




CAPÍTULO 2

MUDANÇAS CLIMÁTICAS E IMPACTOS NA SEGURANÇA HÍDRICA URBANA: AVALIAÇÃO TÉCNICA DA VULNERABILIDADE CLIMÁTICA NO MUNICÍPIO DE ARARAQUARA-SP

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.912112610032>

Alexandre Coan Pierri

Doutorando na Universidade de Ribeirão Preto (UNAERP), Ribeirão Preto, SP, Brasil.

Luciano Farias de Novaes

Doutor, orientador

RESUMO: As mudanças climáticas têm intensificado a ocorrência de eventos hidrometeorológicos extremos, impondo novos desafios à gestão urbana e aos sistemas de saneamento ambiental. Nesse contexto, o presente estudo tem como objetivo analisar os principais riscos climáticos projetados para o município de Araraquara-SP e discutir estratégias técnicas voltadas ao aumento da resiliência urbana frente aos eventos extremos, com foco na segurança hídrica, gestão de perdas de água e na infraestrutura de abastecimento de água operada pelo Departamento Autônomo de Água e Esgotos (DAAE). A metodologia adotada baseia-se em pesquisa aplicada de caráter exploratório e descritivo, fundamentada na análise documental do Plano Diretor de Água, Plano de Segurança da Água e do Plano Municipal de Adaptação e Resiliência Climática, do município de Araraquara. Foram analisados dados relativos à infraestrutura do sistema de abastecimento, riscos operacionais, projeções climáticas e estratégias de adaptação urbana. Os resultados indicam tendência de aumento da temperatura média, redução da precipitação anual e maior irregularidade dos regimes hidrológicos, fatores que podem comprometer a segurança hídrica e aumentar a vulnerabilidade operacional dos sistemas de abastecimento. Também foram identificadas vulnerabilidades estruturais associadas ao envelhecimento da infraestrutura e à necessidade de modernização dos sistemas operacionais. Conclui-se que a integração entre planejamento climático e gestão do saneamento constitui elemento fundamental para o fortalecimento da resiliência urbana, visto a necessidade de adoção de medidas estruturais e operacionais voltadas à eficiência dos sistemas, redução de perdas de água de abastecimento, gestão

de demanda fortalecendo a adoção de estratégias preventivas e tecnologias de monitoramento essenciais para a sustentabilidade dos serviços de abastecimento de água.

Palavras-chave: mudanças climáticas; segurança hídrica; saneamento urbano; resiliência climática; gestão de recursos hídricos.

CLIMATE CHANGE AND IMPACTS ON URBAN WATER SECURITY: TECHNICAL ASSESSMENT OF CLIMATE VULNERABILITY IN THE MUNICIPALITY OF ARARAQUARA, SP, BRAZIL

ABSTRACT: Climate change has intensified the occurrence of extreme hydrometeorological events, posing new challenges to urban management and environmental sanitation systems. In this context, the present study aims to analyze the main climate risks projected for the municipality of Araraquara-SP and discuss technical strategies aimed at increasing urban resilience in the face of extreme events, focusing on water security, water loss management, and the water supply infrastructure operated by the Autonomous Department of Water and Sewage (DAAE). The methodology adopted is based on applied research of an exploratory and descriptive nature, grounded in the documentary analysis of the Water Master Plan, the Water Security Plan, and the Municipal Plan for Climate Adaptation and Resilience of the municipality of Araraquara. Data relating to the infrastructure of the supply system, operational risks, climate projections, and urban adaptation strategies were analyzed. The results indicate a trend of increasing average temperature, reduced annual precipitation, and greater irregularity in hydrological regimes, factors that can compromise water security and increase the operational vulnerability of supply systems. Structural vulnerabilities associated with aging infrastructure and the need to modernize operational systems were also identified. It is concluded that the integration between climate planning and sanitation management is a fundamental element for strengthening urban resilience, given the need to adopt structural and operational measures aimed at the efficiency of systems, reduction of water supply losses, demand management, strengthening the adoption of preventive strategies and monitoring technologies essential for the sustainability of water supply services.

KEYWORDS: climate change; water security; urban sanitation; climate resilience; water resources management.

1 INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas representam um dos maiores desafios contemporâneos para a gestão ambiental e a sustentabilidade das cidades, especialmente no que se refere à segurança hídrica e à resiliência das infraestruturas urbanas. O aumento da temperatura média global, associado às alterações nos regimes de precipitação e à maior frequência de eventos climáticos extremos, tem provocado impactos significativos sobre os sistemas de abastecimento de água, drenagem urbana e esgotamento sanitário, exigindo novas abordagens de planejamento e gestão técnica.

No contexto urbano, a variabilidade climática pode comprometer tanto a disponibilidade hídrica quanto a capacidade operacional dos sistemas de saneamento, uma vez que períodos prolongados de estiagem reduzem a oferta de água bruta, agravando-se com o alto índice de perdas de água no abastecimento público, que conforme o site Trata Brasil em 2025, no Brasil representa 40,31% da água produzida, enquanto eventos de chuvas intensas podem sobrecarregar sistemas de drenagem e provocar inundações, erosões, danos à infraestrutura pública e dificuldades de tratabilidade da água em estações de tratamento (ETAs). Nesse cenário, o conceito de segurança hídrica passa a incorporar não apenas a garantia de disponibilidade quantitativa de água, mas também a capacidade dos sistemas urbanos de resistir, adaptar-se e recuperar-se frente a eventos hidrológicos extremos.

No Brasil, municípios de médio porte apresentam desafios adicionais relacionados à necessidade de modernização da infraestrutura de saneamento e à incorporação de estratégias de adaptação climática nos instrumentos de planejamento urbano. A integração entre gestão de recursos hídricos, planejamento ambiental e operação dos serviços de saneamento torna-se fundamental para reduzir vulnerabilidades e aumentar a resiliência dos sistemas urbanos.

O município de Araraquara-SP insere-se nesse contexto, apresentando histórico de ocorrência de eventos climáticos relevantes, incluindo períodos de estiagem, ondas de calor, precipitações intensas e processos associados como alagamentos e erosões. Projeções climáticas indicam tendência de aumento da temperatura média e possível redução da precipitação anual até o ano de 2050, cenário que pode gerar impactos diretos na disponibilidade hídrica e na operação dos sistemas de abastecimento público de água.

Nesse contexto, destaca-se o papel do Departamento Autônomo de Água e Esgotos de Araraquara (DAAE) como órgão responsável pela gestão dos serviços de saneamento municipal, cuja atuação torna-se estratégica frente à necessidade de adaptação operacional e tecnológica para enfrentamento dos riscos climáticos emergentes. A adoção de práticas voltadas à eficiência operacional, controle de perdas de água de abastecimento, gestão inteligente da demanda e planejamento

de contingência hídrica constitui elemento essencial para garantir a continuidade dos serviços frente aos cenários de incerteza climática.

Apesar do avanço dos estudos sobre mudanças climáticas em escala global e nacional, observa-se ainda uma lacuna técnica relacionada à análise integrada entre projeções climáticas locais e seus impactos diretos na operação dos sistemas municipais de saneamento, especialmente em cidades médias brasileiras. Essa lacuna evidencia a necessidade de estudos aplicados que relacionem variáveis climáticas, vulnerabilidade hídrica e estratégias operacionais de adaptação.

Diante desse cenário, o problema de pesquisa deste estudo pode ser definido como: de que forma as mudanças climáticas podem impactar a segurança hídrica urbana e quais estratégias técnicas podem ser adotadas pelos serviços municipais de saneamento para aumentar a resiliência operacional frente a esses eventos?

2. OBJETIVO GERAL

Avaliar os impactos potenciais das mudanças climáticas na segurança hídrica do município de Araraquara-SP, analisando a vulnerabilidade climática local e sua relação com a gestão dos sistemas de saneamento urbano.

3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar riscos climáticos relevantes;
- Avaliar vulnerabilidades da infraestrutura;
- Analisar riscos operacionais do sistema;
- Discutir estratégias de adaptação;
- Relacionar saneamento e resiliência climática.

4. METODOLOGIA

A pesquisa caracteriza-se como aplicada, de natureza qualitativa, com abordagem exploratória e descritiva, baseada em análise documental técnica.

Os dados utilizados foram estruturados conforme demonstrado no Quadro 1 e também obtidos exclusivamente a partir dos seguintes documentos institucionais:

- Plano Diretor de Água (PDA);
- Plano de Segurança da Água (PSA);
- Plano Municipal de Adaptação e Resiliência Climática (PMAEC).

A metodologia consistiu em:

- Análise do diagnóstico técnico do sistema;
- Identificação de vulnerabilidades;
- Análise de riscos operacionais;
- Avaliação de projeções climáticas;
- Análise das estratégias de adaptação.

Etapa	Objetivo	Fonte
Levantamento	Caracterizar sistema	PDA
Riscos	Identificar ameaças	PMAEC
Vulnerabilidades	Avaliar fragilidades	PSA
Integração	Modelo resiliência	Análise autor

Quadro 1 – Estrutura Metodológica

Fonte: Próprio Autor.

4.1. Área de estudo

Conforme ilustra a Figura 1, a pesquisa teve como cenário o município de Araraquara, localizado na região central paulista, caracterizado por clima subtropical úmido com inverno seco, conforme classificação de Köppen. O município apresenta temperatura média anual de aproximadamente 23°C e precipitação média anual histórica de cerca de 1435 mm, com sazonalidade bem definida entre períodos chuvosos e secos, características que influenciam diretamente a dinâmica dos recursos hídricos locais.

A área de estudo justifica-se pela relevância regional do município, pelo nível de organização dos serviços de saneamento e pela existência de instrumentos técnicos de planejamento climático que permitem a análise integrada entre variáveis ambientais e operacionais.

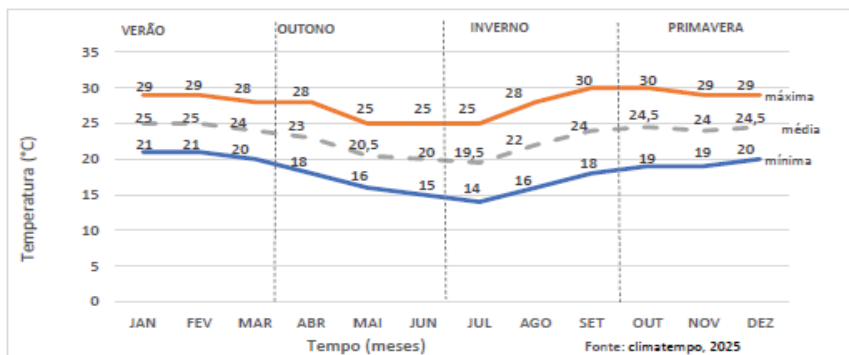


Figura 2: Temperatura do ar a 2 m de altura, mínima, média e máxima mensais

Fonte: Plano de adaptação e resiliência climática de Araraquara.

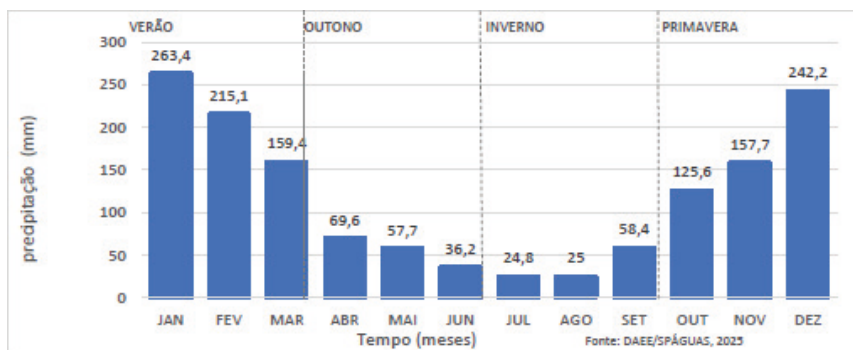


Figura 3: Temperatura do ar a 2 m de altura, mínima, média e máxima mensais

Fonte: Plano de adaptação e resiliência climática de Araraquara.

Paralelamente, foram considerados indicadores operacionais relevantes para a segurança hídrica, tais como:

- volume de água produzido;
- consumo per capita;
- índices de perdas na distribuição;
- capacidade dos sistemas produtores;
- demanda hídrica urbana;
- eficiência operacional dos sistemas;

A análise dos dados ocorreu por meio de avaliação comparativa entre tendências climáticas projetadas e possíveis impactos operacionais, buscando identificar relações de causa e efeito entre variabilidade climática e pressão sobre os sistemas de abastecimento.

4.3. Análise da vulnerabilidade hídrica

A avaliação da vulnerabilidade hídrica foi realizada com base no conceito de risco climático aplicado à infraestrutura urbana, considerando a relação entre:

- exposição aos eventos climáticos;
- sensibilidade dos sistemas de saneamento nos setores de abastecimento;
- capacidade adaptativa institucional.

A análise considerou como fatores de risco:

- redução da disponibilidade hídrica;
- aumento da demanda em períodos de calor extremo;
- riscos operacionais em períodos de seca;
- impactos na regularidade do abastecimento;
- índice de perdas;
- necessidade de aumento da resiliência operacional.

4.4. Limitações do estudo

Como limitações da pesquisa, destaca-se a dependência de dados secundários e projeções climáticas, que possuem incertezas inerentes aos modelos meteorológicos. Além disso, ressalta-se que a análise não contempla modelagens hidrológicas preditivas detalhadas, constituindo uma avaliação técnica baseada em tendências e indicadores operacionais disponíveis.

Entretanto, tais limitações não comprometem a relevância do estudo, uma vez que o objetivo consiste na avaliação estratégica da vulnerabilidade hídrica e na proposição de diretrizes técnicas de adaptação climática aplicadas à gestão do saneamento urbano.

Essa abordagem permite estabelecer uma análise sistêmica da relação entre mudanças climáticas e segurança hídrica urbana, contribuindo para o fortalecimento das estratégias de resiliência no setor de saneamento.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Tendências climáticas e impactos potenciais

As análises indicam que o município apresenta tendência de aumento de eventos extremos, incluindo períodos de seca e chuvas intensas, fatores que podem afetar diretamente os sistemas de saneamento.

Essas alterações podem provocar:

- aumento do consumo de água;
- maior pressão operacional;
- risco de desabastecimento, principalmente em setores abastecidos único exclusivamente por captação de água superficial;
- aumento da complexidade operacional.

Essas alterações representam fatores críticos para o planejamento dos sistemas de abastecimento, especialmente em municípios com elevada dependência de infraestrutura hídrica centralizada.

5.2. Vulnerabilidades do sistema de abastecimento

O Plano Municipal de Adaptação e Resiliência Climática identifica como principais ameaças climáticas relevantes para o município:

- estiagens mais frequentes;
- aumento das ondas de calor;
- eventos de chuvas intensas;
- alagamentos urbanos;
- incêndios florestais;
- baixa umidade do ar.

Observa-se tendência de aumento da frequência de eventos relacionados à estiagem, seca e ondas de calor, fatores diretamente relacionados ao aumento do consumo de água e à redução da disponibilidade hídrica.

O Plano de Segurança da Água identifica riscos como:

- escassez hídrica;
- falhas estruturais;
- rompimento de adutoras;
- contaminação de mananciais.

Tais eventos podem gerar impactos severos sobre a continuidade do abastecimento.

Do ponto de vista da engenharia de sistemas de abastecimento, esse cenário pode resultar em:

- aumento do consumo per capita;
- elevação das vazões de produção necessárias;
- maior estresse operacional nas ETAs;
- redução da segurança operacional em períodos críticos.

Além disso, a ocorrência de chuvas intensas associadas à irregularidade climática pode provocar impactos indiretos no saneamento, como aumento da turbidez em mananciais, sobrecarga de sistemas de drenagem e riscos de contaminação hídrica.

Dimensão	Vulnerabilidade	Impacto	Resposta
Clima	Variabilidade	Produção	Planejamento
Operação	Perdas	Eficiência	Controle
Infraestrutura	Envelhecimento	Falhas	Manutenção
Gestão	Complexidade	Risco	PSA

Quadro 2: Matriz de Vulnerabilidade.

Fonte: Próprio Autor.

5.3. Segurança hídrica para abastecimento

O Plano Municipal de Adaptação e Resiliência Climática estabelece como diretriz estratégica a necessidade de garantir a segurança hídrica para as gerações atuais e futuras, reconhecendo a relação direta entre mudanças climáticas e a sustentabilidade dos sistemas urbanos de água.

A vulnerabilidade hídrica municipal pode ser potencializada por fatores estruturais e operacionais, incluindo o crescimento populacional, o aumento da demanda hídrica urbana e a persistência de elevados índices de perdas nos sistemas de distribuição.

Sob a ótica da engenharia de saneamento, as perdas de água constituem um dos principais fatores de ineficiência operacional, uma vez que implicam a necessidade de maior produção para atendimento da mesma demanda. Esse processo resulta em maior pressão sobre os mananciais, aumento dos custos operacionais e redução da capacidade de resposta do sistema frente a períodos de escassez hídrica.

O documento também reforça a importância da integração entre políticas de saneamento, planejamento urbano e gestão ambiental como estratégia para redução da vulnerabilidade climática.

Sob a perspectiva técnica, isso confirma a necessidade de adoção de abordagens integradas como:

- gestão de perdas de água;
- ampliação da reserva estratégica;
- diversificação de fontes hídricas;
- monitoramento operacional contínuo;
- planejamento adaptativo.

Essas medidas são amplamente reconhecidas na literatura como estratégias essenciais para aumentar a resiliência de sistemas de abastecimento frente às mudanças climáticas.

5.4. Eficiência operacional e controle de perdas como fator de resiliência hídrica

Um dos principais fatores operacionais associados à vulnerabilidade dos sistemas de abastecimento de água frente aos impactos das mudanças climáticas refere-se aos índices de perdas de água na distribuição. Sob a perspectiva da segurança hídrica, sistemas com elevados níveis de perdas apresentam menor capacidade de adaptação a períodos de escassez hídrica, uma vez que necessitam produzir volumes significativamente maiores de água para atender à mesma demanda efetiva da população.

No contexto brasileiro, as perdas de água continuam sendo um dos principais desafios estruturais do setor de saneamento. Dados recentes do Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico (SINISA), divulgados pelo Instituto Trata Brasil, indicam que o índice médio de perdas na distribuição no país permanece em patamares elevados, situando-se em aproximadamente 40%, valor ainda distante dos níveis considerados adequados em sistemas eficientes internacionalmente, que normalmente apresentam índices inferiores a 25%.

Esse cenário evidencia que a redução de perdas constitui uma das estratégias mais eficientes para ampliação da disponibilidade hídrica sem necessidade de expansão da captação ou da produção de água tratada, reforçando o papel da eficiência operacional como componente fundamental das estratégias de adaptação climática no setor de saneamento.

No caso específico do município de Araraquara, a análise dos indicadores operacionais demonstra a relevância do tema no contexto da segurança hídrica local. Conforme dados do SINISA (2025), com ano de referência 2024, o índice de perdas na distribuição do município atingiu 45,05%, valor superior à média nacional. Esse resultado evidencia a existência de desafios técnicos associados à eficiência operacional do sistema de abastecimento, indicando a necessidade de fortalecimento das estratégias de controle e redução de perdas.

Indicador	Araraquara	Brasil	Meta regulatória	Análise técnica
Índice de perdas na distribuição (%)	45,05	40,31%	25%	Indica eficiência da rede de distribuição
Índice de perdas no faturamento (%)	45,94	32,17%	25%	Mede perdas comerciais e físicas
Perdas por ligação (L/lig/dia)	430,97	348,86	216	Avalia eficiência operacional do sistema
Consumo per capita (L/hab/dia)	237,67	154,00	110–180	Indica padrão de consumo urbano
Índice de atendimento de água (%)	98,57	84,20%	99%	Mede universalização

Tabela 1: Indicadores de eficiência operacional e perdas de água no sistema de abastecimento de Araraquara (2021–2023)

Fonte: SINISA (2025); Instituto Trata Brasil (2023; 2024; 2025); DAAE Araraquara.

A análise dos indicadores apresentados evidencia que o controle de perdas constitui variável estratégica para o aumento da resiliência operacional do sistema de abastecimento. Reduções nos índices de perdas resultam diretamente em aumento da disponibilidade hídrica efetiva, redução dos custos operacionais e menor pressão sobre os mananciais utilizados para abastecimento público.

Do ponto de vista técnico-operacional, a redução das perdas permite ganhos estruturais relevantes, entre os quais destacam-se a redução da necessidade de ampliação da produção de água, a diminuição do consumo energético associado ao bombeamento e tratamento, o aumento da vida útil dos sistemas produtores e a melhoria da eficiência econômica dos serviços de saneamento.

Além disso, a literatura técnica demonstra que programas estruturados de controle de perdas estão diretamente associados ao aumento da confiabilidade operacional dos sistemas, especialmente quando baseados em práticas como setorização hidráulica, gestão de pressões, controle ativo de vazamentos, macromedição, micromedição, telemetria e gestão de ativos baseada em risco.

A comparação entre o índice observado em Araraquara e a média nacional reforça a necessidade de avanço contínuo nas políticas de eficiência operacional. O índice de perdas de 45,05%, superior ao valor médio brasileiro, indica maior exposição a riscos operacionais, especialmente em cenários de aumento da variabilidade climática. Sistemas com perdas elevadas possuem menor margem de segurança operacional, pois dependem da produção de volumes adicionais de água para compensar ineficiências estruturais.

Sob a ótica da adaptação climática, esse aspecto torna-se ainda mais relevante, pois sistemas mais eficientes apresentam maior capacidade de resposta frente a eventos extremos, como estiagens prolongadas ou variações abruptas na disponibilidade hídrica. Dessa forma, a redução das perdas deve ser compreendida como uma estratégia estruturante de adaptação, capaz de aumentar a robustez do sistema sem necessidade imediata de expansão da infraestrutura produtiva.

Nesse contexto, a gestão eficiente das perdas deve ser tratada não apenas como uma questão operacional, mas como um elemento estratégico das políticas públicas de adaptação climática no setor de saneamento. Essa abordagem contribui simultaneamente para a sustentabilidade ambiental, a eficiência econômica e o aumento da resiliência dos sistemas urbanos de abastecimento de água.

Como implicação prática, os resultados obtidos indicam que o fortalecimento de programas permanentes de controle de perdas pode representar uma das estratégias mais custo-efetivas para aumento da segurança hídrica municipal. Esse resultado posiciona o controle de perdas como uma das principais oportunidades de aumento da disponibilidade hídrica efetiva sem necessidade de expansão imediata da produção, reforçando o papel da eficiência operacional como eixo estruturante da resiliência climática em sistemas urbanos de abastecimento de água.

5.5. Estratégias de adaptação e resiliência aplicáveis ao saneamento

O instrumento de gestão do Clima apresenta um conjunto de estratégias que, embora voltadas ao planejamento urbano e ambiental, possuem interface direta com a gestão do saneamento.

Entre as medidas identificadas destacam-se:

- ampliação da cobertura vegetal urbana para mitigação de ilhas de calor;
- implantação de soluções baseadas na natureza para drenagem urbana;
- proteção de áreas de recarga hídrica;
- aumento da infiltração de água no solo;
- conservação de recursos hídricos.

Essas medidas contribuem indiretamente para o fortalecimento da segurança hídrica ao favorecer a recarga de aquíferos e a regulação hidrológica do território.

Soluções baseadas na natureza, como jardins de chuva, áreas de infiltração e restauração de margens de cursos d'água, também são apontadas como mecanismos eficazes para aumentar a resiliência urbana frente a eventos climáticos extremos.

Do ponto de vista da engenharia ambiental, tais estratégias apresentam elevada relação custo-benefício quando comparadas a soluções exclusivamente estruturais, além de promoverem benefícios ecossistêmicos adicionais.

5.6. Integração entre saneamento e resiliência climática

A integração entre os dados do Plano de Segurança da Água e do Plano de Resiliência Climática permite identificar que a adaptação climática dos sistemas de saneamento deverá ocorrer principalmente por meio do fortalecimento da gestão operacional.

Entre os principais desafios técnicos identificados destacam-se:

- necessidade de aumento da confiabilidade operacional;
- modernização de infraestruturas antigas;
- ampliação da capacidade de resposta a eventos extremos;
- fortalecimento do monitoramento técnico dos sistemas;
- incorporação de planejamento baseado em risco.

Além disso, o próprio Plano de Resiliência do Clima, destaca a importância da produção de dados técnicos e do monitoramento contínuo como instrumentos fundamentais para tomada de decisão baseada em evidências.

Esse aspecto reforça a importância da utilização de ferramentas como:

- telemetria operacional;
- monitoramento energético;
- controle de perdas em tempo real;
- indicadores de desempenho.

Tais instrumentos constituem elementos fundamentais para a transição de modelos reativos de operação para modelos preventivos baseados em resiliência operacional.

Os resultados obtidos indicam que a adaptação dos sistemas de saneamento às mudanças climáticas deve ser tratada como componente central das políticas públicas urbanas, especialmente em municípios de médio porte com crescente pressão sobre recursos hídricos.

Os planos reforçam que políticas públicas integradas são essenciais para reduzir vulnerabilidades territoriais e garantir o acesso contínuo aos serviços de saneamento, especialmente em áreas com maior fragilidade socioambiental.

Dessa forma, a análise evidencia que a resiliência climática do saneamento depende não apenas da infraestrutura física, mas também da capacidade institucional de planejamento, gestão de riscos e tomada de decisão baseada em dados técnicos

6. CONCLUSÃO

A análise integrada das projeções climáticas com os indicadores operacionais do sistema de abastecimento de água permitiu identificar vulnerabilidades estruturais associadas à segurança hídrica do município de Araraquara. Essa abordagem possibilitou uma compreensão sistêmica da interação entre variabilidade climática, eficiência operacional e capacidade de resposta dos sistemas de saneamento frente a cenários crescentes de risco hidrológico.

Os resultados evidenciam a necessidade de fortalecimento das estratégias de gestão e planejamento hídrico municipal, especialmente no que se refere à adoção de práticas voltadas à melhoria da eficiência operacional dos sistemas existentes. Nesse contexto, programas estruturados de redução de perdas, modernização da infraestrutura e ampliação da capacidade de monitoramento operacional configuram medidas estratégicas para o aumento da segurança hídrica e da confiabilidade dos sistemas de abastecimento.

Adicionalmente, a incorporação sistemática de indicadores de desempenho operacional nos processos decisórios permite orientar investimentos de forma mais eficiente e baseada em evidências técnicas, priorizando intervenções com maior potencial de redução de riscos climáticos e operacionais.

Sob a perspectiva da infraestrutura, a análise do sistema de abastecimento evidencia a coexistência de estruturas implantadas em diferentes períodos e com distintos níveis de conservação, reforçando a necessidade de investimentos contínuos em manutenção, renovação de ativos e adoção de modelos de gestão baseados em risco, como forma de aumentar a robustez e a confiabilidade operacional do sistema.

Observa-se ainda que a segurança hídrica municipal não depende exclusivamente da ampliação da capacidade de produção de água, mas também da implementação de estratégias complementares, como a redução de perdas físicas e aparentes, a melhoria da eficiência operacional, a ampliação da reserva estratégica e a incorporação de tecnologias de monitoramento contínuo. Essa constatação reforça a importância da transição de um modelo tradicional baseado na expansão da oferta para um modelo fundamentado na otimização da infraestrutura existente.

Complementarmente, a comparação dos indicadores observados em Araraquara com a média nacional permite uma avaliação mais precisa do nível de eficiência operacional do sistema local. Conforme dados do SINISA (2025), com ano de referência 2024, o índice de perdas na distribuição do município atingiu 45,05%, valor superior à média nacional, estimada em aproximadamente 40,31%. Esse resultado evidencia a existência de desafios relevantes associados à eficiência operacional do sistema de abastecimento, indicando potencial de melhoria na gestão e no controle das perdas físicas e aparentes.

Essa condição reforça a necessidade de fortalecimento de programas estruturados de redução de perdas, especialmente por meio de ações como setorização hidráulica, controle e redução de pressões, renovação de redes antigas, ampliação da macromedicação e utilização de tecnologias de monitoramento em tempo real. Sob a perspectiva da engenharia de saneamento, tais medidas são reconhecidas como estratégias fundamentais para aumento da eficiência operacional e redução de vulnerabilidades sistêmicas.

Do ponto de vista da segurança hídrica e da adaptação às mudanças climáticas, índices de perdas superiores à média nacional indicam maior exposição a riscos operacionais, uma vez que aumentam a dependência de maiores volumes de produção para atendimento da demanda real. Esse fator reduz a margem de segurança do sistema em períodos de estiagem prolongada ou eventos hidrológicos extremos, tornando ainda mais relevante a adoção de políticas permanentes de eficiência operacional.

Nesse contexto, a redução das perdas no município de Araraquara deve ser compreendida como uma estratégia prioritária não apenas sob a ótica da eficiência econômica, mas também como medida estruturante de adaptação climática, contribuindo para o aumento da resiliência do sistema de abastecimento e para a sustentabilidade dos recursos hídricos locais.

Outro aspecto relevante refere-se à necessidade de integração entre o planejamento climático e o planejamento do saneamento, demonstrando que a adaptação às mudanças climáticas deve ser tratada como elemento estruturante das políticas públicas de infraestrutura urbana. Nesse sentido, a adoção de abordagens baseadas em planejamento adaptativo, gestão preventiva e análise de riscos constitui fator determinante para a redução das vulnerabilidades sistêmicas.

Como contribuição científica, este estudo reforça a importância da utilização de instrumentos técnicos, como os Planos de Segurança da Água, como ferramentas estratégicas não apenas para a gestão operacional dos sistemas, mas também como instrumentos de adaptação climática no setor de saneamento.

Sob a ótica da engenharia ambiental e do planejamento de infraestrutura resiliente, a pesquisa demonstra que a resiliência dos sistemas urbanos de abastecimento depende da integração entre três dimensões fundamentais:

- infraestrutura física resiliente e bem mantida;
- gestão técnica orientada por dados e indicadores de desempenho;
- planejamento institucional com capacidade adaptativa.

Adicionalmente, evidencia-se que municípios de médio porte podem ampliar significativamente sua capacidade de adaptação climática por meio do fortalecimento institucional dos prestadores de serviços de saneamento, da qualificação técnica das equipes operacionais e da incorporação de tecnologias de gestão inteligente dos sistemas.

Como implicação prática, os resultados indicam que a gestão do saneamento tende a evoluir progressivamente de modelos tradicionais, centrados predominantemente na expansão da infraestrutura, para modelos baseados em confiabilidade operacional, eficiência sistêmica e resiliência climática, alinhados às diretrizes contemporâneas da engenharia de infraestrutura sustentável.

Como agenda futura de pesquisa, recomenda-se o aprofundamento de estudos relacionados à aplicação de indicadores de resiliência em sistemas de abastecimento de água, à avaliação da relação entre eficiência energética e adaptação climática e ao desenvolvimento de metodologias integradas de análise de riscos climáticos e operacionais aplicadas ao setor de saneamento.

Conclui-se, portanto, que o fortalecimento da resiliência climática no setor de saneamento constitui elemento essencial para garantir a sustentabilidade dos serviços públicos de abastecimento de água, especialmente diante dos desafios impostos pelas mudanças climáticas, pela variabilidade hidrológica e pelo crescimento urbano. Nesse contexto, o saneamento consolida-se como infraestrutura crítica para a adaptação climática municipal e para a promoção da segurança hídrica em médio e longo prazo.

REFERÊNCIAS

ARARAQUARA (SP). Prefeitura Municipal de Araraquara. Plano Municipal de Adaptação e Resiliência Climática de Araraquara. Araraquara, 2023.

BRASIL. Ministério das Cidades. Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico – SINISA. Brasília, 2023.

BRASIL. Ministério das Cidades. Portaria nº 490, de 22 de março de 2021.

DAAE – Departamento Autônomo de Água e Esgotos de Araraquara. Plano Diretor de Abastecimento de Água e Plano de Segurança da Água. Araraquara, 2020.

INSTITUTO TRATA BRASIL; GO ASSOCIADOS. Estudo sobre perdas de água 2023. São Paulo, 2023.

INSTITUTO TRATA BRASIL; GO ASSOCIADOS. Estudo sobre perdas de água 2024. São Paulo, 2024.

INSTITUTO TRATA BRASIL; GO ASSOCIADOS. Estudo sobre perdas de água 2025. São Paulo, 2025.