99949-0333 - e-mail: leonardo.costa1@copasa.com.br.

RESUMO

Buscando seguir as diretrizes estabelecidas no Programa Integrado de Redução de Perdas de Água e de Custos de Energia Elétrica da COPASA que demonstram um claro entendimento de que a água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico e, como tal, deve ser gerenciada de forma a garantir seu uso múltiplo e racional para atender às necessidades presentes e futuras de todos os setores da sociedade.

Diversas tecnologias estão sendo desenvolvidas com o objetivo de reduzir as perdas de água. Um dos mecanismos que pode contribuir satisfatoriamente para a diminuição da perda hídrica é a utilização de válvulas redutoras de pressão que tem como principal objetivo o alcance de níveis mínimos de perdas de água em um sistema de abastecimento. Existem constatações de que a implantação de um sistema de válvulas redutoras é eficaz na diminuição dos níveis de perdas de água. Pode-se dizer que a água perdida através de vazamentos varia de forma proporcional ao nível de pressurização do sistema, ou seja, uma redução de 30% na pressão média do setor representa uma redução de 30% (ou até mais) nas perdas.

Este trabalho propõe criar um sistema de inferência fuzzy para gerenciar a pressão da água, em um DMC-41 - Distrito de Medição e Controle da COPASA de Montes Claros, através de uma válvula redutora de pressão (VRP) comandada por um sistema 3T de Controle de Perdas de Montes Claros.

O sistema fuzzy terá função de analisar a pressão e a vazão de entrada do setor e determinar o valor da pressão de saída que enviará comandos de abertura ou fechamento da válvula pelo supervisor.

Assim, este estudo tem por objetivo melhorar a eficiência da VRP usando a lógica fuzzy para gerar as pressões de saída. O setor de estudo corresponde ao DMC-41 - Distrito de Medição e Controle da COPASA de Montes Claros - MG, situado no bairro Todos os Santos.

Portanto, este estudo torna-se relevante, pois, espera-se que com o maior controle das perdas através dos procedimentos de controle de pressão com lógica fuzzy se consiga a melhoria da eficiência do sistema com a redução da frequência de arrebentamentos e a minimização dos volumes perdidos pelo sistema.

PALAVRAS-CHAVE: Lógica Fuzzy, Controle de Pressão, Perdas em Sistema de Abastecimento, Válvulas Redutoras de Pressão.

INTRODUÇÃO

Sistemas de distribuição de água.

O SAA de Montes Claros possui duas Estações de Tratamento de Água: ETA Morrinhos e ETA Juramento. A ETA Morrinhos, com capacidade nominal de $Q = 250$ l/s; e a ETA Juramento, com capacidade de 600,00l/s atendendo uma população de 421.477 habitantes, sendo que aproximadamente 40% da água produzida no sistema de abastecimento é perdida.

Definições de Perdas.

Todo sistema de abastecimento de água apresenta perdas entre a captação e a estação de tratamento de água (perdas na produção), e desta até a entrega para o consumidor (perda na distribuição), podendo ser definidas

como Perdas Reais que correspondem ao vazamento na rede de distribuição. Já as Perdas Aparentes estão relacionadas às ligações clandestinas e/ou irregulares, fraudes nos hidrômetros, erros de micromedição e macromedição, política tarifária e erros cadastrais.

Para mensuração do índice de perdas no âmbito geral do sistema de Montes Claros, ele foi parcialmente dividido em 16 Distrito de Medição e Controle - DMC com macromedidores e válvulas redutoras de pressão, integrados a um moderno sistema de automatização.

Automações em sistemas de distribuição de água.

Para a gestão do Controle de Perdas do Abastecimento de Água foi implantado um sistema de: Controle, Supervisão, Telemetria, Telecomando e Telesupervisão nas áreas dos 16 Distrito de Medição e Controle - DMC. Constitui-se característica essencial deste projeto a total integração com a tecnologia “rádio broadband wireless Canopy”, bem como a total interoperabilidade dos equipamentos, softwares e protocolos de rede de participantes.

Com criação de uma rede de dados com tecnologia “wireless” que possua as seguintes características: alta velocidade e estabilidade de transmissão de dados via rádio será possível atender a todas as necessidades de comunicação de dados em sistemas de: automação, telemetria, telecomando, telesupervisão, vigilância patrimonial, telefonia “voz sobre IP (VOIP)” e Internet wireless, com finalidade principal de controlar as vazões através dos medidores eletromagnéticos e as pressões da rede de distribuição, com a utilização das válvulas de controle. A rede deverá permitir a comunicação de todos os 16 - DMC distribuídos na área urbana da Cidade com Centro de Controle do Sistema - COS.

Software supervisor Scada

O Software Supervisor Scada permitir uma geração da Base de Dados por meio da técnica interativa em ambiente Windows, onde as características operacionais são inseridas de forma fácil para a execução de varredura, cálculos e funções de controle. O Software Supervisor tem por função: incluir os Gerenciadores de Base de Dados ISAM (em Tempo Real) e Relacional (Histórico), e possuem uma Interface Homem - máquina, geradora de relatórios, com linguagem de Controle de Processos e os com os aplicativos necessários para a atualização da Base de Dados em Tempo Real no Nível Gerencial.

Modelo Fuzzy para Controle de Perdas

Lógica fuzzy, segundo Oliveira et al (2007), é a ciência que tem por objetivo o estudo das leis do raciocínio. Diferente da Lógica Booleana que admite apenas valores booleanos, ou seja, verdadeiro ou falso, a lógica difusa ou fuzzy, trata de valores que variam entre 0 e 1. Assim, uma pertinência de 0.5 pode representar meio verdade, logo 0.9 e 0.1, representam quase verdade e quase falso, respectivamente. Na lógica Fuzzy o valor 0 é usado para indicar a completa não-pertinência de um elemento ao conjunto; já o valor 1 é utilizado para representar a completa pertinência. Os valores entre 0 e 1 são usados para representar graus de pertinência intermediários.

A lógica Fuzzy trabalha com um processo chamado fuzzificação, que significa agregar incerteza realista a conjuntos clássicos. Por exemplo: A temperatura de 50 °C pode ser transformada em uma temperatura “no entorno de” 50 °C. A fuzzificação é feita para incorporar percepções a elementos ordinários (crisp), e é realizada por meio de funções de pertinência que modelam dados sob análise. Alguns exemplos de funções de pertinência são: triangular, trapezoidal, Gaussiana, etc. As duas funções utilizadas no trabalho foram triangular e trapezoidal.

OBJETIVOS

Objetivo Geral

Desenvolver um sistema de inferência fuzzy para o controle de pressão na saída da válvula redutora de pressão, visando a redução de perdas no SAA- Sistema de Abastecimento de Água de Montes Claros/MG.

Os objetivos específicos

- Desenvolver um sistema de controle, composto por controlador Fuzzy, para modular automaticamente a VRP (válvula redutora de pressão).
- Utilizar de válvulas redutoras de pressão para melhorar a eficiência na operação do SAA.
- Criar conjunto de regras de controle com base no conhecimento operacional das redes de abastecimento.

METODOLOGIA UTILIZADA

Baseado no programa de redução de perdas a equipe de técnicos da COPASA elaborou o Diagnóstico Situacional do Sistema de Montes Claros, que indicou que havia a necessidade de implantar a automação para controle da SAA Montes Claros. O sistema já possuía macromedição de vazão e de níveis, na área de abrangência do Sistema Morrinhos nesse sentido foi priorizada a área de abrangência da ETA Morrinhos, devido ao fato de que é a parte mais antiga do SAA de Montes Claros e apresenta os maiores índices de perda de recursos hídricos. Identificou também oportunidades para melhoria do controle de pressões nas redes, com a institucionalização de pontos para medição de pressão monitora remotamente. A partir da identificação dessas oportunidades a COPASA por meio de seus técnicos e engenheiros iniciou a elaboração do projeto citado anteriormente nesse documento, que visa à modernização do sistema de abastecimento de água SAA de Montes Claros.

O projeto elaborado prevê a instalação de um sistema de inferência fuzzy, para gerenciar a pressão da água, em um DMC-41 - Distrito de Medição e Controle da COPASA de Montes Claros, através de uma válvula redutora de pressão (VRP) comandada por um sistema 3T de Controle de Perdas de Montes Claros.

O processo de inferência é um conjunto de regras que descrevem situações específicas que podem ser submetidas à análise de um painel de especialistas, e cuja inferência nos conduz a algum resultado desejado.

Uma vez feita às avaliações das proposições (regras) fuzzy, deve-se determinar o valor real da saída do sistema. Este processo chama-se defuzzificação. A defuzzificação transformar um conjunto fuzzy em um elemento do universo de discurso, ou seja, o inverso da fuzzificação. Os métodos mais utilizados são Centro de Gravidade (centro da área, C-o-A), Centro do Máximo (método de defuzzificação pelas alturas, C-o-M) e Média do Máximo (M-o-M). Neste trabalho foi utilizado o método C-o-M, onde os picos das funções de pertinência representam o universo de discurso da variável de saída são utilizados na defuzzificação. Este método é indicado para aplicações de controle em malha fechada, onde a continuidade da saída do controlador é importante para garantir a estabilidade do sistema e não ocorrer oscilações.

Modelo Proposto

O modelo fuzzy proposto, figura abaixo, é constituído de duas entradas e uma saída.

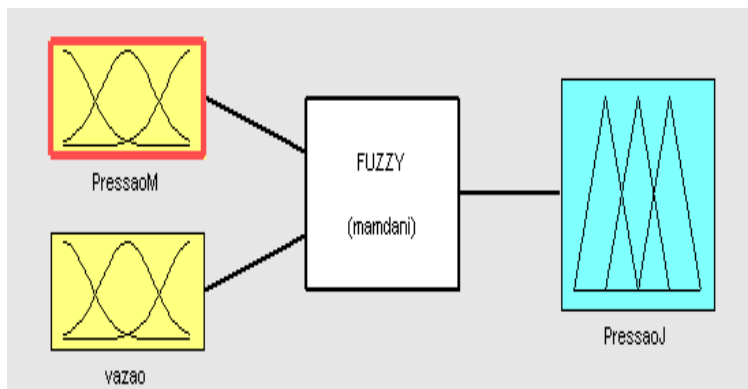


Figura 1 - Modelo fuzzy proposto.

Baseado na ideia de que o a válvula deverá controlar a pressão dentro da área trabalhada, o sistema deverá enviar comandos para abrir ou fechar a válvula. Através dos valores da pressão de saída. Por exemplo, uma das regras que o sistema deverá atender é quando a vazão for alta (o que significa alto consumo) e a pressão antes da válvula for alta (ou seja, existe disponibilidade de água). A Figura 2 mostra o esboço de uma válvula com os dados de entrada e saída. Na saída existem duas linhas, uma de regulação fixa e outra de regulação utilizando o sistema fuzzy.

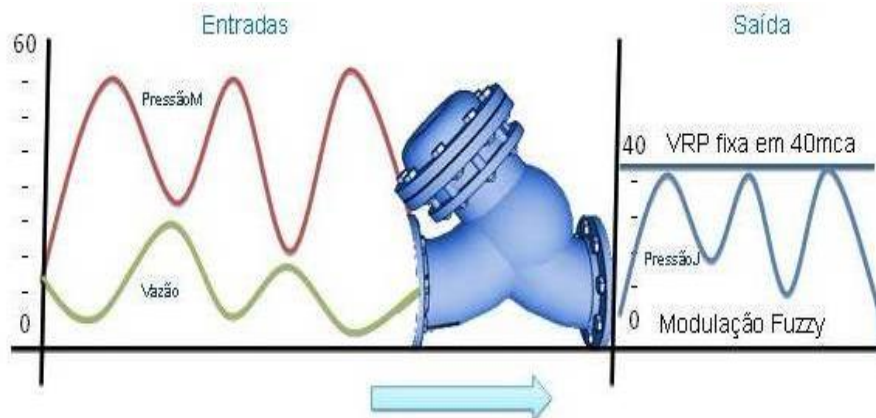


Figura 2 - Dados de entrada e saída da válvula.

PressãoM é a pressão antes da válvula, ela servirá de base para modelar a PressãoJ que será a pressão de saída após a válvula. A outra entrada é a Vazão que determina o consumo de água em um determinado momento.

PressãoM: Utiliza cinco funções de pertinência, Pressão Muito Baixa, Pressão Baixa, Pressão Média, Pressão Alta e Pressão Muito Alta. A Figura 3 mostra as funções de pertinência com domínio da variável PressãoM varia de 0 a 70. As funções de pertinência são todas triangular e trapezoidal.

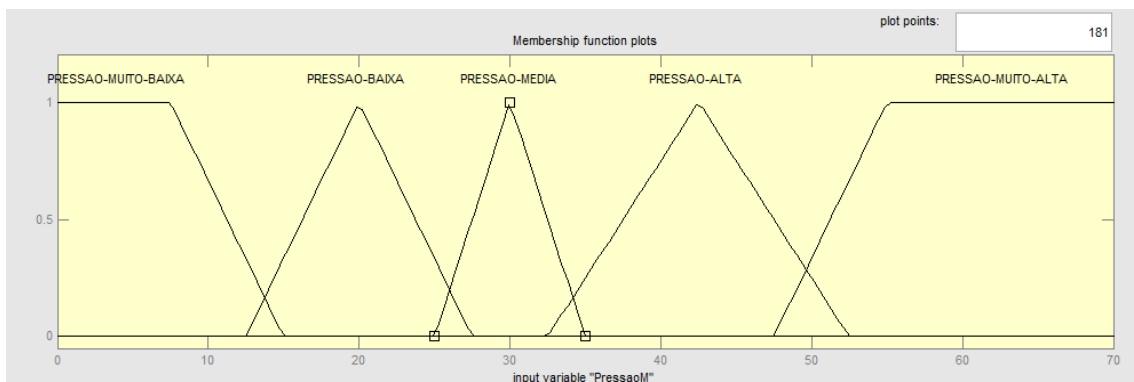


Figura 3 - Função de pertinência “PressãoM”

Vazão: Utiliza cinco funções de pertinência, Vazão Muito Baixa, Vazão Baixa, Vazão Média, Vazão Alta e Vazão Muito Alta. A Figura 4 mostra as funções de pertinência com domínio da variável Vazão varia de 0 a 50. As funções de pertinência são todas triangular e trapezoidal. A faixa de valor (0 - 50) da variável de entrada da vazão foi definida de acordo com estudos realizados onde foi definido que a vazão máxima para a região estudada não ultrapassa os 50 litros por segundo.

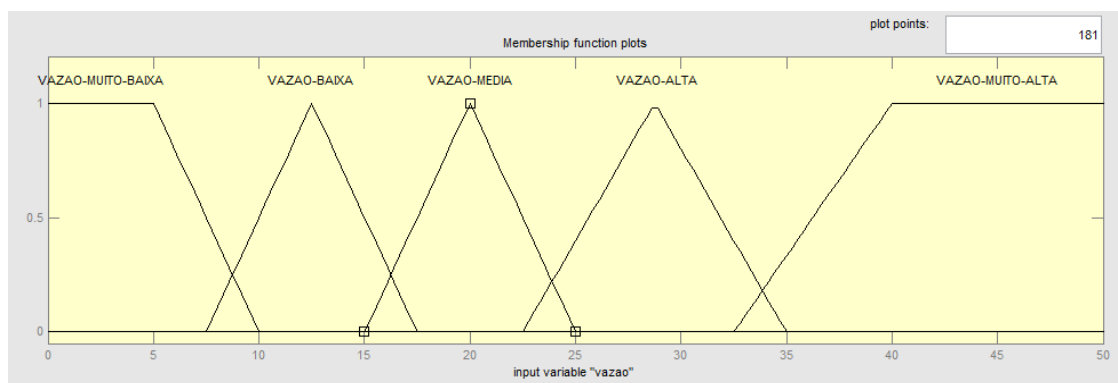


Figura 4 - Função de pertinência “vazão”

PressãoJ: Utiliza cinco funções de pertinência, Pressão Muito Baixa, Pressão Baixa, Pressão Média, Pressão Alta e Pressão Muito Alta. A Figura 3, mostra a implementação das funções de pertinência com domínio da variável PressãoM varia de 0 a 50, este valor foi obtido com medições realizadas em trabalhos anteriores, onde foi constatada que para a região estudada a pressão máxima para atender todos os clientes no horário de maior consumo é de 40 mca. As funções de pertinência são todas triangular e trapezoidal.

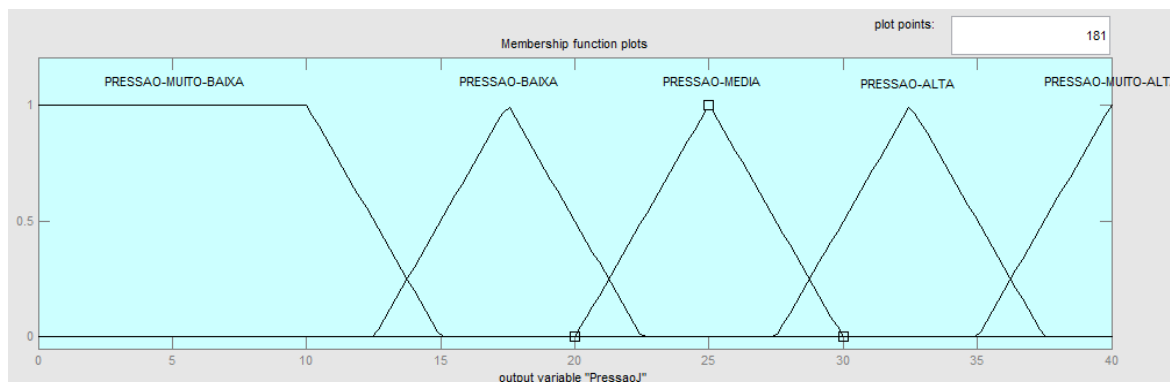


Figura 5 - Função de pertinência "PressãoJ"

Com as funções de pertinência definidas e seus respectivos valores linguísticos, foram criadas 25 regras de inferência. Essas regras foram definidas levando em conta hidráulica e na experiência na operação relacionando-a a pressão com a vazão do sistema. Na Tabela 1, estão relacionadas regras definidas para o sistema.

Regras

Tabela 1 - Regras do Sistema

1. If (Pressao M is PRESSAO_MUITO_BAIXA) and (vazao is VAZAO_MUTIO_BAIXA) then (PressaoJ is PRESSAO_MEDIA)
2. If (PressaoM is PRESSAO_MUITO_BAIXA) and (vazao is VAZAO_BAIXA) then (PressaoJ is PRESSAO_MEDIA)
3. If (PressaoM is PRESSAO_MUITO_BAIXA) and (vazao is VAZAO_MEDIA) then (PressaoJ is PRESSAO_ALTA)
4. If (PressaoM is PRESSAO_MUITO_BAIXA) and (vazao is VAZAO_ALTA) then (PressaoJ is PRESSAO_ALTA)
5. If (PressaoM is PRESSAO_MUITO_BAIXA) and (vazao is VAZAO_MUTIO_ALTA) then (PressaoJ is PRESSAO_MUITO_ALTA)
6. If (PressaoM is PRESSAO_BAIXA) and (vazao is VAZAO_MUTIO_BAIXA) then (PressaoJ is PRESSAO_MEDIA)
7. If (PressaoM is PRESSAO_BAIXA) and (vazao is VAZAO_BAIXA) then (PressaoJ is PRESSAO_MEDIA)
8. If (PressaoM is PRESSAO_BAIXA) and (vazao is VAZAO_MEDIA) then (PressaoJ is PRESSAO_ALTA)
9. If (PressaoM is PRESSAO_BAIXA) and (vazao is VAZAO_ALTA) then (PressaoJ is PRESSAO_ALTA)
10. If (PressaoM is PRESSAO_BAIXA) and (vazao is VAZAO_MUTIO_ALTA) then (PressaoJ is PRESSAO_MUITO_ALTA)
11. If (PressaoM is PRESSAO_MEDIA) and (vazao is VAZAO_MUTIO_BAIXA) then (PressaoJ is PRESSAO_MEDIA)
12. If (PressaoM is PRESSAO_MEDIA) and (vazao is VAZAO_BAIXA) then (PressaoJ is PRESSAO_MEDIA)
13. If (PressaoM is PRESSAO_MEDIA) and (vazao is VAZAO_MEDIA) then (PressaoJ is PRESSAO_ALTA)
14. If (PressaoM is PRESSAO_MEDIA) and (vazao is VAZAO_ALTA) then (PressaoJ is PRESSAO_MUITO_ALTA)
15. If (PressaoM is PRESSAO_MEDIA) and (vazao is VAZAO_MUTIO_ALTA) then (PressaoJ is PRESSAO_MUITO_ALTA)
16. If (PressaoM is PRESSAO_ALTA) and (vazao is VAZAO_MUTIO_BAIXA) then (PressaoJ is PRESSAO_MEDIA)
17. If (PressaoM is PRESSAO_ALTA) and (vazao is VAZAO_BAIXA) then (PressaoJ is PRESSAO_MEDIA)
18. If (PressaoM is PRESSAO_ALTA) and (vazao is VAZAO_MEDIA) then (PressaoJ is PRESSAO_MEDIA)
19. If (PressaoM is PRESSAO_ALTA) and (vazao is VAZAO_ALTA) then (PressaoJ is PRESSAO_ALTA)
20. If (PressaoM is PRESSAO_ALTA) and (vazao is VAZAO_MUTIO_ALTA) then (PressaoJ is PRESSAO_MUITO_ALTA)
21. If (PressaoM is PRESSAO_MUITO_ALTA) and (vazao is VAZAO_MUTIO_BAIXA) then (PressaoJ is PRESSAO_MEDIA)
22. If (PressaoM is PRESSAO_MUITO_ALTA) and (vazao is VAZAO_BAIXA) then (PressaoJ is PRESSAO_MEDIA)
23. If (Pressao M is PRESSAO_MUITO_ALTA) and (vazao is VAZAO_MEDIA) then (PressaoJ is PRESSAO_ALTA)
24. If (Pressão M is PRESSAO_MUITO_ALTA) and (vazao is VAZAO_ALTA) then (PressaoJ is PRESSAO_ALTA)
25. If (Pressao M is PRESSAO_MUITO_ALTA) and (vazao is VAZAO_MUTIO_ALTA) then (PressaoJ is PRESSAO_MUITO_ALTA)

Para a aplicação do sistema de redução de perdas no SAA, foram utilizados os seguintes procedimentos e metodologia:

- Calcular as estimativas dos volumes perdidos sem uso do sistema de controle, baseados nos dados da macro e micromedicação de acordo com a norma recomendada pela IWA (International Water Association).
- Fazer levantamento de toda a micromedicação, identificando o perfil de consumo.
- Realizar estudo de pressões e vazões na entrada do SCP e pontos estratégicos.
- Analisar o cadastro de redes com as curvas de nível do terreno e os dados de pressão para obtenção dos pontos médios e pontos críticos.
- Realizar estudo de pressões e vazões dos pontos médios e pontos críticos.
- Fazer teste do conjunto de regras criados no toolkit do MatLab para verificar a coerência da mesma.
- Desenvolver o algoritmo utilizando a lógica Fuzzy para controle da VRP (válvula redutora de pressão) e implementar no Eclipse E3 (supervisão).
- Mensurar o volume de água perdida por vazamento com sistema de controle e comparar com os resultados sem o uso do controle.

RESULTADOS OBTIDOS ou ESPERADOS

DMC-41 da COPASA de Montes Claros já operava com uma válvula redutora de pressão (VRP) comandada por um sistema 3T e com regulagem fixa de 40mca. A figura 1 demonstra perfil hidráulico piezométrico sem a VRP e com a VRP com regulagem fixa. Ainda de acordo com o gráfico 1, é possível notar o ganho significativo acompanhando apenas a vazão mínima noturna.

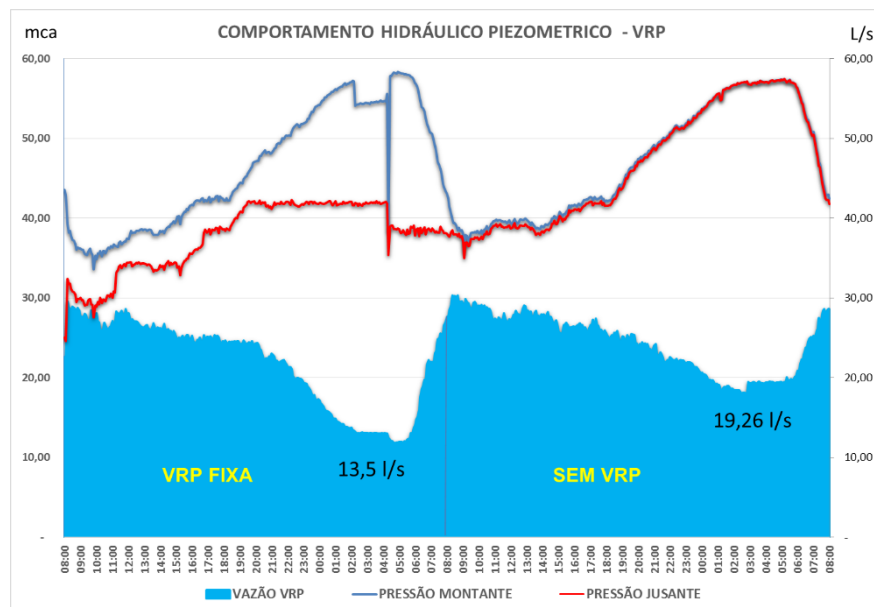


Figura 6 - Comparativo sem VRP e com VRP Fixa.

Após implementação do algoritmo Fuzzy e ativação no Sistema 3T foram realizados diversos testes, afim de medir as respostas do sistema Fuzzy. Para os testes foram utilizados dados de pressão e vazão coletados em tempo real no 3T. O período de teste compreende 24 horas, de acordo com a figura 7.

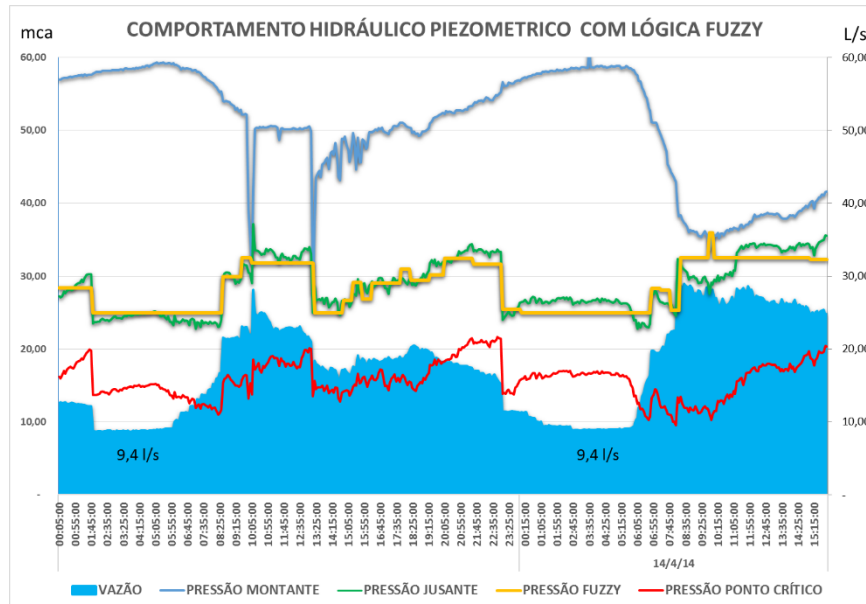


Figura 7 - Comparativo com Lógica Fuzzy.

Como pode ser observado com a utilização da lógica Fuzzy manteve as pressões no ponto crítico que possibilita atender todo o DMC com as pressões efetivamente controlada e limitada. Com a consequente diminuição do volume disponibilizado e a manutenção da infraestrutura.

O objetivo da figura 8 é mostrar as vazões mínimas noturnas em três situações distintas: sem controle de pressão, com pressão controlada fixa e principalmente com a utilização da lógica Fuzzy com modulação à partir das regras pré-definidas para esse DMC.

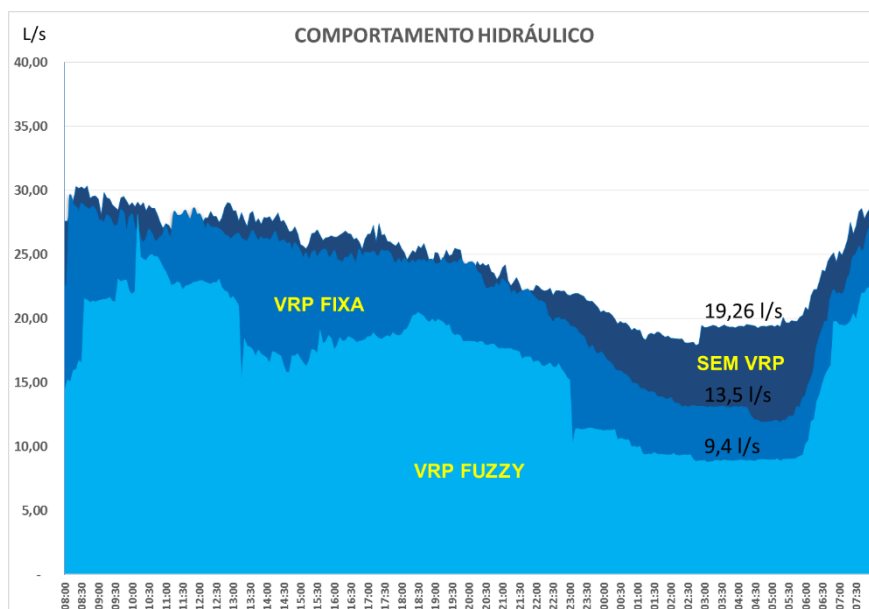


Figura 8 - Comparativo das vazões sem VRP, com VRP Fixa e VRP Fuzzy.

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

As perdas em um sistema de abastecimento, onde não existe o controle de pressão é muito maior se comparado a um sistema em que existe a válvula e um sistema de controle, neste caso foi utilizado sistema fuzzy. O gráfico abaixo demonstra esta questão.

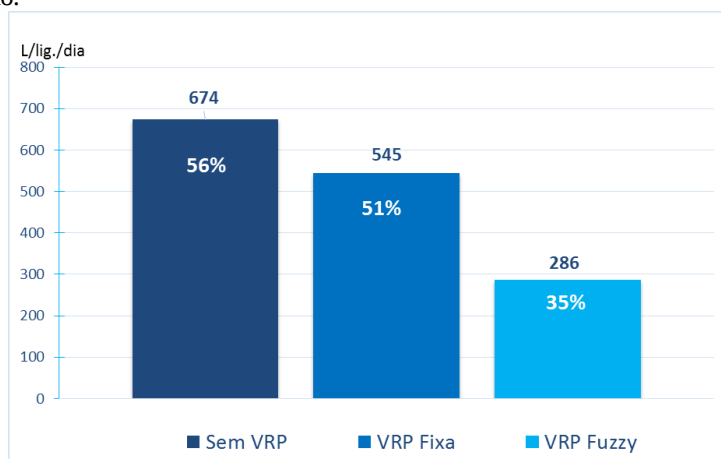


Figura 9 - Perdas do DMC-41.

O Planejamento de gestão e controle operacional visando a redução de perdas no SAA- Sistema de Abastecimento de Água é eficaz, considerando que o custo de implantação de um ponto de medição inteligente é de R\$ 50.000,00 em apenas dois meses se paga os investimentos, com redução do volume recuperado.

Tabela 02 - Análise de redução de perdas

ANÁLISES REDUÇÃO DE PERDAS - SISTEMA DISTRIBUIÇÃO - MODELO FUZZY PARA CONTROLE DE PERDAS														
	DESCRIMINAÇÃO	DADOS OPERACIONAIS		VAZAO M³			CUSTO/M³/PRODUÇÃO/SCP 41				REDUÇÃO DE CUSTO			
TEM	CONDIÇÃO	Nº Ligações	Pop.	VAZÃO l/s	VAZÃO O m³/h	VAZÃO m³/dia	VOLUME m³/mês	Custo/m³/ produção	diário	mensal	anual	diário	mensal	anual
1º	SEM VRP	1762	6608	24,36	87,71	2.105,00	65.255,00	R\$ 1,25	R\$ 2.631,25	R\$ 81.568,75	R\$ 978.825,00	0	0	0
2º	VRP- FIXA	1762	6608	21,74	78,25	1.878,00	58.218,00	R\$ 1,25	R\$ 2.347,50	R\$ 72.772,50	R\$ 873.270,00	R\$ 283,75	R\$ 8.796,25	R\$ 105.555,00
3º	VRP- FUZZY	1762	6608	16,46	59,25	1.422,00	44.082,00	R\$ 1,25	R\$ 1.777,50	R\$ 55.102,50	R\$ 661.230,00	R\$ 853,75	R\$ 26.466,25	R\$ 317.595,00

CONCLUSÕES / RECOMENDAÇÕES

A redução de perdas físicas através do controle e redução de pressões é uma ferramenta de grande eficácia por atuar na causa geradora dos vazamentos, que são as pressões elevadas e as grandes oscilações de pressões.

Porém vale salientar, que esta metodologia de controle de perdas deve ser aplicada em locais que favoreçam a sua implantação, ou seja, que apresentem topografia acidentada e de abastecimento contínuo para viabilizar a maximização de resultados, tanto em volume recuperado como em retorno do investimento.

De acordo com os resultados obtidos e com estudo feitos sobre a relação da pressão sobre os níveis de vazamento podemos concluir que o sistema reduz as perdas ocorridas através de vazamentos. Outro fator importante que o sistema atende é a diminuição das intervenções para correção da rede abastecimento. Com o controle da pressão os índices de rompimento de redes diminuem, diminuindo assim o custo geral para fornecimento de água aos clientes.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CAMBOIM, W. L. L. Aplicações de Técnicas de Controle Fuzzy para Sistemas de Abastecimento de Água.(2008) João Pessoa, Paraíba.
2. OLIVEIRA, H. A., Caldeira A. M., Machado M. A. S., Souza R. C., Tanscheit R. (2007). Inteligência computacional aplicada à administração, economia e engenharia em Matlab. São Paulo. pp. 01-67; 229-265.
3. PMSS - PROGRAMA DE MODERNIZAÇÃO DO SETOR DE SANEAMENTO. Biblioteca Virtual. Brasília, 2008. Disponível em: <<http://www.pmss.gov.br>>. Acesso em: 01 de dezembro 2022.