35 – A UTILIZAÇÃO DE HASTE DE ESCUTA ELETRÔNICA ASSOCIADA A INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA PESQUISA DE VAZAMENTOS NÃO VISÍVEIS: UMA AÇÃO DE COMBATE A PERDAS REAIS DE ÁGUA NO MUNICÍPIO DE MONTES CLAROS/MG

Alessandra Rabelo Porto[(1)]
Engenheira Civil pela Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG. MBA em Administração de Projetos com ênfase em Meio Ambiente pelo IETEC. Engenheira de Manutenção e Operação de Sistemas da COPASA-MG atuando na Gestão de Perdas da Gerência Regional de Montes Claros.
Ruy Ferreira de Oliveira[(2)]
Graduando em Engenheira Civil pela Anhanguera Educacional. Técnico em Eletrotécnica pela IETAAM. Técnico de Sistemas Automatizados da COPASA-MG.

Endereço[(1)]**:** Rua A, 202 – Reserva Real – Montes Claros - MG - CEP: 39403-853 - Brasil - Tel: (38) 99188-2137 - e-mail: **alessandra.rabelo@copasa.com.br.**

RESUMO

O combate a perda de água vem tomando um lugar de destaque dentro das companhias de saneamento, que tem como foco controlar o desperdício e maximizar a eficiência das redes de abastecimento. Em Montes Claros, a perda de água distribuída na área urbana apresentava o valor de 262,59 l/lig./dia em 2022, sendo que a perda real representa cerca de 85% da perda total. Diante disso, foi elaborado um plano de pesquisas de vazamentos não visíveis estruturado em etapas, sendo elas: seleção e escolha das áreas a serem pesquisadas, escolha dos equipamentos a serem utilizados, definição da equipe, cronograma de atividades, coleta de ruídos, pesquisa de vazamentos não visíveis, correção dos vazamentos e análise dos resultados. O diferencial deste plano foi a incorporação da haste eletrônica associada a um sistema de Inteligência Artificial que contribuiu de forma exitosa na redução do índice de perdas do município no ano de 2023.

PALAVRAS-CHAVE: Perda real de água, vazamentos não visíveis, haste eletrônica com IA**.**

INTRODUÇÃO

O combate a perda de água vem conquistando um lugar de destaque dentro das companhias de saneamento, que tem como foco controlar o desperdício e maximizar a eficiência das redes de abastecimento. O novo Marco Legal do Saneamento prevê a universalização e qualificação da prestação dos serviços com metas desafiadoras, sendo os principais objetivos a ampliação da cobertura do atendimento da distribuição de água e coleta de esgoto e redução do índice de perdas.

O primeiro passo para gerenciar as perdas de água é um entendimento adequado do seu conceito e seus componentes, para tanto, a *International Water Association* (IWA) elaborou a metodologia de **Balanço Hídrico** para os sistemas de abastecimento de água ilustrado pela Figura 1, que utiliza dados anuais, comerciais e operacionais, de uma mesma base física e temporal (AESBE, 2015).

Utilizando o modelo *Top-down*, o Balanço Hídrico inicia a avaliação pelo volume de água que entra no sistema e do levantamento dos volumes faturados e não faturados (medidos ou estimados), obtendo o volume total perdido. Por meio da estimativa dos volumes de perdas aparentes, é possível a obtenção indireta das perdas reais de água.

A perda real pode ser definida como o volume de água efetivamente perdido, devido a vazamentos que ocorrem nas adutoras, redes de distribuição e ramais prediais de água, além de extravasamentos que ocorrem em reservatórios e torres de equilíbrio ao longo do sistema de distribuição. Logo, a incidência das perdas reais de água está intimamente associada às condições da infraestrutura do sistema, ou seja, a idade das redes, o material, as pressões atuantes, os regimes operacionais, a qualidade e agilidade da mão de obra que opera o sistema, etc. (BRASIL, 2018)

Figura 1: Matriz de Balanço Hídrico

Segundo Bezerra e Cheung (2013), o balanço hídrico permite, dentre outros:

- Melhor monitoramento dos efeitos das decisões de gestão.
- Fornecer informações-chave para suporte a atitudes proativas.
- Destacar os pontos fortes e fracos dos diversos setores da empresa.
- Segregar as perdas de água reais e aparentes.
- Identificar falhas de equipamentos de medição, de sistemas de informação, entre outros.
- Implementação de um sistema de gestão.

Dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), para o ano-base de 2022, apontam índice de perdas por ligação (IN051) de 256,42 l/lig./dia para o município de Montes Claros, localizado no norte do estado de Minas Gerais. Já na área urbana, a perda média em 2022 apresentava o valor de 262,59 l/lig./dia. Nesse cenário, são fundamentais ações estruturantes e programas de avaliação, controle e redução de perdas contínuos e efetivos.

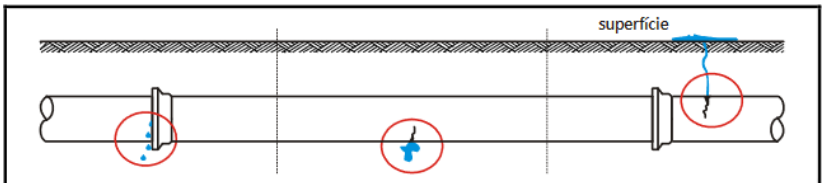
Por meio do balanço hídrico do abastecimento da sede do município de Montes Claros (dados de 2022), verificou-se que a perda real representava cerca de 85% da perda total do sistema de abastecimento, dessa forma foi imprescindível a elaboração de um programa focado no combate a perdas reais. Este programa foi elaborado baseando-se na cruz de Lambert, desenvolvida pelo inglês Allan Lambert, que está fundamentado em quatro pilares, sejam eles: controle das pressões; controle ativo dos vazamentos; rapidez e qualidade dos reparos; e gestão dos ativos da infraestrutura.

Este artigo visa apresentar uma das abordagens do programa de redução de perdas de Montes Claros: o controle ativo de vazamentos, cujo foco de atuação é na redução do volume perdido nos vazamentos não visíveis, diferentemente da rapidez e qualidade nos reparos que atua nos vazamentos visíveis.

Conforme ilustra a Figura 2, os vazamentos não visíveis são aqueles que não afloram à superfície e que são detectáveis a partir de métodos acústicos, já os vazamentos visíveis afloram à superfície e são reportados pelos clientes através dos meios de comunicação com a companhia de saneamento. Tem-se também os vazamentos inerentes que não são detectáveis e tornam-se economicamente inviáveis de serem eliminados.

A ABES (2015) e o BRASIL (2018) afirmam que, devido ao longo tempo para conhecimento dos vazamentos não visíveis, estes correspondem a maior parte dos volumes perdidos em vazamentos, representando, consequentemente, a maior parte das perdas reais, na experiência do Brasil e mundial.

Por meio do princípio acústico, é possível detectar os vazamentos não visíveis ou ocultos através do ruído que os mesmos geram, utilizando vários equipamentos. No Brasil, esta metodologia é preconizada pela ABENDI e profissionais são certificados por esta entidade.



Vazamentos Inerentes	Vazamentos Não Visíveis	Vazamentos Visíveis
Não visíveis e não detectáveis por equipamentos de detecção acústica.	Não aflorantes à superfície, detectáveis por métodos acústicos de pesquisa.	Aflorantes à superfície, comunicados pela população.
Principais Ações		
- Redução de pressão. - Qualidade dos materiais e da execução da obra. - Redução do número de juntas.	- Redução de pressão. - Qualidade dos materiais e da execução da obra. - Pesquisa de vazamentos não visíveis.	- Redução de pressão. - Qualidade dos materiais e da execução da obra. - Diminuição do tempo de reparo.

Figura 2: Tipos de vazamentos e suas características. Fonte: Perdas de água: tecnologias de controle, 2013 - Saulo de Tarso Marques Bezerra, Peter Batista Cheung

Diante do exposto, constatou-se ser imprescindível ao programa de redução de perdas de Montes Claros a elaboração de um plano de pesquisa de detecção de vazamentos não visíveis com intuito de redução desse volume perdido e por consequência do índice de perdas no sistema de distribuição do município, que está apresentado detalhadamente neste artigo.

OBJETIVOS

Este trabalho visa apresentar a experiência da utilização de hastes de escuta eletrônicas associadas a inteligência artificial nas pesquisas de vazamentos não visíveis no município de Montes Claros e sua contribuição no índice de perdas do sistema de distribuição de água do município.

METODOLOGIA UTILIZADA

O Sistema de Abastecimento de Água da sede de Montes Claros/MG é operado pela Copasa desde 1976, possui 1.772 km de rede de água e mais de 148.000 ligações ativas de água, com atendimento a uma população de cerca de 425.000 habitantes.

A distribuição de água da cidade é completamente setorizada, sendo que a maior parte das ligações de água ativas (58%) pertencem à 39 Distritos de Medição e Controle (DMC), onde a vazão de entrada é medida e controlada.

Com uma perda de água distribuída média em 2022 de 262,59 l/lig./dia, sendo 85% deste valor referente a perdas reais, foi elaborado um **plano de pesquisa de detecção de vazamentos não visíveis** adotando o método acústico, cujas etapas estão descritas a seguir.

Seleção e escolha das áreas a serem pesquisadas

Foram realizadas duas metodologias distintas para seleção das áreas, baseado nos critérios orientados por Gonçalves e Alvim (2007). A primeira metodologia é referente aos setores não monitorados, em que foram selecionados aqueles com uma ou mais das seguintes características:

- grande incidência vazamentos visíveis;
- pressões altas, acima até 50 mca;
- redes antigas em ferro fundido;
- ramais prediais em ferro galvanizado;
- redes de PVC com junta soldável.

Já para os setores monitorados, denominados DMCs, a metodologia adotada para seleção foi índice de perdas acima de 150 l/lig./dia e maior do que 25%.

Escolha dos equipamentos a serem utilizados

Foram definidos os seguintes equipamentos:

- Haste de escuta mecânica, trata-se de uma haste de alumínio que permite a propagação do som pelo seu interior, sendo ouvido na extremidade posterior ao ponto de contato. É colocada geralmente sobre o cavalete para facilitar a escuta pelo pesquisador;
- Geofone eletrônico é um equipamento acústico que permite localizar os vazamentos através da detecção de vibrações geradas pelo movimento da água para fora da tubulação, sendo composto de um amplificador, medidor de nível de som, filtros para eliminar os ruídos indesejáveis do meio ambiente e selecionam as faixas de frequências típicas dos sons do vazamento, sensor ou transdutor de alta sensibilidade, e fones de ouvido para o operador escutar o ruído de vazamento.
- Haste de perfuração que permite a perfuração do solo sem danificar o pavimento, podendo ser introduzida a haste de escuta no furo, permitindo uma maior aproximação do ponto suspeito de vazamento, quando a haste é retirada, pode constatar umidade no solo, confirmando automaticamente a existência de vazamento;
- Manômetro, através do monitoramento de pressões nos cavaletes é possível verificar os locais com redução de pressão indicando a proximidade dos vazamentos de maior intensidade.

Além dos equipamentos clássicos de pesquisa acima, foi adotado como diferencial nesta metodologia:

- Haste de escuta eletrônica que, com uma haste metálica acoplada ao dispositivo, coleta e transmite os dados dos ruídos dos ramais de água para um sistema com Inteligência Artificial em nuvem que realiza a análise do ruído, permitindo definir os pontos suspeitos de vazamentos.

Definição da equipe

Definida a área e os setores para realização das pesquisas, dimensionou-se as equipes necessárias:

- 02 auxiliares de serviços técnicos, para coleta dos ruídos utilizando as hastes eletrônicas;
- 02 técnicos geofonistas, responsáveis pela identificação do local do vazamento após a análise dos ruídos pela Inteligência Artificial;
- 02 equipes para correção dos vazamentos encontrados, compostas por um bombeiro e um auxiliar cada;
- 01 técnico responsável pela análise dos dados e programação dos serviços;
- 01 engenheiro responsável pela gestão e análise dos resultados.

Cronograma de atividades

Em novembro/2022, iniciou-se o planejamento, definindo as áreas pesquisadas, os equipamentos e as equipes necessárias. Isto posto, a coleta dos ruídos foi realizada pelo período de 6 meses, iniciando em dezembro/2022. Já no mês subsequente a pesquisa acústica dos pontos suspeitos. A correção dos vazamentos deu início logo na sequência, estendendo-se até o mês de novembro/2023. O cronograma está apresentado na Tabela 1.

Tabela 1: Cronograma de execução do plano de pesquisa de detecção de vazamentos não visíveis em Montes Claros

Etapa	11/22	12/22	01/23	02/23	03/23	04/23	05/23	06/23	07/23	08/23	09/23	10/23	11/23	12/23
Planejamento														
Coleta dos ruídos														
Pesquisa acústica														
Correção vazamento														
Análise dos resultados														

Coleta de ruídos

De posse do mapa do setor ou DMC definido, os 02 auxiliares de serviços técnicos fazem a medição da pressão utilizando o manômetro para verificação do atendimento à pressão mínima de 10 mca para iniciar a coleta. Utilizando as hastes de escuta eletrônicas, os auxiliares coletam os ruídos em todos os pontos acessíveis da rede, principalmente os cavaletes, e adicionalmente registros, hidrantes e demais estruturas existentes. Para as residências cujos cavaletes não foram acessados ou onde não foi possível a coleta, foram apontadas as

ocorrências no coletor. Também foram informados os eventuais vazamentos visíveis observados durante o percurso.

Os dispositivos (coletores) enviam via *bluetooth* os dados coletados (ruídos) aos aparelhos celulares (*smartphones*) que os armazenam e posteriormente os enviam para o banco de dados (via 3G ou Wi-Fi) que está integrado a um sistema de Inteligência Artificial (IA).

O sistema de Inteligência Artificial analisa os dados dos ruídos coletados em campo e, através do banco de dados disponíveis, os classifica como "Ponto Suspeito" e "Não Vazamento". Assim, é gerada uma lista dos pontos suspeitos de vazamentos, com localização georreferenciada.

Pesquisa de vazamentos não visíveis

Os técnicos geofonistas responsáveis pelas pesquisas em campo utilizando um aplicativo dedicado, o geofone eletrônico e demais equipamentos de apoio relacionados anteriormente, se deslocam até os Pontos Suspentos para verificar se os ruídos detectados e classificados pela IA são de fato oriundos de vazamentos.

A pesquisa de inicia também com a medição de pressão no Ponto Suspeito utilizando o manômetro. Confirmada a pressão mínima de 10 mca, o técnico utiliza a haste de escuta nos padrões próximos ao ponto suspeito, seguindo do geofone ao longo da rede de abastecimento no raio de 20 metros e dos ramais com algum ruído característico de vazamento identificado com uso da haste.

Caso confirmada a presença do vazamento, o técnico realiza a marcação em solo, indicando o local do vazamento e preenche, com auxílio do aplicativo relacionado ao sistema, todos os critérios de locação de acordo com a normatização ABENDI, com registro em fotos do local, endereço completo, numeração do hidrômetro da ligação mais próxima e alguma observação que se tornar necessária.

Correção dos vazamentos

Após finalizada a pesquisa, o técnico responsável, através do sistema de gestão dedicado a haste de escuta eletrônica, realiza a análise dos dados informados pelos técnicos geofonistas que confirmam ou não a existência do vazamento não visível.

A partir dos pontos dos vazamentos confirmados e dos dados associados, o técnico gera a Ordem de Serviço e programa a realização da correção dos vazamentos no menor tempo possível, priorizando os vazamentos de maior magnitude.

De posse da Ordem de Serviço virtual, as equipes de manutenção se deslocam ao local e identificando a marcação no pavimento, que indica o local mais provável do ramal ou rede danificada, realizam a correção e eliminação do vazamento não visível.

Importante ressaltar que após a correção do vazamento oculto no ponto indicado, é necessário que o técnico especialista retorne ao local e comprove a extinção do ruído, constatando assim que não exista outro ponto de vazamento.

Análise dos resultados

O técnico além de analisar os dados das pesquisas e verificar o índice de assertividade do sistema de IA, também é responsável por acompanhar a baixa das Ordens de Serviço, avaliando as fotos e informações do local exato do vazamento e das peças danificadas. Tais dados são inseridos no banco de dados em que é possível obter um levantamento das causas prováveis da ocorrência dos vazamentos em cada DMC ou setor de abastecimento, permitindo a elaboração de projetos com objetivo de eliminar ou diminuir os eventos causadores dos vazamentos e por consequência reduzir a perda de água distribuída.

Também são monitorados os resultados da eliminação dos vazamentos por meio do acompanhamento da redução da vazão mínima noturna, dos volumes de entrada de água e do índice de perdas de cada DMC pesquisado, bem como o impacto de cada um deles nos índices de perdas da distribuição de água no município.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Seguindo o cronograma apresentado, na etapa de planejamento foi realizada uma análise do índice de perdas dos DMCs de Montes Claros, selecionando 24 DMCs com perda maior que 150 L/lig./dia e acima de 25%, listados na Tabela 2.

Tabela 2: Índice de perdas nos DMCs selecionados de Montes Claros. Mês referência: janeiro/2023.

DMC	Nº Ligações Ativas	Perda (L/lig./dia)	Perda (%)
DMC-01	1653	210	38 %
DMC-02	3040	320	57 %
DMC-03	3349	221	39 %
DMC-04	875	565	56 %
DMC-05	2289	345	60 %
DMC-06	2563	370	55 %
DMC-06A	398	906	59 %
DMC-07	588	251	34 %
DMC-09	3956	468	65 %
DMC-11	3493	301	54 %
DMC-20A	1442	171	40 %
DMCs-31 e 32	6933	247	47 %
DMC-40	164	345	41 %
DMC-40A	545	807	67 %
DMC-41A	1315	663	62 %
DMC-42	3469	349	47 %
DMC-45	433	580	66 %
DMC-45A	989	514	64 %
DMC-51	1508	287	49 %
DMCs-52 e 66	5293	216	43 %
DMC-59	2001	393	58 %
DMC-98	952	303	49 %

Também foram analisados os demais setores de abastecimento conforme os critérios definidos, sendo selecionados 11 que estão listados na Tabela 3.

Tabela 3: Setores de abastecimento selecionados segundos critérios definidos.

Setor	Nº Ligações Ativas	Grande incidência vazamentos visíveis	Pressões altas, acima até 50 mca	Redes antigas em ferro fundido	Ramais prediais em ferro galvanizado	Redes de PVC com junta soldável
10	5417	X		X	X	
13	1518	X	X			
20	3583	X	X			
30	1441	X	X			
41	818	X		X	X	X
46	4369			X	X	X
49	1088	X		X		X
55	4035	X		X	X	
60	1997	X	X			
71	1392			X	X	
80	1869			X		

Finalizado o planejamento, iniciou-se a coleta dos ruídos pelo período de 6 meses, sendo realizadas 79.782 coletas em 959 km percorridos nesta fase. Ressalta-se que em alguns DMCs foi executada uma segunda campanha no final do ciclo.

Do total de pontos coletados, o sistema de Inteligência Artificial classificou 1.259 ruídos como "Pontos Suspeitos", uma relação de 1,6 % dos pontos coletados. Todos os pontos suspeitos foram inspecionados pelos técnicos geofonistas e 502 deles foram confirmados, apresentados na Figura 3 na cor laranja e em verde os pontos não confirmados. Diante disso, o índice de assertividade do sistema de IA foi de 40%, cabendo ressaltar que alguns vazamentos estavam relacionados a mais de um ponto suspeito.

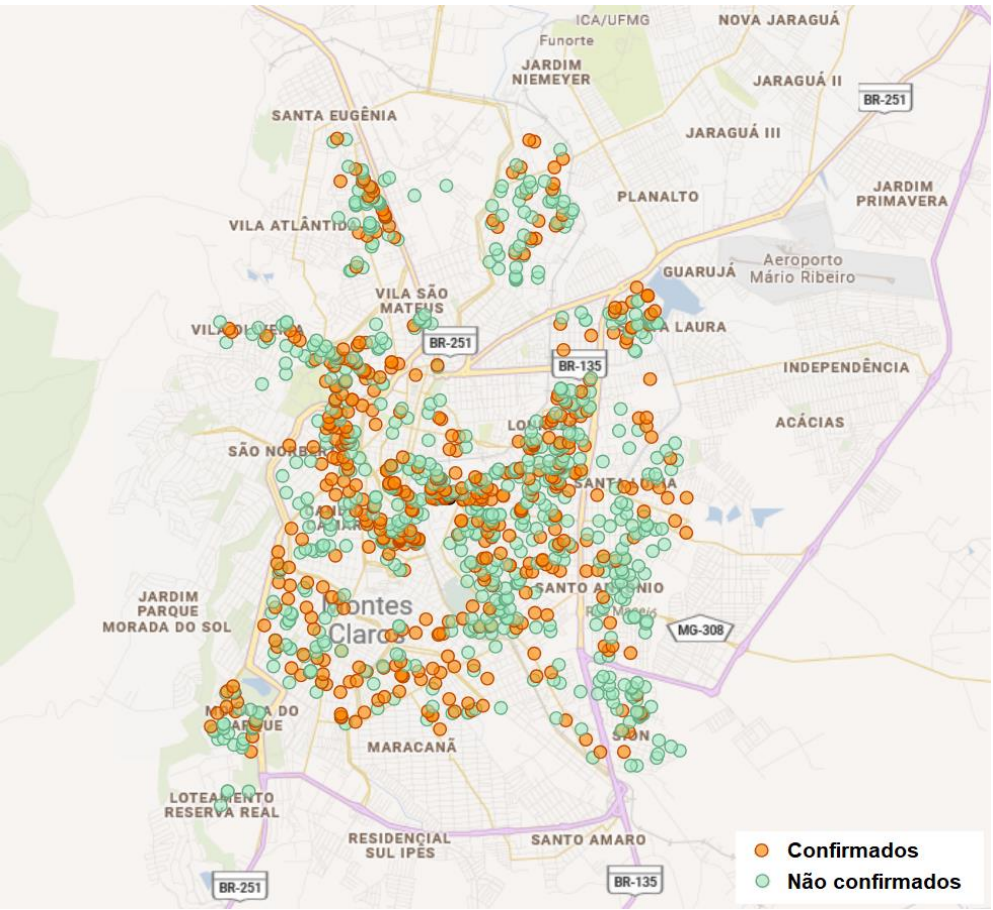


Figura 3: Pontos relacionados com suspeitos de vazamento pela IA.

Foram eliminados no total 404 vazamentos, sendo 46% localizados nos ramais, 28% nos adaptadores dos colares de tomada das ligações nas redes, 21% nos cavaletes nos joelhos enterrados e 5% em redes de distribuição. A Figura 4 ilustra as etapas da pesquisa de vazamentos.

Figura 4: Etapas da Pesquisa de vazamentos não visíveis: a) coleta dos ruídos; b) pesquisa de vazamentos não visíveis; e c) correção e eliminação do vazamento.

Após a eliminação dos vazamentos, houve uma vazão média recuperada de 39,8 l/s nos 24 DMCs pesquisados no período de um ano (janeiro a dezembro de 2023). A Figura 5 permite a comparação do índice de perdas nestes DMCs antes e após o plano de pesquisa de vazamentos não visíveis.

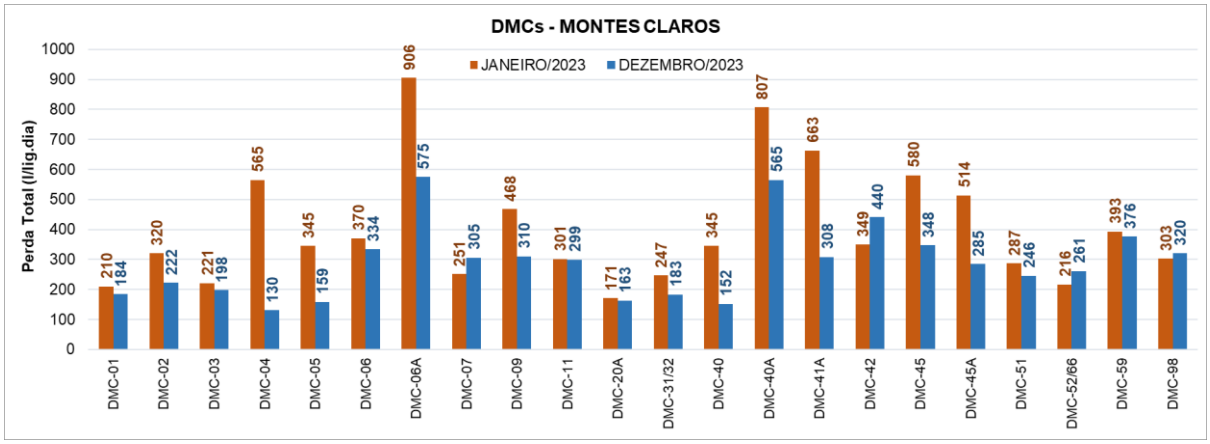


Figura 5: Resultado do índice de perdas totais nos DMCs pesquisados em Montes Claros.

Por possuírem características distintas, os resultados também foram distintos, em resumo, tem-se que o índice de perdas:

- Reduziu em 07 DMCs, porém ainda permaneceu com valores altos (em torno de 300 l/lig./dia);
- Reduziu em 03 DMCs, porém voltou a subir em apenas um mês;
- Reduziu em 10 DMCs e se manteve com valores menores que 250 L/lig.dia, sendo que no DMC-05 houve melhoria nas pressões de abastecimento no ponto crítico e no DMC-04 foi possível reduzir as pressões;
- Aumentou em 04 DMCs, sendo nestes foram identificados outros problemas relacionados com pressão excessiva e má qualidade da execução de obras de implantação de adutoras.

Observou-se que nos DMCs com redes mais novas os resultados das pesquisas foram mais duradouros, enquanto que em regiões com redes de ferro fundido e PVC de junta soldável as vazões voltaram a subir e novos vazamentos surgiram, necessitando de um intervalo menor entre as campanhas de pesquisas, analisando também a viabilidade de ações relacionadas à substituição de redes e ramais.

O plano de pesquisa de vazamentos não visíveis foi o grande responsável pela redução do índice de perdas na distribuição em Montes Claros no ano de 2023. Conforme ilustra a Figura 6, houve uma redução de 15,64 l/lig./dia de dezembro/2022 para o mesmo mês em 2023, ou seja, uma vazão recuperada de 1.865 m³/dia ou 21,6 l/s.

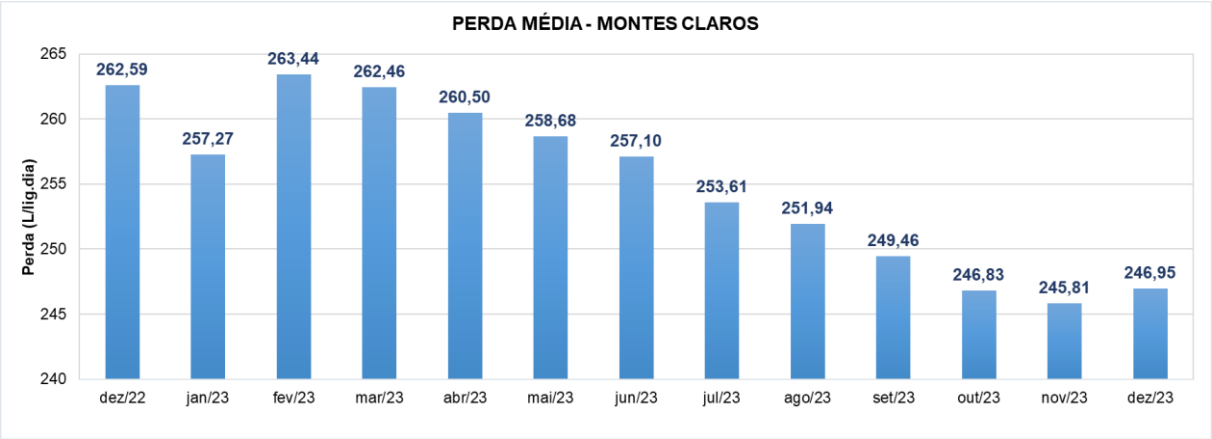


Figura 6: Perdas na distribuição média 12 meses em Montes Claros (2022/2023).

O plano de pesquisa de vazamentos não visíveis contribuiu significativamente na melhoria dos indicadores de perdas de água distribuída em Montes Claros. A utilização da haste eletrônica associada à Inteligência

Artificial incorporada à metodologia clássica de pesquisa, trouxe maior agilidade e amplitude de atuação, sendo pesquisados em média 13.300 pontos de ruídos por mês. Outra vantagem é que não é necessário um técnico especialista nesta fase de coleta, podendo otimizar seu tempo nas pesquisas direcionadas nos pontos classificados pela IA como "suspeitos".

Verifica-se que a metodologia adotada é mais eficaz na identificação dos vazamentos ocultos localizados nas ligações de água, considerando que 95% estavam localizados em adaptadores, ramais e cavaletes. Uma forma de aprimorá-la, buscando identificar uma quantidade maior de vazamentos nas redes, é incorporar a utilização de correlacionadores de ruídos para monitorar os trechos de redes que não possuem ligação próxima e também o geofonamento de todas as redes, principalmente naqueles DMCs que permaneceram ainda com valores altos do índice de perdas.

Quanto aos critérios para seleção da área de abrangência do plano, pelos resultados alcançados no município como um todo, pode-se afirmar que foram assertivos. Podendo ser ainda melhores, quanto mais forem os Distritos de Medição e Controle implantados, já que, dentre inúmeras vantagens, permite, pelo monitoramento das vazões mínimas noturnas, identificar diariamente o surgimento de novos vazamentos, dando maior agilidade ao processo de detecção.

Além da importância da ampliação da setorização, é relevante destacar que a redução de pressão é uma ação imprescindível para evitar novos vazamentos visíveis ou não visíveis.

Outro ponto de melhoria no plano apresentado, é a redução do tempo de correção e eliminação dos vazamentos não visíveis detectados

Buscando a melhoria contínua, por meio de um processo cíclico e constante que visa aprimorar o processo, verificou-se que o cálculo da perda real nos DMCs por meio da metodologia *Bottom-up* permitirá aumentar o nível de desempenho para o próximo ciclo do plano de pesquisa de vazamentos ocultos em Montes Claros.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Dentre as ações de combate às perdas reais de água, o controle ativo de vazamentos é fundamental. Para tanto, deve-se elaborar um bom plano de pesquisa de vazamentos não visíveis, adotando uma metodologia adequada ao sistema de abastecimento e buscando tecnologias que otimizem o processo.

A incorporação da haste eletrônica, associada a um sistema de Inteligência Artificial, na metodologia de pesquisa de vazamentos não visíveis em Montes Claros, se mostrou muito satisfatória, contribuindo significativamente no alcance dos resultados de redução do índice de perdas na distribuição do município, já que proporcionou maior agilidade no processo de localização dos vazamentos, otimizando o processo de pesquisa.

No entanto, a pesquisa e eliminação dos vazamentos não visíveis, apesar do seu efeito imediato na redução das perdas reais, não pode ser considerada uma medida única, devendo estar associada a ações de redução de pressão e gestão de ativos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. *Controle e Redução de Perdas nos Sistemas Públicos de Abastecimento de Água - Posicionamento e Contribuições Técnicas da ABES* (Revisão 1). 19/10/2015. Disponível em http://abes-dn.org.br/pdf/28Cbesa/Perdas_Abes.pdf. Acesso em: 02 de junho de 2024.

AESBE - Associação Brasileira das Empresas Estaduais de Saneamento. *Série Balanço Hídrico - Volume 5: Guia Prático Para Quantificação de Balanços Hídricos e Indicadores de Desempenho Operacional*. 2015. Disponível em https://aesbe.org.br/novo/wp-content/uploads/2018/04/GUIA-5_V5-.pdf. Acesso em: 10 de março de 2025.

BEZERRA, Saulo de Tarso Marques; CHEUNG, Peter Batista. *Perdas de água: tecnologias de controle*. João Pessoa: Editora da UFPB, 2013.

BRASIL. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental: Ações de Assistência Técnica em Redução e Controle de Perdas de Água e Uso Eficiente de Energia Elétrica. *Caderno Temático 2 - Perdas Reais* - 2018. Ministério das Cidades. Disponível em: https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/interaguas/commaisagua/at2-perdas_reais.pdf. Acesso em: 02 de junho de 2024.

BRASIL. Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento: *Diagnóstico Temático dos Serviços de Água e Esgoto – Visão Geral – ano de referência 2022*. Ministério das Cidades, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Brasília DF. 2023. Disponível em https://www.gov.br/cidades/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snis/produtos-do-snis/diagnosticos/DIAGNOSTICO_TEMATICO_VISAO_GERAL_AE_SNIS_2023.pdf. Acesso em: 02 de junho de 2024.

GONÇALVES, Elton; ALVIM, Paulo Roberto Ambrósio. *Guias práticos: técnicas de operação em sistemas de Abastecimento de água. Volume 3: Pesquisa e combate a vazamentos não visíveis*. Brasília: SNSA, 2007.