O Boletim de Conjuntura (BOCA) publica ensaios, artigos de revisão, artigos teóricos e empíricos, resenhas e vídeos relacionados às temáticas de políticas públicas.

O periódico tem como escopo a publicação de trabalhos inéditos e originais, nacionais ou internacionais que versem sobre Políticas Públicas, resultantes de pesquisas científicas e reflexões teóricas e empíricas.

Esta revista oferece acesso livre imediato ao seu conteúdo, seguindo o princípio de que disponibilizar gratuitamente o conhecimento científico ao público proporciona maior democratizacão mundial do conhecimento.



BOLETIM DE CONJUNTURA

BOCA

Ano VII | Volume 23 | Nº 69 | Boa Vista | 2025

http://www.ioles.com.br/boca

ISSN: 2675-1488

https://doi.org/10.5281/zenodo.17555955

BOLETIM DE CONJUNTURA

www.ioles.com.br/boca

ÍNDICE DE VAZAMENTOS DE ÁGUA EM INFRAESTRUTURAS NOS MUNICÍPIOS DE MATO GROSSO DO SUL: AVALIAÇÃO E IMPLICAÇÕES PARA A GESTÃO HÍDRICA

Raphael Ricardo de Jesus Portela[1]

Adriana Bilar Chaquime dos Santos[2]

Deimison Rodrigues Oliveira[3]

Patricia Pedrozo Lamberti[4]

Reginaldo Brito Costa[5]

Resumo

Este estudo analisa as perdas de água nos sistemas urbanos de abastecimento do estado de Mato Grosso do Sul (MS), com o objetivo de identificar como e em que magnitude a ineficiência operacional do abastecimento hídrico varia entre os municípios. A pesquisa baseou-se em indicadores de desempenho da *International Water Association* (IWA), com foco no *Infrastructure Leakage Index* (ILI). O objetivo consistiu em avaliar o desempenho dos serviços municipais de água quanto às perdas físicas e comerciais. A abordagem metodológica seguiu o método teórico-dedutivo, utilizando dados secundários fornecidos pelas operadoras municipais e por bases públicas, abrangendo todos os municípios do estado e selecionando como amostra aqueles com dados completos para os anos de referência. Os procedimentos envolveram o levantamento e a análise comparativa dos dados por meio dos indicadores selecionados. Os resultados revelaram disparidades marcantes: municípios como Corumbá e Cassilândia apresentaram os menores níveis de eficiência, enquanto Campo Grande registrou os maiores volumes absolutos de perdas, devido à densidade populacional e à escala operacional. As evidências indicam que a adoção sistemática dos indicadores da IWA constitui ferramenta eficaz para o monitoramento e a transparência na gestão do abastecimento de água, ressaltando a necessidade de investimentos em infraestrutura, manutenção preventiva e programas de conscientização voltados à sustentabilidade hídrica. Em termos práticos, os resultados oferecem suporte técnico e estratégico para o aprimoramento de políticas públicas e decisões voltadas à gestão sustentável da água, em consonância com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS 6 e ODS 9).

Palavras-chave: Abastecimento Urbano; Eficiência Hídrica; Perdas de Água; Sustentabilidade; Vazamentos.

Abstract

This study analyzes water losses in urban supply systems across Mato Grosso do Sul (MS), aiming to identify how and to what extent operational inefficiency in water distribution varies among municipalities. Research was based on performance indicators from International Water Association (IWA), focusing on Infrastructure Leakage Index (ILI). Objective was to evaluate performance of municipal water services regarding physical and commercial losses. Methodological approach followed a theoretical-deductive design, using secondary data provided by municipal operators and public databases, covering all municipalities in Mato Grosso do Sul and selecting as a sample those with complete data for reference years. Procedures included data collection and comparative analysis through selected indicators. Results revealed notable disparities: municipalities such as Corumbá and Cassilândia showed lowest efficiency levels, while Campo Grande recorded highest absolute water losses due to population density and operational scale. Findings indicate that systematic adoption of IWA indicators represents an effective tool for monitoring and transparency in water supply management, emphasizing need for investment in infrastructure, preventive maintenance, and awareness programs promoting hydric sustainability. In practical terms, results provide technical and strategic support for improving public policies and decision-making aimed at sustainable water management, aligned with Sustainable Development Goals (SDG 6 and SDG 9).

Keywords: Leakage; Sustainability; Urban Supply; Water Efficiency; Water Losses.

[1] Professor do Instituto Brasileiro de Engenharia de Custos (IBEC). Doutor em Desenvolvimento Local pela Universidade Católica Dom Bosco (UCDB). E-mail: raphaelricardo85@gmail.com

[2] Doutoranda em Ciências Ambientais e Sustentabilidade Agropecuária pela Universidade Católica Dom Bosco (UCDB). E-mail: adrianabilar@hotmail.com

[3] Mestrando em Ciências Ambientais e Sustentabilidade Agropecuária pela Universidade Católica Dom Bosco (UCDB). E-mail: deimison.rodrigues93@gmail.com

[4] Doutoranda em Ciências Ambientais e Sustentabilidade Agropecuária pela Universidade Católica Dom Bosco (UCDB). E-mail: arqlamberti@gmail.com

[5] Professor da Universidade Católica Dom Bosco (UCDB). Doutor em Ciências Florestais pela Universidade Federal do Paraná (UFPR). E-mail: reg.brito.costa@gmail.com

INTRODUÇÃO

A gestão eficiente dos recursos hídricos urbanos é um componente crítico para o desenvolvimento sustentável, especialmente porque a água exerce um papel central na economia e qualidade de vida das comunidades. No caso de Mato Grosso do Sul, esse tema ganha dimensões estratégicas, considerando-se a forte dependência dos mananciais para suportar atividades agrícolas, industriais e urbanas em expansão.

Todavia, os sistemas de abastecimento no estado enfrentam perdas significativas de água que comprometem a eficiência operacional e ameaçam a sustentabilidade do fornecimento. A escassez de análises sistematizadas e comparativas sobre essas perdas, tanto em nível municipal quanto estadual, demonstra uma lacuna relevante que dificulta a adoção de políticas públicas baseadas em dados e práticas de gestão mais assertivas.

O presente estudo busca preencher essa lacuna por meio de uma avaliação detalhada das perdas de água nos sistemas urbanos de Mato Grosso do Sul, utilizando como ferramenta metodológica o Infrastructure Leakage Index (ILI) e demais indicadores recomendados pela International Water Association (IWA). A abordagem se destaca por aplicar tais indicadores de maneira comparativa nas diferentes unidades municipais, oferecendo um panorama inédito da eficiência operacional desses sistemas e subsidiando decisões estratégicas para mitigação de vazamentos e promoção da sustentabilidade hídrica.

A questão norteadora deste trabalho foi concebida da seguinte forma: como os indicadores internacionais de desempenho hídrico, com ênfase no ILI, revelam o panorama das perdas de água nos sistemas de abastecimento urbano em Mato Grosso do Sul, e quais são as implicações para a sustentabilidade desses serviços? A resposta a essa questão não apenas contribui para o fortalecimento da literatura nacional sobre eficiência hídrica, mas também aproxima as práticas locais dos padrões internacionais de gestão e sustentabilidade.

Neste contexo, o objetivo foi avaliar quantitativamente as perdas de água nos sistemas urbanos do estado, por meio dos indicadores CARL (Current Annual Real Losses), NRW (Non-Revenue Water), UARL (Unavoidable Annual Real Losses), TIRL (Technical Infrastructure Real Losses) e ILI. Essa metodologia permite comparar o desempenho entre municípios, identificar disparidades e definir áreas prioritárias para intervenção técnica, regulatória e de planejamento.

O artigo está estruturado em cinco seções: após esta introdução, a segunda seção apresenta os indicadores metodológicos e seu embasamento conceitual; a terceira descreve os procedimentos de coleta, tratamento de dados e cálculo; a quarta analisa os resultados obtidos, discutindo padrões, desigualdades e

implicações; por fim, a quinta seção apresenta as conclusões, ressalta as contribuições à literatura científica e às políticas públicas e sugere caminhos para investigações futuras na gestão hídrica no Brasil.

AVANÇOS NA SIMULAÇÃO, DETECÇÃO DE VAZAMENTOS E REDUÇÃO DE PERDAS EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Na literatura especializada, destacam-se os contributos de Mounce *et al.* (2015), Wiek e Larson (2012) e Ngema *et al.* (2024), entre outros, os quais aprofundaram o conhecimento sobre os sistemas de abastecimento de água e promoveram o acesso equitativo e sustentável a este recurso. As investigações que abordam a simulação de demanda, detecção de vazamentos e redução de perdas em redes de distribuição oferecem aportes particularmente relevantes, sobretudo no que concerne ao suporte a políticas públicas direcionadas para a gestão eficiente da água. Tais estudos vinculam-se diretamente aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, em especial o ODS 6 (Água potável e saneamento), dada sua ênfase na eficiência hídrica e na universalização do serviço, evidenciando que melhorias estratégicas nos indicadores de desempenho são essenciais para superar os desafios institucionais e operacionais identificados recentemente (WANG *et al.,* 2025).

Por sua vez, os trabalhos de Rabelo de Lima *et al.* (2018), Ociepa-Kubicka *et al.* (2024), Park *et al.* (2025), entre outros, destacam a importância da identificação precisa de vazamentos em redes de distribuição, mostrando os desafios associados a rompimentos de tubulações e riscos de contaminação decorrentes. A utilização de abordagens baseadas em aprendizado de máquina demonstra o potencial de aprimorar a eficiência operacional e segurança sanitária dos sistemas de abastecimento (LIU *et al.,* 2024).

Chowdhury *et al.* (2002) apresentaram estratégias direcionadas à redução das perdas de água nos sistemas de distribuição, com reflexos positivos no desempenho econômico das concessionárias. Complementando, Giustolisi e Walski (2012) desenvolveram um modelo de simulação em regime estacionário, concebido para quantificar os vazamentos induzidos pela pressão na rede, enquanto Mounce e Boxall (2010) propuseram a aplicação de técnicas de inteligência artificial na detecção de perdas. Em conjunto, esses trabalhos evidenciam a importância da articulação entre métodos tradicionais de engenharia e ferramentas computacionais avançadas, no sentido de aprofundar o conhecimento sobre os sistemas de abastecimento e fomentar soluções inovadoras voltadas para o aumento da eficiência operacional.

ÁGUAS SUPERFICIAIS NO ESTADO DE MATO GROSSO DO SUL

No cenário territorial de Mato Grosso do Sul, emergem distintamente duas entre as 12 Regiões Hidrográficas do Brasil, explicitadas na Resolução nº 32/2003 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH). A demarcação meticulosa destas regiões se efetiva na Região Hidrográfica do Paraguai, englobando a bacia do rio Paraguai a oeste (DIAS *et al.,* 2024), e na Região Hidrográfica do rio Paraná (METCALFE *et al.,* 2020), compreendendo a bacia do rio Paraná a leste. Esta configuração precípua delineia o divisor de águas do estado, estendendo-se de nordeste a sudoeste.

Enquanto a Região Hidrográfica do Paraná ocupa uma área total de 169.488,663 km², representando cerca de 47,46% da extensão territorial do estado, sobressaem os rios Aporé, Sucuriú, Verde, Pardo, Ivinhema, Amambai e Iguatemi, situados à margem direita do rio Paraná. Os rios Paranaíba e Grande, afluentes principais do rio Paraná, ocupam posição proeminente no tríplice limite entre os estados de São Paulo, Minas Gerais e Mato Grosso do Sul. Por outro lado, a Região Hidrográfica do Paraguai em Mato Grosso do Sul, estendendo-se por 187.636,301 km² e representando 52,54% da área total do estado, destaca-se pelos rios Taquari, Miranda, Negro e Apa, localizados à margem esquerda do rio Paraguai (OLIVEIRA *et al.,* 2019, PERÉZ-PERÉZ *et al*., 2021). Esta região abrange o Pantanal Mato-grossense, cuja dinâmica das águas superficiais está intrinsecamente vinculada a fatores como declividade, descarga dos principais rios, regime climático, natureza dos solos e suporte geológico, conferindo-lhe singular importância (MME, 1982).

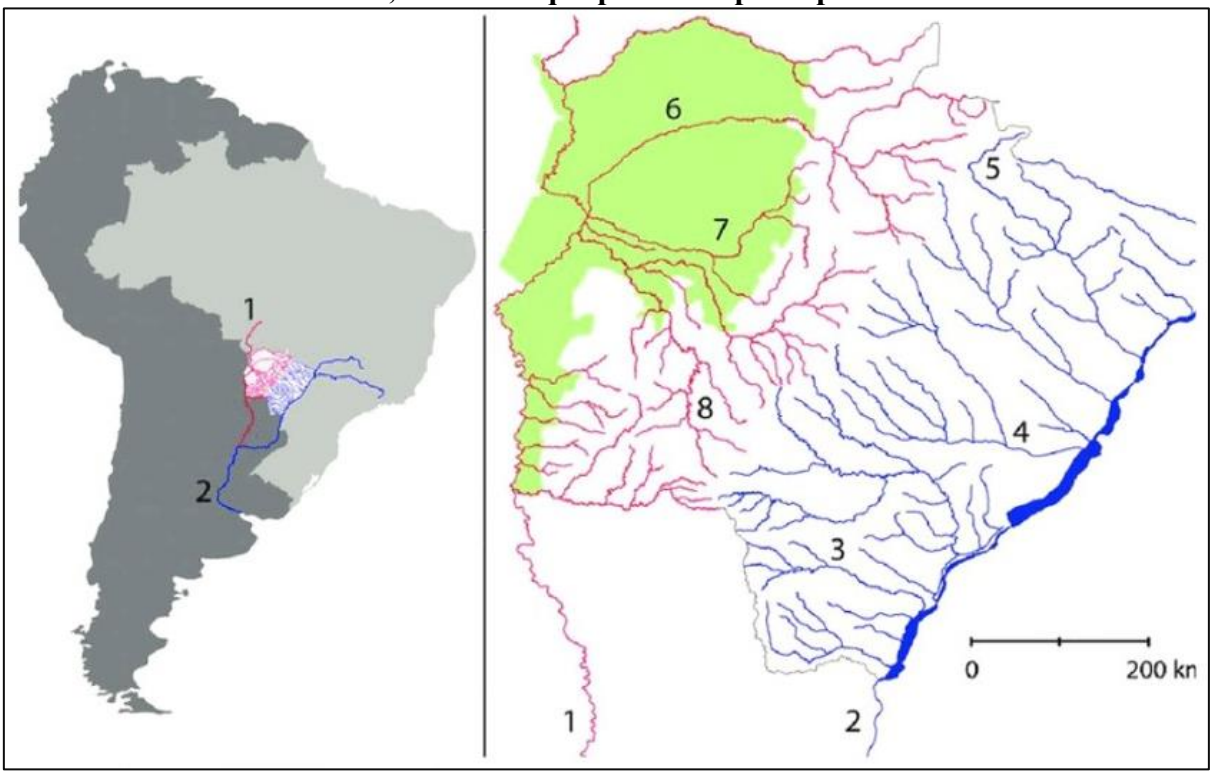
A hidrografia do estado de Mato Grosso do Sul e sua posição na América do Sul, com destaque para os seus principais formadores (azul, bacia do Alto rio Paraná; vermelho, bacia do rio Paraguai; verde, Pantanal; 1, rio Paraguai; 2, rio Paraná; 3, rio Amambai; 4, rio Pardo; 5, rio Sucuriú; 6, rio Taquari; 7, rio Negro; 8, rio Miranda), conforme descrito por Froehlich *et al.* (2017), demostrada na Figura (1).

A configuração geográfica da planície pantaneira apresenta duas partes principais: uma superior, acima da cota de 200 m (planalto), e outra inferior, na cota média de 100m (planície). A dinâmica fluvial nessa região é complexa, caracterizada por pequenos cursos d'água, linhas de drenagem, vazantes, corixos e lagos e lagoas, refletindo a maior planície contínua de inundação do planeta no Pantanal Mato-grossense, incluindo sua porção situada em Mato Grosso do Sul (COELHO *et al.,* 2025).

Destacam-se as particularidades específicas da dinâmica fluvial nas duas áreas da bacia, ressaltando a variação temporal nas partes sul e norte. Ao comparar as duas regiões, hidrográficas, observa-se que o menor coeficiente de escoamento ocorre na bacia do rio Paraguai, especialmente pela baixa capacidade de drenagem do Pantanal, que funciona como uma extensa planície de inundação (ANA, 2020). Esse comportamento é intensificado pelo fato de que, ao receber as vazões provenientes do planalto

da bacia, o Pantanal atua como uma imensa área de retenção natural, armazenando grande parte dos volumes de água. Esse processo gera uma acentuada variabilidade sazonal nos regimes de cheia e vazante, aspecto fundamental a ser considerado na gestão da disponibilidade hídrica da região. (MME, 1982; ANA, 2020).

Figura 1 - Hidrografia do estado de Mato Grosso do Sul e sua posição na América do Sul, com destaque para seus principais formadores

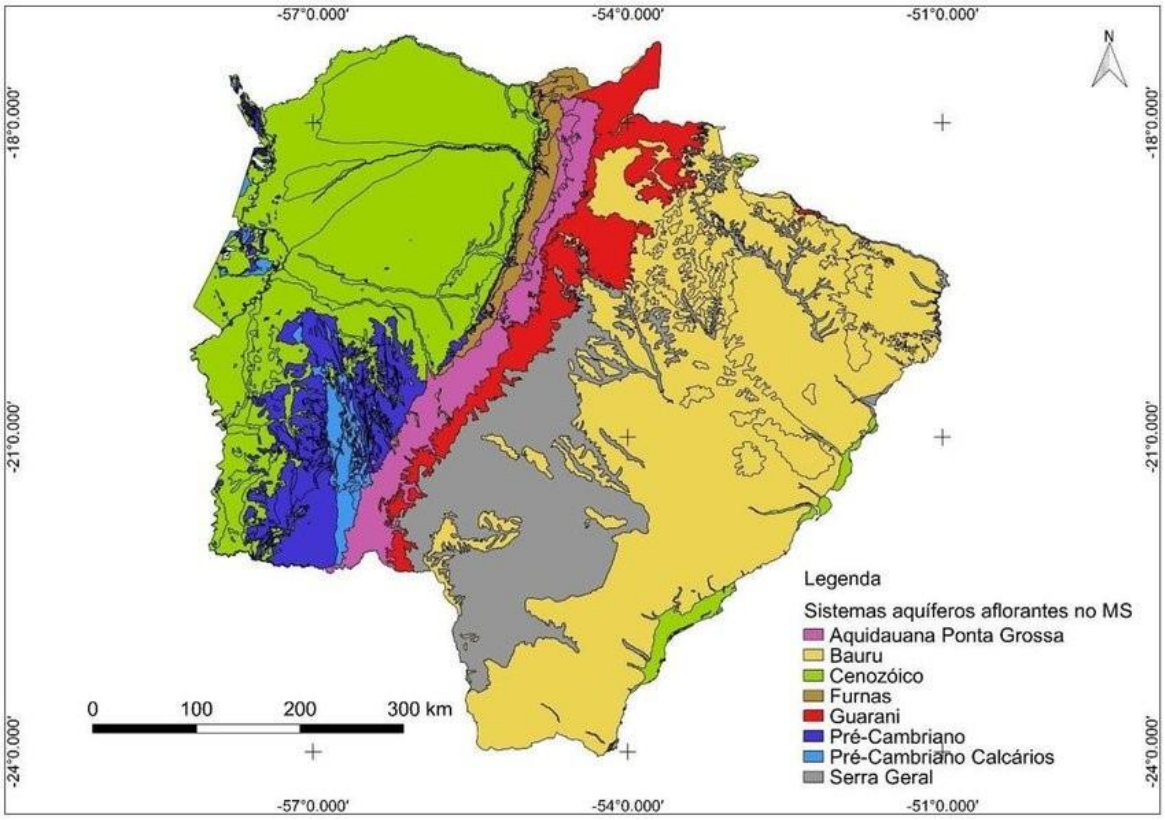


Fonte: Froehlich *et al.* (2017).

ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NO ESTADO DE MATO GROSSO DO SUL

Os sistemas aquíferos do estado de Mato Grosso do Sul se dividem em duas categorias principais de rochas: sedimentares, responsáveis pelos aquíferos porosos, e ígneas-metamórficas, que compõem os aquíferos fraturados ou de fissuras. A presença dos aquíferos porosos é notável nas bacias sedimentares do Paraná e do Pantanal, enquanto os aquíferos fraturados estão situados no embasamento cristalino e em uma formação específica da Bacia do Paraná (IMASUL, 2020). A delimitação contempla oito unidades aquíferas distintas no estado de Mato Grosso do Sul, conforme apresentado no mapa da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (Figura 2), discriminadas como segue: Sistema Aquífero Cenozóico; Sistema Aquífero Bauru; Sistema Aquífero Serra Geral; Sistema Aquífero Guarani; Sistema Aquífero Aquidauana-Ponta Grossa; Sistema Aquífero Furnas; Sistema Aquífero Pré-cambriano Calcários; Sistema Aquífero Pré-cambriano.

Figura 2 - Sistemas aquíferos livres no estado do Mato Grosso do Sul



Fonte: Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (2006).

O consumo total de água pela população do estado de Mato Grosso do Sul atinge aproximadamente 87 milhões de metros cúbicos por ano, e deste montante, 81% correspondem ao consumo na Região Hidrográfica do Paraná, enquanto apenas 19% são atribuídos à Região Hidrográfica do Paraguai (IMASUL, 2010).

ABASTECIMENTO DE ÁGUA NO ESTADO DE MATO GROSSO SUL

O fornecimento de água à população é realizado por meio das concessionárias Empresa de Saneamento de Mato Grosso do Sul (SANESUL), que abrange 67 municípios do estado, Águas de Guariroba, em Campo Grande, a capital estadual, e Serviços Autônomos de Água e Esgoto (SAAE) em alguns municípios. Os mananciais utilizados abrangem tanto águas subterrâneas quanto superficiais (SANESUL, 2016).

Com base nos dados fornecidos no Plano Estadual de Recursos Hídricos do Mato Grosso do Sul (IMASUL, 2010), os sistemas produtores da SANESUL registram um volume total de aproximadamente 88,3 milhões de metros cúbicos anuais de água, com um volume consumido de 48,3 milhões de metros

cúbicos por ano. Portanto, 54,7% do total produzido são consumidos pela população. Até o momento, observa-se um equilíbrio entre a oferta e a demanda de água nos municípios operados pela SANESUL.

No que se refere aos valores de vazão média consumida para abastecimento humano (urbano) no estado, registra-se a marca de 1,146 metros cúbicos por segundo, distribuídos entre 0,944 na Região Hidrográfica do Paraná e 0,201 na Região Hidrográfica do Paraguai (IMASUL, 2020). Vale ressaltar que a principal fonte de captação provém de águas superficiais, enquanto na Região Hidrográfica do Paraná predomina a captação de águas subterrâneas. A utilização de diferentes fontes de abastecimento remete à utilização de estratégias diferenciadas para preservação e gestão sustentável dos recursos hídricos.

Em síntese, a avaliação da captação de água no estado de Mato Grosso do Sul evidencia uma ampla gama de fontes e estratégias empregadas para suprir a demanda de abastecimento urbano. A diferença na captação entre as regiões hidrográficas do Paraná e do Paraguai, em que predomina o uso de águas subterrâneas frente às superficiais, ressalta a necessidade de abordagens de gestões hídricas específicas para cada contexto.

A eficiência das infraestruturas emerge como um pilar essencial para o desenvolvimento e a segurança de uma sociedade dinâmica. No contexto do estado do Mato Grosso do Sul, este artigo propõe uma análise do ILI, destacando sua importância como ferramenta primordial na avaliação do estado das infraestruturas municipais.

Na revisão de pesquisas anteriores, destacam-se estudos que contribuíram significativamente para a compreensão e aprimoramento do ILI. Autores como Liemberger (2002), Lambert *et al*. (2013), Winarni (2009) e Giustolisi e Walski (2012) apresentaram análises abrangentes sobre o uso de indicadores de desempenho na gestão de vazamentos, fornecendo dados que fundamentam a aplicação do ILI. Pesquisas recentes, como a de Klosok-Bazan *et al*. (2021), e Yilmaz, Firat, Ozdemir (2022), reforçam a relevância do índice como ferramenta de apoio à tomada de decisão, evidenciando sua aplicabilidade em diferentes contextos e realidades operacionais. Esses trabalhos ressaltam que o ILI não apenas possibilita a comparação padronizada do desempenho entre sistemas de abastecimento, como também orienta estratégias de controle de perdas e investimentos mais eficientes, fortalecendo sua posição como um dos principais referenciais na gestão hídrica contemporânea.

Lambert e Taylor (2010) ofereceram diretrizes importantes e abrangentes para a gestão de perdas de água. As contribuições práticas do estudo delineiam estratégias eficazes destinadas a reduzir as perdas nos sistemas de abastecimento, promovendo uma abordagem mais sustentável. Destaca-se particularmente a relevância do ILI, enquanto o reconhecimento das valiosas contribuições dos pesquisadores evidenciando a influência significativa na modelagem e aprimoramento da compreensão e aplicação desta métrica fundamental na gestão dos recursos hídricos.

A metodologia subjacente ao cálculo do ILI é explorada, evidenciando sua aplicabilidade na identificação de áreas com maiores índices de perda. Além disso, analisa-se a relevância prática do ILI, não apenas sob a perspectiva de eficiência operacional, mas também em termos de segurança pública e sustentabilidade ambiental (YILMAZ *et al.*, 2022).

ÍNDICES DE PERDA

A adoção de índices específicos oferece uma abordagem sistemática para compreender e lidar com as diversas formas de perdas, sejam aparentes ou reais. Ao compreender a relevância desses índices, abre-se espaço para a implementação de estratégias eficazes na mitigação de perdas, impulsionando a sustentabilidade e eficiência nos serviços de abastecimento hídrico (KLOSOK-BAZAN *et al*., 2021).

Os vazamentos comprometem a estabilidade técnica dos sistemas de abastecimento de água, vida útil da rede, qualidade da água e serviços prestados. As perdas reais são caracterizadas por vazamentos ao longo do processo de distribuição. Para Gupta e Kulat (2018), o consumo autorizado não faturado é classificado como perda, apesar de ser aproveitado, pois é o volume de água utilizado pela empresa para serviços operacionais, como lavagem de tubulações. Na perspectiva econômica, os impactos das perdas de água são significativos, pois elevam os custos operacionais, exigem maiores investimentos e diminuem as receitas das prestadoras de serviço (AL-WASHALI *et al.,* 2016; ZHANG *et al*., 2024).

As empresas de abastecimento devem priorizar a redução das perdas de água, conforme destacado por Mazzolani *et al.* (2016), devido ao impacto econômico significativo dessa prática. A diminuição das perdas não só contribui para a redução do desperdício de água e energia, mas também ajuda a diminuir os custos associados ao tratamento e bombeamento de água, além de minimizar danos causados por terceiros, entre outros benefícios. Portanto, ao reduzir perdas, as empresas podem economizar tanto em termos operacionais quanto de capital a longo prazo. Além disso, melhorias nos sistemas de abastecimento não apenas otimizam os custos, mas também melhoram a reputação da empresa, garantindo um fornecimento confiável de água (OCIEPA-KUBICKA; WILCZAK, 2017; LENCHA, BABORE, 2025).

A avaliação de perdas de água nos sistemas de abastecimento é essencial para garantir a eficiência operacional e a sustentabilidade dos recursos hídricos. Entre esses indicadores, destacam-se o CARL (Current Annual Real Losses), que representa o volume anual de perdas reais no sistema de abastecimento quando a rede está pressurizada. Calculado como o volume anual de perdas reais (em litros) dividido pelo número de conexões (Nc), esse índice expressa a média de perdas reais por conexão diariamente, no período em que a rede está em operação (UNTO, 2024).

Outro indicador relevante é o NRW (Non-Revenue Water), que disponibiliza a porcentagem de água que entra no sistema e não é faturada devido a perdas ou outros motivos. Calculado como a diferença entre o volume de entrada no sistema (VES) e consumo autorizado faturado (CAF), esse índice permite avaliar a eficiência na faturação do volume de água consumido, indicando o percentual de água perdida ou não contabilizada (GIUSTOLISI *et al.*, 2024).

Em relação às perdas inevitáveis, o UARL (Unavoidable Annual Real Losses) se destaca ao representar o volume anual de perdas reais que não podem ser evitadas, considerando fatores como comprimento da rede, número de conexões, comprimento das conexões até o medidor do cliente e pressão do sistema. Esse indicador fornece resultados sobre as perdas desafiadoras economicamente para serem eliminadas, considerando características específicas do sistema (BERARDI *et al.,* 2025).

Além disso, o TIRL (Technical Real Losses) é um indicador técnico que relaciona o volume anual de perdas reais (CARL) ao número de conexões de serviços (Nc). Essa métrica oferece uma visão mais detalhada, permitindo uma análise técnica das perdas reais em relação à extensão do sistema (MVONGO *et al.*, 2024).

Por fim, o ILI é um número adicional que representa a eficácia das atividades de gestão operacional da infraestrutura. Calculado como a razão entre o TIRL e o UARL, esse índice indica como as atividades de gerenciamento de vazamentos e operações impactam as perdas reais, proporcionando uma métrica de eficiência operacional (GIUSTOLISI *et al.,* 2024). Ao aplicar e analisar esses índices em conjunto, gestores de sistemas de abastecimento podem desenvolver estratégias direcionadas para reduzir perdas, promovendo uma gestão mais eficaz e sustentável dos recursos hídricos (BERARDI, GIUSTOLISI, 2021).

METODOLOGIA

Para garantir rigor científico e reprodutibilidade, o percurso metodológico do estudo foi estruturado da seguinte forma: definição do método e fundamentação teórica. Para isso foi realizada a escolha do método teórico-dedutivo, justificando sua adequação à análise comparativa de indicadores e à inferência de padrões de eficiência em escala municipal. A fundamentação teórica envolveu uma revisão sistemática da literatura sobre perdas de água, eficiência operacional e regulação hídrica, incluindo estudos de referência internacional encontrados em bases de dados especializadas nesse seguimento de pesquisa (VITOR *et al*., 2025; SANTANA, PAQUALETTO, 2024). Em seguida realizou-se a delimitação do universo empírico de análise que compreende os 79 municípios de Mato Grosso do Sul, abrangendo diferentes realidades socioeconômicas e infraestruturais. Essa delimitação permite analisar desigualdades

territoriais na eficiência hídrica e identificar correlações espaciais entre porte populacional, regime de gestão e níveis de perdas (OBUNGA *et al.,* 2025).

Para a coleta e organização da sequência metodológica, foram utilizados dados secundários provenientes do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), no recorte temporal de 1995 a 2021, além de relatórios técnicos da SANESUL e Instituto de Meio Ambiente de Mato Grosso do Sul (IMASUL). Os dados foram organizados em planilhas eletrônicas e padronizados segundo os critérios da *International Water Association (IWA)*, assegurando comparabilidade temporal e espacial. O cálculo e análise dos indicadores de desempenho utilizou-se as fórmulas e parâmetros estabelecidos pela IWA (LAMBERT; McKENZIE, 2002), obtendo-se, dessa forma os principais indicadores de perdas: CARL, UARL, NRW, TIRL e ILI. Os cálculos foram processados no software R (versão 4.3), utilizando rotinas estatísticas e o pacote *ggplot2* para geração de representações gráficas e geoespaciais (SANTOS *et al.,* 2024). Essa etapa permitiu mensurar o nível de eficiência hídrica e identificar variações regionais significativas.

A Interpretação e triangulação teórico-metodológica da pesquisa fundamenta-se no método teórico-dedutivo, ancorado em uma abordagem quantitativa e comparativa, orientada pela aplicação de indicadores de desempenho hídrico amplamente consolidados em estudos sobre eficiência de sistemas de abastecimento. Essa estratégia metodológica articula fundamentos teóricos e evidências empíricas, permitindo deduzir relações entre perdas reais, água não faturada e eficiência operacional da infraestrutura por meio de métricas internacionalmente reconhecidas, como NRW, CARL, UARL e o ILI (OBUNGA *et al.,* 2025; MAZZOLANI *et al.*, 2023; DVGW, 2024).

Pesquisas recentes reforçam a relevância desses indicadores compostos para subsidiar o planejamento setorial, regulação econômica e gestão de ativos hídricos em contextos territoriais diversos, incluindo países com diferentes níveis de desenvolvimento tecnológico e institucional (SANTOS, 2024; OGATA *et al.,* 2024). Assim, parte-se de princípios teórico-operacionais da literatura especializada sobre gestão de perdas e eficiência hídrica para deduzir, a partir dos dados observados, padrões espaciais e técnicos de desempenho dos sistemas de abastecimento nos municípios de Mato Grosso do Sul.

A fórmula para o cálculo usa a relação entre as duas variáveis, considerando as perdas ao longo do processo. O resultado do ILI é expresso pela razão entre o indicador técnico de perdas reais pelas perdas reais anuais, conforme segue:

$$ILI = TIRL/UARL$$

Onde:

TIRL – Indicador técnico de perdas reais
UARL – Perdas reais anuais inevitáveis.

O cálculo do indicador técnico de perdas reais (TIRL) é obtido pela razão entre o volume anual de perdas reais e o número de conexões de serviços. Já o cálculo de perdas reais anuais inevitáveis (UARL) que indicam o volume de perdas consideradas inevitáveis, considerando que há dificuldade de detectar e reparar, pois não é economicamente viável. O nível de perdas inevitáveis varia de acordo com o comprimento da rede, pressão, falhas e números de clientes (LENZI *et al.,* 2014; YILMAZ *et al.,* 2022), como segue:

$$TIRL = CARL / Nc$$

Onde:

CARL – Perdas reais anuais totais (m^3);
Nc – Número de conexões de serviços.

$$UARL = (18 \times Cr/Nc + 0{,}80 + 25 \times Lp/Nc) \times P$$

Onde:

Cr – Comprimento da rede (km);
Nc – Número de conexões de serviços;
Lp – Comprimento das conexões da rede até o medidor do cliente (m);
P – Pressão do sistema (mca).

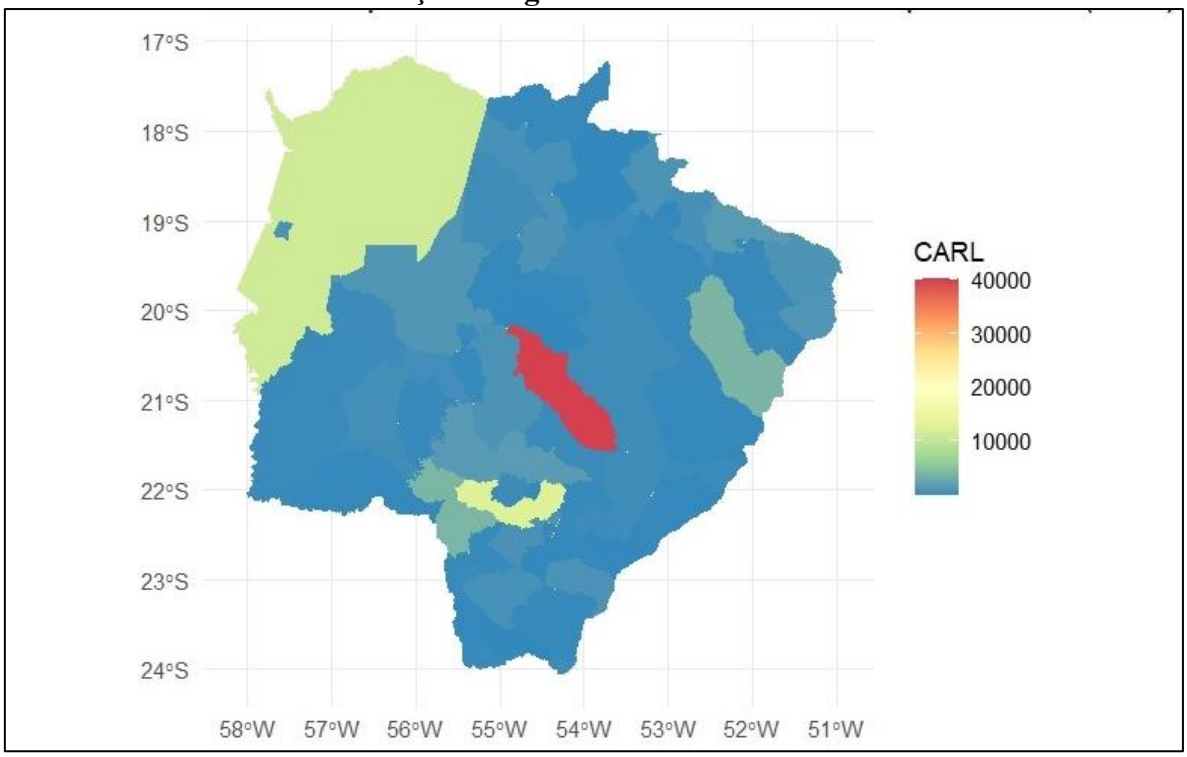
Considerando essas métricas quantitativas para avaliar a eficiência do sistema, a metodologia de cálculo contempla variáveis como taxa de vazamento, pressão na rede e extensão geográfica. A precisão dos resultados é avaliada por meio das considerações estatísticas apresentadas, proporcionando uma base sólida para a análise do ILI nos municípios do Mato Grosso do Sul. Essa abordagem assegura rigor científico e representatividade nos resultados obtidos (ALEGRE *et al*., 2000; HERRERA *et al*., 2016).

Os resultados obtidos foram interpretados à luz da literatura recente, por meio de uma triangulação entre dimensões teóricas, empíricas e analíticas, integrando o tratamento estatístico, a análise espacial e a comparação internacional. Essa triangulação possibilitou deduzir padrões territoriais de desempenho e compreender os condicionantes estruturais e institucionais que influenciam as perdas de água no estado.

RESULTADOS

A análise espacial das perdas anuais de água em Mato Grosso do Sul permite identificar padrões estruturais de distribuição e magnitude, revelando disparidades regionais que refletem diferentes níveis de eficiência hídrica e gestão operacional. Pesquisas recentes, como Alzarooni *et al*. (2023) que aplicaram GIS para identificar vulnerabilidades em redes urbanas de abastecimento, e Opoku-Gyambibi *et al.* (2024) que apresentaram mapeamento de hotspots de vazamento via plataforma geoespacial, reforçam a importância da representação cartográfica para geolocalização de áreas críticas com elevados volumes de água desperdiçada. Estudos, como o que foi conduzido por Mounce *et al.* (2015), destacam a importância da representação cartográfica para identificar áreas críticas com os maiores volumes de água desperdiçada, proporcionando uma visão mais abrangente da gestão hídrica no estado, tal como se apresenta no presente estudo (Figura 3). A gradação de cores quentes indica os locais com as maiores perdas, facilitando a compreensão imediata das disparidades no uso e na conservação dos recursos hídricos em todo o estado. Essa visualização intuitiva e geoespacial contribui significativamente para a tomada de decisões mais assertivas e direcionadas na busca por um gerenciamento hídrico mais eficiente e sustentável em Mato Grosso do Sul.

Figura 3 – Representação do volume total de perdas reais anuais na distribuição de água no estado de Mato Grosso do Sul

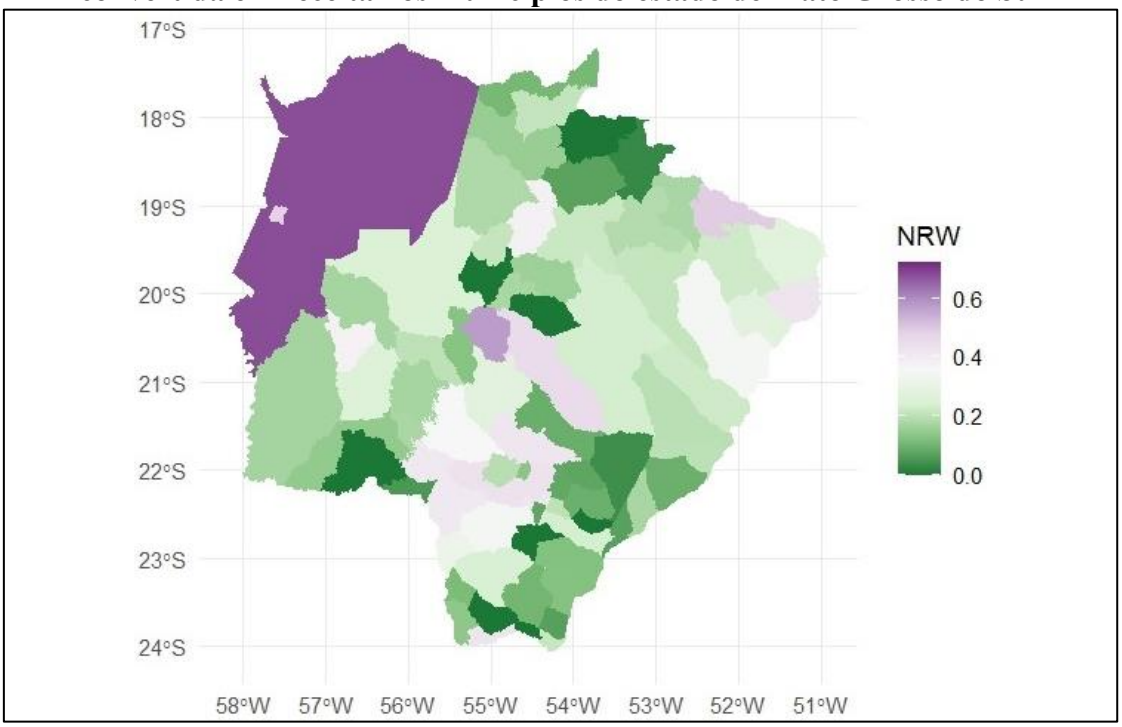


Fonte: Elaboração própria.

Destaca-se o município de Campo Grande, capital de Mato Grosso do Sul, que apresenta um volume expressivo de perdas de água em relação aos demais municípios do estado. Tal resultado decorre, principalmente, da elevada concentração populacional 916.001 habitantes em 2021 (IBGE, 2022), que impõe maior pressão sobre a infraestrutura de abastecimento e amplia a probabilidade de perdas físicas e comerciais. Em contextos urbanos densamente povoados, a demanda hídrica elevada tende a intensificar as ineficiências nos sistemas de distribuição, sobretudo quando o crescimento populacional não é acompanhado por investimentos equivalentes em manutenção e modernização da rede (SOUSA *et al.,* 2025; NONO *et al.,* 2024).

Pesquisas recentes indicam que o aumento da densidade populacional e da complexidade operacional das cidades está diretamente associado ao crescimento dos índices de *Non-Revenue Water* (NRW), resultado da combinação de perdas técnicas, furtos e falhas de medição (SANTOS, 2024). Ao examinar os municípios sul-mato-grossenses sob o prisma do fornecimento de água sem receita, observa-se que tais indicadores permitem identificar padrões territoriais e financeiros de desempenho, possibilitando uma avaliação integrada da eficiência e da sustentabilidade econômica dos sistemas municipais de abastecimento de água (Figura 4). Essa análise reforça a importância da mensuração do NRW como instrumento essencial de gestão e regulação para o aprimoramento da governança hídrica em regiões de crescimento urbano.

Figura 4 – Representação do índice água distribuída não convertida em receita nos municípios do estado de Mato Grosso do Sul



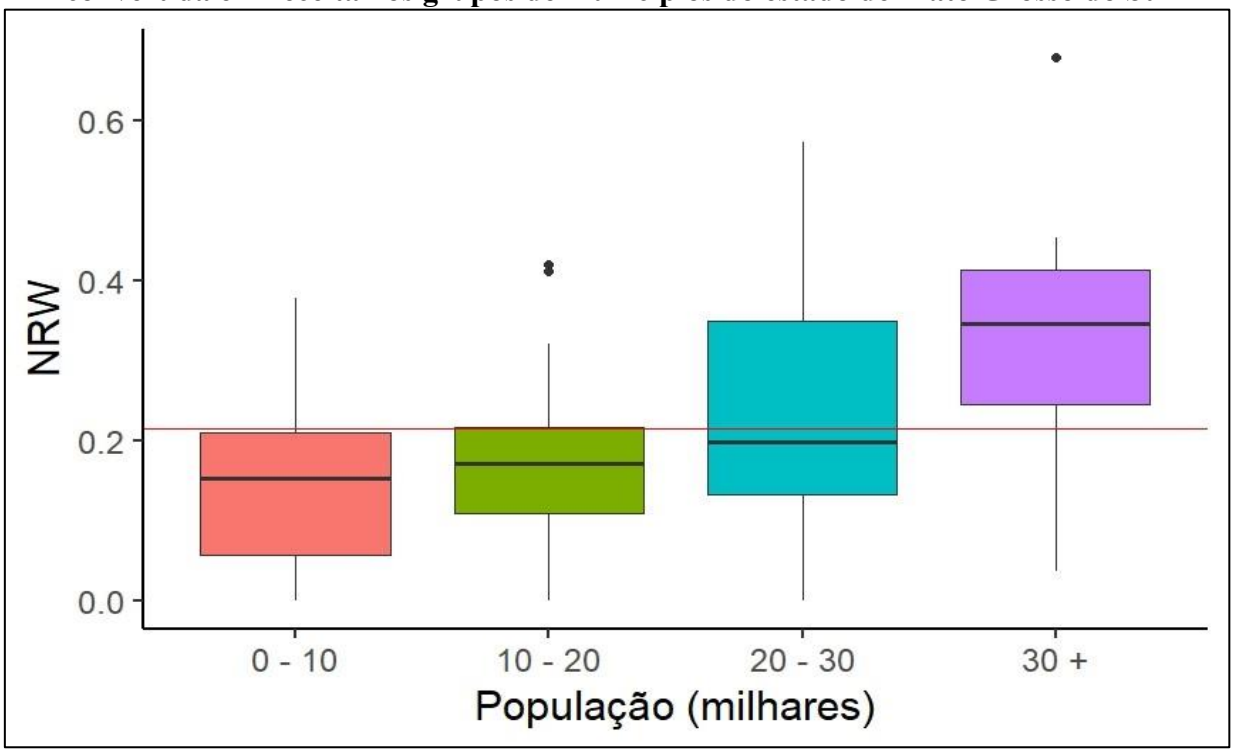
Fonte: Elaboração própria.

O termo “água sem receita” ou “água não convertida em receita” refere-se ao percentual do volume de água anual não faturado, que inclui perdas de água e consumo autorizado não faturado, em relação ao volume anual de entrada no sistema (PORTELLA *et al.,* 2023).

Além disso, o termo expressa o percentual do volume de água não faturado sobre o custo anual. Constata-se que municípios como Corumbá e Cassilândia apresentam indicadores com menor receita, o que sugere um maior desafio em termos de gestão financeira e eficiência operacional nos sistemas de abastecimento de água dessas localidades. Esses resultados estão em linha com aqueles obtidos por Lambert *et al.* (1999), Liemberger e Wyatt (2010), que destacam a relação entre perdas não faturadas e desafios na gestão financeira e operacional dos sistemas de água.

Para aprofundar a compreensão das perdas de água não faturadas nos municípios do estado de Mato Grosso do Sul, optou-se por agrupá-los de acordo com o tamanho da população. Boxplots foram utilizados como recurso gráfico para análise e interpretação de dados quantitativos. Examinou-se a distribuição, permitindo identificar padrões significativos relacionados às perdas de água em diversos contextos urbanos (Gráfico 1). Esta abordagem analítica está em consonância om os estudos de autores como Lambert *et al.* (2013), Herrera *et al.* (2016), Młyński *et al*. (2021), Chen e Yang, (2022) e Delnaz *et al*., (2023) que enfatizaram a importância da análise estatística na identificação de padrões e tendências nas perdas de água nos sistemas de abastecimento.

Gráfico 1 – Índice de água distribuída não convertida em receita nos grupos de municípios do estado de Mato Grosso do Sul

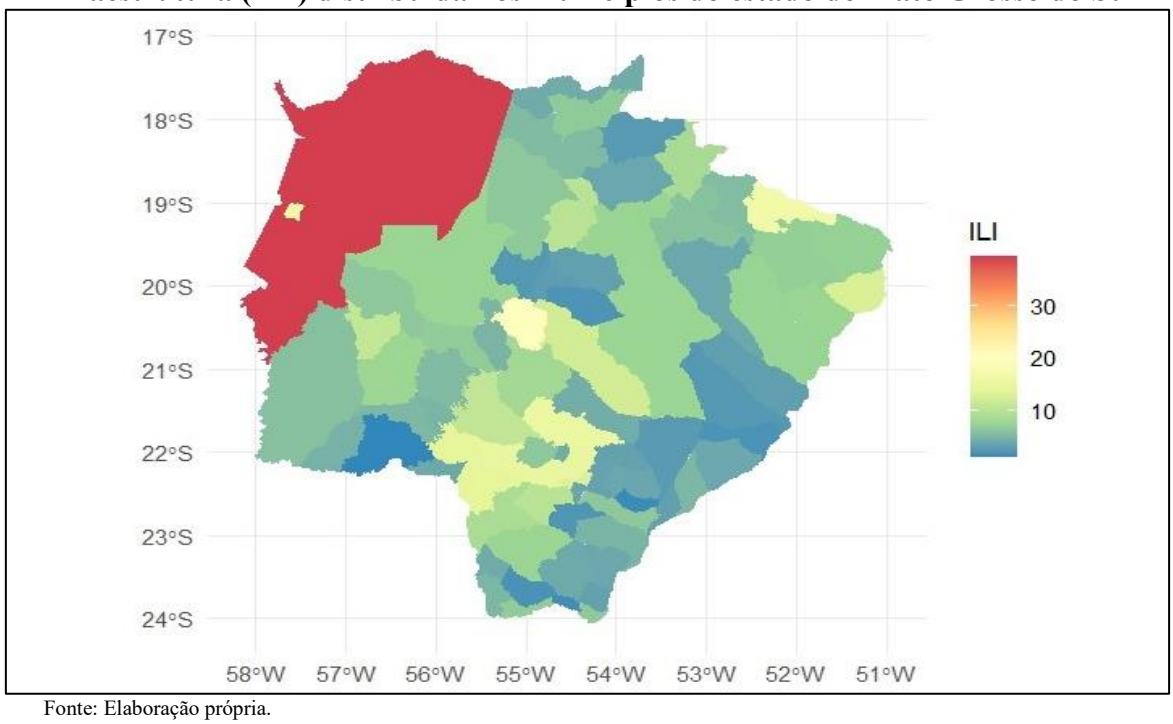


Fonte: Elaboração própria.

Adicionalmente, a análise das perdas de água, ao agrupar os municípios conforme o tamanho da população, revelou que a média de água sem receita nos municípios mais populosos (com mais de 30 mil habitantes) ultrapassa a média total para o estado de Mato Grosso do Sul. Esse resultado evidencia desafios típicos de áreas urbanas densamente povoadas, nas quais a infraestrutura tende a ser mais antiga, a densidade populacional é elevada e a demanda por água é mais intensa. Estudos recentes demonstram que esses fatores estruturais e demográficos estão diretamente associados ao aumento das perdas de água e à redução da eficiência operacional dos sistemas (MEIRELES, 2023; GARAJEH, 2024).

Na Figura 5, são apresentados os resultados referentes ao Infrastructure Leakage Index (ILI), distribuído entre os municípios do estado. Esse indicador tem se mostrado uma ferramenta eficaz para avaliar o desempenho da gestão operacional da infraestrutura, permitindo identificar vulnerabilidades associadas a vazamentos, reparos e manutenção das redes de distribuição. O mapa utiliza cores mais quentes para destacar os municípios com maiores índices de vazamento, oferecendo uma representação visual das áreas mais críticas em termos de conservação dos recursos hídricos e eficiência operacional.

Figura 5 – Representação do indicador relativo ao vazamento de água na infraestrutura (ILI) distribuída nos municípios do estado de Mato Grosso do Sul



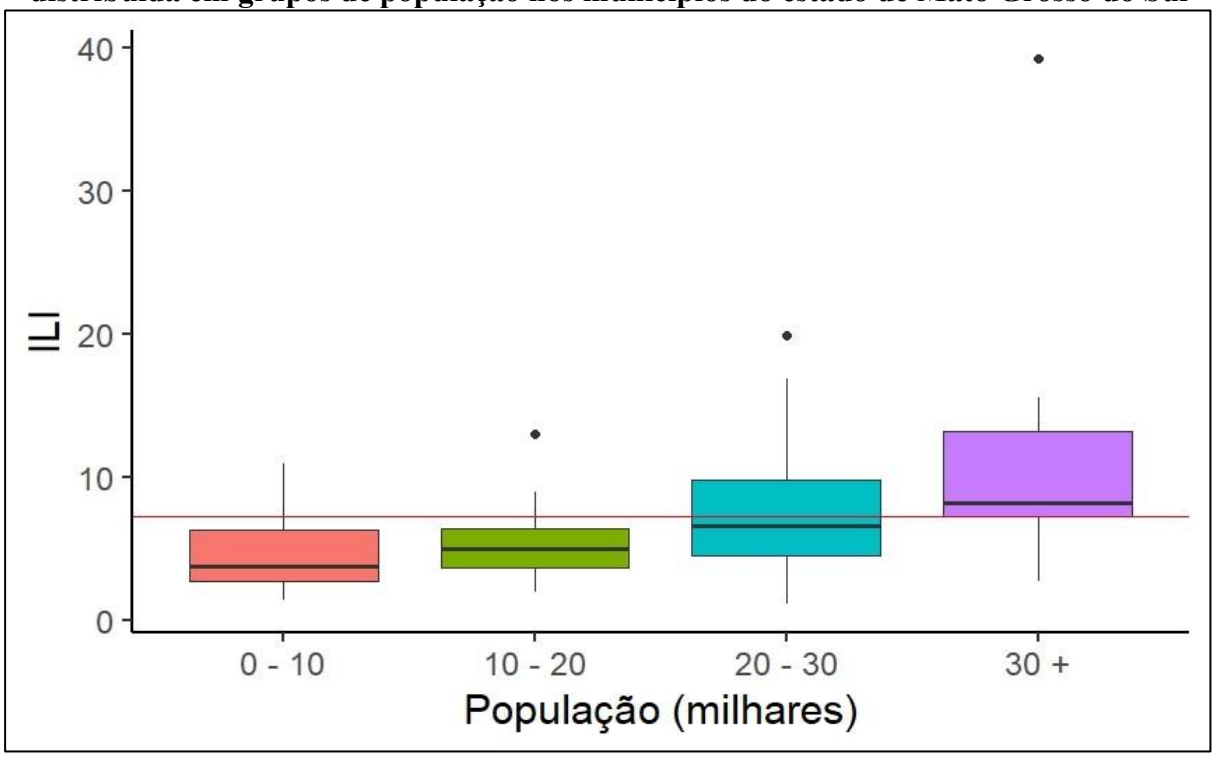
Fonte: Elaboração própria.

A análise geoespacial evidenciou discrepâncias significativas nos valores do Infrastructure Leakage Index (ILI) entre os municípios de Mato Grosso do Sul, com destaque para Corumbá**,** que apresentou o pior desempenho**.** Esse resultado reflete uma combinação complexa de fatores históricos, socioeconômicos, geográficos e institucionais**,** incluindo a antiguidade das redes de abastecimento**,** as

condições climáticas extremas e a limitação de investimentos contínuos em manutenção preventiva**.** Tais condições tornam as perdas mais acentuadas e dificultam a gestão operacional, sobretudo em regiões afastadas dos principais centros de distribuição.

Diante desse cenário, optou-se por agrupar os municípios segundo o porte populacional e empregar boxplots, permitindo visualizar a dispersão e os padrões de variação das perdas de água na infraestrutura. Essa abordagem comparativa possibilita identificar tendências entre diferentes faixas populacionais e compreender como o aumento da densidade urbana se relaciona com os níveis de ineficiência nos sistemas de abastecimento. O gráfico 2 apresenta uma síntese gráfica desses resultados, oferecendo uma leitura clara e objetiva sobre as diferenças estruturais e operacionais entre os municípios analisados.

Gráfico 2 – Indicador relativo ao vazamento de água na infraestrutura (ILI) distribuída em grupos de população nos municípios do estado de Mato Grosso do Sul



Fonte: Elaboração própria.

Os achados confirmam a relação descrita por Giustolisi e Walski (2012), indicando que municípios com maior densidade populacional tendem a apresentar índices mais elevados de perdas de água. Essa correlação reflete a maior complexidade operacional e o desgaste das redes de distribuição em áreas densamente urbanizadas, nas quais a pressão sobre a infraestrutura e o envelhecimento das tubulações intensificam as perdas físicas e comerciais. Estudo recente corrobora essa relação, demonstrando que a análise geoespacial das redes de abastecimento permite identificar padrões territoriais de vulnerabilidade e priorizar intervenções em zonas críticas, sobretudo em cidades com alta concentração populacional e

histórico de expansão desordenada (GARAJEH, 2024). Tais evidências reforçam a necessidade de políticas públicas voltadas à modernização, manutenção preventiva e adoção de tecnologias inteligentes de monitoramento para garantir eficiência e sustentabilidade no abastecimento de água.

A disparidade nas perdas de água entre diferentes grupos de municípios, conforme evidenciado, destaca a complexidade da gestão dos recursos hídricos em áreas urbanas e a importância de abordagens diferenciadas para lidar com os desafios específicos de cada contexto. Entre os fatores que influenciam essas perdas, como apresentado por diversos autores Giustolisi e Walski (2012), Chowdhury *et al.* (2002), Wiek e Larson. (2012), entre outros, estão o histórico de investimentos inadequados em infraestrutura, a gestão, a vulnerabilidade socioeconômica da região, o clima e a topografia que dificultam a manutenção das redes. Para enfrentar esse desafio, são necessários investimentos significativos em infraestrutura, aprimoramento da gestão da água, campanhas educativas para conscientização da população e um estudo detalhado para identificar as causas específicas e orientar ações mais eficazes.

DISCUSSÃO

A manutenção preventiva da infraestrutura de abastecimento revelou-se um dos pilares mais eficazes para a redução de perdas hídricas. A substituição de tubulações antigas por materiais mais duráveis e a adoção de práticas de manutenção proativa contribuem para a mitigação de vazamentos e preservação da integridade do sistema, reduzindo custos associados a intervenções emergenciais. Estudos recentes confirmam que a análise sistemática de falhas e a modernização das redes de distribuição permitem maior confiabilidade operacional e eficiência na gestão (KHAMENEH *et al.*, 2020; GHEIBI *et al.,* 2023).

Paralelamente, a dimensão social tem papel decisivo na gestão hídrica. Programas educacionais que incentivem o uso racional da água e a detecção precoce de vazamentos domiciliares podem reduzir significativamente as perdas aparentes, além de promover maior envolvimento da população na conservação dos recursos. Nesse sentido, a literatura destaca que o engajamento comunitário, aliado a campanhas de conscientização, constitui um fator multiplicador na eficácia das políticas de gestão (ONG *et al.*, 2023).

No campo da governança, a implementação de políticas de gestão hídrica, como tarifas progressivas e incentivos à conservação, se apresenta como mecanismo regulatório capaz de equilibrar eficiência econômica e justiça social. O monitoramento contínuo, associado ao treinamento de profissionais especializados, permite identificar áreas críticas e aplicar medidas corretivas de forma direcionada, assegurando maior resiliência dos sistemas urbanos de abastecimento (ISET-PI, 2019).

Outro ponto central refere-se à incorporação de indicadores de desempenho, como o *Infrastructure Leakage Index* (ILI) e o *Non-Revenue Water* (NRW), nos contratos de concessão e gestão. Esses indicadores fornecem parâmetros objetivos para a avaliação das concessionárias, garantindo transparência e estimulando investimentos em inovação tecnológica. A presença de metas claras e mensuráveis promove a responsabilização das empresas operadoras e incentiva a busca por soluções estruturais e operacionais que favoreçam a sustentabilidade do sistema (NONO *et al.,* 2024; POLACHOVA; TUHOVCAK, 2024).

A combinação entre inovação tecnológica, políticas públicas efetivas e participação social cria um ciclo virtuoso no qual perdas hídricas são reduzidas, a eficiência operacional é ampliada e a segurança hídrica é assegurada a longo prazo. Essa abordagem integrada fortalece não apenas a gestão sustentável dos recursos hídricos no Mato Grosso do Sul, mas também sua relevância como estratégia de desenvolvimento econômico e social (RODRIGUES OLIVEIRA *et al.,* 2025).

Tendências emergentes na gestão de perdas hídricas

As tendências mais recentes no campo da gestão hídrica apontam para uma forte convergência entre transformação digital, sustentabilidade e resiliência climática. A digitalização do setor, por meio da Internet das Coisas (IoT), sensoriamento remoto e análise preditiva baseada em big data e inteligência artificial (IA), tem permitido identificar vazamentos em tempo real e antecipar falhas antes que comprometam o abastecimento. Yussif, *et al.* (2023), Wu *et al*. (2023), Liu *et al.* (2024), entre outros, destacam que sistemas de monitoramento inteligente aplicados à distribuição de água têm reduzido significativamente o NRW, ampliando a eficiência operacional.

Outro vetor de inovação refere-se ao uso de modelagem hidráulica integrada a cenários climáticos, que possibilita projetar o desempenho das infraestruturas sob condições de estresse hídrico crescente. Relatórios recentes da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OECD) ressaltam que incorporar critérios de adaptação climática no planejamento urbano será determinante para a segurança hídrica em regiões vulneráveis (OECD, 2023; OECD, 2024).

A economia circular aplicada ao setor hídrico surge como tendência complementar, ao valorizar práticas de reutilização, captação de águas pluviais e aproveitamento energético dos sistemas de saneamento. Tais estratégias não apenas reduzem a pressão sobre mananciais, mas também transformam o abastecimento em um eixo de inovação sustentável (FRIJNS *et al.,* 2024; AWINIA, 2025).

Em última análise, a consolidação de parcerias público-privadas orientadas por desempenho, com base em indicadores como o ILI e em metas de redução de perdas atreladas a mecanismos de financiamento verde, evidencia um caminho promissor para a sustentabilidade hídrica. Esse modelo

favorece a transparência, fortalece investimentos e reforça o papel estratégico da eficiência no cumprimento dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (VYAS-DOORGAPERSAD, 2024).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise dos indicadores de desempenho dos municípios de Mato Grosso do Sul, especialmente aqueles relacionados às perdas de água e vazamentos na infraestrutura, revelou contrastes significativos na eficiência dos sistemas de abastecimento urbano. Os resultados obtidos, calculados conforme as diretrizes da Associação Internacional da Água (IWA), evidenciaram que municípios como Corumbá enfrentam maiores desafios, enquanto outros apresentaram desempenhos relativamente melhores. Esse panorama reforça a importância da utilização de métricas reconhecidas internacionalmente como instrumentos confiáveis para orientar diagnósticos e ações de gestão voltadas à redução das perdas e promoção da sustentabilidade hídrica nos municípios do estado.

Os achados demonstram que a eficiência na gestão de recursos hídricos não ocorre de forma aleatória, mas depende diretamente da capacidade dos municípios em identificar áreas críticas, implementar procedimentos de controle e investir em infraestrutura adequada. Nesse sentido, a análise comparativa realizada neste estudo oferece subsídios práticos para a formulação de estratégias mais eficazes de mitigação das perdas de água, com impacto direto na sustentabilidade dos serviços de abastecimento e qualidade de vida da população.

Apesar da relevância dos resultados, o estudo apresenta limitações que precisam ser consideradas. A disponibilidade e qualidade dos dados variam entre os municípios, comprometendo a precisão das análises. Além disso, aspectos relevantes como as variações de vazão em cada rede de distribuição e ausência de padronização nos equipamentos de medição e monitoramento não foram contemplados. Essas lacunas ressaltam a necessidade de ampliar o escopo investigativo para capturar com maior profundidade as complexidades envolvidas na gestão de perdas de água.

Como sugestão para pesquisas futuras, recomenda-se que sejam incorporadas variáveis operacionais, tecnológicas e institucionais, de modo a refinar a compreensão dos fatores condicionantes das perdas nos sistemas de abastecimento urbano. A padronização e modernização dos instrumentos de medição, associadas a análises detalhadas das dinâmicas hidráulicas, podem contribuir para o desenvolvimento de estratégias mais assertivas, ampliando a eficácia das políticas públicas e fortalecendo a gestão hídrica nos municípios.

Em síntese, os resultados apresentados confirmam que o enfrentamento das perdas de água exige planejamento estratégico, investimentos em infraestrutura e mecanismos consistentes de monitoramento.

A experiência do estado de Mato Grosso do Sul mostra que, embora existam fragilidades, há espaço para avanços significativos quando se alinham métricas reconhecidas, inovação tecnológica e engajamento institucional. Dessa forma, o estudo contribui não apenas para o aprimoramento da gestão hídrica local, mas também para o debate nacional sobre eficiência e sustentabilidade nos sistemas de abastecimento urbano.

Os resultados desta pesquisa apresentam implicações diretas para o planejamento e a formulação de políticas públicas voltadas à gestão hídrica em Mato Grosso do Sul. Recomenda-se a incorporação de planos de modernização das redes de distribuição, investimentos em tecnologias inteligentes de detecção de vazamentos e capacitação técnica contínua das operadoras locais, alinhadas aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), especialmente ODS 6 (Água potável e saneamento), o ODS 9 (Indústria, inovação e infraestrutura) e o ODS 11 (Cidades e comunidades sustentáveis). A adoção de políticas de governança hídrica multiescalar, com integração entre municípios, estado e setor privado, é essencial para fortalecer a resiliência das infraestruturas e promover o uso eficiente dos recursos. Tais ações contribuem não apenas para reduzir as desigualdades territoriais na prestação dos serviços de água, mas também para consolidar um modelo de gestão alinhado às metas da Agenda 2030 e aos princípios de sustentabilidade e equidade ambiental.

REFERÊNCIAS

ALEGRE, H. *et al*. **Performance Indicators for Water Supply Services**. London: IWA, 2000.

AL-WASHALI, T. *et al*. “Methods of Assessment of Water Losses in Water Supply Systems: a Review”. **Water Resources Management**, vol. 30, n. 14, 2016.

ALZAROONI, E. *et al.* “GIS-Based Identification of Locations in Water Distribution Networks Vulnerable to Leakage”. **Applied Sciences**, vol. 13, 2023.

ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil 2020**: Informe Anual. Brasília: ANA, 2020. Disponível em: <www.gov.br>. Acesso em: 01/05/2025.

AWINIA, C. S “Effectiveness of innovative circular technologies for sustainable rural freshwater supply in Tanzania”. **Frontiers in Sustainability**, vol. 6, 2025.

BERARDI, L. *et al*. “Using water loss performance indicators to support regulation and planning in real water distribution systems”. **Digital Water**, vol. 3, 2025.

BERARDI, L.; GIUSTOLISI, O. “Calibration of Design Models for Leakage Management of Water Distribution Networks”. **Water Resources Manage**, vol. 35, 2021.

CHEN, Y.; YANG, Y. “A Multivariate Statistical Model of Water Leakage in Urban Water Supply Networks Based on Random Matrix Theory”. **Mathematical Problems in Engineering**, vol. 2022, 2022.

CHOWDHURY, M. A. I. *et al*. "Management of Nonrevenue Water in four cities of Bangladesh". **Journal - American Water Works Association**, vol. 94, 2002.

COELHO, M. E. M. S. *et al*. "Trends, Patterns, and Persistence of Rainfall, Streamflow, and Flooded Area in the Upper Paraguay Basin (Brazil)". **WATER**, vol. 17, 2025.

CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. **Mapa Geológico do Mato Grosso do Sul**, escala 1:750.000. Brasília: CPRM, 2006. Disponível em: <www.gov.br>. Acesso em: 01/05/2025.

DELNAZ, A. *et al*. "Asset management analytics for urban water mains: a literature review". **Environmental Systems Research**, vol. 12, 2023.

DIAS, B. A. S. *et al*. "Análise das áreas urbanizadas na Bacia Hidrográfica do Alto Paraguai (2019)". **Anais do Simpósio de Geotecnologias no Pantanal**. Poconé: Embrapa, 2024.

DVGW. "Study on the Application of the Infrastructure Leakage Index (ILI) in Germany – Calculation Methodology, Analysis and Recommendations" **Executive Summary** [2024]. Disponível em: <www.dvgw.de>. Acesso em: 01/05/2025.

FRIJNS, J. *et al*. "Enabling the uptake of circular water solutions". **Water Policy**, vol. 26, 2024.

FROEHLICH, O. *et al*. "Checklist da ictiofauna do Estado de Mato Grosso do Sul, Brasil". **Iheringia**, vol. 107, 2017.

GARAJEH, M. K. *et al.* "Analyzing Urban Drinking Water System Vulnerabilities and Locating Relief Points for Urban Drinking Water Emergencies". **Water Resources Management**, vol. 38, 2024.

GHEIBI, M. *et al*. "A risk-based soft sensor for failure rate monitoring in water distribution network via adaptive neuro-fuzzy interference systems". **Scientific Reports**, vol. 13, n. 12200, 2023.

GIUSTOLISI, O. *et al*. "Effectiveness of water loss performance indicators for asset management". **Digital Water**, vol. 2, 2024.

GIUSTOLISI, O.; WALSKI, T. "Demand components in water distribution network analysis". **Journal of Water Resources Planning Management**, vol. 138, n. 4, 2012.

GUPTA, A.; KULAT, K. D. A "Selective Literature Review on Leak Management Techniques for Water Distribution System". **Water Resources Management**, vol. 32, n. 10, 2018.

HERRERA, M. *et al*. "A comprehensive review on water loss management: Emerging trends and future challenges". **Journal of Water Process Engineering**, vol. 11, 2016.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Brasileiro de 2021**. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: <www.gov.br>. Acesso em: 01/05/2025.

IMASUL - Instituto de Meio Ambiente de Mato Grosso do Sul. **Plano Estadual de Recursos Hídricos de Mato Grosso do Sul**. Campo Grande: Editora UEMS, 2010. Disponível em: <www.imasul.ms.gov.br>. Acesso em: 28/08/2025.

IMASUL - Instituto de Meio Ambiente de Mato Grosso do Sul. **Plano Estadual de Recursos Hídricos**: Sistemas Aquíferos do Estado de Mato Grosso do Sul. Campo Grande: IMASUL, 2020. Disponível em: <www.imasul.ms.gov.br>. Acesso em: 28/08/2025.

ISET-PI. “Water Losses and Operational Efficiency in the Water Sector: Observations and Proposed Policy Interventions”. **ISET Economist Blog** [2019]. Disponível em: <www.iset-pi.ge>. Acesso em: 28/08/2025.

KHAMENEH, P. A. *et al*. “Water distribution network failure analysis under uncertainty”. **International Journal of Environmental Science and Technology**, vol. 17, 2020.

KLOSOK-BAZAN, I. *et al.* “Assessment of leakage management in small water supplies using performance indicators”. **Environmental Science and Pollution Research**, vol. 28, 2021.

LAMBERT, A. *et al*. “Reducing Non-Revenue Water in Africa: A Powerful Approach to Increasing Water Availability”. **Water Practice and Technology**, vol. 8, n. 1, 2013.

LAMBERT, A. *et al*. **Losses from Water Supply Systems**: Standard Terminology and Recommended Performance Measures. London: IWA Publishing, 1999.

LAMBERT, A. **What do we know about pressure**: Leakage relationship in distribution system? London: International Water Association, 2000.

LAMBERT, A.; TAYLOR, R. **Water loss guidelines**. Wellington: The New Zealand Water and Wastes Association Wairoa Aotearoa, 2010.

LENCHA, S. M.; BABORE, T. A. “Modelling of the water distribution system and determination of losses: the case of Halaba Kulito town, Central Ethiopia”. **Discovery Sustainability**, vol. 6, 2025.

LENZI, C. *et al*. “Infrastructure Leakage Index Assessment in Large Water Systems”. **Procedia Engineering**, vol. 70, 2014.

LIEMBERGER, R. **Do You Know How Misleading the Use of Wrong Performance Indicators can be?** London: IWA Specialised Conference, 2002.

LIEMBERGER, R.; WYATT, A. “Sustainable water losses control in developing countries: Why the focus?” **Water Policy**, vol. 12, n. 1, 2010.

LIU, J. *et al*. “Application of artificial intelligence in the management of coagulation treatment engineering system”. **Processes**, vol. 12, 2024.

LIU, R. *et al*. “Contrastive learning method for leak detection in water distribution networks”. **npj Clean Water**, vol. 7, 2024.

MAZZOLANI, G. *et al*. “A Methodology to Estimate Leakages in Water Distribution Networks Based on Inlet Flow Data Analysis”. **Procedia Engineering**, vol. 162, 2016.

MAZZOLANI, G. *et al*. “Assessing Water Performance Indicators for Leakage Reduction and Asset Management in Water Supply Systems”. **arXiv Preprint** [2023]. Disponível em: <www.arxiv.org>. Acesso em: 23/07/2025.

MEIRELES, I. *et al*. “Determinants of water loss in Portuguese utilities”. **Utilities Policy**, vol. 83, 2023.

METCALFE, C. D. *et al*. (eds.). **The Paraná River Basin**: Managing Water Resources to Sustain Ecosystem Services. London: Routledge, 2020.

MŁYŃSKI, D. *et al*. “A study of the water supply system failure in terms of the seasonality: analysis by statistical approaches. AQUA - Water Infrastructure”. **Ecosystems and Society**, vol. 70, 2021.

MME - Ministério de Minas e Energia. **Balanço energético nacional - BEN**. Brasília: MME, 1982. Disponível em: <www.gov.br>. Acesso em: 01/05/2025.

MOUNCE, S. R. *et al*. "Cloud Based Machine Learning Approaches for Leakage Assessment and Management in Smart Water Networks". **Procedia Engineering**, vol. 119, 2015.

MOUNCE, S. R.; BOXALL, J. B. "Implementation of an on-line artificial intelligence district meter area flow meter data analysis system for abnormality detection: a case study". **Water Supply**, vol. 10, 2010.

MVONGO, V. D. *et al*. "Analysis of water losses in seven small and medium-sized water distribution networks in the south region of Cameroon (Central Africa)". **Water Practice and Technology**, vol. 19, 2024.

NGEMA, N. N. *et al*. "Integrating indigenous and modern water supply systems in rural South Africa". **Frontiers in Water**, vol. 6, 2024.

NONO, K. J. *et al*. "Assessment of non-revenue water in the urban water distribution system network in Cameroon (Central Africa)". **Water Supply**, vol. 24, n. 5, 2024.

OBUNGA, P. *et al*. "Quantification of water loss indices in a water distribution network: a case of water and sewerage company of Nairobi City, Kenya". **Water Practice and Technology**, vol. 20, 2025.

OCIEPA-KUBICKA, A. *et al*. "Issues in implementation of EU regulations in terms of evaluation of water losses: towards energy efficiency optimization in water supply systems". **Energies**, vol. 17, 2024.

OCIEPA-KUBICKA, A.; WILCZAK, K. "Water Loss Reduction as the Basis of Good Water Supply Companies' Management". **E3S Web of Conferences**. Paris: EDP Sciences, 2017.

OECD. **A Territorial Approach to Climate Action and Resilience**. Paris: OECD Publishing, 2023. Disponível em: <www.oecd.org>. Acesso em: 12/07/2025.

OECD. **Infrastructure for a Climate-Resilient Future**. Paris: OECD Publishing, 2024. Disponível em: <www.oecd.org>. Acesso em: 12/07/2025.

OLIVEIRA, M. D. *et al*. "Mass balances of major solutes, nutrients and particulate matter as water moves through the floodplains of the Pantanal (Paraguay River, Brazil)". **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, vol. 24, 2019.

ONG, C. *et al*. "Water Losses". *In*: ONG, C. **Urban Water Demand Management**. Singapore: Springer, 2023.

OPOKU-GYAMBIBI, J. *et al*. "Leakage reporting and management Using GIS: A Case Study of the Tema Region". **FIG Working Week 2024**. Ghana: Accra, 2024.

PARK, J. *et al*. "Analysis of Regional Characteristics of Climate Change Factors Affecting Water Distribution Pipe Leakage". **Sustainability**, vol. 17, 2025.

PÉREZ-PÉREZ, E. J. *et al*. "Leak diagnosis in pipelines using a combined artificial neural network approach". **Control Engineering Practice**, vol. 107, 2021.

POLACHOVA, M.; TUHOVCAK, L. "Determination of Infrastructure Leakage Index (ILI) Using Analyses of Minimum Night Flows". **Engineering Proceedings**, vol. 69, 2024.

RABELO DE LIMA, F. H. *et al*. "A ação dos rompimentos de tubulação de água subterrânea em áreas urbanas: impactos e soluções". **Semana Acadêmica: Revista Científica**, vol. 12, 2018.

RODRIGUES OLIVEIRA, D. *et al*. "Avaliação do Desempenho Ambiental no Município de Querência, Mato Grosso, Brasil: Um Estudo de Caso". **Boletim de Conjuntura (BOCA)**, vol. 23, n. 68, 2025.

SANESUL – Empresa de Saneamento de Mato Grosso do Sul. **Relatório institucional sobre os mananciais subterrâneos e superficiais utilizados pela Sanesul**. Campo Grande: Sanesul, 2016. Disponível em: <www.sanesul.ms.gov.br>. Acesso em: 01/05/2025.

SANTANA, C.; PASQUALETTO, A. "Avaliação De Sistemas De Drenagem Urbana E Impactos De Inundações Na Cidade De Goiânia". **Boletim de Conjuntura (BOCA)**, vol. 18, n. 54, 2024.

SANTOS, C. A. *et al*. "Desenvolvimento de banco de dados para sistemas de abastecimento de água visando eficiência hidroenergética usando R e EPANET". **Engenharia Sanitária e Ambiental**, vol. 29, 2024.

SANTOS, E. "Beyond Leakage: Non-Revenue Water Loss and Economic Sustainability". **Urban Science**, vol. 8, 2024.

SOUSA, C. O. M. *et al*. "Key drivers of non-revenue water in developing countries: Insights from a multilevel study in Brazil". **Cleaner Water**, vol. 3, 2025.

UNTO, P. B. "The effect of water loss on demand–supply departure of Addis Ababa, Ethiopia". **Discovery Water**, vol. 89, 2024.

VITOR, G. A. *et al*. "Desigualdades De Acesso Ao Saneamento Básico Entre Áreas Urbanas E Rurais Em Arcoverde (Pe), Brasil". **Boletim de Conjuntura (BOCA)**, vol. 23, n. 69, 2025.

VYAS-DOORGAPERSAD, S. "Investing In Water Infrastructure Development For Achieving Sustainable Development Goal 6". **Journal of Law and Sustainable Development**, vol. 12, 2024.

WANG, P. *et al*. "Interactions Between SDG 6 and Sustainable Development Goals: A Case Study from Chenzhou City, China's Sustainable Development Agenda Innovation Demonstration Area". **Land**, vol. 14, 2025.

WIEK, A.; LARSON, K. L. "Water, People, and Sustainability—A Systems Framework for Analyzing and Assessing Water Governance Regimes". **Water Resources Management**, vol. 26, 2012.

WINARNI, W. "Infrastructure Leakage Index (ILI) as Water Losses Indicator". **Civil Engineering Dimension**, vol. 11, n. 2, 2009.

WU, X. *et al*. "Leakage Detection in Water Distribution Networks Based on Multi-Feature Extraction from High-Frequency Pressure Data". **Water**, vol. 15, 2023.

YILMAZ, S. *et al*. "Using the Infrastructure Leakage Index (ILI) indicator for effective and sustainable leakage management: importance, advantages and challenges". **Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences**, vol. 40, 2022.

YUSSIF, A. M. *et al*. "Application of Machine Learning for Leak Localization in Water Supply Networks". **Buildings**, vol. 13, 2023.

ZHANG, Y. *et al*. "A Multi-Functional Fluorescence Sensing Platform Based on a Defective UiO-66 for Tetracycline and Moxifloxacin". **Water**, vol. 16, 2024.



BOLETIM DE CONJUNTURA (BOCA)

Ano VII | Volume 23 | Nº 69 | Boa Vista|2025

http://www.ioles.com.br/boca

Editor chefe:

Elói Martins Senhoras

Conselho Editorial

Antonio Ozai da Silva, Universidade Estadual de Maringá

Vitor Stuart Gabriel de Pieri, Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Charles Pennaforte, Universidade Federal de Pelotas

Elói Martins Senhoras, Universidade Federal de Roraima

Julio Burdman, Universidad de Buenos Aires, Argentina

Patrícia Nasser de Carvalho, Universidade Federal de Minas Gerais

Conselho Científico

Claudete de Castro Silva Vitte, Universidade Estadual de Campinas

Fabiano de Araújo Moreira, Universidade de São Paulo

Flávia Carolina de Resende Fagundes, Universidade Feevale

Hudson do Vale de Oliveira, Instituto Federal de Roraima

Laodicéia Amorim Weersma, Universidade de Fortaleza

Marcos Antônio Fávaro Martins, Universidade Paulista

Marcos Leandro Mondardo, Universidade Federal da Grande Dourados

Reinaldo Miranda de Sá Teles, Universidade de São Paulo

Rozane Pereira Ignácio, Universidade Estadual de Roraima