ANÁLISE ESPACIAL DE VAZAMENTOS EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA UTILIZANDO MAPAS DE CALOR EM CUIABÁ/MT

Anne Elise Fernandes Pelegrini[1], William Costa e Silva[1], Agnes Cristina Oliveira Mafra[1]

[1]Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, Brasil (agnes.mafra@ufmt.br)

Resumo: Este estudo analisou vazamentos de água nos bairros abastecidos pelo Reservatório Apoiado INPE, em Cuiabá/MT, utilizando dados operacionais e mapas de calor elaborados no QGIS. Os resultados indicaram maior incidência de vazamentos em redes antigas e de menor diâmetro, destacando a importância da setorização, do controle de pressão e da renovação da infraestrutura para reduzir perdas hídricas e melhorar a eficiência do abastecimento urbano.

Palavras-chave: Perdas hídricas; Vazamentos; Distribuição de água; QGIS; Saneamento urbano.

INTRODUÇÃO

A água é um recurso essencial para a vida humana, sendo utilizada em atividades fisiológicas, domésticas, agrícolas e industriais, além de possuir papel fundamental para o desenvolvimento econômico e social. Nesse contexto, torna-se indispensável garantir que a distribuição de água ocorra com qualidade e eficiência, assegurando o abastecimento da população e reduzindo desperdícios ao longo do sistema de distribuição. Segundo Heller e Pádua (2010), o sistema de abastecimento de água compreende etapas de captação, tratamento, reservação e distribuição, sendo esta última uma das mais suscetíveis à ocorrência de perdas hídricas.



Figura 1. Etapas do sistema de abastecimento de água

Fonte: Elaborada com auxílio de Inteligência Artificial (IA), adaptada de Heller e Pádua (2010).

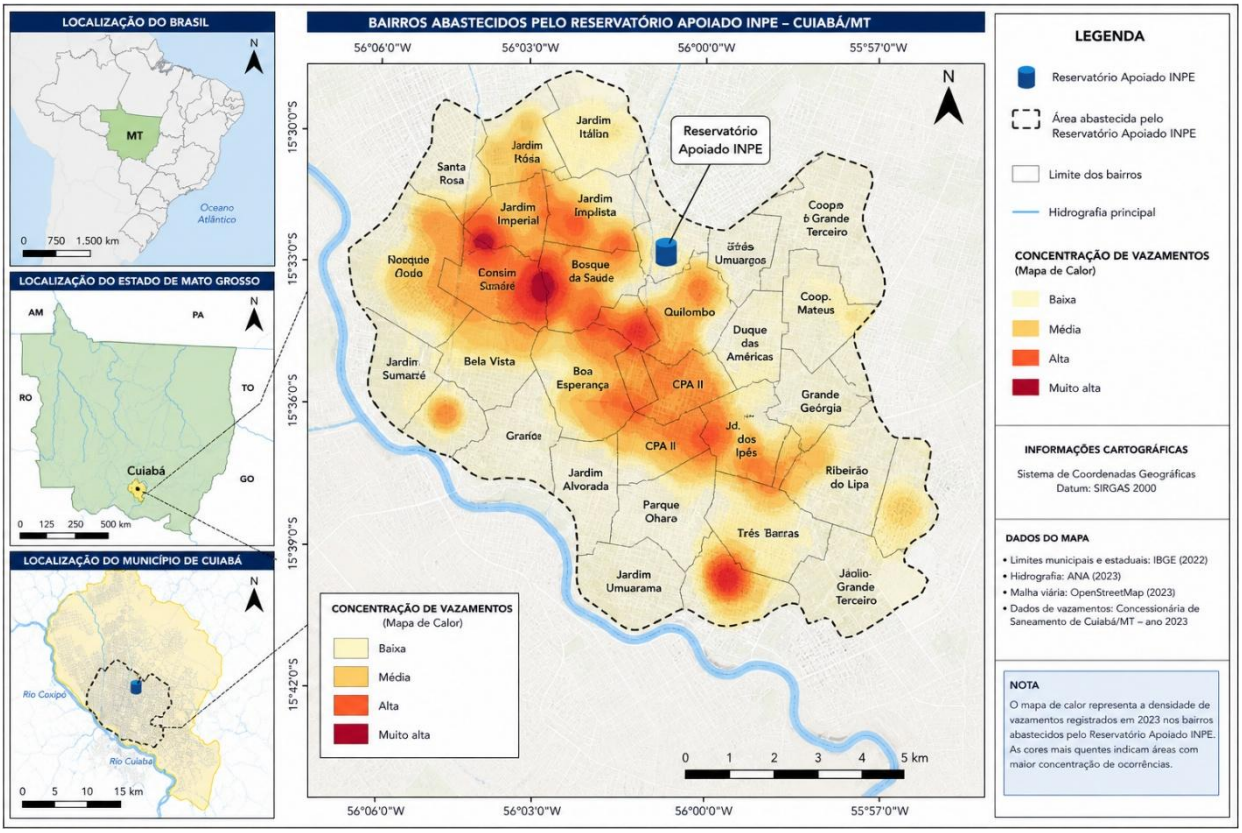


Figura 2. Mapa integrado da área de estudo, bairros abastecidos pelo Reservatório Apoiado INPE e concentração espacial dos vazamentos em Cuiabá/MT.

Fonte: Elaborada com auxílio de Inteligência Artificial (IA), a partir de dados adaptados do IBGE, ANA, OpenStreetMap e informações operacionais da concessionária de saneamento de Cuiabá/MT (2023).

A problemática das perdas de água é considerada um desafio mundial, principalmente em centros urbanos que apresentam crescimento populacional acelerado e infraestrutura antiga. De acordo com Thornton, Sturm e Kunkel (2008), as perdas podem ser classificadas em reais e aparentes, sendo as perdas reais associadas aos vazamentos nas redes de distribuição, adutoras, reservatórios e ramais de ligação. Essas perdas ocasionam impactos ambientais, operacionais e financeiros, aumentando os custos de produção e distribuição de água tratada.

No Brasil, os índices de perdas hídricas ainda são considerados elevados. Conforme apresentado por Oliveira, Scazufca e Sayon (2023), o país registrou, em 2021, perdas no faturamento total de aproximadamente 40,9%, valor acima do índice considerado adequado pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS). Na capital mato-grossense, Cuiabá, os índices também demonstram um cenário preocupante, uma vez que a cidade apresentou elevados percentuais de perdas de água no processo de distribuição nos últimos anos.

Dentre os fatores que contribuem para a ocorrência de vazamentos estão a idade das tubulações, os materiais empregados na rede de distribuição, a pressão operacional do sistema e a ausência de setorização eficiente. Segundo Tsutiya (2006), as tubulações devem apresentar resistência adequada para suportar as pressões estáticas e dinâmicas do sistema, além das variações hidráulicas decorrentes da operação da rede. Entretanto, redes antigas e submetidas a elevadas pressões tendem a apresentar maior incidência de rupturas e vazamentos.

Nesse cenário, a utilização de ferramentas de geoprocessamento torna-se uma importante estratégia para análise e gerenciamento das perdas hídricas. O uso de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), como o software QGIS, possibilita a espacialização dos dados operacionais e a identificação das regiões mais afetadas por vazamentos, contribuindo para a tomada de decisão e para o planejamento de ações corretivas. Segundo Trow e Farley (2003), o gerenciamento eficiente das perdas depende do conhecimento detalhado das características da rede de distribuição e das áreas críticas de ocorrência de falhas.

Dessa forma, o presente estudo tem como objetivo analisar os vazamentos de água nos bairros abastecidos pelo Reservatório Apoiado INPE, localizado no município de Cuiabá/MT, utilizando dados operacionais de reparos executados no ano de

2023 e mapas de calor elaborados no software QGIS. A pesquisa busca compreender a distribuição espacial dos vazamentos e discutir possíveis fatores associados às perdas hídricas na região estudada, contribuindo para o desenvolvimento de estratégias voltadas à melhoria do sistema de abastecimento de água.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

O estudo foi realizado no município de Cuiabá, capital do estado de Mato Grosso, localizado na região Centro-Oeste do Brasil. Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2022), o município apresenta população superior a 620 mil habitantes e possui elevada demanda por serviços de abastecimento de água devido ao crescimento urbano e populacional.

A pesquisa concentrou-se nos bairros abastecidos pelo Reservatório Apoiado INPE (RAP INPE), selecionados a partir da setorização operacional da concessionária de saneamento do município. A escolha dessa região ocorreu em função da recorrência de vazamentos e da disponibilidade de dados técnicos e operacionais referentes aos serviços de manutenção executados ao longo do ano de 2023.

A delimitação espacial da área de estudo foi realizada utilizando o software QGIS versão 3.20.3-Odense, ferramenta de Sistema de Informação Geográfica (SIG) amplamente empregada em análises espaciais e ambientais. O uso do geoprocessamento permitiu integrar informações cartográficas, operacionais e estatísticas relacionadas aos vazamentos registrados na rede de distribuição de água.

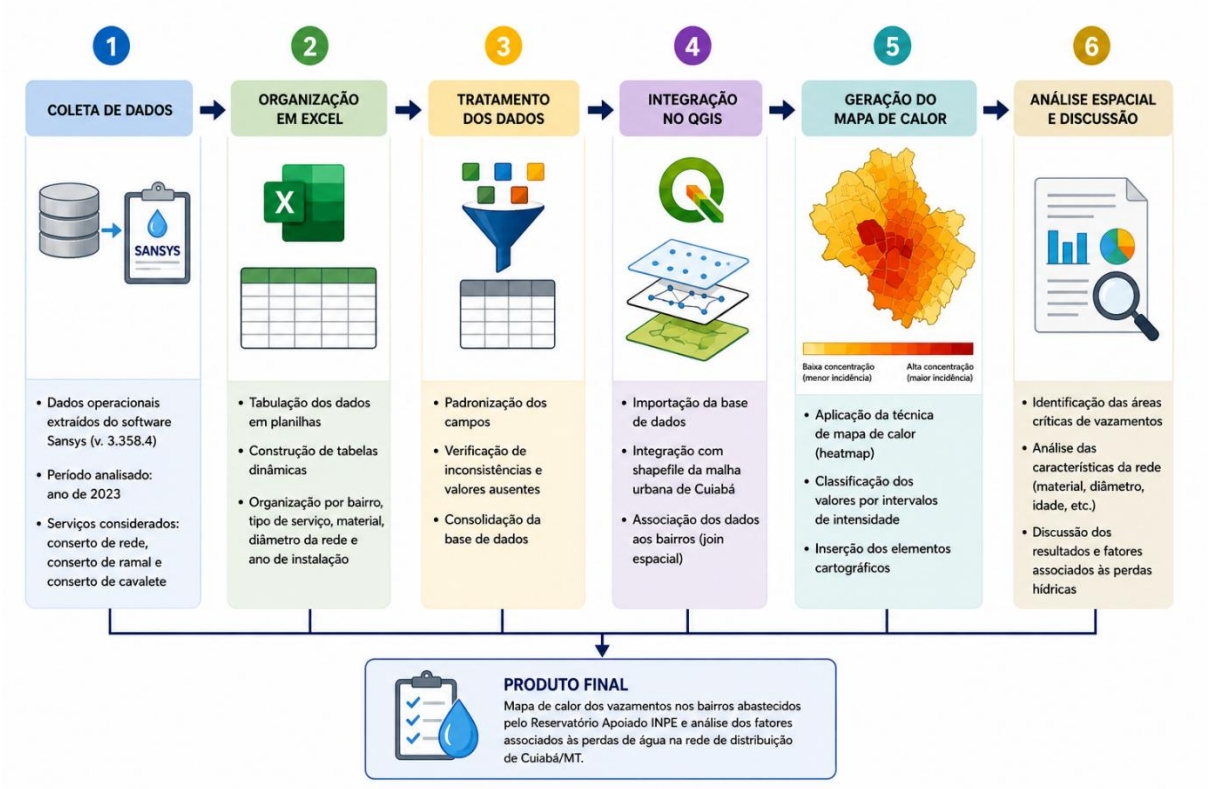


Figura 3 . Fluxograma metodológico da pesquisa

Fonte: Elaborada com auxílio de Inteligência Artificial (IA)

Dados operacionais de vazamentos

Os dados utilizados nesta pesquisa foram obtidos a partir do banco de dados operacional da concessionária de saneamento responsável pelo abastecimento de água de Cuiabá. As informações foram extraídas do software Sansys, versão 3.358.4, utilizado para gerenciamento operacional dos sistemas de água e esgoto.

Foram analisados os registros referentes aos serviços de:

- conserto de rede;
- conserto de ramal;
- conserto de cavalete.

Os dados continham informações sobre:

- bairro de ocorrência;
- quantidade de reparos;
- tipo de manutenção executada;
- características da rede de distribuição;
- material das tubulações;
- diâmetro das redes;
- ano de instalação das tubulações.

As informações foram organizadas inicialmente em planilhas do Microsoft Excel®, permitindo a construção de tabelas dinâmicas para consolidação dos dados e análise quantitativa dos vazamentos registrados nos bairros abastecidos pelo RAP INPE.

Elaboração do mapa de calor

A espacialização dos vazamentos foi realizada por meio da construção de mapas temáticos no software QGIS. O mapa de calor foi utilizado como ferramenta visual para representar a concentração espacial dos reparos executados na região estudada.

Segundo Trow e Farley (2003), a identificação das áreas críticas de vazamentos contribui diretamente para o gerenciamento de perdas hídricas e para o planejamento de ações corretivas no sistema de distribuição de água.

Inicialmente, os dados tabulados no Excel® foram convertidos para formato compatível com o QGIS e integrados ao shapefile da malha urbana do município de Cuiabá. Em seguida, foram realizados os procedimentos de georreferenciamento e associação espacial dos dados operacionais aos respectivos bairros analisados.

Posteriormente, aplicou-se a técnica de mapa de calor (heatmap), na qual os bairros com maior concentração de vazamentos foram representados por cores mais intensas, enquanto regiões com menor incidência de reparos apresentaram tonalidades mais claras. A classificação dos valores foi dividida em diferentes intervalos de intensidade, permitindo melhor interpretação visual da distribuição espacial das ocorrências.

Além disso, foram inseridos elementos cartográficos essenciais para interpretação do mapa, como:

- legenda;
- escala gráfica;
- orientação norte;
- sistema de coordenadas geográficas;
- identificação dos bairros;
- localização do Reservatório Apoiado INPE.

Análise das características da rede de distribuição

A análise técnica da rede de distribuição foi realizada considerando:

- diâmetro das tubulações;
- material das redes;
- idade das tubulações;
- frequência de reparos executados.

Segundo Tsutiya (2006), fatores como pressão operacional, qualidade dos materiais e envelhecimento das tubulações influenciam diretamente na ocorrência de vazamentos e rupturas em sistemas de abastecimento de água.

Os materiais predominantes identificados na região estudada foram:

- PVC;
- PEAD;
- ferro fundido (FoFo);
- ferro fundido revestido (DEFoFo).

A partir dessas informações, foram elaborados gráficos comparativos relacionando os tipos de materiais e a quantidade de reparos registrados, permitindo discutir possíveis associações entre características da infraestrutura e os índices de perdas hídricas observados.

Tabela 1 — Dados operacionais utilizados na pesquisa

Categoria	Descrição
Área de estudo	Bairros abastecidos pelo Reservatório Apoiado INPE (RAP INPE), Cuiabá/MT
Fonte dos dados	Concessionária de saneamento de Cuiabá/MT
Software operacional	Sansys® versão 3.358.4
Período analisado	Janeiro a dezembro de 2023
Serviços avaliados	Conserto de rede, conserto de ramal e conserto de cavalete
Variáveis analisadas	Bairro, quantidade de reparos, material da rede, diâmetro da tubulação e idade da rede
Ferramenta de organização dos dados	Microsoft Excel®
Ferramenta de geoprocessamento	QGIS versão 3.20.3-Odense
Tipo de análise	Quantitativa e espacial
Produto cartográfico	Mapas temáticos e mapa de calor dos vazamentos
Sistema de coordenadas	SIRGAS 2000
Técnica espacial aplicada	Heatmap (mapa de calor)

Fonte: Elaborada pelas autoras com auxílio de Inteligência Artificial (IA), a partir de dados operacionais da concessionária de saneamento de Cuiabá/MT (2023).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise dos dados operacionais da concessionária de saneamento de Cuiabá/MT permitiu identificar a distribuição espacial dos vazamentos nos bairros abastecidos pelo Reservatório Apoiado INPE (RAP INPE) ao longo do ano de 2023. Foram registrados 1025 reparos na região estudada, incluindo consertos de rede, ramal e cavalete, representando aproximadamente 5% do total de intervenções realizadas em todo o município no período analisado.

A espacialização dos dados por meio do mapa de calor permitiu visualizar de maneira mais clara os bairros com maior recorrência de vazamentos, evidenciando áreas críticas do sistema de distribuição de água. Observou-se maior concentração de reparos nos bairros Jardim Vitória, Jardim Florianópolis e CPA II, indicando elevada incidência de perdas reais de água nessas regiões.

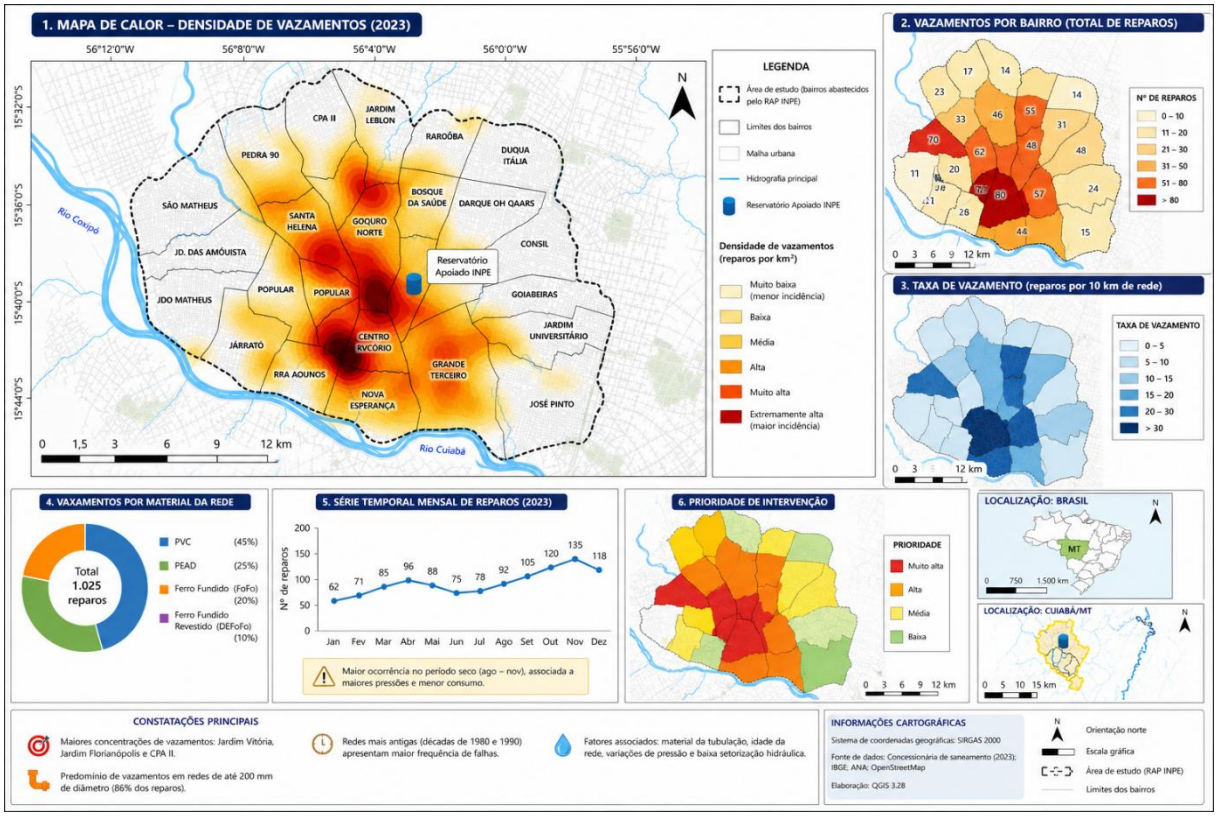


Figura 4 . Distribuição espacial dos vazamentos e áreas críticas da rede de abastecimento nos bairros atendidos pelo RAP INPE em Cuiabá/MT.

Fonte: Elaborada com auxílio de Inteligência Artificial (IA), a partir de dados operacionais da concessionária de saneamento de Cuiabá/MT (2023), IBGE, ANA e OpenStreetMap.

A partir da análise espacial apresentada no mapa, foi possível identificar que os bairros com maior número de vazamentos estão associados, principalmente, a regiões com redes de distribuição mais antigas e elevada concentração de tubulações secundárias de pequeno diâmetro. Segundo Sarzedas (2009), redes com diâmetros inferiores ou iguais a 200 mm tendem a apresentar maior frequência de falhas devido à menor resistência estrutural e maior suscetibilidade às variações de pressão operacional.

Os dados obtidos demonstraram que aproximadamente 86% dos reparos em rede ocorreram em tubulações com diâmetros de até 200 mm, corroborando os resultados encontrados na literatura técnica sobre vulnerabilidade de redes secundárias. Entretanto, deve-se considerar que esses diâmetros também representam a maior parte da extensão da rede presente na área estudada, o que contribui para o aumento da frequência de intervenções nessas tubulações.

Além do diâmetro, o material da rede de distribuição mostrou-se um fator relevante na ocorrência dos vazamentos. As tubulações predominantes na região analisada foram compostas por PVC, PEAD, ferro fundido (FoFo) e ferro fundido revestido (DEFoFo). Observou-se maior incidência de reparos em redes antigas de ferro fundido e PVC, especialmente em locais submetidos a elevadas variações de pressão e ausência de setorização hidráulica eficiente.

De acordo com a Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES, 2015), redes antigas de ferro fundido podem apresentar incrustações internas e aumento da perda de carga, exigindo maiores pressões operacionais e favorecendo a ocorrência de rupturas. Ainda segundo a ABES (2015):

"As tubulações antigas de ferro fundido não revestido tendem a apresentar corrosão e incrustações que elevam significativamente as perdas de carga e aumentam a necessidade de pressões mais elevadas no sistema de distribuição."

Outro aspecto importante identificado no estudo refere-se à influência da idade das redes na ocorrência de vazamentos. Parte significativa das tubulações de ferro fundido presentes nos bairros analisados foi instalada entre as décadas de 1980 e 1990, indicando infraestrutura com mais de 30 anos de operação. Segundo Tsutiya (2006), o envelhecimento das tubulações associado às variações hidráulicas do sistema pode intensificar a frequência de falhas estruturais e perdas reais de água.

Os resultados obtidos também reforçam a importância da setorização e do gerenciamento de pressão como estratégias para redução das perdas hídricas. Trow e Farley (2003) destacam que a identificação das áreas críticas por meio de ferramentas de geoprocessamento contribui diretamente para ações mais eficientes de manutenção e controle operacional.

Nesse contexto, o uso do software QGIS demonstrou elevado potencial como ferramenta de apoio à gestão do saneamento urbano, permitindo integrar informações operacionais, espaciais e estatísticas em um único ambiente de análise. A utilização do mapa de calor facilitou a identificação visual dos bairros mais impactados pelos vazamentos, contribuindo para a priorização de ações corretivas e investimentos em infraestrutura.

Além disso, a representação espacial das ocorrências permitiu observar que algumas regiões com elevada incidência de vazamentos apresentam baixa setorização hidráulica e elevada concentração populacional, fatores que podem intensificar as perdas reais e dificultar o gerenciamento operacional da rede.

Os resultados obtidos evidenciam a necessidade de adoção de estratégias integradas para redução das perdas hídricas em Cuiabá/MT, incluindo:

- substituição gradual das redes antigas;
- ampliação da setorização hidráulica;
- gerenciamento de pressão;
- monitoramento contínuo dos vazamentos;
- utilização de ferramentas de geoprocessamento para suporte à tomada de decisão.

Dessa forma, o estudo demonstra que a integração entre análise espacial e dados operacionais constitui uma importante ferramenta para o planejamento e modernização dos sistemas de abastecimento de água, contribuindo para maior eficiência operacional, sustentabilidade hídrica e redução dos desperdícios no ambiente urbano.

CONCLUSÃO

O presente estudo permitiu analisar a distribuição espacial dos vazamentos nos bairros abastecidos pelo Reservatório Apoiado INPE, em Cuiabá/MT, utilizando ferramentas de geoprocessamento e dados operacionais da concessionária de saneamento. A aplicação do software QGIS e da técnica de mapa de calor possibilitou identificar áreas críticas com maior incidência de reparos na rede de distribuição de água, contribuindo para melhor compreensão das perdas hídricas no sistema estudado.

Os resultados evidenciaram maior concentração de vazamentos em regiões com redes mais antigas e tubulações de menor diâmetro, indicando influência direta das características da infraestrutura na ocorrência das falhas operacionais. Além disso, verificou-se predominância de reparos em redes compostas por materiais como PVC e ferro fundido, especialmente em áreas submetidas a elevadas variações de pressão e baixa setorização hidráulica.

A utilização da análise espacial mostrou-se uma importante ferramenta para apoio à gestão do saneamento urbano, permitindo integrar informações técnicas, operacionais e cartográficas em um único ambiente de análise. O estudo demonstra que o uso de geotecnologias pode auxiliar no planejamento de ações preventivas, priorização de investimentos e modernização das redes de abastecimento, contribuindo para redução das perdas reais de água e aumento da eficiência operacional do sistema.

Dessa forma, conclui-se que a integração entre dados operacionais e ferramentas SIG apresenta elevado potencial para subsidiar estratégias mais eficientes de gerenciamento das perdas hídricas em sistemas urbanos de abastecimento de água, promovendo maior sustentabilidade e otimização dos recursos hídricos no município de Cuiabá/MT.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), Campus Universitário de Várzea Grande, pelo apoio acadêmico e institucional ao desenvolvimento desta pesquisa. Agradecem também à concessionária de saneamento de Cuiabá/MT pela disponibilização dos dados operacionais utilizados no estudo.

NOTA SOBRE O USO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL (IA)

Este trabalho contou com o auxílio de ferramentas de Inteligência Artificial (IA) para apoio na revisão textual, organização estrutural do manuscrito e elaboração de elementos gráficos e ilustrativos. Todas as análises técnicas, interpretação dos resultados, discussão científica e revisão final do conteúdo foram realizadas pelos autores, sendo estes integralmente responsáveis pelas informações apresentadas no estudo.

REFERÊNCIAS

ABES – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. *Perdas em sistemas de abastecimento de água: diagnóstico, potencial de ganho com sua redução e propostas de medidas para o efetivo combate*. Rio de Janeiro: ABES, 2015.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 12217: Projeto de reservatório de distribuição de água para abastecimento público*. Rio de Janeiro: ABNT, 1994.

ANDREOU, S. A.; MARKS, D. H.; CLARK, R. M. A new methodology for modelling break failure patterns in deteriorating water distribution systems: theory. *Advances in Water Resources*, v. 10, n. 1, p. 2–10, 1987.

BARRETO, D. *Perdas em sistemas de abastecimento de água*. Rio de Janeiro: ABES, 2006.

CUNHA, A. H. N. *Avaliação de perdas em sistemas de abastecimento de água*. Goiânia: UFG, 2007.

DAMKE, L.; PASINI, S. *Uso racional da água e sustentabilidade hídrica*. Curitiba: InterSaberes, 2020.

DGE – DIRETORIA GERAL DE ENERGIA. *Guia técnico de gestão de perdas de água em sistemas públicos de abastecimento*. Lisboa: DGE, 2015.

GONÇALVES, R. F. et al. Controle e redução de perdas em sistemas de abastecimento de água. *Revista DAE*, São Paulo, v. 63, n. 199, p. 34–45, 2015.

HELLER, L.; PÁDUA, V. L. *Abastecimento de água para consumo humano*. 2. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2010.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Censo Demográfico 2022*. Rio de Janeiro: IBGE, 2022.

IWA – INTERNATIONAL WATER ASSOCIATION. *Performance indicators for water supply services*. London: IWA Publishing, 2002.

KHOMSI, D. et al. Statistical analysis of water main breaks and leaks. *Journal of Water Resources Planning and Management*, v. 122, n. 2, p. 123–132, 1996.

MELATO, D. S. *Controle de perdas em sistemas de abastecimento de água*. São Paulo: SABESP, 2010.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. *Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021*. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Brasília: Ministério da Saúde, 2021.

MORRIS JR., R. E. Principal causes and remedies of water main breaks. *Journal American Water Works Association*, v. 58, n. 7, p. 782–798, 1966.

OLIVEIRA, G.; SCAZUFCA, P.; SAYON, P. *Perdas de água 2023 (SNIS 2021): desafios para disponibilidade hídrica e avanço da eficiência do saneamento básico*. São Paulo: Instituto Trata Brasil, 2023.

PINTO, J. et al. Processos convencionais de tratamento de água para abastecimento público. *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 28, n. 2, p. 215–228, 2023.

SALVADÓ, J. et al. Water consumption and human health. *Nutrients*, v. 12, n. 3, p. 1–15, 2020.

SARZEDAS, G. C. *Avaliação de fatores intervenientes nas perdas de água em sistemas de distribuição*. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2009.

SHAMIR, U.; HOWARD, C. D. An analytic approach to scheduling pipe replacement. *Journal American Water Works Association*, v. 71, n. 5, p. 248–258, 1979.

SIQUEIRA, A. et al. Tratamento de água para consumo humano: processos e tecnologias. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 25, p. 1–15, 2020.

SNIS – SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. *Diagnóstico dos serviços de água e esgoto – 2020*. Brasília: Ministério do Desenvolvimento Regional, 2021.

SNSA – SECRETARIA NACIONAL DE SANEAMENTO AMBIENTAL. *Controle e redução de perdas nos sistemas públicos de abastecimento de água*. Brasília: Ministério das Cidades, 2009.

SOUZA, M. A. Estratégias para redução de perdas em sistemas de abastecimento de água. *Revista DAE*, São Paulo, v. 70, n. 231, p. 55–68, 2022.

SWAN – SMART WATER NETWORKS FORUM. *Water loss management in urban distribution systems*. London: SWAN Forum, 2011.

THORNTON, J.; STURM, R.; KUNKEL, G. *Water loss control*. 2. ed. New York: McGraw-Hill, 2008.

TROW, S.; FARLEY, M. *Developing a strategy for active leakage control*. London: IWA Publishing, 2003.

TSUTIYA, M. T. *Abastecimento de água*. 3. ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006.

UNESCO – UNITED NATIONS EDUCATIONAL, SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION. *Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos*. Paris: UNESCO, 2015.

USGS – UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. *The water cycle*. Reston: USGS, 2022.

VIDAL JUNIOR, W. et al. Monitoramento de pressão aplicado à redução de perdas em sistemas de abastecimento de água. *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 20, n. 4, p. 645–654, 2015.