

## EMPREGO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA REDUÇÃO DE PERDAS REAIS COM MONITORAMENTO DE PRESSÃO

**Evelyn Cristiane Valladares<sup>(1)</sup>**

Mestranda em Recursos Hídricos, Energéticos e Ambientais pela Universidade Estadual de Campinas.

**Daniel Manzi<sup>(2)</sup>**

Doutor em Recursos Hídricos, Energéticos e Ambientais pela Universidade Estadual de Campinas.

**André Luís Sotero Salustiano Martim<sup>(3)</sup>**

Professor Doutor na Universidade Estadual de Campinas.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Av. Darci Carvalho Dafferner, 151, Apto 304 bloco 6 – Boa Vista - Sorocaba - SP - CEP: 18085-850 - Brasil - Tel: +55 (15) 99777-8600 - e-mail: [evelyn.valladares39@gmail.com](mailto:evelyn.valladares39@gmail.com)

### RESUMO

Este artigo aborda a importância da gestão e controle das perdas de água nos sistemas de abastecimento, que são essenciais para uma distribuição eficiente. Essas perdas podem ser divididas em dois tipos: perdas aparentes, resultantes de consumos não contabilizados, e perdas reais, relacionadas a vazamentos nas redes e ramais prediais. No tocante às perdas reais, a identificação e reparo ágil dos vazamentos são fundamentais para minimizar o volume de água perdido. Cada tipo de vazamento passa por estágios de aviso, locação e reparo, sendo crucial reduzir o tempo entre eles. O monitoramento e gerenciamento das redes de distribuição representam desafios para as companhias de abastecimento, que devem buscar eficiência operacional e utilizar dados para identificar oportunidades de melhoria. Nesse contexto, este estudo de caso explora como o reconhecimento de padrões hidráulicos, por meio de informações geradas pelos sistemas de abastecimento, permitiu identificar problemas operacionais de forma rápida e segura, reduzindo a Vazão Mínima Noturna em 50% e 70% em dois setores avaliados, provando que a utilização de inteligência artificial e aprendizado de máquina auxilia na construção de uma base de dados e na caracterização de perfis, enquanto o monitoramento de indicadores avalia o tempo de resposta na redução das perdas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Gestão de perdas, perdas reais, Inteligência Artificial.

### INTRODUÇÃO

A gestão e controle de perdas nos sistemas de abastecimento de água são de extrema importância para garantir eficiência na distribuição. Em linhas gerais, “as perdas de água do sistema de abastecimento correspondem à diferença entre o volume total de água produzido nas estações de tratamento e a soma dos volumes medidos nos hidrômetros instalados nos imóveis dos clientes” (SABESP, 2023) e podem ser categorizadas em perdas aparentes e perdas reais.

As perdas aparentes, por sua vez, são aquelas resultantes de volumes de água não contabilizados e consumidos pela população, causados por ligações clandestinas ou irregulares, ligações sem hidrômetro, hidrômetros danificados ou com dimensionamento incorreto, além de fraudes.

As perdas reais correspondem aos vazamentos presentes nas redes de distribuição, ramais e conexões, bem como o transbordamento de reservatórios e a utilização excessiva de água para limpeza ou esvaziamento de redes durante a realização de manutenção. Os vazamentos podem ser classificados em três categorias:

- Vazamentos visíveis: são aqueles que emergem na superfície e são comunicados pela população ou detectados pela empresa fornecedora de água;
- Vazamentos invisíveis: são os vazamentos que não são perceptíveis na superfície, mas podem ser localizados por meio de equipamentos de detecção acústica;
- Vazamentos inerentes: são os vazamentos que não afloram na superfície e não podem ser identificados por equipamentos de detecção acústica.

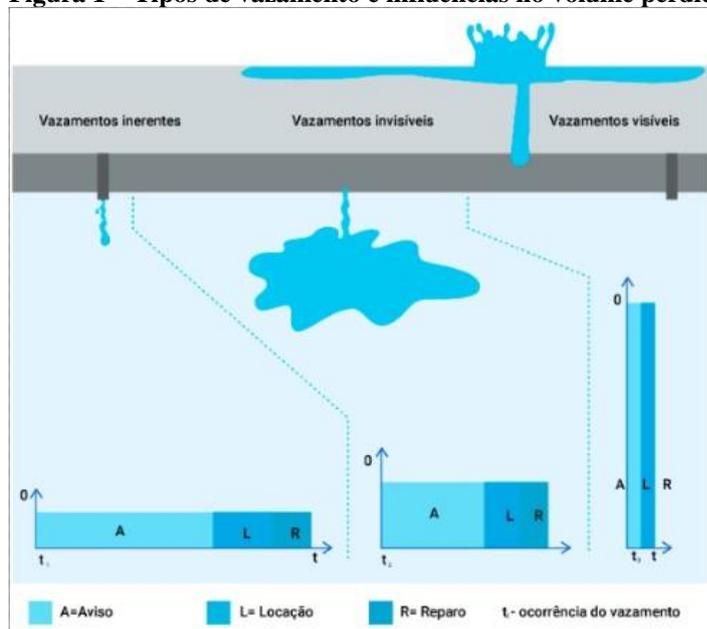
Anualmente o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) coleta informações e produz diagnósticos sobre o cenário brasileiro e cujos reportes trazem que, no ano de 2021 o Brasil alcançou um índice de 40,25% de

água perdida em relação à produzida no país, equivalente a 333,93 litros/ramal/dia (SNIS, 2023). Essas perdas representam um desperdício de água tratada, energia e recursos financeiros utilizados para seu fornecimento, além de causarem danos ambientais, como a redução da disponibilidade de água para outros usos, a deterioração dos ecossistemas aquáticos e podem também contribuir para a escassez hídrica.

Com a atualização da Lei de Saneamento (14.026/2020), o tema ganhou ainda mais foco tendo, entre as principais orientações, o destaque para medidas direcionadas à redução das perdas de água, estabelecendo a necessidade de cumprimento de metas e a definição de ações para sua redução gradual e controle. Por meio do Decreto Federal nº 10.588/2020, o Governo Federal estabeleceu as regras para regularizar operações e fornecer apoio técnico e financeiro conforme estipulado pelas leis que estabelecem as diretrizes nacionais para o saneamento básico (Leis nº 11.445/2007 e nº 14.026/2020). Ainda neste sentido, a Portaria nº 490/2021 do Ministério do Desenvolvimento Regional determinou que o Indicador de Perdas de Água na Distribuição (IPD) será o instrumento utilizado para comprovar se um município está habilitado a receber recursos federais.

Cada tipo de vazamento tem sua influência no volume de água perdido e são divididos em “tempos de vazamento”, que é o período em que um vazamento de água está ativo antes de ser detectado e reparado e pode ser dividido em três etapas: aviso (consciência da existência do vazamento), locação (identificação do local onde o vazamento se encontra), reparo (manutenção e solução do vazamento) (GIZ, 2011 apud Manzi, 2020), conforme apresenta a Figura 1.

**Figura 1 – Tipos de vazamento e influências no volume perdido**



Fonte: GIZ (2011) apud Manzi (2020)

A redução desses tempos é fundamental para a gestão de perdas de água, pois quanto mais rápido os vazamentos são identificados e consertados, menores serão os volumes de perdas físicas e seus impactos negativos associados.

Cada sistema de abastecimento de água possui suas complexidades e características particulares em relação às perdas, que variam espacial e temporalmente. Por este motivo é essencial a rotina do monitoramento e gerenciamento das redes de distribuição. Um desafio para as empresas responsáveis pelo abastecimento de água é a estruturação do instrumental e equipes em campo para uma melhor eficiência operacional, além da geração de dados e interpretação para melhor compreensão dos pontos de melhorias para desenho de planos de ação.

## OBJETIVOS

Este estudo de caso, apresenta como a utilização de informações das grandezas hidráulicas geradas pelos próprios sistemas de abastecimento de água, por meio do reconhecimento de seus padrões, permite identificar problemas

operacionais com velocidade e segurança, reduzindo perdas e seus custos operacionais – inclusive de controle das perdas – com destaque aos seguintes objetivos específicos:

- Desenvolvimento e validação de métodos de localização de não conformidade nas redes de distribuição através de monitoramento de pressão;
- Utilização de Inteligência Artificial e Aprendizado de Máquina para construção de base de dados e caracterização de perfis;
- Monitoramento de indicadores para avaliação do tempo de resposta na redução de perdas.

### **METODOLOGIA UTILIZADA**

A metodologia de estudo consiste na avaliação, instrumentação e análise de dados gerados em dois setores reais de abastecimento de água.

Em cada um dos setores foram instalados sensores de monitoramento de pressão *IoT (Internet of Things)*, sendo que para definição dos pontos ótimos de instalação foram realizados testes de sensibilidade levando em consideração a distância entre os nós da rede e diâmetro das tubulações, visando maximizar a relevância dos dados gerados por cada sensor.

O primeiro caso se refere a um setor de abastecimento com 17,3 km de extensão de redes e que abastece 2.003 ligações de água. Situado em uma cidade no interior do estado de São Paulo, com aproximadamente 125 mil habitantes, neste setor em particular foram instalados 12 sensores de monitoramento de pressão. A Figura 2 apresenta a delimitação do setor e a Figura 3 os pontos onde foram instalados os sensores.

**Figura 2 – Delimitação do setor 1 de estudo**



Fonte: Acervo do autor (imagem de satélite *Google Earth*)

**Figura 3 – Pontos de instalação dos sensores (setor 1)**



Fonte: Acervo do autor (imagem de satélite *Google Earth*)

O segundo caso de estudo aconteceu em um setor de abastecimento com cerca de 11,4 km de extensão de redes, abastecendo 931 ligações de água e localizado na região metropolitana de Curitiba – PR. Neste setor, foram instalados 40 sensores de monitoramento de pressão. A Figura 4 apresenta a delimitação do setor e a Figura 5 os pontos onde foram instalados os sensores.

**Figura 4 – Delimitação do setor 2 de estudo**



Fonte: Acervo do autor (imagem de satélite *Google Earth*)

**Figura 5 – Pontos de instalação dos sensores (setor 1)**



Fonte: Acervo do autor (imagem de satélite *Google Earth*)

Os sensores de pressão enviaram informações remotamente através de conectividade *LoRaWan*, cujos dados são coletados a cada 15 minutos e enviados a cada 8 horas para sistema acessado via URL com as análises detalhadas de cada setor. Foram disponibilizados pelas Companhias responsáveis pela operação dos setores: os cadastros técnicos com mapeamento das redes de distribuição; curva de nível dos terrenos; informações de vazão de entrada do setor que foram acessadas e atualizadas periodicamente de forma remota.

De acordo com a equação de Bernoulli (Equação 1), com as informações de pressão e cota do terreno é possível determinar a carga piezométrica (PORTO, 2006), em cada ponto monitorado:

$$p/\gamma + z$$

Equação (1)

Onde:

$p/\gamma$  (m) - carga de pressão

$z$  (m) - carga de posição

Ao analisar a carga piezométrica, é possível observar que a pressão diminui à medida que a água se desloca ao longo da rede de distribuição por conta da perda de carga. No entanto, quando um vazamento ocorre em algum ponto da rede, a pressão diminui de forma mais acentuada na área afetada. Utilizando essa informação, é possível mapear o plano piezométrico e identificar locais onde a queda de pressão é mais significativa, indicando a possível presença de vazamentos próximo aos pontos de monitoramento onde houveram deslocamentos.

Avaliando os padrões presentes no conjunto de dados foi possível utilizar técnicas de Aprendizado de Máquina com Inteligência Artificial (IA), para criar modelos que possam realizar previsões ou classificações. Esse processo envolve a análise minuciosa dos dados de treinamento, procurando por correlações e estabelecendo relações entre as diferentes variáveis. Por meio dessa abordagem, o aprendizado de máquina é capaz de extrair percepções valiosas e úteis para auxiliar o trabalho do gestor e trazer alarmes de eventos suspeitos identificados.



**Figura 8 – Mapa da carga hidráulica – evento 2 - antes x depois (Setor 1)**



Fonte: Acervo do autor

Em um terceiro evento, detectado no dia 21 de fevereiro de 2023, ocorreu uma queda acentuada na carga hidráulica em todos os sensores, exceto no sensor de referência localizado na entrada do setor. Essa situação se deu pela existência de um problema operacional que resultou no desabastecimento do setor. No entanto, o abastecimento foi restabelecido no dia seguinte. A Figura 9 ilustra o mapa da carga hidráulica durante o período de desabastecimento e após a retomada do fornecimento.

**Figura 9 – Mapa da carga hidráulica – evento 2 - antes x depois (Setor 1)**



Fonte: Acervo do autor

No mês de março de 2023 também foram identificados três eventos caracterizados como suspeitos. A Figura 10 apresenta destacado cada um deles:

**Figura 10 – Gráfico da carga hidráulica durante a Vazão Mínima Noturna e eventos identificados – março/2023 (Setor 1)**



Fonte: Acervo do autor

O quarto evento aconteceu no dia 01 de março de 2023, quando surgiu um vazamento visível na rede de distribuição de 60mm de diâmetro. O reparo ocorreu no dia seguinte e o setor voltou para o equilíbrio nas cargas hidráulicas conforme apresenta na Figura 11.

**Figura 11 – Mapa da carga hidráulica – evento 4 - antes x depois (Setor 1)**



Fonte: Acervo do autor

Logo após o reparo realizado no quarto evento, um quinto evento ocorreu em um local próximo. Novamente, tratava-se de um vazamento visível em uma rede de distribuição e o reparo pôde ser efetuado logo no dia seguinte. A Figura 12 mostra que, nesse caso, houve uma alteração mais significativa na carga hidráulica próxima à região do vazamento em comparação com o evento anterior.

**Figura 12 – Mapa da carga hidráulica – evento 5 - antes x depois (Setor 1)**



Fonte: Acervo do autor

No dia 24 de março de 2023 ocorreu um sexto evento, também com o reparo realizado no dia seguinte. Nesse caso, tratava-se de um vazamento em uma rede de distribuição com 60mm de diâmetro. Conforme demonstrado na Figura 13, no mapa da carga hidráulica anterior ao reparo, a região do vazamento foi claramente identificada como a mais afetada, e devido à magnitude do vazamento, toda a carga hidráulica do setor foi impactada.

**Figura 13 – Mapa da carga hidráulica – evento 6 - antes x depois (Setor 1)**



Fonte: Acervo do autor

No mês de maio de 2023 foi identificado mais um evento caracterizado como suspeito, conforme Figura 14.

**Figura 14 – Gráfico da carga hidráulica durante a Vazão Mínima Noturna e eventos identificados – maio/2023 (Setor 1)**



Fonte: Acervo do autor

Neste sétimo evento identificado, houve o rompimento de um ramal, resultando no desabastecimento da residência local. Esse incidente também afetou significativamente a carga hidráulica de uma grande parte do setor, como ilustrado na Figura 15.

**Figura 15 – Mapa da carga hidráulica – evento 7 - antes x depois (Setor 1)**

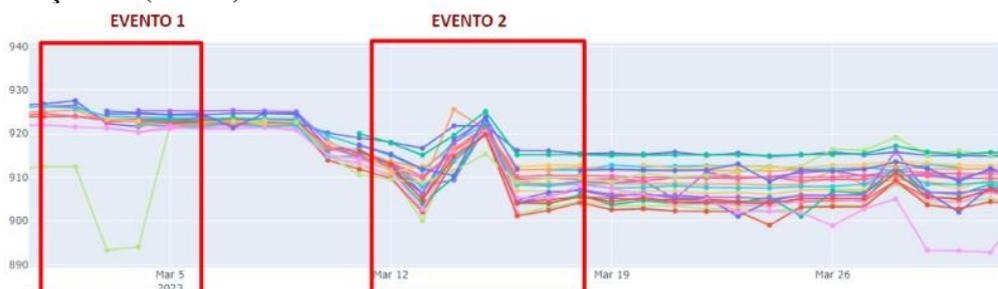


Fonte: Acervo do autor

### Setor 2:

Com o início do monitoramento dos sensores IoT instalados no Setor 2, foram identificados primeiros eventos logo no início do mês de março de 2023, como ilustra a Figura 16.

**Figura 16 – Gráfico da carga hidráulica durante a Vazão Mínima Noturna e eventos identificados – março/2023 (Setor 2)**



Fonte: Acervo do autor

Neste setor, o primeiro evento ocorreu devido a um vazamento em uma rede de distribuição de 50mm, sendo reparado entre os dias 04 e 05 de março. A Figura 17 mostra a localização do vazamento e a carga hidráulica afetada. Após o reparo, o setor alcançou um equilíbrio nas cargas hidráulicas.

**Figura 17 – Mapa da carga hidráulica – evento 1 - antes x depois (Setor 1)**



Fonte: Acervo do autor

Em 15 de março de 2023, a válvula redutora de pressão (VRP) foi restaurada no setor, e o evento 2, destacado na Figura 16, ilustra o comportamento das cargas hidráulicas nessa situação.

Em um terceiro evento, após o recebimento de um alerta sobre uma região suspeita, a equipe da Companhia responsável conduziu uma pesquisa de vazamentos e encontrou um vazamento não visível em uma rede de 40mm. A Figura 18 destaca a localização do vazamento e o impacto na carga hidráulica do setor antes e depois do reparo.

**Figura 18 – Mapa da carga hidráulica – evento 3 - antes x depois (Setor 1)**



Fonte: Acervo do autor

Para avaliação dos impactos nas perdas de água obtidos após período do estudo, foram utilizados os seguintes indicadores:

- **Vazão Mínima Noturna (VMN):** A vazão mínima noturna é uma informação estratégica utilizada no setor de abastecimento de água para auxiliar no reconhecimento de vazamentos em redes de distribuição. Essa abordagem consiste em analisar o fluxo de água durante as horas de baixo consumo, geralmente durante a madrugada, quando a demanda é reduzida. É dividida em três componentes: consumo noturno; perda real e

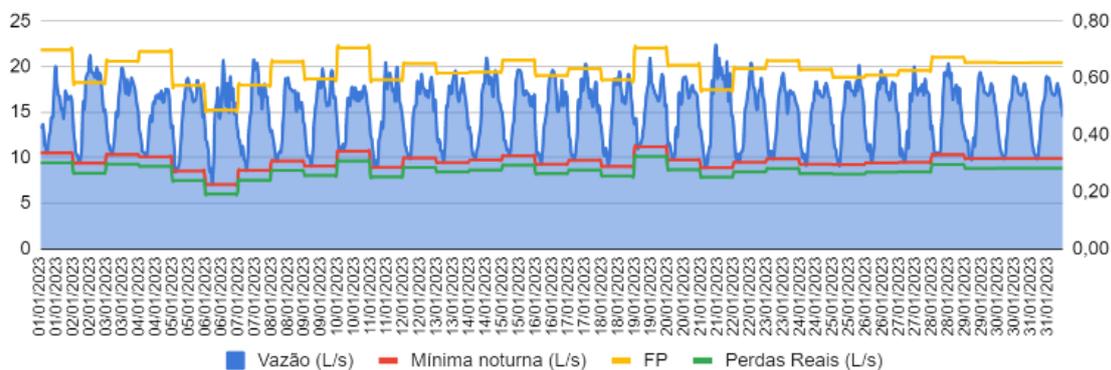
perda inerente. Caso seja observada uma vazão significativa nesses momentos, pode indicar a presença de novos vazamentos não visíveis ou outros problemas operacionais.

- Fator de Pesquisa (FP): O fator de pesquisa é calculado dividindo a VMN pela vazão média diária – quando superior a 0,3 e quanto mais próximo de 1,0 o resultado, maiores são os indícios da presença de vazamentos ou perdas físicas na rede.
- Vazão de Perdas Reais (PR): Uma componente da Vazão Mínima Noturna, para sua determinação deve-se conhecer o consumo noturno e perdas inerentes da área de interesse, bem como a pressão média operacional.

Para ambos os setores de análise foram calculados os indicadores com referência de Janeiro/2023 (antes do estudo) e Maio/2023 (depois do estudo).

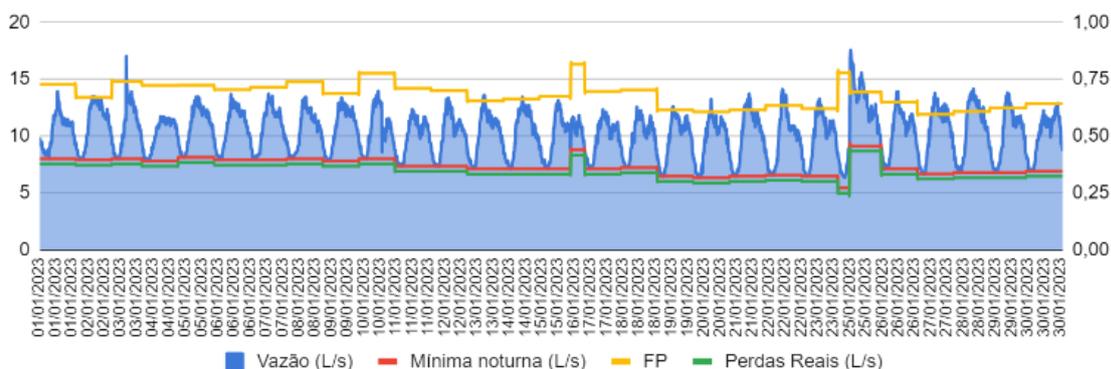
No início do estudo, em janeiro de 2023, foi observado por meio da Figura 19 e na Figura 20 que os setores em análise apresentavam Fator de Pesquisa elevado: o setor 1 variando entre 0,6 e 0,7 e o setor 2 na ordem de 0,7. Também, a Vazão Mínima Noturna registrada no setor 1 estava acima de 10 L/s e, no setor 2, acima de 7 L/s.

**Figura 19 – Gráfico de indicadores: VMN, FP e PR – Referência janeiro/2023 – Setor 1**  
Setor 1 - Dados referentes a Janeiro/2023



Fonte: Acervo do autor

**Figura 20 – Gráfico de indicadores: VMN, FP e PR – Referência janeiro/2023 – Setor 2**  
Setor 2 - Dados referentes a Janeiro/2023



Fonte: Acervo do autor

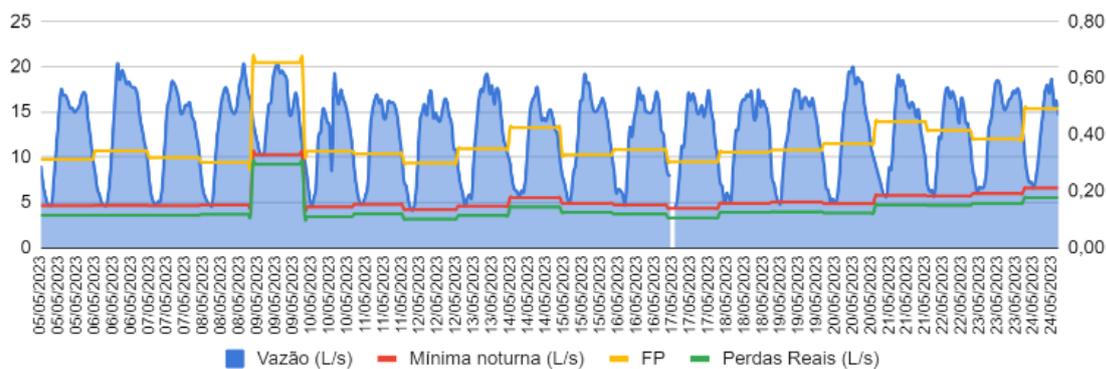
Em maio de 2023, após o monitoramento e intervenções realizadas, foi possível fazer uma análise comparativa dos dados atuais, demonstrados nas Figura 21 e 22, com os dados anteriores apresentados na Figuras 19 e 20, com impacto significativo nos indicadores de perdas de água destes sistemas de distribuição de água.

O Fator de Pesquisa, que é utilizado para avaliar a presença de vazamentos, apresentou uma redução considerável, passando de uma média de 0,7 para 0,4, nos dois setores de estudo, o que indica uma melhoria na

eficiência do sistema, com uma diminuição na probabilidade de existência de vazamentos ocultos e perdas reais de água. Essa redução no Fator de Pesquisa é um indicativo positivo de que as intervenções realizadas foram eficazes.

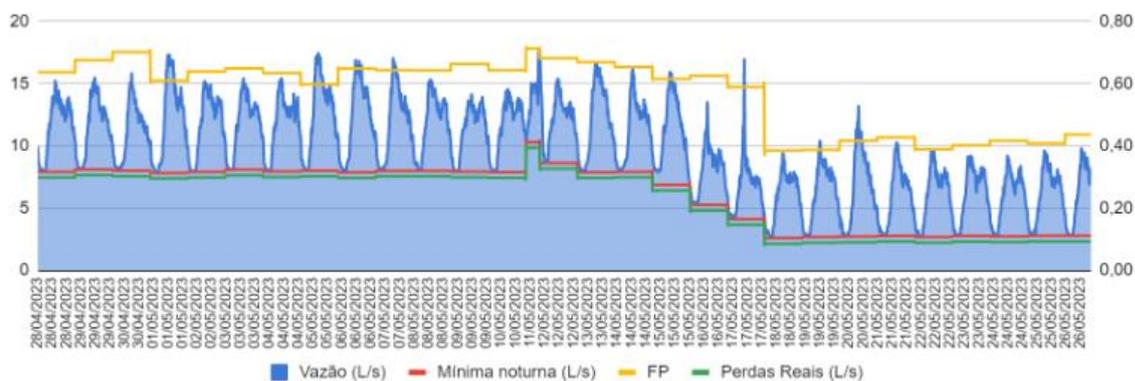
Além disso, a Vazão Mínima Noturna, outro importante indicador de vazamentos durante períodos de baixo consumo, apresentou uma queda considerável no setor 1 de 10 L/s para 5 L/s (50%) e, no setor 2, de 7 L/s para cerca de 2 L/s (70%), o que representa uma economia de água significativa e contribui para a sustentabilidade do abastecimento de água, evitando desperdícios e garantindo uma utilização mais eficiente dos recursos hídricos.

**Figura 21 – Gráfico de indicadores: VMN, FP e PR – Referência maio/2023 – Setor 1**  
Setor 1 - Dados referentes a Maio/2023



Fonte: Acervo do autor

**Figura 22 – Gráfico de indicadores: VMN, FP e PR – Referência maio/2023 – Setor 2**  
Setor 2 - Dados referentes a Maio/2023



Fonte: Acervo do autor

Esses resultados demonstram que as intervenções realizadas foram efetivas na redução das perdas de água no sistema de distribuição. É importante ressaltar que a análise comparativa dos dados atuais com os dados anteriores é fundamental para avaliar o progresso das ações implementadas e identificar áreas de melhoria contínua. A redução do Fator de Pesquisa e da Vazão Mínima Noturna são indicadores positivos que evidenciam o sucesso das medidas tomadas para o controle e redução das perdas de água no sistema.

## ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Através do monitoramento de pressão e identificação de padrões hidráulicos foi possível auxiliar as Companhias na localização de vazamentos não visíveis nas redes de distribuição de forma otimizada, reduzindo o tempo de

consciência, localização e reparo dos vazamentos. Com o estudo foi possível identificar o raio mínimo para pesquisas de vazamentos e o tempo para identificação dos problemas foi otimizado a partir de sua origem.

Os resultados foram analisados em termos da identificação de problemas operacionais em potencial, como vazamentos, misturas de setor ou desabastecimentos, com emprego de reconhecimento de padrões e Inteligência Artificial e com efeitos diretos na redução do tempo de vida de vazamentos e dos impactos nas perdas hídricas, no conforto dos usuários e na regularidade operacional dos sistemas.

## CONCLUSÕES/RECOMENDAÇÕES

Os resultados obtidos com o monitoramento e reconhecimento de padrões hidráulicos, nos dois setores de distribuição de água monitorados, permitem afirmar que a aplicação da Inteligência Artificial (IA) na gestão de perdas de água na distribuição apresenta-se como uma solução escalável e eficiente para gerar e lidar com a análise de grandes volumes de dados. Através de algoritmos avançados de Aprendizado de Máquina, a IA pode identificar padrões e correlações, permitindo às empresas de abastecimento identificarem rapidamente eventos operacionais e agir de forma precisa e eficaz. A aplicação da Inteligência Artificial contribui, também, para a redução dos tempos de vida dos vazamentos, uma vez que é capaz de detectar vazamentos assim que ocorrem e acelerar os processos de detecção, localização e reparo. Com a capacidade de processar grandes quantidades de dados e sua independência em relação à medição de vazão, a IA aplicada se mostra uma ferramenta promissora para melhorar a eficiência na gestão de perdas de água e promover a sustentabilidade dos sistemas de distribuição.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABES, Controle e redução de perdas nos sistemas públicos de abastecimento de água. Revisão 1, 2015.
2. GIZ, *Deutsche Gesellschaft fur Internationale Zusammenarbeit. Guidelines for water loss reduction: a focus on pressure management*. Eschborn, Alemanha, 2011.
3. Lambert, A., et al. (2015). *Water Loss Control Manual. International Water Association*.
4. Lira, R.; Soares, L., O novo marco regulatório do saneamento básico: análise das principais mudanças – Lei n.º 14.026, Campos dos Goytacazes, 2021.
5. Lopes, R. C. et al. Identificação de Vazamentos Utilizando Vazão Mínima Noturna. XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2017.
6. Manzi, D. A Hidráulica de todo dia no Saneamento. 1. Ed, Curitiba, 2020.
7. Oliveira, G., Scazufca, P., Sayon, P. Estudo de perdas de água do Instituto Trata Brasil de 2022 (SNIS 2020): Desafios para disponibilidade hídrica e avanço da eficiência do saneamento básico no Brasil, São Paulo, 2022. Acessado em 25/05/2023: <https://tratabrasil.org.br/perdas-de-agua-2022/>
8. Porto, R. M. Hidráulica Básica. 4. Ed, 2006, São Carlos: EESC/USP.
9. SABESP – Companhia de Saneamento do Estado de São Paulo, acessado em 15/05/2023: <https://www.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaoId=37>
10. SNIS – Sistema Nacional de Informações do Saneamento. Diagnóstico dos Sistemas de Abastecimento de água – ano base 2021. Brasília, 2023. Acessado em 15/05/2023: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/saneamento/snis/painel>
11. BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Portaria Nº 490, de 22 de março de 2021. Estabelece os procedimentos gerais para o cumprimento do disposto no inciso IV do caput do art. 50 da Lei n. 11.445, de 5 de janeiro de 2007, e no inciso IV do caput do art. 4º do Decreto n. 10.588, de 24 de dezembro de 2020. Brasília, 2021.