



# CONTROLE DE PRESSÃO DE REDES DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA UTILIZANDO LÓGICA FUZZY

**José Vinícius Santos de Araújo<sup>1</sup>, Márcio Miranda Córdoba<sup>2</sup>, Juan Moises Mauricio Villanueva<sup>3</sup>, Heber Pimentel Gomes<sup>4</sup> e Altamar Alencar Cardoso<sup>5</sup>**

<sup>1,3,4</sup>Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento LENHS, Universidade Federal da Paraíba, Cidade Universitaria, João Pessoa, Paraíba, Brasil

<sup>2,5</sup>Companhia de Água e Esgotos da Paraíba – CAGEPA, João Pessoa, Paraíba-Brasil

<sup>1</sup>jose.araujo@cear.ufpb.br <sup>2</sup>marcio.cordula@cear.ufpb.br <sup>3</sup>jmauricio@cear.ufpb.br  
<sup>4</sup>heberp@uol.com.br <sup>5</sup>altamar@cagepa.pb.gov.br

## RESUMO

As perdas hidroenergéticas inerentes à sistemas de abastecimento de água é uma problemática frequente pela qual as concessionárias de água sofrem todos os dias. O controle da pressão da rede é fundamental para a diminuição dessas perdas proporcionando abastecimento de qualidade aos consumidores, economia de água e de energia elétrica e a preservação das tubulações das redes. No entanto, para obter esses benefícios é necessário superar algumas dificuldades como fazer o sensoriamento de pressão de unidades consumidoras geograficamente distantes, mediante o desenvolvimento de uma lógica de controle que seja capaz de fazer uso dos dados destes sensores e que seja uma solução viável em termos econômicos. Nesse contexto, esse trabalho tem o propósito de desenvolver um sistema de monitoramento e controle de pressão para redes de abastecimento de água, utilizando o microcontrolador ESP8266 para coleta de dados advindo de sensores de pressão para o sistema supervisório ScadaLTS, integrado a uma solução de controle por lógica *fuzzy* desenvolvida em Python.

**Palavras-Chave:** Controle de Pressão, Lógica Fuzzy, ScadaLTS.

## 1. INTRODUÇÃO

As perdas hidroenergéticas inerentes à sistemas de abastecimento de água (SAA) são um tema de alta relevância, devido à grande quantidade de água consumida para bombeamento e as elevadas perdas de água (SILVA, 2020), principalmente considerando um contexto de escassez hídrica e de altos custos de energia elétrica (SNIS, 2018). Segundo relatório do SNIS de 2018, as perdas de água na distribuição, isto é, a diferença entre o volume produzido e o consumido, no Brasil é de aproximadamente 38,5%. No Nordeste as perdas alcançam média de 46%.

**SMART WATER:**

Transición hacia sistemas inteligentes, sostenibles y resilientes

Nesse cenário, ações que visam minimizar os prejuízos relacionados a ineficiente gestão do transporte de água mostram-se fundamentais e urgentes, sobretudo na aplicação e modernização de sistemas de controle e monitoramento capazes de otimizar as decisões operacionais. Implementação e ampliação de sistemas SCADA (*Supervisory, Control And Data Acquisition*), tecnologias IoT (*Internet of Things*) de baixo custo, modelagem do sistema via IA (Inteligência Artificial) e controles modernos são algumas das ações que podem fornecer maior eficiência operacional.

Segundo Tsutiya (2008) o controle de pressão é fundamental para a redução das perdas reais de água em um Sistema de Abastecimento de Água (SAA), por ser o principal fator que influencia o número de vazamentos e a vazão desses vazamentos. O controle de pressão também contribui para a redução do consumo energético do sistema, uma vez que os conjunto motobomba não necessitam operar sempre a plena carga devido a dinâmica variável do consumo hídrico ao longo do dia.

Dessa forma, nesse trabalho foi proposto a utilização de dispositivos IoT de baixo de custo para monitoramento de pressão na rede e lógica fuzzy para controle integrados através de um sistema supervisorio (ScadaLTS). Para sintonização dos parâmetros do controlador fuzzy foi utilizado a técnica de Redes Neurais Artificiais (RNA) como um modelo caixa-preta do sistema hidráulico.

## **2. MATERIAIS E MÉTODOS**

Com a finalidade de abordar a problemática do abastecimento em uma rede de distribuição de água, foi tomado como estudo de caso, os dados de uma estação elevatória de água (EEA) e suas unidades consumidoras da cidade de João Pessoa, Brasil. Nesta unidade tem-se como objetivo o controle da pressão de unidades consumidoras por meio da regulação da velocidade de rotação através de um inversor de frequência. Também foi implementado rotinas de controle para controlar o nível dos reservatórios por meio da regulação da abertura de válvulas elétricas do tipo borboleta.

A implementação adequada de estratégias de controle da pressão nas unidades consumidoras é justificada por: 1) Algumas empresas de abastecimento de água ainda não modernizaram seu sistema de monitoramento, de forma que muitas vezes não se tem os dados (digitalizados) sobre a pressão em tempo real nas unidades consumidoras, não havendo um parâmetro adequado para avaliar a qualidade do abastecimento; 2) Quando se tem os dados de pressão ainda resta outro problema, que é a distância da estação elevatória de água (EEA) das unidades consumidoras, o que dificulta a aferição de pressão localizado nas unidades consumidoras para um controlador localizado na EEA de maneira cabeada, impondo uma dificuldade de referência para o controlador. Dessa maneira, é comum que o controle seja realizado por um técnico que opera o sistema na função liga/desliga dos conjuntos motobomba tendo como referência o nível da compensação dos reservatórios, atuando para manter o nível da caixa d'água elevado e, conseqüentemente ter altura manométrica suficiente para abastecer a população, mas com o compromisso de se evitar o extravasamento da caixa d'água.

Tais problemáticas estão presentes na EEA R12 da CAGEPA – empresa de distribuição de água que atua na Paraíba - definida como estudo de caso, representado na Figura 1. Essa estação elevatória de água abastece a região com zonas de influência a distâncias superiores

**SMART WATER:**

Transición hacia sistemas inteligentes, sostenibles y resilientes

a 2,5 km, sendo seu principal problema de regulação da pressão durante o período noturno, quando a demanda por água cai fortemente, provocando um rápido crescimento de pressão na rede e, conseqüentemente, possibilitando o rompimento das tubulações com frequência.



Figura 1: Sistema hidráulico do estudo de caso: EEA R12 e sua zona de influencia

**2.1 MATERIAIS**

Todos os equipamentos envolvidos no processo de controle da EEA R12 são monitorados no sistema supervisório, conforme pode ser visto na Figura 2. Dos elementos presentes, tem-se 2 reservatórios apoiados, 1 reservatório elevado, 2 válvulas analógicas, 2 inversores de frequência, 2 conjuntos motobomba e sensores de pressão localizados em unidades de consumidoras. A conexão entre os equipamentos da elevatória ao sistema de controle e supervisão foram feitas utilizando um controlador lógico programável (CLP) da Siemens da linha S7-1200 e microcontroladores ESP8266.

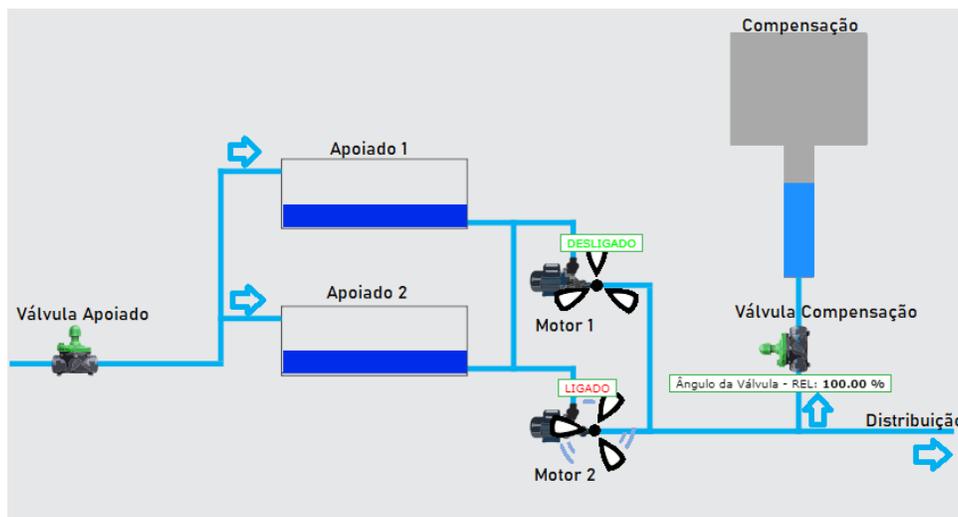


Figura 2: Representação da EEA R12 na tela do ScadaLTS.

**SMART WATER:**

Transición hacia sistemas inteligentes, sostenibles y resilientes

## 2.2 MÉTODOS

Para o desenvolvimento do sistema de controle, foram realizadas as seguintes etapas:

1. Leitura e aquisição de sensores e atuadores
  - a. Sensores hidrostáticos localizados na rede de distribuição utilizando o microcontrolador ESP8266. Nessa etapa são utilizadas tecnologias de internet das coisas IoT para a comunicação de dados ao centro de controle por meio da internet.
  - b. Sensores hidrostáticos, válvulas e inversores de frequência localizados na EEA via CLP S7-1200. Nessa etapa são utilizadas rotinas de programação de controladores lógicos programáveis (CLP).
2. Controle remoto
  - a. Modelagem do sistema utilizando redes neurais artificiais (RNA) por meio de dados históricos em Python. Nesta etapa a modelagem do sistema é usada para o projeto do controlador inteligente em computador.
  - b. Desenvolvimento do controlador *fuzzy* em Python; A construção deste controlador demanda a extração do conhecimento do especialista em uma linguagem natural, baseado em regras.
  - c. Validação do controle *fuzzy* sobre modelo em RNA. Nesta etapa a validação foi realizada em computador, e com dados históricos do sistema;
  - d. Leitura de dados em tempo real do ScadaLTS. O supervísório ScadaLTS foi escolhido por ser um software livre e com funcionalidades que atendem ao problema de abastecimento de água.
  - e. Envio de dados para o ScadaLTS após passagem pelo controlador *fuzzy*. Nesta etapa os dados dos sensores são comparados com o valor desejado da pressão (set point), e a diferença é processada pelo controlador *fuzzy* para gerar um sinal de atuação necessária para modificar a velocidade de rotação do conjunto motor bomba, por meios dos inversores de frequência.

Na Figura 3, é possível observar o esquemático de controle proposto, demonstrando como cada elemento do processo está envolvido no objetivo final de controle de pressão na rede de distribuição. É importante observar o papel central do sistema supervísório como uma alternativa de integrar todos os elementos do sistema.

**SMART WATER:**

Transición hacia sistemas inteligentes, sostenibles y resilientes

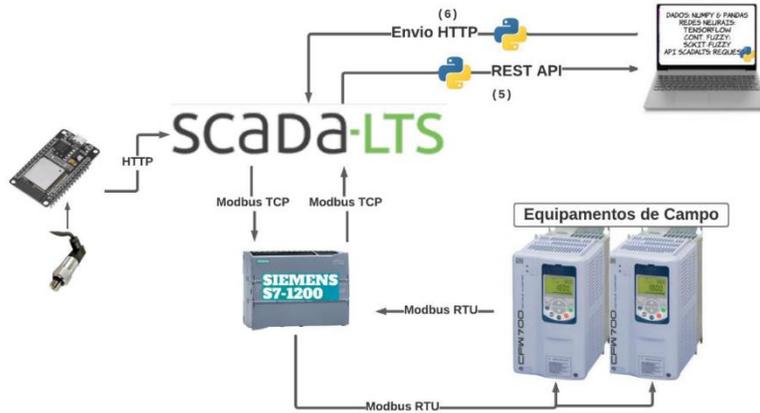


Figura 3: Esquemático da solução de controle proposta.

### 3. RESULTADOS

Para a criação do modelo do sistema do EEA R12 foi utilizado todas as variáveis disponíveis:

- Nível de água dos reservatórios;
- Pressão na unidade consumidora nas localidades Cidade Verde e Três Lagoas;
- Frequência de rotação dos inversores 1 e 2;
- Tempo acumulado ao longo do dia.

Com essas variáveis como entradas e a pressão na unidade consumidora “Cidade Verde” como saída, o desempenho do modelo caixa preta do sistema hidráulico, baseado em redes neurais, obteve como resultado um erro quadrático médio de 0,0473 e um erro percentual médio de 2,7951%, considerado valores positivos uma vez que não foi realizado um trabalho de limpeza de dados faltantes e *outliers*.

Tendo o resultado do modelo baseado em redes neurais conquistado um desempenho satisfatório, foi realizado o processo de sintonização dos parâmetros do controlador *fuzzy*-PD. Este controlador tinha como objetivo fazer incrementos/decrementos na frequência de rotação dos motores baseado no erro e na taxa de variação do erro em relação a pressão de set-point (pré-determinada a ser igual 9 mca). Dessa forma, foi ajustado e avaliado os parâmetros nebulosos (regras *fuzzy* e os conjuntos *fuzzy*) para o controle da pressão da unidade consumidora, de maneira a aprimorar os incrementos/decrementos da frequência de rotação do inversor de frequência para operarem apropriadamente.

Uma vez realizada a sintonização dos parâmetros do controlador *fuzzy*, aplicou-se a solução proposta na rede hidráulica, substituindo a operação de controle vigente pelo controle *fuzzy*. Para comparar ambas as lógicas de controle, as duas operaram simultaneamente com a diferença de que apenas a lógica *fuzzy* atuava sobre os inversores de frequência, enquanto a outra apenas era registrada. Como resultado de um dia de operação, o controlador *fuzzy* se demonstrou mais veloz do que seu concorrente, diminuindo mais rapidamente a velocidade de rotação do conjunto motobomba quando detectado um aumento de pressão na rede, conforme pode ser visto na Figura 4.

## SMART WATER:

Transição hacia sistemas inteligentes, sostenibles y resilientes

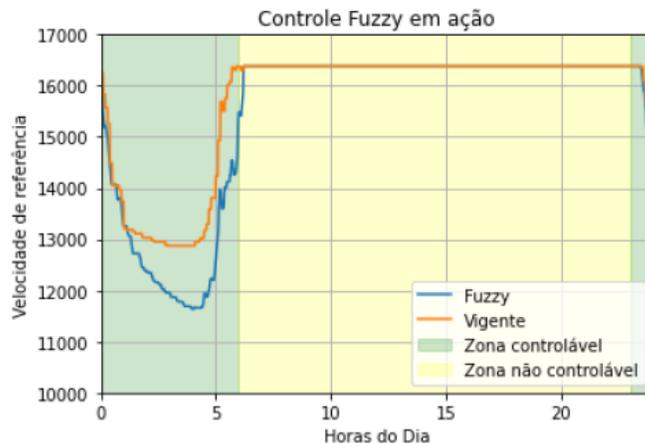


Figura 4: Operação do controle Fuzzy.

Na Figura 5 é apresentado o comportamento da variável de saída (pressão na unidade “Cidade Verde”) durante um dia de operação. É possível notar que o controle proposto foi capaz de manter a pressão na rede próxima ao set-point desejado, menos durante o período do dia não-controlável que, devido a limitação do sistema hidráulico, não é possível alcançar a pressão de set-point durante os horários de picos de consumo de água, mesmo aplicando à velocidade máxima de rotação nos inversores.



Figura 5: Resposta da rede hidráulica para o controle fuzzy.

#### 4. CONCLUSÕES

A modelagem da rede hidráulica através de algumas poucas variáveis foi capaz de fornecer ótimo embasamento para a sintonização do controlador *fuzzy*, se apresentando como uma ferramenta eficiente para parametrização de suas variáveis, diminuindo a exposição ao risco da rede de abastecimento a um comportamento de controle inesperado.

Por sua vez, o controlador *fuzzy* teve um alto desempenho para o controle da pressão da unidade consumidora, em um cenário de uma rede de abastecimento de água real, atuando principalmente no horário de baixo consumo que é o período mais importante no que se refere

**SMART WATER:**

Transición hacia sistemas inteligentes, sostenibles y resilientes

a evitar o rompimento de tubulações devido ao crescimento excessivo de pressão na rede. Desta forma, foi possível diminuir as frequências das rupturas de tubulações na região por excesso de pressão e inserir ações de eficiência energética no sistema de abastecimento de água.

A solução proposta desenvolvida, desde a parte de monitoramento até a implementação do sistema de controle integrado ao sistema supervisorio utilizado pela CAGEPA satisfaz a empresa, uma vez ter sido constatado, segundo relatos da própria, redução brusca da frequência de rompimento das tubulações, que ocorriam principalmente no período da noite quando o consumo se reduz drasticamente e, conseqüentemente, a pressão se elevava a ponto de romper as tubulações.

## **AGRADECIMENTOS**

À Companhia de Abastecimento de Água da Paraíba - CAGEPA - pelo trabalho conjunto realizado para otimização do sistema de controle de pressão da cidade.

Este trabalho foi financeiramente apoiado pela FAPESQ/PB – Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado da Paraíba, Brasil, através do projeto Eficiência Energética e Controle de Perdas de Água em Sistemas de Abastecimento Urbano.

### **Nomenclatura**

SAA	Sistema de Abastecimento de Água
SCADA	Supervisory, Control and Data Acquisition
IoT	Internet of Things
IA	Inteligência Artificial
RNA	Redes Neurais Artificiais
EEA	Estação Elevatória de Água
CLP	Controlador Lógico Programáveis

## **REFERÊNCIAS**

- [1] SILVA, E. D. C. Eficientização Energética para um Sistema de Distribuição de Água. 2020. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – UFPB/CT – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2020.
- [2] SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO, Ministério do Desenvolvimento Regional. 24º Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto. Brasília, 2018.

**SMART WATER:**

Transición hacia sistemas inteligentes, sostenibles y resilientes

[3] TSUTIYA, Milton Tomoyuki. Abastecimento de água: Gerenciamento de Perdas de Água e Energia Elétrica em Sistema de Abastecimento: guia do profissional em treinamento: nível 2. Salvador: ReCESA, 2008.