

The background of the cover features several brass plumbing fittings, including a large T-junction and various elbows and tees, resting on a technical architectural blueprint. The blueprint contains various lines, dimensions, and labels such as 'MASTER BEDROOM', 'KIT', 'REF', 'HOLD-DOWN CORNERS', '2x4 POST FASTENED TO SIDING TO WHICH PORCH RAIL SHOULD BE FASTENED', '1/2" DIA. THREADED ROD HOLD-DOWN SYSTEM, TYP. AT CORNERS, SEE SHEET A-11 FOR DETAIL', and 'FORM R.O. SIZES WITH WINDOW MANUFACTURER AND FAST WALL FRAMING ACCORDINGLY.'

FUNDAMENTOS DA ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

VOLUME VI



EDITORA CONHECIMENTO LIVRE

Plínio Ferreira Pires

Fundamentos da engenharia sanitária e ambiental

6ª ed.

Goiânia-GO
Editora Conhecimento Livre

6ª ed.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Pires, Plínio Ferreira
P638F Fundamentos da engenharia sanitária e ambiental
/ Plínio Ferreira Pires. – Goiânia-GO

Editora Conhecimento Livre, 2026

316 f.: il

DOI: 10.37423/2026.edcl1255

ISBN: 978-65-5367-767-8

Modo de acesso: World Wide Web

Incluir Bibliografia

1. recursos-hídricos 2. saneamento-básico 3. tratamento I. Pires, Plínio Ferreira II. Título

CDU: 628

<https://doi.org/10.37423/2026.edcl1255>

O conteúdo dos artigos e sua correção ortográfica são de responsabilidade exclusiva dos seus respectivos autores.

EDITORA CONHECIMENTO LIVRE

Conselho Editorial

MSc Edson Ribeiro de Britto de Almeida Junior

MSc Humberto Costa

MSc Thays Merçon

MSc Adalberto Zorzo

MSc Taiane Aparecida Ribeiro Nepomoceno

PHD Willian Douglas Guilherme

MSc Andrea Carla Agnes e Silva Pinto

Dr. Walmir Fernandes Pereira

MSc Edisio Alves de Aguiar Junior

MSc Rodrigo Sanchotene Silva

MSc Adriano Pereira da Silva

MSc Guilherme Fernando Ribeiro

MSc Fabricio Vieira Cavalcante

PHD Marcus Fernando da Silva Praxedes

MSc Simone Buchignani Maigret

Dr. Adilson Tadeu Basquerote

Dra. Thays Gigante Furlan

MSc Camila Concato

PHD Miguel Adriano Inácio

Dra. Anelisa Mota Gregoleti

PHD Jesus Rodrigues Lemos

MSc Karine Moreira Gomes Sales

Dr. Saulo Cerqueira de Aguiar Soares

MSc Pedro Panhoca da Silva

MSc Helton Rangel Coutinho Junior

MSc Carlos Augusto Zilli

MSc Euvaldo de Sousa Costa Junior

Dra. Suely Lopes de Azevedo

Dr. Francisco Odecio Sales

MSc Ezequiel Martins Ferreira

MSc Eliane Avelina de Azevedo Sampaio

MSc Carlos Eduardo De Oliveira Gontijo

Dr. Rodrigo Couto Santos

Dra. Milena Gaion Malosso

PHD Marcos Pereira Dos Santos

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	7
DESEMPENHO DO SISTEMA SODIS ASSOCIADO A MORINGA OLEIFERA E TANINO NO TRATAMENTO DE ÁGUA DE ABASTECIMENTO	
Rennan Soares Ferreira	
Higor Aparecido Nunes de Oliveira	
Karine Zucco Salton	
Luisa Vicentini Secaf	
Edilaine Regina Pereira	
DOI 10.37423/260210699	
CAPÍTULO 2	18
UNIVERSALIZAÇÃO DO SANEAMENTO: A MOBILIZAÇÃO SOCIAL COMO FERRAMENTA CATALIZADORA DO ACESSO AO SISTEMA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO	
Donivaldo Expedito dos Santos	
Elisangela Renata Martins	
José Carlos Fidelis da Silva	
DOI 10.37423/260310805	
CAPÍTULO 3	28
ANÁLISE DA DISPONIBILIDADE E QUALIDADE DOS DADOS DO SINISA, A PARTIR DE UM ÍNDICE DE DÉFICIT DE SANEAMENTO, PARA OS MUNICÍPIOS DE MINAS GERAIS	
Cláudio Jorge Cançado	
Frederico Poley Martins Ferreira	
Plínio de Campos Souza	
Célia de Fátima Machado	
DOI 10.37423/260310812	
CAPÍTULO 4	54
MOBILIZAÇÃO SOCIAL COMO FERRAMENTA DE REDUÇÃO DA INADIMPLÊNCIA E SUA CONTRIBUIÇÃO COM A CIDADANIA	
GONÇALVES, Poliane Araujo	
MARTINS, Elisangela Renata	
SANTOS, Donivaldo Expedito dos	
DOI 10.37423/260310817	
CAPÍTULO 5	64
DESAFIOS DE CIBERSEGURANÇA E CONVERGÊNCIA DE TI E TO EM MEDIÇÕES REMOTAS PARA TRANSFORMAÇÃO DIGITAL COM FOCO EM GESTÃO DE PERDAS	
Tânia Mara Pereira Marques	
Thiago Braga Branquinho	
DOI 10.37423/260310819	

CAPÍTULO 6	82
SEGURANÇA HÍDRICA NO COMPLEXO HIDRELÉTRICO DE URUBUPUNGA	
Helio Ricardo Silva	
Luiz Lucena	
DOI 10.37423/260310836	
CAPÍTULO 7	88
IMPACTO DOS MICROPLÁSTICOS E NANOPLÁSTICOS NA SAÚDE HUMANA	
ANGELA CRISTINA DE SOUZA CORDEIRO	
JOSÉ ANTÔNIO BAPTISTA NETO	
DALTON MARCONDES SILVA	
DOI 10.37423/260310837	
CAPÍTULO 8	117
REDUÇÃO DE PERDAS DE ÁGUA NO MUNICÍPIO DE VALPARAÍSO DE GOIÁS: UM ESTUDO DE CASO NA SANEAGO	
Monike Fabiane Alves Ribeiro Lacerda	
Alexandre Gomes de Souza	
Alison Servoli da Silva	
Itamar Ferreira de Oliveira	
Carlos Emanuel Fries Prado	
DOI 10.37423/260310840	
CAPÍTULO 9	131
COMPOSTAGEM DOMÉSTICA A BAIXO CUSTO: UMA SOLUÇÃO FRENTE À PROBLEMÁTICA DO RESÍDUO SÓLIDO ORGÂNICO URBANO	
Alfredo Fernando Tavares Miglio	
Prof. Dr Rui Guilherme Cavaleiro de Macedo Alves	
DOI 10.37423/260310841	
CAPÍTULO 10	147
BIODIGESTORES ANAERÓBIOS PARA TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS E INTENSIFICAÇÃO DA RENDA DE PEQUENOS PRODUTORES SUÍNOS NO ESTADO DO MARANHÃO	
Alana Gandra Lima de Moura	
Thyago Diogo Rocha Moraes	
Railda Silva Gomes	
Hilton Costa Louzeiro	
Geyse Adriana Correa Ribeiro	
Priscila Bernardes Silva	
João Paulo Tenório da Silva Santos	
Mikele Candida Sousa de Santanna	
Renan Cavalcante Martins	
Fernanda Hellen de Souza Santos	
DOI 10.37423/260310842	

CAPÍTULO 11	155
ESTOQUE DE CARBONO ORGÂNICO DO SOLO COMO INDICADOR DE SERVIÇOS AMBIENTAIS: BIOMA MATA ATLÂNTICA DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO	
Camila Peixoto de Oliveira	
Weslei Peter de Oliveira	
José Luiz de Medeiros	
Ofélia de Queiroz Fernandes Araújo	
DOI 10.37423/260310845	
CAPÍTULO 12	167
EFEITOS DA DESCONTINUIDADE DO ABASTECIMENTO DE ÁGUA TRATADA NA SAÚDE PÚBLICA EM MIRASSOL D'OESTE (MATO GROSSO)	
Luciana Nascimento da Silva	
Pietra Nascimento Cruz	
DOI 10.37423/260310846	
CAPÍTULO 13	186
EDUCAÇÃO AMBIENTAL COMO ESTRATÉGIA DE PREVENÇÃO E CONTROLE DE ARBOVIROSES	
Natália da Silva Toledo	
Isabel Cristina de Barros Trannin	
Lília dos Anjos de Freitas	
Arthur Pinto Marques Lima	
Mayla de Cássia Fernandes Barbosa	
Maria Júlia Castro Ferretti	
Nicolas Araujo Correa	
Amanda Maria da Silva Alves Pinto	
José Eduardo Barbosa Marques Júnior	
DOI 10.37423/260310847	
CAPÍTULO 14	217
ÁGUA E CLIENTE NA CADEIA DE SUPRIMENTOS	
Lara Dias de Jesus	
DOI 10.37423/260310864	
CAPÍTULO 15	239
IMPACTOS DO SANEAMENTO RURAL NA SAÚDE PÚBLICA E NA SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL	
Jakeline Aparecida Nunes da Silva	
Viviam Cristine de Carvalho Silva	
Rosângela Francisca de Paula Vitor Marques	
DOI 10.37423/260310867	

CAPÍTULO 16	248
ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL NA INTERFACE BACIA–CIDADE–COSTA: INFRAESTRUTURAS, SUSTENTABILIDADE E DESAFIOS CONTEMPORÂNEOS	
Thereza Christina de Almeida Rosso Maria Virgínia Alves Martins Vanessa de Magalhães Ferreira DOI 10.37423/260310869	
CAPÍTULO 17	263
A ATUAÇÃO DO MUNICÍPIO DE BELO HORIZONTE NA LOGÍSTICA REVERSA DE EMBALAGENS EM GERAL	
Bárbara Barros Paulino Pedro Assis Neto Matheus Leste Pinheiro Rafael de Quevedo Giraldi Costa Henrique Ferreira Ribeiros Cristiane Ferreira Pimenta DOI 10.37423/260310890	
CAPÍTULO 18	286
DEGRADAÇÃO E AVALIAÇÃO DE TOXICIDADE DOS ANTIBIÓTICOS SULFAMETOXAZOL (SMX) E OXITETRACICLINA (OTC) EM SOLUÇÕES AQUOSAS	
Fellipe Chiara Karraz Juacyara Carbonelli Campos João Eduardo Rodrigues Ribeiro Sarah Dario Alves Daflon Pedro Otávio Nepomuceno de Pontes DOI 10.37423/260310894	
CAPÍTULO 19	302
DESAFIOS E SOLUÇÕES PARTICIPATIVAS PARA O CONTROLE DE ENCHENTES EM FAVELAS – O CASO DO CANAL DO CORTADO NA FAVELA BEIRA-RIO, RIO DE JANEIRO	
Juliana Fernandes Farias DOI 10.37423/260310895	

Capítulo 1



10.37423/260210699

DESEMPENHO DO SISTEMA SODIS ASSOCIADO A MORINGA OLEIFERA E TANINO NO TRATAMENTO DE ÁGUA DE ABASTECIMENTO

Rennan Soares Ferreira

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Higor Aparecido Nunes de Oliveira

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Karine Zucco Salton

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Luisa Vicentini Secaf

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Edilaine Regina Pereira

Universidade Tecnológica Federal do Paraná



RESUMO

Atividades humanas contaminam e degradam a qualidade da água, aumentando a dispersão de doenças de veiculação hídrica. O estudo avaliou a eficácia da desinfecção solar da água através do sistema SODIS (Solar Water Disinfection). O método utilizou garrafas pintadas pela metade (PR) comparativamente a não pintadas (BR), coagulantes extraídos da semente de *Moringa oleífera* (C1) e o Tanino (C2) para comparação dos resultados. O pH não apresentou variações. C1 apresentou maior condutividade elétrica que C2. Para turbidez, foram obtidos resultados superiores a 98% de remoção para cor aparente eficiência superior a 9 %. Após exposição solar, as garrafas PR atingiram temperaturas de até 80,5°C (T2PR1) e 80,2°C (T1PR2), eliminando completamente os coliformes termotolerantes. A *Moringa oleífera* superou o Tanino como coagulante com ambos removendo 100% dos coliformes termotolerantes pós-desinfecção. As garrafas PR aqueceram mais rapidamente e alcançaram temperaturas mais elevadas em comparação com as BR. O estudo concluiu que o SODIS, especialmente com o uso de garrafas PR e o coagulante extraído da semente de *Moringa oleífera* é um método eficaz para desinfecção da água.

Palavras-chave: Água; Coliformes termotolerantes; coagulantes orgânicos.

1 INTRODUÇÃO

A água é vital para a vida, mas sua exploração intensa ao longo dos séculos levou à preocupação com os recursos hídricos finitos. O reconhecimento do acesso a água tratada segundo a ONU reflete a importância de garantir água segura e saneamento básico para todos, considerando a interligação com a qualidade de vida e os direitos fundamentais (Maia, 2013).

De acordo com Tundisi (2006), várias atividades humanas acabam contaminando e degradando a qualidade das águas superficiais, causando efeitos diretos e indiretos, como a eutrofização, aumento do material em suspensão, acidificação e aumento da incidência e dispersão de doenças de veiculação hídrica. Em relação ao último, a Portaria GM/MS 888/2021 estabelece que sejam determinados a ausência em 100 mL de *Escherichia coli* e coliformes totais (Brasil, 2021).

O sistema de desinfecção solar da água via sistema SODIS (Solar Water Disinfection) é uma forma para complementar o tratamento de água de modo a tornar a água potável para o consumo humano, eliminando agentes patológicos como vírus, bactérias e protozoários, através da radiação e aumento da temperatura da água. Conforme Meierhofer e Wegelin (2002), a radiação infravermelha de ondas longas é absorvida pela água, aquecendo-a, e isso pode eliminar microrganismos sensíveis ao calor.

Esta pesquisa visa avaliar a eficácia da desinfecção de água com o método solar SODIS após o tratamento com coagulantes orgânicos extraídos da semente de *Moringa oleifera* e Tanino, para fornecer água segura para consumo humano.

2 DESENVOLVIMENTO

A água é um recurso essencial para a existência da vida e depois de muitos séculos de intensa exploração ao meio ambiente, as pessoas passaram a se preocupar com os recursos hídricos, já que não são infinitos. Um dos grandes problemas relacionados a questão hídrica é a potabilidade da água, já que a maior parte de água se encontra nos oceanos, que contêm grandes quantidades de sal, e são inviáveis para o consumo humano. Deste modo, a ONU reconhece como um direito humano fundamental o acesso a água e ao saneamento básico, como uma “condição essencial para o gozo pleno da vida e dos demais direitos humanos” (Maia, 2018).

De acordo com dados da Organização mundial da Saúde (OMS), cerca de 2,3 bilhões de pessoas não possuem acesso ao saneamento básico apropriado, podendo provocar sérios problemas de saúde

pública, como o aparecimento de doenças infecciosas e epidemias. Além disso, os descartes incorretos e inadequados de resíduos podem levar a poluição dos rios, lagos e solo da região, ocasionando danos de complexa solução ao meio ambiente. Tal ação é importante devido as consequências que a ausência de acesso aos serviços de saneamento causa em milhões de pessoas em todo o planeta (Cardoso et al. 2023).

O sistema de desinfecção solar da água (SODIS) é uma forma para complementar o tratamento de água, após o processo de coagulação, floculação, sedimentação e filtração, de modo a tornar a água potável para o consumo humano, eliminando agentes patológicos como vírus, bactérias e protozoários, através da radiação e o aumento da temperatura.

Segundo Meierhofer & Wegelin (2002), a luz UV-A possui efeito letal em microrganismos patogênicos presentes na água, interagindo diretamente com o DNA e enzimas das células vivas, levando o indivíduo a morte. A radiação infravermelha, de ondas longas, é absorvida pela água fazendo com que se aqueça, dependendo da temperatura atingida e acaba eliminando os microrganismos presentes, pois estes são sensíveis ao calor. Na água, quando atingida a temperatura de 50°C, ocorre o efeito da junção de radiação UV-A e temperatura, de modo a reduzir 3-log de coliformes fecais, a um tempo de exposição de apenas 1 hora, com fluência de 140 W.h.m⁻².

3 METODOLOGIA

O experimento ocorreu no Laboratório de Recursos Hídricos da UTFPR, com água de abastecimento coletada do Ribeirão Jacutinga, Classe II, em Ibiporã, Paraná. Dois coagulantes foram empregados no tratamento de água, sendo um extraído da semente de *Moringa oleifera* (C1) e o outro o Tanino (C2). Para C1, 10 g de sementes foram triturados com 1M de NaCl em 1 L de água destilada e a concentração definida em 2 mL.L⁻¹ de acordo com Cazu (2019). C2 foi preparado com 1 mL do composto diluído em 1 L de água destilada e a concentração de 2 mL.L⁻¹.

O experimento foi conduzido em um equipamento Jar-Test, usando 4 jarros graduados, cada um contendo 2 litros de água de estudo e, seguindo as adaptações de Theodoro (2018), o processo incluiu 3 minutos de mistura rápida (coagulação) a 150 rpm, seguidos de 10 minutos de floculação a 15 rpm, antes do início da sedimentação. Após a sedimentação que durou 30 minutos, realizou-se a filtração em filtros de areia constituídos em provetas graduadas com uma camada de não tecido geotêxtil de

500g.m⁻² na base, seguida por duas camadas de areia de 7,5 cm cada, com granulometrias de 0 a 0,425 mm (G1) e 0,425 a 0,850 mm (G2), conforme Vizibelli et al. (2019).

Após a filtragem, a água foi transferida para garrafas PET de 500 mL, pintadas pela metade com tinta preta resistente ao calor (PR) e outras sem pintura (BR), para avaliar a desinfecção em condições de aumento de temperatura. Foram criados conjuntos (C1 e C2) em garrafas BR e PR, explorando diferentes condições de desinfecção sendo os tratamentos T1BR1, T1BR2, T1PR1, T1PR2, T2BR1, T2BR2, T2PR e, T2PR2 onde R foram as repetições.

Para desinfecção solar (SODIS), concentradores solares (Figura 1), de madeira e com garrafas BR e PR, inclinados a 22° e cobertos com papel alumínio foram usados para desinfecção. Eles foram posicionados ao Norte para expor garrafas diretamente à luz solar das 10:55h às 14:15h, em um dia claro com temperaturas de 33°C e 19,4°C. A temperatura da água nas garrafas foi medida a cada 20 minutos usando termômetros espeto.

Figura 1: Execução do SODIS.



Fonte: Autoria própria (2023).

O experimento foi realizado em duplicata, abrangendo análises de pH, condutividade elétrica, cor aparente, turbidez e avaliação microbiológica através de placas de Petrifilm 3M para *E.coli* e coliformes totais. Análises estatísticas foram conduzidas no software R, com nível de significância de 5%,

empregando o teste ANOVA e, quando necessário, o teste de Tukey para detectar diferenças significativas nos resultados.

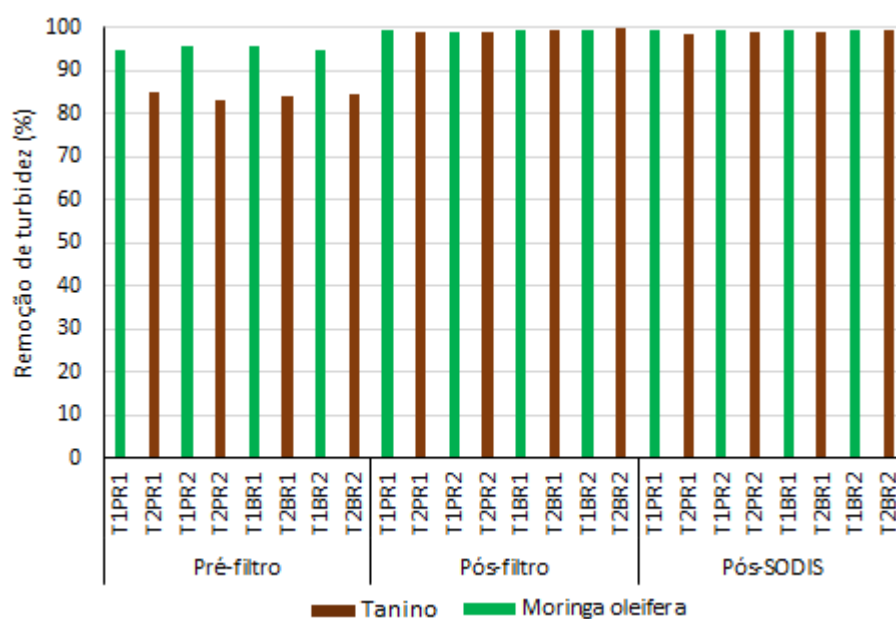
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A água analisada apresentou pH 7,31, condutividade elétrica 84,3 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, cor aparente 382 mgPtCOL⁻¹ e turbidez 249 NTU.

Ao comparar os resultados de pH no ensaio com o da amostra bruta, tem-se que C1 apresentou maior variação em relação a C2, entretanto, os valores decaíram com o tempo de sedimentação, atingindo o valor mínimo de 6,47 e máximo de 7,54 em T1BR1 durante o ensaio. Na etapa pós-SODIS o pH se manteve entre 6 e 7, valores dentro do limite estabelecidos pela Portaria GM/MS N° 888 de 4 de maio de 2021 que é entre 6 e 9 (BRASIL, 2021).

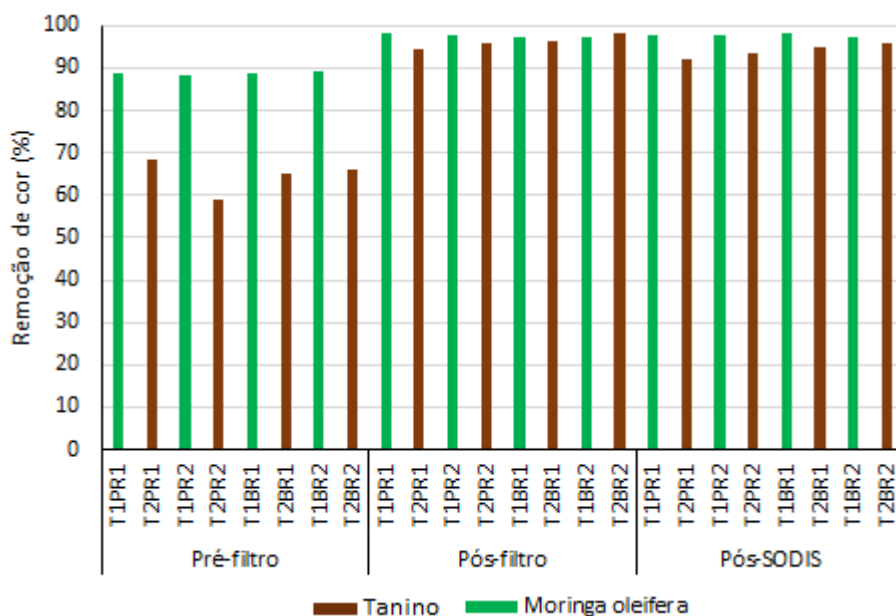
Com relação a condutividade elétrica, os valores de C1 atingiram valores superiores a C2, devido a adição de NaCl no preparo do coagulante, atingindo valores superiores a 300 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Após a filtração, C1 reduziu para menos de 300 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, entretanto, após o SODIS a condutividade aumentou novamente em 100% das amostras.

As Figuras 2 e 3 apresentam a remoção de turbidez e cor aparente, respectivamente, durante todo o ensaio. De acordo com a Figura 2, após a filtração, ambos os tratamentos alcançaram quase 100% de remoção, sendo o menor valor em T2PR1, com 98,8% de remoção, ainda indicando eficácia. No entanto, C1 manteve valores expressivos durante todo o experimento, alinhando-se com resultados semelhantes obtidos por Theodoro et al. (2017), porém inferiores aos relatados por Bicudo et al. (2017) em seus testes com Tanino e *Moringa oleifera*. Na etapa pós-SODIS, as eficiências de remoção aumentaram ligeiramente em relação à fase pós-filtro, atingindo mais de 98% em ambos os tratamentos. Isso é consistente com estudos de Aquinaga & Medeiros (2022), que alcançaram remoção máxima de 78%, e com as descobertas de Cazu et al. (2019) que obtiveram remoções acima de 96% usando apenas *Moringa oleifera*.

Figura 2: Eficiência de remoção de turbidez.

Fonte: Autoria própria (2023).

Nota: T1BR: Moringa oleífera na garrafa sem pintura; T1PR: Moringa oleífera na garrafa 50% pintada; T2BR: Tanino na garrafa sem pintura; T2PR: Tanino na garrafa 50% pintada.

Figura 3: Eficiência de remoção de cor aparente.

Fonte: Autoria própria (2023).

Nota: T1BR: Moringa oleífera na garrafa sem pintura; T1PR: Moringa oleífera na garrafa 50% pintada; T2BR: Tanino na garrafa sem pintura; T2PR: Tanino na garrafa 50% pintada.

Analizando a Figura 3, após a filtração, a eficiência aumentou em ambos os tratamentos, removendo 98,2% em T1PR1 e 98,5% em T2BR2. Siqueira et al. (2019) obtiveram eficiências de remoção de cor aparente de até 95,6% para tanino e 75,8% para *Moringa oleifera*, enquanto Cazu (2022) alcançou remoções acima de 88% após a filtração e até 98% em garrafas sem aplicação de tinta após a desinfecção.

Na etapa pós-SODIS a remoção de cor aparente apresentou ligeiras variações, mas ambos os tratamentos mantiveram eficiência superior a 90%.

As análises estatísticas dos parâmetros de turbidez e cor aparente na etapa pós-SODIS foram conduzidas por meio da técnica de análise de variância (ANOVA), conforme demonstrado nas Tabelas 1 e 2, respectivamente.

Tabela 1: Análise de variância ANOVA para turbidez na etapa pós-SODIS.

	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc	Valor-p
Tratamento	1	0,61051	5	6,5113	0,06319	0,8297023
Bloco	1	0,18911	3	2,0169	0,22858	
Tratamento*Bloco	1	0,20801	4	2,2185	0,21061	
Resíduo	4	0,37505	2			
Total	7	1,38269	1			

Fonte: Autoria própria (2023).

Tabela 2: Análise estatística ANOVA para cor aparente na etapa pós-SODIS.

	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc	Valor-p
Tratamento	1	16,5600	3	86,935	0,0007365	0,9712807
Bloco	1	2,1945	4	11,521	0,0274239	
Tratamento*Bloco	1	2,7730	5	14,557	0,0188522	
Resíduo	4	0,7620	2			
Total	7	22,2895	1			

Fonte: Autoria própria (2023).

Analisa-se a partir das tabelas que apenas a cor aparente apresentou diferenças significativas estatisticamente entre os tratamentos na etapa pós-SODIS, devido ao valor $Pr>Fc = 0,007$, sendo menor que 0,05 de significância, tendo de acordo com o teste de Tukey as garrafas PR com melhor desempenho.

Quando analisadas as temperaturas da desinfecção, C1 e C2 apresentaram melhor desempenho nas garrafas PR, que alcançaram maiores temperatura, superando 80°C após 3 horas de exposição,

destacando ainda o tempo de 40 minutos para alcançar a temperatura de 50°C, enquanto as garrafas BR levaram 1 hora e 40 minutos para alcançar temperaturas similares e atingiram temperatura máxima de 62,4°C. Evidencia-se que todas as garrafas permaneceram ao menos 1 hora de exposição em temperaturas superiores a 55°C.

Foram analisadas as placas de Petrifilm da marca 3M, onde identificou-se a presença de coliformes totais (Figura 4) e constatou-se uma média de 121 UFC.mL⁻¹, entretanto, bactérias do grupo *E. coli* não foram encontradas.

Figura 4: Análises de *E. coli* e coliformes totais da amostra bruta em Petrifilm 3M.



Fonte: Autoria própria (2023).

Após a desinfecção por SODIS, percebe-se que o método foi eficiente e o tempo de 3 horas e 20 minutos foi suficiente para a remoção completa de 100% de coliformes totais. Percebe-se também que mesmo as garrafas PR alcançando temperaturas superiores a BR, ambos os tratamentos eliminaram completamente os microrganismos.

5 CONCLUSÕES

A pesquisa investigou a combinação de coagulantes orgânicos para desinfecção solar via SODIS revelando uma inibição de 100% no crescimento de *E. coli* e coliformes totais, com C1 superior a C2. Garrafas PR atingiram mais rapidamente a temperatura de inibição, superando 80°C devido ao concentrador solar. No entanto, as garrafas BR, embora tenham levado mais tempo para aquecer, também foram eficazes. A utilização de concentrador solar com garrafas PET pintadas de preto e

Moringa oleifera demonstrou os melhores resultados, mesmo com menor exposição solar do que na literatura.

REFERÊNCIAS

Aquinaga, V. K.; De Medeiros, G. A. Desempenho de estrutura para o tratamento de água de origem pluvial baseada no método SODIS. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, v. 13, n. 2, p. 104-116, 2022.

Bicudo, B. R. et al. Ação dos Coagulantes Tanino, *Moringa oleífera* e Cloreto Férrico Associados a Filtração Direta no Tratamento de Água em corpos Lóticos na Região Sul do Brasil. In: III Congresso Ibero-Americano de Empreendedorismo, Energia, Ambiente e Tecnologia, 2017, BRAGANÇA. III Congresso Ibero-Americano de Empreendedorismo, Energia, Ambiente e Tecnologia, 2017. p. 131-134.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria GM/MS Nº 888, de 4 de maio de 2021. Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília, 7 de maio 2021. Seção 1, página 126. Disponível em: < <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-gm/ms-n-888-de-4-de-maio-de-2021-318461562>>. Acesso em: 20 de abr. 2023.

Cazu, D. C. et al. Sistema SODIS para desinfecção de água. *Braz. J. of Develop. Curitiba*, v. 5, n. 12, p. 21479-21492, mar. 2022.

Cazu, D. C. Tratamento de água por sistema sodis com utilização de *Moringa oleífera*. Tese (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2019.

Maia, I. L. B. O acesso à água potável como direito humano fundamental no direito brasileiro. *Revista do CEPEJ*, [S. l.], n. 20, 2018. Disponível em: < <https://periodicos.ufba.br/index.php/CEPEJ/article/view/27165> > . Acesso em: 18 abr. 2023.

Meierhofer, R.; Wegelin, M. Sodis Manual: Guidance on solar water disinfection. Swiss Federal Institute for Environmental Science and Technology. 88p., 2002.

Siqueira, A. P. da S. et al. Análise da performance dos coagulantes naturais *Moringa oleífera* e tanino como alternativa ao sulfato de alumínio para o tratamento de água. *ENCICLOPÉDIA BIOSFERA*, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v. 15 n. 27; p. 18. 2018.

Theodoro, J.D. P. Estudo dos mecanismos de coagulação/floculação para a obtenção de água de abastecimento para o consumo humano. 184f. Tese (Doutorado em Engenharia Química, área de desenvolvimento de processos) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá. 2012.

Theodoro, J. D. P. et al. Clareamento de águas provenientes de sistema lânticos com uso dos coagulantes orgânico *Moringa oleífera* e Tanino (Tanfloc SG): estudo de caso no lago Igapó II em Londrina-Pr. IX Simpósio Brasileiro de Engenharia Ambiental, XV Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Ambiental e III Fórum Latino-Americano de Engenharia e Sustentabilidade. Belo Horizonte – MG. 2017.

Vizibelli, D et al. Não tecido geotêxtil agulhado aplicado como material de leito filtrante em água pré-tratada com coagulantes orgânicos. *Braz. J. of Develop. Curitiba*, v. 5, n. 12, p. 31320-31331, dez. 2019.

Tundisi, J. G. Novas perspectivas para a gestão dos recursos hídricos. *REVISTA USP*, São Paulo, n. 70, p. 28, 2006. Disponível em: < <https://doi.org/10.11606/issn.2316-9036.v0i70p24-35>>. Acesso em: 18 abr. 2023.

Capítulo 2



10.37423/260310805

UNIVERSALIZAÇÃO DO SANEAMENTO: A MOBILIZAÇÃO SOCIAL COMO FERRAMENTA CATALIZADORA DO ACESSO AO SISTEMA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO

Donivaldo Expedito dos Santos

*Companhia de Saneamento de Minas Gerais
- Copasa*

Elisangela Renata Martins

*Companhia de Saneamento de Minas Gerais
- Copasa*

José Carlos Fidelis da Silva

*Companhia de Saneamento de Minas Gerais
- Copasa*



RESUMO

A mobilização social porta a porta é uma ferramenta de engajamento de alto poder utilizada para tratativas de diversas demandas (obras, empreendimentos, tarifa social e BPC, conexão à rede de esgoto e de água, consumo consciente e cuidados com a rede de esgoto). Essas mobilizações são oportunidades de escuta ativa aos clientes, a partir das quais são tomadas decisões de novas atividades levando em consideração a percepção e realidade dos clientes. Quando a Companhia trabalha de “mãos dadas” com seus clientes e com a sociedade, eles se sentem parte dessa transformação da sua realidade, tornando-se multiplicadores de ideias, atitudes e comportamentos que contribuem para uma execução mais efetiva e o desejo da Companhia de permanecer naquele território.

Palavras-chave: Mobilização social, esgotamento sanitário, dignidade, saúde, escuta ativa.

INTRODUÇÃO

A universalização do saneamento é um dos principais desafios enfrentados por países em desenvolvimento, incluindo o Brasil. O acesso ao sistema de esgotamento sanitário não é apenas uma questão de infraestrutura, mas também uma questão de direitos humanos, saúde pública e justiça social. O presente trabalho visa discutir a importância da mobilização social como uma ferramenta essencial para promover a democratização do acesso ao saneamento.

De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS), mais de 2 bilhões de pessoas ainda não têm acesso a serviços de saneamento seguros. A escassez de recursos hídricos, o crescimento acelerado das cidades e as mudanças climáticas agravam essa situação. Em muitos países, a falta de investimento em infraestrutura e a ausência de políticas públicas eficazes perpetuam a exclusão social, especialmente entre as comunidades mais vulneráveis.

No Brasil, o acesso ao esgotamento sanitário é desigual e reflete as disparidades sociais do país. Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), em 2019, cerca de 35% das residências não tinham acesso à rede de esgoto. A Lei 14.026/2020, conhecida como o novo Marco Legal do Saneamento, trouxe avanços significativos ao fomentar investimentos privados e estabelecer metas de universalização até 2033.

Minas Gerais é um estado que exemplifica as complexidades da universalização do saneamento no Brasil. Com uma rica diversidade social e econômica, Minas enfrenta desafios que incluem a escassez de água e a precariedade das infraestruturas em muitos municípios. O estado possui leis de incentivo à participação popular, mas ainda há lacunas na implementação e na efetivação das políticas.

A mobilização social para a sensibilização da população sobre os impactos da adesão às redes de esgoto públicas refere-se a um conjunto de ações e estratégias voltadas para engajar a comunidade em entender e participar ativamente da implementação e manutenção de sistemas de esgoto sanitário. Essa mobilização busca educar e informar a população sobre a importância do saneamento básico, especialmente sobre como a conexão às redes de esgoto pode beneficiar a saúde pública e o meio ambiente.

Os impactos da adesão às redes de esgoto incluem:

1. Saúde Pública: A retirada adequada de esgoto reduz a proliferação de doenças transmitidas por água contaminada, melhorando a saúde da comunidade.
2. Meio Ambiente: O esgoto tratado diminui a poluição de corpos d'água e protege ecossistemas locais.
3. Valorização Imobiliária: A infraestrutura de saneamento melhora a qualidade de vida e pode aumentar o valor das propriedades.
4. Redução de Despesas: A adequação do esgoto pode evitar gastos futuros com saúde pública e danos ao meio ambiente.
5. Conscientização: A mobilização social fortalece a consciência coletiva sobre a importância do saneamento, promovendo um senso de responsabilidade compartilhada.

Essas ações podem incluir campanhas educativas, workshops, reuniões comunitárias e parcerias com organizações locais, visando à construção de uma cultura de cumprimento das normas de saneamento e ao fortalecimento da participação cidadã na gestão das políticas públicas relacionadas ao tema.

OBJETIVOS

Discutir a importância da mobilização social como uma ferramenta catalizadora para a universalização do saneamento, com ênfase no acesso ao sistema de esgotamento sanitário. O trabalho traz uma análise sobre a importância da mobilização social e como o envolvimento da comunidade no ciclo da gestão de um empreendimento (projeto, obra, adesão ao sistema) pode influenciar na eficiência desse sistema, promover a conscientização sobre a importância da sanitização e facilitar a articulação entre diferentes atores sociais e governamentais.

Através de uma abordagem multidisciplinar, o trabalho busca identificar estratégias eficazes de engajamento social e avaliar casos de sucesso em que a mobilização da população resultou em melhorias significativas no acesso e na qualidade do sistema de esgotamento sanitário, contribuindo para a promoção da saúde pública e da qualidade de vida. Por fim, espera-se que os resultados deste trabalho inspirem ações concretas e colaborem para a formulação de políticas que priorizem a inclusão e a participação comunitária no processo de universalização do saneamento.

METODOLOGIA UTILIZADA

A metodologia está dividida em 05 passos, a saber:

Passo 01: Definição e estudo do território de atuação, para compreensão dos costumes e hábitos dos moradores, para subsidiar uma abordagem personalizada, gerando confiança e segurança para os clientes. A escolha do território de atuação segue os seguintes critérios: localidades onde estão ocorrendo ampliação/melhorias/implantação do sistema de esgotamento sanitário ou localidades com maior número de factíveis de esgoto, ou seja, clientes que tem rede esgoto passando na sua porta, mas que não estão esgotando nela.

Passo 02: dimensionamento da equipe de mobilização e alinhamento conforme diagnóstico realizado no passo 01.

Passo 03: realização de reunião de engajamento com os empregados que trabalham diretamente com a atividade operacional no território delimitado para a mobilização.

Passo 04: realização de parcerias com instituições (prefeitura, Procon, escolas, Secretaria de Desenvolvimento Social, Câmara Municipal, e outros stakeholders).

Passo 05: realização da mobilização porta a porta, que consiste em abordar cada morador, sensibilizando-o sobre os impactos positivos e negativos das obras, bem como sobre a relação entre a conexão à rede pública de esgoto e o índice de desenvolvimento humano (renda, educação e saúde, desenvolvimento cognitivo). Esse diálogo com os moradores tem como finalidade a aceitação do termo de adesão à rede de esgoto, produto da ação de mobilização, que é o instrumento catalizador do acesso ao esgotamento sanitário.

Tabela 1: Modelo de Relatório de Cadastro citado no Passo 01

	A	B	C	D	G	O	EY
1	RELATÓRIO DE CADASTRO DE CLIENTES						
2	FONTE: SICOM E-341 ACL REFERÊNCIA MARÇO DE 2025						
3	DCS / GNOC						
4	Posição: 29/03/2025						
5							
6	Unida	Gerer	Local	Nome_Localida	Matr	Nome_bairro	SITUA
7	SPSL	GRUA	3,12E+08	CATAGUASES	1E+07	ANA CARRARA	RAFE
8	SPSL	GRUA	3,12E+08	CATAGUASES	2E+08	ANA CARRARA	RAFE
9	SPSL	GRUA	3,12E+08	CATAGUASES	1E+08	ANA CARRARA	RAFE
10	SPSL	GRUA	3,12E+08	CATAGUASES	2E+08	ANA CARRARA	RAFE
11	SPSL	GRUA	3,12E+08	CATAGUASES	1E+08	ANA CARRARA	RAFE
12	SPSL	GRUA	3,12E+08	CATAGUASES	2E+08	ANA CARRARA	RAFE
13	SPSL	GRUA	3,12E+08	CATAGUASES	2E+08	BEIRA RIO	RAFE
14	SPSL	GRUA	3,12E+08	CATAGUASES	2E+08	BEIRA RIO	RAFE
15	SPSL	GRUA	3,12E+08	CATAGUASES	2E+08	BEIRA RIO	RAFE

Legenda: SPSL – Superintendência Sul; GRUA – Gerência Regional de Ubá; RAFE – Real em Água, Factível em Esgoto

Mobilização realizada em uma área de invasão. A partir da parceria com a prefeitura local, a equipe de mobilização da Companhia convenceu a população deste território a regularizarem o abastecimento de água e o esgotamento sanitário.

São 80 residências neste território, dos quais 100% aderiram à água e ao esgoto regulares.

Figura 2: Mobilização social porta a porta em Pouso Alegre/MG citado no passo 05



A figura a seguir, apresenta a equipe socioambiental atuando em Cataguases/MG. Trata-se de mobilização social para adesão dos clientes à rede de esgoto da Companhia. No período de janeiro de 2024 a janeiro de 2025, foram realizadas cerca de 2.000 visitas porta a porta, das quais 1.400 resultaram em termos de adesão à rede.

Figura 3: Mobilização social porta a porta em Cataguases/MG citado no passo 05



Em Congonhas/MG, a mobilização social porta a porta tem como objetivo informar sobre as obras de implantação da rede esgoto, sensibilizar os clientes quanto a importância de adesão às redes, além de conscientizar sobre o consumo de água e a relação entre o valor da fatura de água e de esgoto.

Figura 4: Mobilização social porta a porta em Congonhas/MG citado no passo 05



RESULTADOS E DISCUSSÃO

As mobilizações sociais porta a porta realizadas para promover a conexão dos imóveis à rede de esgoto da Companhia resultaram em um impacto significativo nas comunidades atendidas. Durante o ano de 2024, foram visitados um total de 5.500 imóveis, dos quais 3.879 proprietários/moradores demonstraram interesse em realizar a conexão. Isso representa uma taxa de adesão de 70,5%, um resultado bastante positivo considerando a importância da conscientização sobre a saúde pública e o meio ambiente. Essa taxa é um indicativo da eficácia das estratégias de mobilização, que incluíram reuniões comunitárias, distribuição de materiais informativos, divulgação sobre Tarifa Social e a presença de empregados capacitados para esclarecer dúvidas e incentivar a adesão. Além dos números, destaca-se a mudança de percepção da comunidade em relação à importância da rede de esgoto. As mobilizações não apenas facilitam o aceite da conexão física dos imóveis à rede, mas também promovem um entendimento mais profundo sobre os benefícios da coleta e tratamento adequado de esgoto, como a redução de doenças e a preservação do meio ambiente. Entretanto, ainda existem desafios a serem enfrentados. Aproximadamente 1.621 imóveis que não aderiram à rede de esgoto apresentaram resistência, seja por questões financeiras, falta de informação ou desconfiança em relação ao processo. Isso evidencia a necessidade de um trabalho contínuo de sensibilização e apoio, especialmente para as famílias de baixa renda que podem ter dificuldades em arcar com os custos associados à conexão. Em suma, as mobilizações sociais porta a porta mostraram-se uma estratégia eficaz para aumentar a adesão à rede de esgoto da Companhia, mas também revelaram a importância de um acompanhamento contínuo e de ações que visem superar as barreiras remanescentes. O sucesso dessas iniciativas é fundamental para garantir a saúde pública e a qualidade de vida na comunidade.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Diante dos resultados obtidos, as seguintes recomendações são propostas: 1. Aprimoramento da Comunicação: Continuar a realizar campanhas de sensibilização que abordem diretamente as preocupações e dúvidas da comunidade, utilizando canais de comunicação diversificados, como redes sociais, rádio comunitária e eventos locais.

2. Apoio Financeiro: Implementar programas, em parceria com o poder público, de apoio financeiro ou subsídios para famílias de baixa renda, facilitando o acesso à conexão à rede de esgoto e reduzindo a carga financeira que pode ser um obstáculo. 3. Acompanhamento e Suporte: Estabelecer um sistema

de acompanhamento contínuo para os imóveis que ainda não se conectaram, oferecendo suporte personalizado e esclarecendo dúvidas sobre o processo de conexão. 4. Parcerias com Organizações Locais: Colaborar com organizações não governamentais e grupos comunitários para fortalecer a mobilização social e ampliar o alcance das iniciativas de conscientização. 5. Feedback da Comunidade: Criar mecanismos para coletar feedback da comunidade sobre as mobilizações e o processo de conexão, permitindo ajustes nas estratégias e abordagens conforme necessário. Ao implementar essas recomendações, a Companhia poderá não apenas aumentar a taxa de adesão à rede de esgoto, mas também contribuir para a melhoria da qualidade de vida e saúde pública nas comunidades atendidas. O sucesso dessas iniciativas é fundamental para garantir um ambiente mais saudável e sustentável para todos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

FREEMAN, R. E. Gestão Estratégica: Uma Abordagem de Stakeholders. Ed. Bookman, 2011.

LINO, J. Mobilização Social e Sustentabilidade: Princípios e Práticas. Ed. Sustentável, 2021.

Capítulo 3



10.37423/260310812

ANÁLISE DA DISPONIBILIDADE E QUALIDADE DOS DADOS DO SINISA, A PARTIR DE UM ÍNDICE DE DÉFICIT DE SANEAMENTO, PARA OS MUNICÍPIOS DE MINAS GERAIS

Cláudio Jorge Cançado

Fundação João Pinheiro

Frederico Poley Martins Ferreira

Fundação João Pinheiro

Plínio de Campos Souza

Fundação João Pinheiro

Célia de Fátima Machado

Fundação João Pinheiro



RESUMO

O planejamento adequado das políticas e dos serviços ligados às demandas básicas da população dependem diretamente de planejamento e gestão do espaço urbano. É mister compreender as tensões urbanas e as necessidades de cada espaço, para que sejam planejadas as intervenções e ações que irão universalizar o acesso aos serviços essenciais para a manutenção de condições de vida minimamente dignas a todos. Desta maneira, a Fundação João Pinheiro propôs um índice que pode ser entendido como um instrumento de gestão para o monitoramento e a avaliação do déficit de saneamento básico, alertando o poder público e auxiliando-o em seu processo de planejamento e gestão de programas, ações e investimentos para a universalização dos serviços de saneamento básico. O objetivo do Índice do Déficit em Saneamento Básico (IDESB/FJP) é lançar luz ao déficit em saneamento nas áreas urbanas, auxiliando no levantamento dos municípios com menores e maiores deficiências no acesso ao serviço, visando fornecer informações básicas para tomada de decisão sobre programas, ações e investimentos nos componentes do saneamento básico. Diante disso, o presente estudo tem por objetivo discutir, à luz do Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico (SINISA) e a partir do estado de Minas Gerais, uma análise sobre a qualidade de tais informações e, assim, as inconsistências nos dados existentes para os municípios do estado. A discussão sobre tais tópicos se deu a partir de uma pesquisa documental sobre o SINISA e na análise da base de dados. Esta análise foi realizada através da montagem de um banco de dados com informações do SINISA e do cálculo de um indicador composto proposto pela Fundação João Pinheiro, no caso, o Índice do Déficit em Saneamento Básico (IDESB), entre os anos de 2017 e 2021. Diante da atual situação das informações prestadas pelos titulares ou pelas empresas contratadas ao SINISA, vê-se que esta dificulta muito o exercício do planejamento e gestão destes serviços, visto que os maiores interessados, como por exemplo, as prefeituras municipais e mesmo a população, de uma maneira geral, não possuem acesso às informações, pela sua simples falta ou mesmo pela má qualidade e confiabilidade dos dados (contradições, erros ou discrepâncias).

Palavras-chave: SINISA, índice de déficit de saneamento básico, qualidade e disponibilidade de dados, saneamento básico, gestão dos serviços de saneamento básico.

1 INTRODUÇÃO

O planejamento adequado das políticas e dos serviços ligados às necessidades básicas da população dependem diretamente de um planejamento e de uma gestão do espaço urbano que percebam a cidade como o habitat que abriga diversas realidades no mesmo espaço — a existência de uma distribuição de renda desigual, que privilegia aqueles com maior ascensão social em detrimento da maioria da população, é apenas uma dessas variáveis do nosso complexo tecido urbano. É mister compreender os problemas urbanos e as necessidades de cada espaço para que sejam planejadas intervenções e ações que irão universalizar o acesso aos serviços essenciais para a manutenção de condições de vida minimamente dignas a todos.

Mas, como o gestor público compreende a cidade? Como saber onde estão as maiores tensões e necessidades? Por fim, como avaliar se ele está no caminho certo com a consequente melhora da qualidade de vida da população?

No que tange às políticas públicas e aos serviços públicos, tem-se investido no desenvolvimento de instrumentos de planejamentos municipais, regionais e nacionais, os quais buscam induzir um processo de planejamento e gestão mais inclusivos em todos os níveis. Como exemplo, citam-se o Plano Diretor, o Plano Municipal de Saneamento Básico, o Plano Municipal de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos, o Plano de Bacia Hidrográfica, entre outros. Cabe ressaltar que esse planejamento deve ser desenvolvido com a participação popular em todas as suas etapas, desde a sua concepção e implantação até seu efetivo controle, por meio da instituição de fóruns ou conselhos, os quais procuram dar voz aos anseios da população.

O planejamento e a gestão desses instrumentos devem ser acompanhados de maneira ininterrupta, visando avaliar os programas e as ações propostas. Para tal, esse acompanhamento deve ser capaz de indicar se o caminho está certo e se as demandas da população estão sendo atendidas. Logo, um dos pontos de apoio desse acompanhamento é o uso de dados associados ao andamento dos projetos e das ações das políticas públicas.

Assim, o uso de dados, indicadores e índices servem como base para o planejamento e a melhoria operacional de várias políticas e vários serviços públicos ligados a elas, como os serviços de saneamento básico nos municípios, pois, de acordo com PEREIRA et al. (2018), esses demonstram a importância e a contribuição dos serviços de saneamento básico no incremento da saúde pública, e no desenvolvimento socioeconômico e ambiental local e regional. Além disso, por meio de seu uso em

diagnósticos, podem contribuir para o levantamento das necessidades de desenvolvimento científico e tecnológico do setor e das definições no planejamento, sinalizando os objetivos e as metas para empreendimentos futuros, levando em consideração as preocupações de cunho socioeconômico e de proteção ambiental.

Logo, o uso intensivo das informações é fundamental para ter conhecimento acerca do impacto das políticas públicas. No caso dos serviços de saneamento básico, faz-se necessário compreender a real situação do acesso e da qualidade dos serviços para avaliar os seus impactos na saúde e na qualidade de vida da população. Sem informações qualificadas, mostra-se hercúlea e imprecisa a tarefa de promover o desenvolvimento socioambiental e o acesso universal a esses serviços.

Dessa maneira, o presente trabalho tem por objetivo discutir, em um primeiro momento, o histórico de dados e informações sobre saneamento em Minas Gerais, a realidade do principal sistema de informações existente na área de saneamento básico, no caso o Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico (SINISA) — sistema que surgiu para dar continuidade ao trabalho do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), que encerrou suas operações em 2023 —, suas vantagens e problemas, e, por fim, fazendo um recorte sobre Minas Gerais, discutir a realidade e a qualidade de tais informações e as inconsistências nos dados existentes no estado.

A discussão sobre tais tópicos se deu a partir de uma pesquisa documental na internet e em publicações existentes sobre o SNIS/SINISA e na consulta e análise da sua base de dados, especificamente, os dados do estado de Minas Gerais. A análise foi realizada através da montagem de um banco de dados com informações do SNIS/SINISA e do cálculo do indicador proposto pela Fundação João Pinheiro (FJP), o Índice do Déficit em Saneamento Básico (Idesb) entre os anos de 2017 e 2021. Para esta análise foram utilizadas estatísticas descritivas com dados existentes, visando avaliar a disponibilidade da informação — se ela existe e sua constância ao longo dos anos em estudo — e a possibilidade de haver inconsistências ao longo da série escolhida. A seleção desse período coincide com a disponibilidade dos dados sobre drenagem e manejo das águas pluviais urbanas, cuja série histórica começa em 2017.

Cabe ressaltar que o SNIS/SINISA é uma base de dados de valor inestimável para o setor de saneamento básico, mas que, como qualquer instrumento de informação e conhecimento, deve estar em constante processo de análise, evolução e melhoria.

2 OBJETIVO

O presente estudo tem por objetivo discutir, à luz do principal sistema de informações existente na área de saneamento básico, o Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico (SINISA), em um recorte sobre Minas Gerais, tendo como foco a realidade e a qualidade de tais informações e as inconsistências nos dados existentes para o estado, a partir do seu uso em um índice de déficit de saneamento básico da Fundação João Pinheiro (Idesb/FJP).

3 METODOLOGIA UTILIZADA

Para a análise da disponibilidade dos dados sobre a realidade municipal, nas quatro dimensões do saneamento (abastecimento público de água, esgotamento sanitário, manejo e gestão de resíduos sólidos e drenagem e manejo das águas pluviais urbanas), no banco de informações do SNIS/SINISA fez-se um levantamento dos dados necessários para o cálculo do déficit em cada dimensão do Idesb para os anos de 2017 a 2021.

Feito isso, classificou-se os municípios do ponto de vista da disponibilidade da informação, levando em consideração a existência e a perenidade da informação ao longo do tempo cujas categorias são elencadas abaixo.

a) desejável: a informação sobre o déficit de cada dimensão estava disponível e o cálculo do Idesb foi feito em todos os anos de estudo (2017 a 2021).

b) insatisfatório: a informação sobre o déficit de cada dimensão estava disponível para três ou quatro anos e o cálculo do Idesb foi feito para os anos disponíveis.

c) inviável: a informação sobre o déficit de cada dimensão estava disponível para dois ou menos anos.

Dessa maneira, para realizar uma análise de inconsistência dos dados do SNIS/SINISA, o presente trabalho utilizou os dados de 2017 a 2021 e os respectivos cálculos do Idesb nesse mesmo período para os seus indicadores, quais sejam: déficit no abastecimento de água, déficit de coleta de esgotos sanitários, déficit no tratamento de esgotos sanitários, déficit na destinação adequada dos resíduos sólidos urbanos e déficit na drenagem e manejo de águas pluviais.

Para a realização da análise de inconsistência, analisou-se possíveis discrepâncias e erros existentes nos dados do Idesb e de seus componentes para os 853 municípios do estado de Minas Gerais,

selecionou-se aqueles que possuíam pelo menos três dados existentes entre os anos de 2017 e 2021, conforme demonstrado no exemplo da Figura 01, utilizando a seguinte classificação:

- a) sem informação (nenhum cálculo do Idesb presente);
- b) sem inconsistência (não foi possível avaliar uma possível contradição, erro ou discrepância com os dados existentes – dois a cinco dados);
- c) possível inconsistência detectada.

Além disso, foram selecionados também alguns municípios com dois dados disponíveis que demonstraram grandes possibilidades de inconsistência.

Figura 1: Exemplo da análise para seleção de possível inconsistência nos dados do Índice do Déficit em Saneamento Básico – 2017-2021 – Fonte: Dados básicos: Brasil (2023). Elaboração própria.

Código do Município	Município	Territórios de Saneamento	Valores do IDESB					Valores do IDESB normalizados					Classificação
			2017	2018	2019	2020	2021	2017	2018	2019	2020	2021	
310010	Abadia dos Dourados	Rio Paranaíba	-	41,95	-	-	-	-	0,000	-	-	-	Sem Informação
310020	Abatê	São Francisco Alto Médio	-	-	-	50,24	50,02	-	-	-	0,707	-0,707	Sem inconsistência detectada
310030	Abre Campo	Rio Doce	28,41	-	28,04	28,39	34,69	-0,459	-	-0,575	-0,464	1,498	Possível inconsistência detectada
310040	Acaíca	Rio Doce	44,24	43,39	43,78	43,78	29,29	0,515	0,384	0,444	0,444	-1,787	Possível inconsistência detectada
310050	Apucena	Rio Doce	-	-	-	53,80	27,74	-	-	-	0,707	-0,707	Possível inconsistência detectada
310060	Água Boa	Rio Doce	25,51	26,74	19,42	31,92	-	-0,076	0,164	-1,261	1,173	-	Possível inconsistência detectada
310070	Água Comprida	Rio Grande	13,61	0,00	0,00	0,00	0,00	1,789	-0,447	-0,447	-0,447	-0,447	Possível inconsistência detectada
310080	Aguanil	Rio Grande	45,58	42,07	16,30	15,79	21,72	1,199	0,955	-0,832	-0,867	-0,456	Possível inconsistência detectada
310090	Águas Formosas	Jequitinhonha	-	50,69	52,26	50,48	51,40	-	-0,645	1,306	-0,906	0,245	Sem inconsistência detectada
310100	Águas Vermelhas	São Francisco Médio Baixo	32,25	-	-	32,13	32,22	0,793	-	-	-1,123	0,330	Sem inconsistência detectada
310110	Almores	Rio Doce	8,78	11,65	11,35	11,28	10,58	-1,684	0,797	0,538	0,473	-0,125	Possível inconsistência detectada
310120	Alunaoca	Rio Grande	26,51	27,54	16,12	15,67	17,23	1,001	1,176	-0,762	-0,839	-0,575	Possível inconsistência detectada
310780	Bom Jesus do Galho	Rio Doce	-	-	40,68	15,33	-	-	-	0,707	-0,707	-	Possível inconsistência detectada

Para a compreensão da realidade das informações fornecidas pelos prestadores de serviço e sua relação com a inconsistência, foram analisados os dados dos municípios que apresentaram a possibilidade de inconsistência a partir da base de dados do SNIS (SNIS, 2023) e de dados pesquisados

em sites na internet, tais como da Agência Reguladora de Serviços de Abastecimento de Água e de Esgotamento Sanitário do Estado de Minas Gerais — Arsae/MG (<https://www.arsae.mg.gov.br/>). Além disso, analisou-se sites de prefeituras e câmaras municipais, e de comitês de bacias hidrográficas, visto a constatação de grande quantidade de dados sobre os prestadores dos serviços de abastecimento público de água e esgotamento sanitário terem se apresentado com possível discrepância na base de dados do SNIS/SINISA, sendo necessário, para as análises deste trabalho, a identificação assertiva do prestador de serviço. Na maioria dos casos, buscou-se informações de relatórios da Agência Reguladora de Serviços de Abastecimento de Água e de Esgotamento Sanitário do Estado de Minas Gerais (Arsae-MG), notícias e informações sobre os serviços, além de planos municipais de saneamento básico disponíveis, no intuito de encontrar evidências e informações mais corretas sobre a realidade do prestador de cada serviço em cada município.

4 ÍNDICE DE DÉFICIT DE SANEAMENTO BÁSICO (IDEB)

Os serviços de saneamento básico são de extrema importância para a qualidade de vida da população. São considerados essenciais, pois visam a manter as condições do meio ambiente tanto na prevenção de doenças e na melhoria da saúde, quanto no aumento da capacidade de trabalho da população, o que auxilia no desenvolvimento das atividades econômicas em seu dia a dia. Conforme previsto na Lei no 10.257/2001, Estatuto das Cidades, em seu art. 2º, a garantia de uma vida digna e igualitária a todos em uma cidade está diretamente ligada à existência de um saneamento básico adequado para as gerações presentes e futuras.

Além disso, o sexto dos objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS) para o milênio da ONU estabelece como meta “assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todas e todos”, indicação do saneamento básico como direito fundamental à vida da população.

Dessa maneira, buscou-se a criação de um índice sintético¹ envolvendo os dados de déficit de cada serviço vis-à-vis as metas estabelecidas no Plano Nacional de Saneamento Básico (Plansab). A criação desse índice tem dois objetivos: primeiro, compreender as repercussões da realidade da falta dos serviços de abastecimento público de água, esgotamento sanitário e manejo de resíduos sólidos urbanos para o território de saneamento; segundo, visualizar os desafios para a universalização de tais serviços.

Esse indicador deve ter a capacidade, de maneira simples e direta, de auxiliar na tomada de decisão e na formulação de políticas que possam atender às necessidades da população relacionadas ao saneamento básico.

A fórmula a seguir sintetiza seu cálculo:

$$IDESB_{município} = [(DA * pe_1) + (DCE * pe_2) + (DTE * pe_3) + (DRSU * pe_4) + (DDR * pe_5)]$$

na qual:

$IDESB_{município}$ = Índice de déficit do saneamento básico

DA = Déficit no abastecimento público de água;

DCE = Déficit na coleta de esgotos;

DTE = Déficit no tratamento de esgotos;

DRSU = Déficit na destinação final dos resíduos sólidos urbanos;

DDR = Déficit de drenagem;

pe_i = Peso específico de cada subíndice de serviços de saneamento básico. ($i=1, \dots, 5$).

A soma do produto de cada subíndice e seu respectivo peso gera o índice geral, chamado Índice Déficit do Saneamento Básico (IDESB).

As variáveis utilizadas no cálculo do IDESB são definidas como:

- Déficit no abastecimento público de água (DA): se baseia no indicador índice de atendimento urbano de água do SINISA (IN-023), caracterizado pela proporção da população urbana atendida com abastecimento de água em relação ao total da população urbana e quão distante essa proporção se encontra da meta estabelecida pelo Plansab até 2033.
- Déficit de Coleta de Esgoto (DCE): se baseia no indicador índice de coleta de esgoto do SINISA (IN-015), caracterizado pela proporção entre o volume total de esgoto coletado na rede geral urbana e a diferença entre o volume de água consumido e o tratado exportado, e o quão distante essa proporção se encontra da meta estabelecida pelo Plansab até 2033
- Déficit de Tratamento de Esgoto (DTE): se baseia no indicador índice de esgoto tratado referido à água consumida do SINISA (IN-046), caracterizado pela proporção entre o volume de esgoto urbano

tratado dentro e fora do município em relação ao saldo de água consumida no município, e o quão distante essa proporção se encontra da meta estabelecida pelo Plansab até 2033.

- Déficit de Resíduos Sólidos Urbanos (DRSU): se baseia nos indicadores UP007 (quantidade anual de resíduos sólidos domiciliares e de resíduos públicos recebido na unidade de processamento) e UP003 (tipo de unidade de processamento pelo manejo dos RSU), caracterizado pela proporção de volume de resíduos sólidos urbanos destinados inadequadamente (lixões a céu aberto, jogados em rios, córregos e lagos etc.) em relação ao total de resíduos sólidos produzidos na área urbana do município, e quão distante essa proporção se encontra da meta estabelecida pelo Plansab até 2033.
- Déficit de Drenagem (DDR): se baseia no indicador parcela de domicílios em situação de risco de inundação do SINISA (IN-040), caracterizado pela quantidade de domicílios sujeitos a risco de inundação pela quantidade total de domicílios urbanos existentes no município, e quão distante essa proporção se encontra da meta estabelecida pelo Plansab até 2033.

No intuito de dar mais equilíbrio ao indicador final, alguns pesos foram aplicados. Para tanto, acreditando-se que os serviços de saneamento sejam de grande importância e levando-se em consideração que os serviços de esgotamento sanitário já estão mais representados ao contar com dois indicadores (coleta e tratamento), foram definidos pesos diferenciados para cada subíndice: abastecimento público de água – peso: 0,25; esgotamento sanitário – peso para o subíndice coleta 0,1 e componente tratamento 0,15, manejo de resíduos sólidos urbanos – peso: 0,25 e manejo drenagem urbana – peso: 0,25.

Como explicitado pela formulação do cálculo, quanto mais próximo de zero o valor do IDSB, mais rápido o município atingirá a universalização dos serviços e vice-versa: quanto mais próximo de 100, pior a situação quanto à prestação dos serviços de saneamento.

Cabe ressaltar que o índice IDSBmunicípio foi calculado somente para os municípios que apresentavam dados para os cinco subíndices avaliados. Os demais foram classificados como “Sem informação”.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Acerca da disponibilidade dos dados sobre a realidade municipal, analisando-se o conjunto de dados entre 2017 e 2021 (Tabela 1), verificou-se que em 41,5% do total de municípios de Minas Gerais não

foi possível realizar o cálculo do Idesb, pois em alguns dos seus componentes não tinha informação disponível e, portanto, foram classificados como inviável.

Ao observar especificamente os indicadores que compõem o Idesb (abastecimento público de água, coleta de esgotos sanitários, tratamento de esgotos sanitários, destinação final dos resíduos sólidos urbanos e drenagem e manejo de águas pluviais), verificou-se que, os déficits de coleta de esgoto e tratamento de esgotos sanitários foram os indicadores mais prejudicados pela falta de informação. No período, 23,3% dos municípios não tinham informações sobre a coleta de esgoto e 23,4% não informaram sobre o tratamento de esgotos, sendo, por isso, classificados como inviáveis. Apenas 27,1% dos municípios apresentaram informações para todos os anos, tendo os componentes do Idesb calculados e, por isso, classificados na categoria desejável.

Em relação à disponibilidade da informação, observa-se que em 89,4% dos municípios havia informações sobre o déficit de abastecimento de água, seguido do déficit de destinação final de resíduos sólidos em 58,6% e coleta e tratamento de esgotos, ambos com 55,1%. Ao explorar o grupo insatisfatório, excetuando-se o déficit de abastecimento público de água com 6,6%, os demais déficits ficaram entre a faixa de 21% a 34%.

Tabela 1: Grau de disponibilidade da informação da realidade municipal sobre saneamento básico – Minas Gerais – 2017-2021.

Índice e indicadores do Idesb	GRAU DE DISPONIBILIDADE DA INFORMAÇÃO ACERCA DA REALIDADE DO SANEAMENTO BÁSICO						TOTAL
	Desejável (todos os anos)	Percentual (%)	Insatisfatório (Até dois anos sem dados)	Percentual (%)	Inviável (3 a 5 anos sem dados)	Percentual (%)	
Índice Idesb	231	27,1%	268	31,4%	354	41,5%	853
Indicador déficit de abastecimento de água	763	89,4%	56	6,6%	34	4,0%	853
Indicador déficit de coleta de esgotos	470	55,1%	184	21,6%	199	23,3%	853
Indicador déficit de tratamento de esgotos	470	55,1%	183	21,5%	200	23,4%	853
Indicador de déficit de destinação final dos resíduos sólidos urbanos	500	58,6%	212	24,9%	141	16,5%	853
Indicador de déficit de domicílios fora da situação de risco de inundação	392	46,0%	285	33,4%	176	20,6%	853

Fonte: Dados básicos: Brasil (2023). Elaboração própria.

Ao estratificar os dados em função do tamanho da população de cada município (até 10 mil habitantes e acima de 10 mil habitantes), observa-se, nas Tabelas 2 e 3, que o maior número de municípios no

estado de Minas Gerais tem uma população de até 10 mil habitantes (482 municípios, 56,5% dos municípios do estado).

Chama a atenção que a classe de disponibilidade da informação inviável é maior em municípios com a população menor (255 municípios, 29,9% dos municípios do estado), tendo uma participação de 41,5% dos municípios do estado (354 municípios). Dessa maneira, esses dados podem indicar que quanto menor o município, menor a disponibilidade da informação. Quando observamos a classe insatisfatório, o número de municípios se mostra maior nos municípios com população acima de 10 mil habitantes (149 municípios, 55,6% dos municípios do total da classe insatisfatório).

Tabela 2: Grau de disponibilidade da informação municipal sobre saneamento básico – População até 10 mil habitantes – Índice do Déficit em Saneamento Básico – Minas Gerais – 2017-2021

Número de municípios / Percentual (%)	Municípios com população até 10.000 habitantes			
	Grau de disponibilidade da informação acerca da realidade municipal - IDESB			
	Desejável	Insatisfatório	Inviável	Total
Número de municípios	108	119	255	482
Percentual (%)	22,4%	24,7%	52,9%	100,0%
Percentual em relação ao estado de Minas Gerais (%)	12,7%	14,0%	29,9%	56,5%

Fonte: Dados básicos: Brasil (2023). Elaboração própria.

Tabela 3: Grau de disponibilidade da informação municipal sobre saneamento básico – população acima de 10 mil habitantes – Índice do Déficit em Saneamento Básico – Minas Gerais – 2017-2021

Número de municípios / Percentual (%)	Municípios com população acima de 10.000 habitantes			
	Grau de disponibilidade da informação acerca da realidade municipal - IDESB			
	Desejável	Insatisfatório	Inviável	Total
Número de municípios	123	149	99	371
Percentual (%)	33,2%	40,2%	26,7%	100,0%
Percentual em relação ao estado de Minas Gerais (%)	14,4%	17,5%	11,6%	43,5%

Fonte: Dados básicos: Brasil (2023). Elaboração própria.

Ao analisarmos a questão dos prestadores de serviço, de acordo com os dados do SNIS/SINISA, vê-se que os serviços de abastecimento público de água estão concentrados em empresas públicas (Copasa e/ou Copanor), seguidas pelas prefeituras municipais e Serviços Autônomos de Água e Esgoto (Saae's). Ainda é possível observar poucas empresas privadas atuando nesse serviço e também que a classe sem informação se apresenta apenas em municípios com uma população de até 10 mil habitantes. Já

no serviço de esgotamento sanitário (coleta e tratamento de esgotos), em municípios com população até 10 mil habitantes, a atuação maior é de prefeituras municipais, mas com aumento considerável da atuação das empresas públicas (101 municípios com empresas públicas, 250 com prefeituras municipais e 17 com Saae's). Em municípios com a população acima de 10 mil habitantes a atuação é maior com as empresas públicas, seguidas por prefeituras municipais e Saae's (166 municípios com empresas públicas, 126 com prefeituras e 48 com Saae's). Destaca-se, no caso do serviço de abastecimento público de água, quando se observa a classe inviável em ambas as faixas populacionais dos municípios, que o prestador que detém o maior percentual são as empresas públicas com 282 municípios (33,1% dos municípios do estado), fato que se mostra preocupante, pois possuem a maior representatividade de prestadores nesse serviço. Já no caso do serviço de esgotamento sanitário, a situação se modifica, evidenciando as prefeituras com 146 municípios (17,1% dos municípios do estado), apresentando, também, maior representatividade de prestadores nesse serviço.

Um fato a se destacar é o de que a classe inviável, nos serviços de manejo e gestão de resíduos sólidos urbanos e drenagem e manejo de águas pluviais, quando se observa ambas as faixas populacionais, se mostra muito elevada para as prefeituras municipais. No caso do serviço de manejo e gestão de resíduos sólidos urbanos, tem-se 302 municípios na classe inviável (35,6% dos municípios do estado), enquanto para o caso do serviço de drenagem e manejo de águas pluviais, tem-se 279 municípios nessa mesma classe (32,7% dos municípios do estado).

Ressalta-se, mesmo diante do fato de que os serviços de manejo e gestão de resíduos sólidos urbanos e de drenagem e manejo de águas pluviais sejam prestados majoritariamente pelas prefeituras municipais, que os percentuais de falta de informações observados são muito preocupantes devido à crescente demanda desses serviços, principalmente ante aos recentes desastres naturais e à maior conscientização e cobrança, por parte dos munícipes, da sua importância.

Assim, reforça-se que, uma das hipóteses mais prováveis, para a não disponibilidade das informações, seja para municípios com populações até 10 mil habitantes ou acima disso, pode também estar fortemente ligada também à falta de recursos humanos qualificados e da infraestrutura física para o planejamento e gestão dos serviços de saneamento básico, principalmente aqueles ligados ao esgotamento sanitário, manejo e gestão de resíduos sólidos urbanos e drenagem e manejo de águas pluviais, majoritariamente prestados pelas prefeituras municipais, os quais apresentam consideráveis percentuais de municípios sem informação e na classe inviável.

Logo, quando os recortes dos territórios de saneamento são utilizados no Plano Estadual de Saneamento Básico de Minas Gerais (Pesb-MG)² e o cálculo do Idesb para os anos de 2017 a 2021 (Tabela 4), observa-se que o território de saneamento São Francisco Médio Baixo possui um percentual de 68,0% de municípios com grau de disponibilidade da informação inviável, seguido pelo território de saneamento Paraíba do Sul (48,5%) e território de saneamento Jequitinhonha (46,3%). Do ponto de vista oposto, observa-se que o território de saneamento Rio Grande possui o maior percentual de municípios na classe desejável com 33,5%, seguido pelo território de saneamento Rio Paranaíba (30,4%).

Tabela 4: Grau de disponibilidade da informação municipal sobre saneamento básico – população acima de 10 mil habitantes – Índice do Déficit em Saneamento Básico – Minas Gerais – 2017-2021

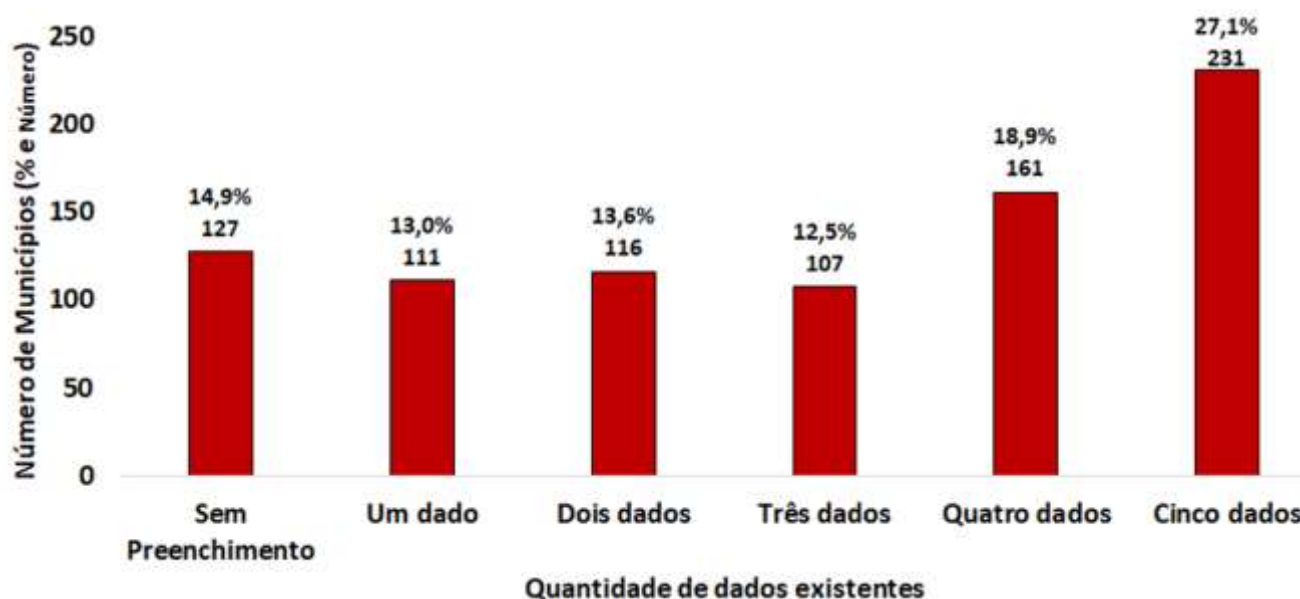
Território de Saneamento	Número de Municípios	Grau de disponibilidade da informação acerca da realidade municipal - IDESB					
		Desejável	Percentual de municípios em relação ao Território (%)	Insatisfatório	Percentual de municípios em relação ao Território (%)	Inviável	Percentual de municípios em relação ao Território (%)
Jequitinhonha	67	16	23,9%	20	29,9%	31	46,3%
São Francisco Médio Baixo	97	18	18,6%	13	13,4%	66	68,0%
Paraíba do Sul	101	23	22,8%	29	28,7%	49	48,5%
Rio Doce	221	57	25,8%	77	34,8%	87	39,4%
Rio Grande	182	61	33,5%	59	32,4%	62	34,1%
Rio Paranaíba	46	14	30,4%	14	30,4%	18	39,1%
São Francisco Alto Médio	139	42	30,2%	56	40,3%	41	29,5%
Total	853	231	-	268	-	354	-

Fonte: Dados básicos: Brasil (2023). Elaboração própria.

Outra questão abordada é: será que os dados existentes na base de dados do SNIS/SINISA têm confiabilidade? Ou seja, é necessário que os dados sejam consistentes e confiáveis para que possam ser utilizados de forma eficaz em análises e tomadas de decisão.

Após o exame inicial dos dados e dos municípios, levando em consideração as referências existentes do índice Idesb, foi feita a sua classificação de acordo com o número de informações disponíveis por município, conforme o Figura 2.

Figura 2: Número de dados existentes por município – Índice do Déficit em Saneamento Básico – 2017-2021 – Fonte: Dados básicos: Brasil (2023). Elaboração própria.



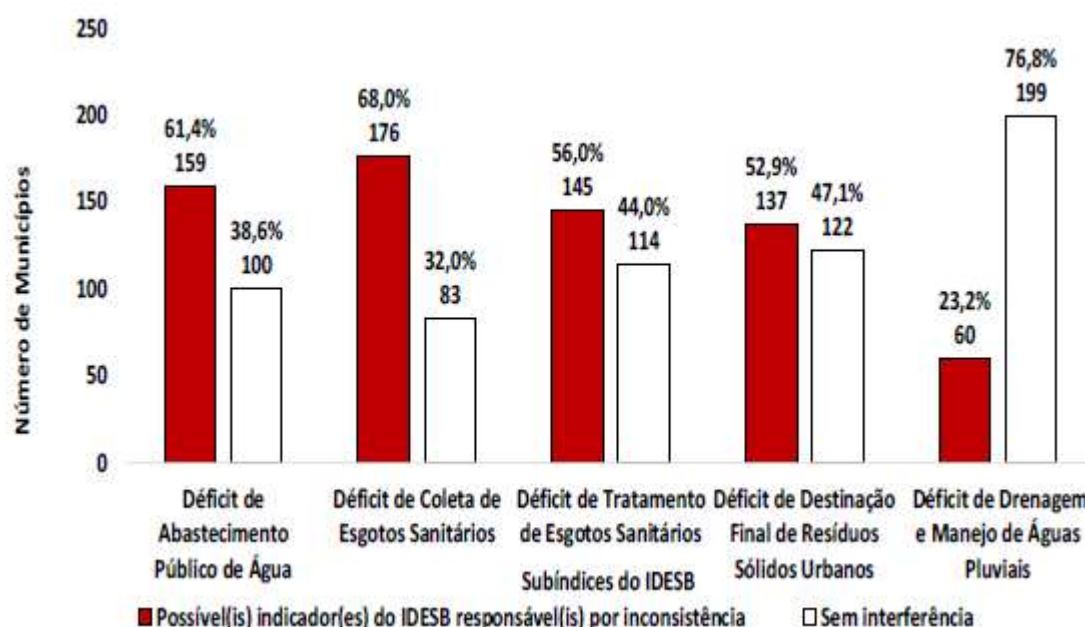
Como pode-se observar na Figura 2, 127 municípios (14,9% dos municípios do estado) não apresentaram nenhuma informação sobre o Idesb, indicando a falta de dados sobre um ou mais de seus indicadores (déficit de abastecimento público de água, déficit de coleta de esgotos, déficit de tratamento de esgotos sanitários, déficit da destinação final dos resíduos sólidos e déficit na drenagem e manejo de águas pluviais), ou seja, para o cálculo do Idesb, todos os valores referentes aos indicadores do SNIS/SINISA (déficits) devem estar presentes na base de dados, sendo que a falta de algum deles incorre no não cálculo do Idesb. Já para o caso de municípios com apenas um ano do cálculo do Idesb, observam-se 111 municípios (13,0% dos municípios do estado), para municípios com dois anos, tem-se 116 (13,6% dos municípios do estado), três anos, 107 municípios (12,5% dos municípios do estado), quatro anos, 161 municípios (18,9% dos municípios do estado) e, para cinco anos, 231 municípios (27,1% dos dados). Ressalta-se que o percentual de dados dentro do que se considera desejável (todos os dados disponíveis) é de 27,1% dos municípios.

Na classe insatisfatório (até dois anos ausentes), é possível perceber um valor de 30,4% dos municípios. Dessa maneira, tem-se, do ponto de vista dos dados existentes, que, pelo menos, 42,9% dos municípios têm informações extremamente limitadas (2 ou menos anos existentes), 30,4% com falta de informações e apenas 12,5% possuem dados desejáveis para analisar a tendência da prestação dos serviços de saneamento básico e desenvolver um planejamento mais adequado.

Entretanto, é preciso considerar a questão da confiabilidade e/ou da qualidade dos dados existentes para o cálculo do Idesb e seus componentes.

Aprofundando-se na análise dos municípios em relação à inconsistência, identificou-se que 259 dos 372 municípios apresentaram inconsistência. Dessa maneira, buscou-se analisar o(s) indicador(es) do Idesb que provavelmente é(são) a(s) sua(s) causa(s) nos valores do cálculo do Idesb existentes, conforme Figura 3, visto que pode haver mais de um componente como causa de inconsistência por município.

Figura 3: Possível (is) indicador(s) do Idesb responsável(is) pela inconsistência por município – 2017- 2021 – Fonte: Dados básicos: Brasil (2023). Elaboração própria.



Ao se analisar o Figura 3, que mostra a distribuição do(s) indicador(es) do Idesb que é(são) responsável(is) pela inconsistência em cada município, observa-se, de maneira geral, que quase todos os indicadores contribuem com valores em mais de 50% dos municípios, com exceção do indicador déficit de drenagem e manejo de águas pluviais, o qual contribui com 60 dos 259 municípios (23,2%).

Além disso, o indicador déficit de coleta de esgotos sanitários aparece presente como possível causa de inconsistência na maioria dos municípios (176 municípios de 259 – 68,0%), seguido pelo déficit de abastecimento público de água (159 municípios de 259 – 61,4%) e pelo déficit de tratamento de esgotos sanitários (145 municípios de 259 – 56,0%).

Quando se analisa o número de municípios com inconsistência por território de saneamento, conforme Pesb- MG, Tabela 5, observa-se, em termos percentuais relativos ao número de municípios em cada território de saneamento, que o território Rio Paranaíba possui o maior percentual (43,5%), seguido pelos territórios Jequitinhonha (35,8%), São Francisco Alto Médio (35,3%) e pelo território Rio Grande (35,2%). Observando o número de municípios sem informação (nenhum ou um dado), vê-se o território de saneamento São Francisco Médio Baixo com o maior percentual (49,5%), seguido pelo território Paraíba do Sul (36,6%) e território Jequitinhonha (29,9%).

Tabela 5: Número de municípios com inconsistência por território de saneamento – 2017-2021

Território de saneamento	Inconsistência detectada (Número de municípios)	Percentual em relação ao total de municípios de cada território de saneamento (%)	Sem Informação (nenhum ou um dado) - Número de municípios	Percentual em relação ao total de municípios de cada território de saneamento (%)
Jequitinhonha (67 municípios)	24	35,8%	20	29,9%
Paraíba do Sul (101 municípios)	17	16,8%	37	36,6%
Rio Doce (221 municípios)	72	32,6%	64	29,0%
Rio Grande (182 municípios)	64	35,2%	30	16,5%
Rio Paranaíba (46 municípios)	20	43,5%	11	23,9%
São Francisco Alto Médio (139 municípios)	49	35,3%	28	20,1%
São Francisco Médio Baixo (97 municípios)	13	13,4%	48	49,5%

Fonte: Dados básicos: Brasil (2023). Elaboração própria.

Por fim, ao analisar o número de municípios com inconsistência e sem informação, Tabela 5, verifica-se que o território de saneamento Rio Paranaíba apresenta o maior percentual de municípios com informações inadequadas para um adequado planejamento dos serviços de saneamento (67,4% - 43,5% dos municípios com inconsistência e 23,9% dos municípios sem informação), seguido dos territórios Jequitinhonha (65,7% - 35,8% dos municípios com inconsistência e 29,9% dos municípios sem informação), São Francisco Médio Baixo (62,9% - 13,4% dos municípios com inconsistência e 49,5% dos municípios sem informação) e Rio Doce (61,5% - 32,6% dos municípios com inconsistência e 29,0% dos municípios sem informação).

Ao analisar o número de municípios com inconsistência por indicador do Idesb por território de saneamento, Tabela 6, observa-se, de maneira geral, que o indicador do componente esgotamento sanitário que mais contribuiu para a inconsistência nos municípios foi o déficit de coleta de esgotos

sanitários (176 contribuições), seguido pelo déficit de abastecimento público de água (159 contribuições) e pelo déficit de tratamento de esgotos sanitários (145 contribuições). O componente que menos contribuiu foi o de drenagem e manejo de águas pluviais (60 contribuições).

Tabela 6: Número de municípios com inconsistência por indicador (1) que compõe cada componente do Índice do Déficit em Saneamento Básico por território de saneamento – Minas Gerais – 2017-2021

Território de saneamento	Indicador responsável pela Inconsistência									
	Déficit de abastecimento público de água	Percentual (%)	Déficit de coleta de esgotos	Percentual (%)	Déficit de tratamento de esgotos	Percentual (%)	Déficit de destinação final de resíduos sólidos urbanos	Percentual (%)	Déficit de drenagem e manejo de águas pluviais	Percentual (%)
Jequitinhonha	17	10,7%	17	9,7%	16	11,0%	10	7,3%	9	15,0%
Paraíba do Sul	10	6,3%	12	6,8%	7	4,8%	7	5,1%	4	6,7%
Rio Doce	47	29,6%	49	27,8%	35	24,1%	39	28,5%	24	40,0%
Rio Grande	41	25,8%	47	26,7%	32	22,1%	41	29,9%	12	20,0%
Rio Paranaíba	10	6,3%	10	5,7%	13	9,0%	11	8,0%	3	5,0%
São Francisco Alto Médio	23	14,5%	30	17,0%	34	23,4%	27	19,7%	6	10,0%
São Francisco Médio Baixo	11	6,9%	11	6,3%	8	5,5%	2	1,5%	2	3,3%
Total	159	100,0%	176	100,0%	145	100,0%	137	100,0%	60	100,0%

(1) pode haver mais de um indicador gerando inconsistência por município.

Fonte: Dados básicos: Brasil (2023). Elaboração própria.

No caso da contribuição do componente abastecimento público de água (indicador déficit de abastecimento público de água), para a inconsistência nos municípios, em termos percentuais relativos ao número de municípios em cada território, o território de saneamento Rio Doce possui o maior percentual de municípios (29,6%), seguido pelo território Rio Grande (25,8%) e pelo território São Francisco Médio Alto (14,5%). Além disso, o território de saneamento Paraíba do Sul apresenta o menor percentual de contribuição do indicador déficit de abastecimento público de água para inconsistência nos municípios (6,3%).

Já no caso do componente de esgotos sanitários, especificamente o indicador déficit de coleta de esgotos sanitários, observa-se um incremento de contribuição para inconsistência nos municípios em quase todos os territórios, destacando-se os territórios de saneamento Rio Doce (27,8%), Grande (26,7%) e São Francisco Médio Alto (17,0%). O território de saneamento com o menor percentual de contribuição para inconsistência relativo ao déficit de coleta de esgotos sanitários foi o território São Francisco Médio Baixo (6,3%).

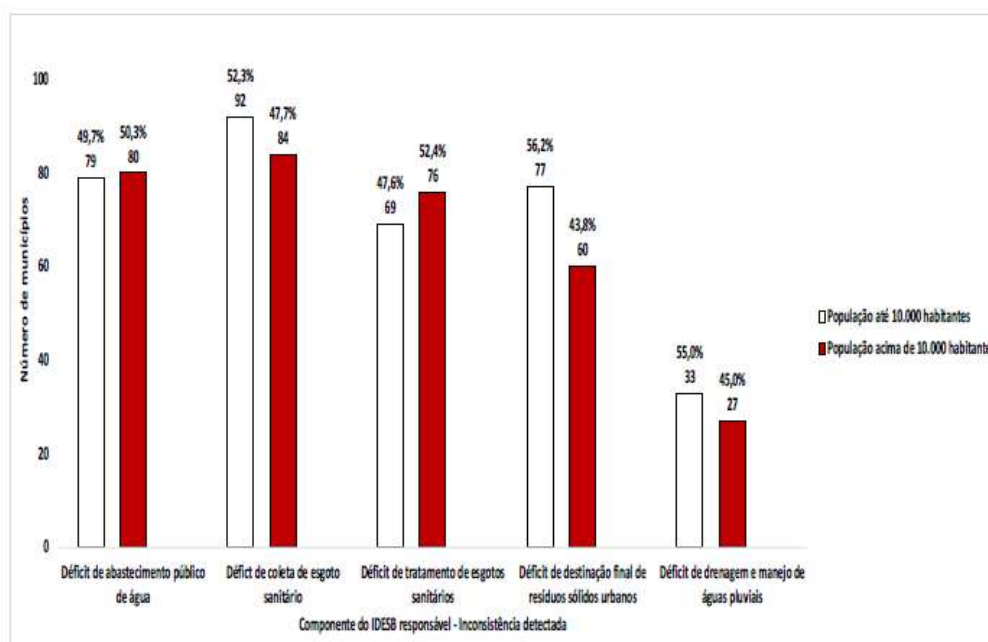
Analisando o indicador de tratamento de esgotos sanitários, do componente esgotos sanitários, em relação à sua contribuição para a inconsistência nos municípios, vê-se maior contribuição para a inconsistência nos municípios nos territórios de saneamento Rio Doce (24,1%), São Francisco Alto Médio (23,4%) e Rio Grande (22,1%). Por outro lado, o território Paraíba do Sul apresenta o menor percentual de contribuição do déficit de tratamento de esgotos sanitários para inconsistência nos municípios (4,8%).

Já no caso do componente de resíduos sólidos urbanos (indicador destinação final de resíduos sólidos urbanos), observa-se maior contribuição para a inconsistência nos municípios dos territórios de saneamento Rio Grande (29,9%), Rio Doce (28,5%) e São Francisco Alto Médio (19,7%). O território São Francisco Médio Baixo apresentou o menor percentual de contribuição do componente resíduos sólidos urbanos (indicador déficit de destinação final de resíduos sólidos urbanos) para inconsistência nos municípios (1,5%).

Por fim, nota-se, em relação à contribuição do indicador do componente de drenagem e manejo de águas pluviais para a inconsistência nos municípios, que as maiores contribuições foram dos territórios Rio Doce (40,0%), Rio Grande (20,0%) e Jequitinhonha (15,0%). Entretanto, o território São Francisco Médio Baixo apresentou o menor percentual de contribuição do componente de drenagem e manejo de águas pluviais para inconsistência nos municípios (3,3%).

Ao analisar o Figura 4, observa-se, de maneira geral, que os municípios com maior número de indicadores do Idesb com inconsistência encontram-se nos municípios com população até 10 mil habitantes. Vê-se, também, que os municípios com população acima de 10 mil habitantes, o indicador tratamento de esgotos sanitários apresenta o maior percentual (52,4%), seguido do indicador de abastecimento público de água (50,3%). Do ponto de vista quantitativo, o indicador do Idesb déficit de coleta de esgotos sanitários possui o maior número de presenças nos municípios com inconsistência (176 de 259 municípios), seguido do indicador abastecimento público de água (159 de 259 municípios), do indicador tratamento de esgotos sanitários (145 de 259 municípios), do indicador déficit de destinação final de resíduos sólidos urbanos (137 de 259 municípios) e do indicador déficit de drenagem e manejo de águas pluviais (60 de 259 municípios).

Figura 4: Componente do Índice do Déficit em Saneamento Básico responsável por inconsistência por município pela faixa de população (1) – 2017-2021 – Fonte: Dados básicos: Brasil (2023).



Elaboração própria.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O objetivo do presente trabalho foi discutir a questão da disponibilidade e qualidade e da confiabilidade dos dados do SNIS/SINISA, que são utilizados para o cálculo do Idesb. O objetivo não é apontar erros ou acertos, mas sim demonstrar a realidade que os pesquisadores enfrentam no uso desses dados para compreender a realidade dos serviços de saneamento básico no Brasil e, em especial, no estado de Minas Gerais.

A realidade que se tem é a de que dos 853 municípios do estado de Minas Gerais, 497 municípios (238 municípios com nenhum ou um dado disponível e 259 municípios com inconsistência), os quais totalizam 58,3% do total, apresentam falta parcial ou total ou provável inconsistência em seus dados, tornando hercúlea a tarefa de planejamento e gestão dos serviços de saneamento básico a curto, médio e longo prazo, visto a atual situação da base de dados do SNIS/SINISA.

No caso dos territórios de saneamento, de maneira geral, quando se observa os dados de municípios com uma ou nenhuma informação com os dados dos municípios com provável inconsistência (totalizando os 497 municípios), têm-se que os percentuais da soma variam entre 51,7% (Rio Grande) e 67,4% (Rio Paranaíba) de seus municípios, fato este muito preocupante.

No caso dos municípios com inconsistência, 259 municípios, de maneira geral, têm-se que os maiores indicadores gerando inconsistência são o déficit de coleta de esgotos em 68% dos municípios, seguido pelo déficit de abastecimento público de água em 61,4% dos municípios e pelo déficit do tratamento dos esgotos em 56% dos municípios.

Ao se analisar o caso dos territórios de saneamento, destacam-se, com os maiores percentuais de municípios com inconsistência os indicadores: déficit de abastecimento público de água, déficit de coleta de esgotos sanitários, déficit de tratamento de esgotos sanitários e déficit de destinação final de resíduos sólidos urbanos, os territórios Rio Doce, Rio Grande e São Francisco Alto Médio. No caso do déficit de drenagem e manejo de águas pluviais, tem-se os territórios Rio Doce, Rio Grande e Jequitinhonha.

Diante do exposto, a atual situação das informações prestadas pelos titulares ou pelas empresas contratadas dificulta muito o exercício do planejamento e gestão desses serviços, visto que os maiores interessados, prefeituras municipais e população, não possuem acesso às informações, pela sua falta ou pela sua falta de qualidade e confiabilidade (contradições, erros ou discrepâncias), que correspondem à realidade desses serviços em seu município, fazendo de seu planejamento e gestão uma tarefa de difícil execução.

Por fim, destaca-se que a coleta de dados primária no Brasil é de fundamental importância, visto que a realidade se deslumbra sobre essas informações. Tem-se observado, nos últimos anos, o desmonte dos processos de pesquisa de dados primários no Brasil por diversos motivos, alegando falta de recursos financeiros, pessoal qualificado, logística requerida, novas tecnologias, entre outras. O fato que se percebe é que, no caso dos dados referentes aos serviços de saneamento básico, falta conhecimento sobre esses serviços para a maioria dos respondentes do SNIS/SINISA, existe muita dificuldade do uso dessas informações para instrumentos de planejamento, existe a necessidade de uso de outras bases de dados para melhorar a qualidade e confiabilidade dos dados existentes e existe a necessidade premente de melhorar a qualidade desses dados.

Tem-se, no Brasil, metas desafiadoras para a universalização de todos os serviços de saneamento básico que perpassam por altos investimentos em planejamento e gestão desses serviços, além da execução de obras de infraestrutura em grande quantidade, exigindo enormes recursos. Dessa maneira, para que tais recursos sejam direcionados de maneira correta e eficiente, precisa-se de

informações assertivas e confiáveis, informações essas, na atual realidade, muito aquém do que se necessita.

Logo, à luz das discussões e análises do presente trabalho, recomenda-se a reestruturação do Sistema Estadual de Informações em Saneamento (SEIS), conforme sugerido por Cobrape (2022), levando-se em conta as novas tecnologias digitais, a necessidade da existência e veracidade da informação, a formação adequada dos respondentes e a necessidade de se auditar essas informações, a partir de outras fontes para se ter dados constantes e confiáveis.

Os autores agradecem o apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) para a concretização da presente pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA REGULADORA DE SERVIÇOS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA E ESGOTO SANITÁRIO DO ESTADO DE MINAS GERAIS (ARSAE-MG). Planos municipais de saneamento básico. Belo Horizonte: Arsae-MG, [202-]. Disponível em: <https://www.arsae.mg.gov.br/planos-municipais/>. Acesso em: 6 dez. 2024.

AGÊNCIA REGULADORA DOS SERVIÇOS PÚBLICOS DO ESTADO DE SÃO PAULO. Projeto Acertar. São Paulo: ARSESP, [202-]. Disponível em: <https://www.arsesp.sp.gov.br/Paginas/saneamento/projeto-acertarsaneamento.aspx>. Acesso em: 17 abr. 2024.

ALEGRE, Helena et al. Performance indicators for water supply services. 2nd ed. Londres: IWA Publishing, 2006.

BRASIL. Ministério da Integração e do desenvolvimento Regional. Sistema integrado de informações sobre desastres. Brasília, DF, 2022. Disponível em: <https://s2id.mi.gov.br/>. Acesso em: 17 abr. 2023.

BRASIL. Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional. Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento: concepção. Brasília, 2020f. Disponível em: <https://www.gov.br/cidades/pt-br/aceso-ainformacao/acoes-e-programas/saneamento/sinisa/sinisa-1>. Acesso em: 11 dez. 2024.

BRASIL. Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional. Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento: SINISA – o que é? Brasília, 2020e. Disponível em: <http://antigo.snis.gov.br/o-que-e>. Acesso em: 17 abr. 2023.

BRASIL. Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional. Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento: ciclo da coleta. Brasília, 2020d. Disponível em: <http://antigo.snis.gov.br/ciclo-de-coleta>. Acesso em: 17 abr. 2023.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. SNIS. Brasília, DF, 2023c. Disponível em: <https://www.gov.br/cidades/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snis/snis>. Acesso em: 9 dez. 2024.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento. Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento. 4º diagnóstico de drenagem e manejo das águas pluviais urbanas - 2019.

Brasília, 2020a. Disponível em: https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/saneamento/snis/diagnosticosanteriores-do-snis/aguaspluviais/2019/Diagnostico_AP2019.pdf. Acesso em: 26 nov. 2024.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. 25º Diagnóstico dos serviços de água e esgotos - 2019. Brasília, 2020b.

Disponível em: https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/saneamento/snis/diagnosticos-antiores-do-snis/aguae-esgotos-1/2019/2-Diagnstico_SNIS_AE_2019_Republicacao_31032021.pdf. Acesso em: 26 nov. 2024.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento – SNS. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. 6º Diagnóstico de drenagem e manejo das águas pluviais urbanas- 2020. Brasília, 2021a.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. Diagnóstico dos serviços de água e esgotos – 2021: visão geral: ano de referência 2020. Brasília, 2021b. Disponível em: https://www.gov.br/cidades/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-programas/saneamento/snis/produtos-dosnis/diagnosticos/DIAGNOSTICO_TEMATICO_VISAO_GERAL_AE_SNIS_2021.pdf. Acesso em: 15 ago.2022.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento. Brasília, 2023a. Disponível em: <https://www.gov.br/cidades/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-eprogramas/saneamento/sinisa/sinisa-1>. Acesso em: 25 out. 2023.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento.

Brasília, 2024a. Disponível em: <https://www.gov.br/cidades/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-eprogramas/saneamento/sinisa/sinisa-1>. Acesso em: 12 fev. 2024.

BRASIL. Presidência da República. Decreto nº 10.430, de 20 de julho de 2020. Dispõe sobre o Comitê Interministerial de Saneamento Básico. Brasília, DF, 2020g. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/decreto/d10430.htm. Acesso em: 6 dez. 2024.

BRASIL. Presidência da República. Decreto nº 11.599, de 12 de julho de 2023. Dispõe sobre a prestação regionalizada dos serviços públicos de saneamento básico, o apoio técnico e financeiro de que trata o art. 13 da Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020, a alocação de recursos públicos federais e os financiamentos com recursos da União ou geridos ou operados por órgãos ou entidades da União de que trata o art. 50 da Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Brasília, DF, 2023b. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2023/decreto/d11599.htm. Acesso em: 6 dez. 2024.

BRASIL. Presidência da República. Decreto nº 7.217, de 21 de junho de 2010. Regulamenta a Lei no 11.445, de 5 de janeiro de 2007, que estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico, e dá outras providências.

Brasília, DF, 2010. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/decreto/d7217.htm. Acesso em: 6 dez. 2024.

BRASIL. Presidência da República. Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico; cria o Comitê Interministerial de Saneamento Básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.666, de 21 de junho de 1993, e 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; e revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978 (Redação pela Lei nº 14.026, de 2020). Brasília, DF, 2007. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/L11445compilado.htm#:~:text=L11445compilado&text=LEI%20N%C2%BA%2011.445%2C%20DE%205%20DE%20JANEIRO%20DE%202007.&text=Art.,pol%C3%ADtica%20federal%20de%20saneamento%20b%C3%A1sico. Acesso em: 3 jan. 2025.

BRASIL. Presidência da República. Lei nº 14.026, de 16 de julho de 2020. Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, para atribuir à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) competência para editar normas de referência sobre o serviço de

saneamento [...]. Brasília, DF, 2020c. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/l14026.htm#:~:text=%E2%80%9CEstabelece%20as%20diretrizes%20nacionais%20para,11%20de%20maio%20de%201978.%E2%80%9D. Acesso em: 3 jan. 2025.

BRASIL. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental; ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE AGÊNCIAS DE REGULAÇÃO. Projeto Acertar: certificação e manual de melhores práticas da gestão da informação em saneamento. Brasília: SNSB: ABAR, 2024b. Disponível em: <https://www.gov.br/cidades/pt-br/acesso-ainformacao/acoes-e-programas/saneamento/snis/produtos-do-snis/projetoacertar/AcertarManualdeMelhoresPraticasdaGestaodaInformacao.pdf>. Acesso em: 17 abr. 2024.

BRASIL. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental; ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE AGÊNCIAS DE REGULAÇÃO. Projeto Acertar: relatório técnico contendo o guia de auditoria e certificação das informações do SNIS. Brasília: SNSB: ABAR, 2018. Disponível em: https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/interaguas/acertar/produto2_relatorio_tecnico_guias_preliminares_de_auditoria_e_certificacao_das_informacoes.pdf. Acesso em: 17 abr. 2023.

COMPANHIA BRASILEIRA DE PROJETOS E EMPREENDIMENTOS (COBRAPE). Plano Estadual de Saneamento Básico de Minas Gerais - PESB- MG: produto 2: temas transversais ao saneamento: território do saneamento do rio São Francisco alto médio. Belo Horizonte: Semad, dez. 2021. Tomo v. 2-8.

COMPANHIA BRASILEIRA DE PROJETOS E EMPREENDIMENTOS (COBRAPE). Plano Estadual de Saneamento Básico de Minas Gerais PESB- MG: produto 6: proposta preliminar do Plano Estadual de Saneamento Básico de Minas Gerais – PESB-MG. Belo Horizonte: Semad, jun. 2022. v. 58. Disponível em: https://liferay.meioambiente.mg.gov.br/documents/38374/7228382/P6_Proposta_preliminar_Rev03/8a936069-5ec4-1bb1-5ec6-2e58e8936c63?version=1.0&t=1723582374512. Acesso em: 26 nov. 2024.

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO (FJP). Diretoria de Estatística e Informações. Índice Mineiro de Responsabilidade Social. Belo Horizonte: FJP, 2004-. Disponível em: <https://imrs.fjp.mg.gov.br>. Acesso em: 18 mar. 2024.

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO (FJP). Diretoria de Estatística e Informações. Índice Déficit do Saneamento Básico em Minas Gerais. Belo Horizonte: FJP, 2021a. (Nota técnica). Disponível em: https://fjp.mg.gov.br/wpcontent/uploads/2021/03/14.04_NotaTecnica_IDS_CHS.pdf. Acesso em: 15 jun. 2022.

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO (FJP). Diretoria de Estatística e Informações. Índice Déficit do Saneamento Básico em Minas Gerais – IDBS. Belo Horizonte: FJP, 2021b. (Nota técnica, n. 2). Disponível em: https://fjp.mg.gov.br/wp-content/uploads/2021/08/20.09_NotaTecnica_02_IDS_CHS.pdf. Acesso em: 15 jun. 2022.

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO (FJP). Diretoria de Estatística e Informações. Índice Déficit do Saneamento Básico em Minas Gerais. Belo Horizonte: FJP, 2021c. (Nota técnica, n. 3). Disponível em: https://fjp.mg.gov.br/wp-content/uploads/2021/10/22.12_NotaTecnica_03_IDS_CHS_.pdf. Acesso em: 9 dez. 2024.

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO (FJP). Diretoria de Estatística e Informações. Reflexões sobre índices em saneamento básico e índice do déficit em saneamento básico (Idesb). Belo Horizonte: FJP, 2023. (Nota técnica, n. 1). Disponível em:

https://drive.google.com/file/d/17fas7DE02vW_VDij3mVkPLjRPh7Ri53P/view. Acesso em: 9 dez. 2024.

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO (FJP). Diretoria de Estatística e Informações. Saneamento. Belo Horizonte: FJP, c2019. Disponível em: <https://fjp.mg.gov.br/saneamento/>. Acesso em: 9 dez. 2024.

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO (FJP). Diretoria de Estatística e Informações. Disponibilidade e qualidade dos dados utilizados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS/Sinisa: uma análise. Belo Horizonte: FJP, 2025. Série Estatística & Informações, n. 62. 142p. Disponível em: https://drive.google.com/file/d/128Hy1eGmMwZ_91LR-2FqeGYFeBpOnp_R/view. Acesso em: 23 jan. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Censo demográfico 2022. Rio de Janeiro: IBGE, 2024. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/22827-censo-2020-censo4.html?=&t=o-que-e>. Acesso em: 12 fev. 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2017: abastecimento de água e esgotamento sanitário. Rio de Janeiro: IBGE, 2020. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/multidominio/meio-ambiente/9073-pesquisa-nacional-de-saneamentobasico.html?=&t=sobre>. Acesso em: 12 mar. 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios: o que é. Rio de Janeiro: IBGE, 2022b. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9171-pesquisa-nacional-por-amostra-de-domicilioscontinua-mensal.html?=&t=o-que-e>. Acesso em: 17 abr. 2023.

JANNUZZI, Paulo Martino et al. Estruturação de sistemas de monitoramento e especificação de pesquisas de avaliação: os problemas dos programas públicos são. In: FRANZESE, Cibele et al. Reflexões para a Iberoamérica: avaliação de programas sociais. Brasília: Enap, 2009. p. 101-138.

JANUZZI, Paulo de Martino. Considerações sobre o uso, mau uso e abuso dos indicadores sociais na formulação e avaliação de políticas públicas municipais. RAP: revista de administração pública, Rio de Janeiro v. 36, n. 1, p. 51-72, jan./fev. 2002.

JANUZZI, Paulo Martino. Indicadores para diagnóstico, monitoramento e avaliação de programas sociais no Brasil. Revista do Serviço Público, Brasília v. 56, n. 2, p. 137-160, abr./jun. 2005.

JANUZZI, Paulo Martino. Indicadores sociais no Brasil. 6. ed. Campinas: Alínea, 2017.

KAYANO, Jorge; CALDAS, Eduardo de Lima. Indicadores para o diálogo. São Paulo: Instituto Polis, 2002. (Série indicadores, n. 8). Disponível em: <https://polis.org.br/wp-content/uploads/2020/03/Indicadores-para-o-Dialogo.pdf>. Acesso em: 17 fev. 2022.

MILANEZ, Bruno. Resíduos sólidos e sustentabilidade: princípios, indicadores e instrumentos de ação. 2002. 207 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2002.

MINAS GERAIS. Secretaria de Desenvolvimento Econômico. Plano Diretor Municipal como instrumento de desenvolvimento econômico: cartilha de orientações. Belo Horizonte, 2022. Disponível em: <https://desenvolvimento.mg.gov.br/assets/projetos/1109/6a9009823aac6a3e8d4a048b1a61ebac.pdf>. Acesso em: 9 dez. 2024.

MINAS GERAIS. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Plano Estadual de Saneamento Básico de Minas Gerais (PESB-MG). Belo Horizonte, 2020. Disponível em: <https://meioambiente.mg.gov.br/web/semad/plano-estadual-de-saneamento-basico-de-minas-gerais-pesb-mg>. Acesso em: 6 dez. 2024.

OBSERVATÓRIO DO MILÊNIO DE BELO HORIZONTE. Relatório de acompanhamento dos objetivos de desenvolvimento sustentável de Belo Horizonte 2022. Belo Horizonte, 2022. Disponível em:

https://prefeitura.pbh.gov.br/sites/default/files/estrutura-de-governo/planejamento/planejamento-eorcamento/Relatorio_ODS_2022.pdf. Acesso em: 6 dez. 2024.

OBSERVATÓRIO DO MILÊNIO DE BELO HORIZONTE. Relatório de acompanhamento dos objetivos de desenvolvimento sustentável de Belo Horizonte 2024. Belo Horizonte, 2024. Disponível em: https://prefeitura.pbh.gov.br/sites/default/files/estrutura-de-governo/planejamento/planejamento-eorcamento/relatorio_ods_2024.pdf. Acesso em: 23 jan. 2025.

PEREIRA, Suellen Silva; CURI, Rosires Catão; CURI, Wilson Fadlo. Uso de indicadores na gestão dos resíduos sólidos urbanos: uma proposta metodológica de construção e análise para municípios e regiões. Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, v.23, n.3, p. 471-483, maio/jun. 2018a.

PEREIRA, Suellen Silva; CURI, Rosires Catão; CURI, Wilson Fadlo. Uso de indicadores na gestão dos resíduos sólidos urbanos: parte II – uma proposta metodológica de construção e análise para municípios e regiões: aplicação do modelo. Engenharia Sanitária e Ambiental, v.23, n.3, p. 485-498, maio/jun. 2018b. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/PPWwckrryGxbMLhPvtQxQDG/?lang=pt>. Acesso em: 26 nov. 2024.

POLAZ, Carla Natacha Marcolino. Indicadores de sustentabilidade para gestão de resíduos sólidos urbanos. 2008. 186f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2008. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/4254/2071.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 26 nov. 2024.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. Prevenção de desastres. Brasília, DF: SGB: CPRM, [20--]. Disponível em: <https://www.sgb.gov.br/prevencao-de-desastres>. Acesso em: 26 nov. 2024.

UNITED NATIONS. Indicators of sustainable development: guidelines and methodologies. 3rd ed. New York: UN, 2007. Disponível em: <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/guidelines.pdf>. Acesso em: 26 nov. 2024.

Capítulo 4



10.37423/260310817

MOBILIZAÇÃO SOCIAL COMO FERRAMENTA DE REDUÇÃO DA INADIMPLÊNCIA E SUA CONTRIBUIÇÃO COM A CIDADANIA

GONÇALVES, Poliane Araujo

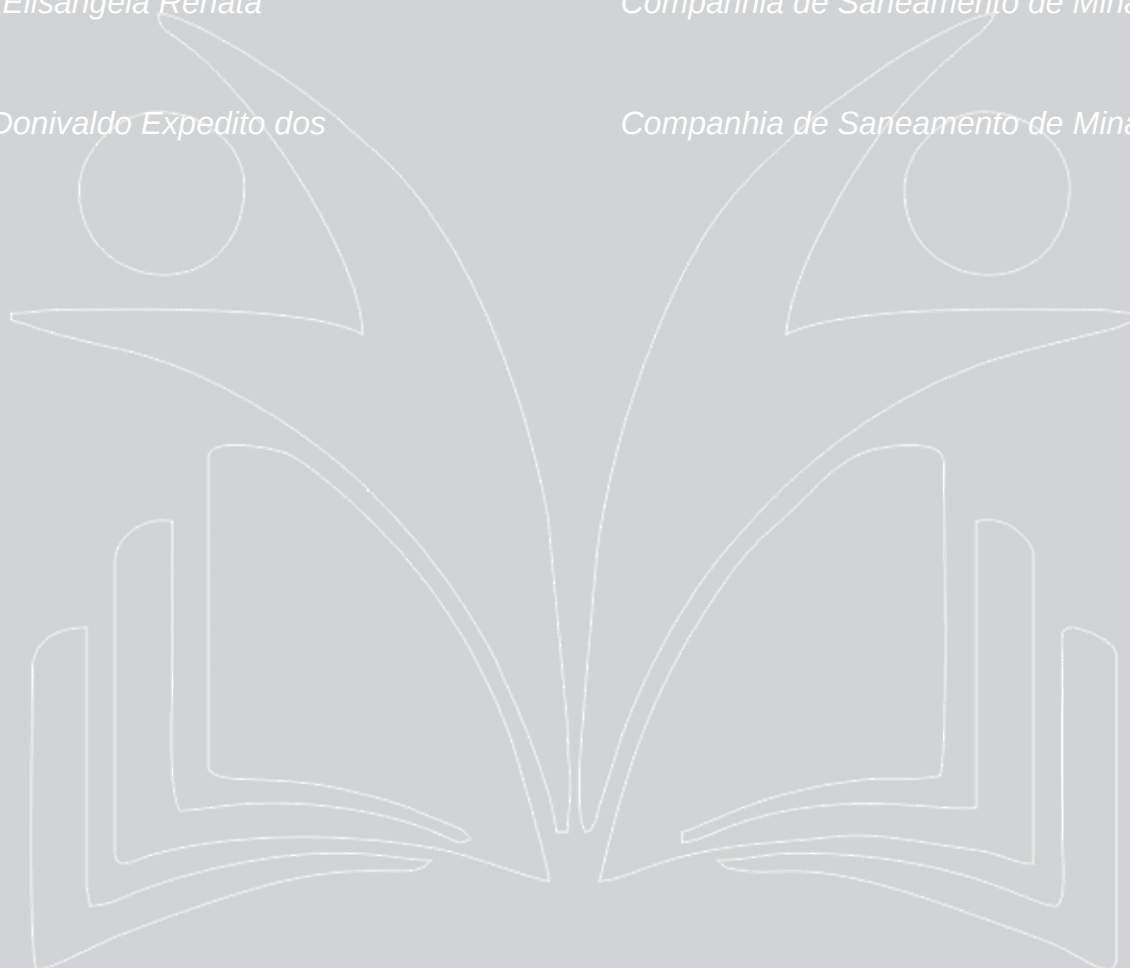
Companhia de Saneamento de Minas Gerais

MARTINS, Elisangela Renata

Companhia de Saneamento de Minas Gerais

SANTOS, Donivaldo Expedito dos

Companhia de Saneamento de Minas Gerais



RESUMO

Este artigo analisa a mobilização social como instrumento estratégico para a redução da inadimplência e promoção da cidadania, a partir da experiência da Companhia de Saneamento. O estudo explora a aplicação de práticas de mobilização no âmbito do programa "Engajar para Transformar", alinhado à agenda ESG da Companhia, com foco em territórios marcados por vulnerabilidade socioeconômica. A pesquisa baseia-se em metodologia qualitativa, com levantamento de dados empíricos oriundos da atuação integrada das áreas socioambiental, operacional e comercial. Os resultados demonstram que a mobilização, fundamentada em princípios de sustentabilidade e corresponsabilidade, é capaz de transformar a relação com os clientes, fortalecer a Licença Social para Operar e impactar positivamente os indicadores de inadimplência e a cidadania.

Palavras-chave: mobilização social, saneamento, inadimplência, cidadania, ESG.

1 INTRODUÇÃO

O acesso universal e sustentável aos serviços de saneamento é um dos principais desafios do desenvolvimento social no Brasil. Em territórios vulneráveis, a inadimplência no pagamento pelos serviços prestados por companhias de saneamento configura-se não apenas como um obstáculo econômico, mas como um indicador de desigualdade estrutural. Nesse contexto, torna-se imperativo adotar abordagens integradas, capazes de articular inclusão, educação e diálogo, promovendo corresponsabilidade entre prestadores de serviço e clientes.

A mobilização social, enquanto processo educativo e participativo, no sentido de promover uma educação em saneamento¹, emerge como uma ferramenta potente para a transformação dessa realidade. Segundo Lino (2021, p. 34), mobilização é “um processo educativo que promove a participação (empoderamento) de muitas e diferentes pessoas (irradiação) em torno de um propósito comum (convergência)”. Na Companhia de Saneamento, essa prática se concretiza por meio do programa "Engajar para Transformar", alinhado às diretrizes da agenda ESG e fundamentado em valores como equidade, transparência e inovação social.

O presente artigo propõe discutir os resultados da mobilização social como estratégia para reduzir a inadimplência e promover a cidadania, com base em ações desenvolvidas em territórios selecionados onde a Companhia presta serviços na região sul do Estado de Minas Gerais. A análise se ancora no referencial teórico sobre stakeholders (FREEMAN, 2011), engajamento comunitário (INTERNATIONAL FINANCE CORPORATION, 2007) e responsabilidade social corporativa (CARROLL; BUCHHOLTZ, 2012).

2 OBJETIVOS

Apresentar a mobilização social como uma ferramenta para a redução da inadimplência e sua contribuição com a cidadania, tanto em contextos econômicos e sociais favoráveis e, sobretudo, nos contextos econômicos e sociais desafiadores.

A mobilização social, para o fim apresentado, refere-se ao conjunto de ações coordenadas que visam sensibilizar e engajar tanto os diferentes setores e atores internos da Companhia, quanto os clientes inadimplentes, visando soluções eficazes. Seus pilares são:

1. Mediação: Facilitação do diálogo entre população e a Companhia - a partir do diagnóstico local do território e da sua evolução quanto à inadimplência, há a mediação entre as necessidades regulamentadoras e financeiras da Companhia e as condições da população;
2. Envolvimento da Comunidade: Apresentação das propostas da Companhia e envolvimento de equipamentnos públicos e lideranças na implementação das ações;
3. Negociação: Propostas específicas de negociação de débito;
4. Tecnologia e acessibilidade: Utilização de recursos móveis (Agência Móvel), atendentes em pontos estratégicos e mobilização porta-a-porta para incentivar a negociação.

3 METODOLOGIA UTILIZADA

A metodologia utilizada neste estudo é de natureza qualitativa, descritiva e aplicada. As ações analisadas foram conduzidas pela Companhia em territórios previamente selecionados com base em critérios como alto índice de inadimplência, elevado número de cortes no fornecimento de água e presença de ligações clandestinas.

As etapas da estratégia envolveram: (i) diagnóstico socioeconômico dos territórios; (ii) planejamento e execução das ações de mobilização porta a porta; (iii) articulação com lideranças comunitárias e instituições locais e/ou equipamentos públicos; (iv) negociação de débitos com propostas flexíveis; (v) religação imediata do abastecimento após a negociação; e (vi) monitoramento e avaliação contínua dos resultados.

As ações integraram equipes socioambientais, comerciais e operacionais, além do suporte da Agência Móvel e outros recursos de atendimento itinerante. O programa "Engajar para Transformar" funcionou como eixo estruturante da abordagem, promovendo a escuta ativa, a personalização do atendimento e o fortalecimento da confiança entre Companhia e comunidade.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados observados nas ações de mobilização social foram expressivos. Em todos os territórios abordados houve aumento significativo na taxa de renegociação de débitos e religação de serviços, com reflexos imediatos na melhoria dos indicadores de adimplência. A atuação em campo permitiu

também a atualização cadastral e a inclusão de clientes no benefício da Tarifa Social, que promove justiça tarifária a quem tem direito ao benefício e, conseqüentemente, acesso ao saneamento, que é condição mínima para dignidade e cidadania.

Em Barbacena/MG, os trabalhos realizados em três conjuntos habitacionais, que totalizam 1.000 apartamentos e cerca de 4.000 pessoas, resultaram na regularização de 100% das ligações. O montante negociado foi de R\$ 214.844,08. Esse valor foi negociado com os moradores em condições especiais, tendo em vista estarem situados em área de vulnerabilidade.

Além da regularização das ligações de água que estavam em débito, é importante ressaltar a retirada de ligações clandestinas, o que contribuiu com a redução da perda de água pela Companhia. Todos os 1.000 apartamentos foram cadastrados na Tarifa Social, que propicia até 50% de desconto na fatura de água e esgoto do cliente. Esse cadastramento é essencial para a manutenção da adimplência dos clientes, visto que soma-se aos valores mensais de água e esgoto a parcela da negociação realizada.

Figura 1: Diagnóstico e Escuta Ativa



Figura 2: Atendimento ao cliente na Agência Móvel



A adesão da população foi favorecida pela abordagem empática da equipe de desenvolvimento social da Companhia e pelo trabalho conjunto com as equipes comercial e operacional. A religação da água, realizada em tempo recorde após a formalização da negociação, gerou um sentimento de valorização e pertencimento entre os moradores, impulsionando o senso de cidadania e o compromisso com o pagamento futuro (CARROLL; BUCHHOLTZ, 2012).

Figura 3: Atendimento ao cliente



A atuação da equipe de desenvolvimento social se destacou como elemento central para o êxito das ações. Responsável por todo o planejamento estratégico das etapas, a equipe conduziu diagnósticos territoriais, organizou a agenda operacional das ações e promoveu o engajamento interno de diversas áreas da Companhia, conforme as diretrizes do programa "Engajar para Transformar". Foi também essa equipe que realizou a busca ativa dos clientes inadimplentes, utilizando abordagens humanizadas e respeitosas, que priorizaram a escuta qualificada e o diálogo direto com os clientes. Essa forma de atuar permitiu compreender as reais dificuldades enfrentadas pelos clientes e propor soluções aderentes à realidade local. Ao oportunizar o acesso à regularização do serviço de água e à negociação de débitos em condições facilitadas, a mobilização contribuiu para o fortalecimento da cidadania, ao garantir o exercício de um direito essencial e promover a corresponsabilidade entre Companhia e população.

Destaca-se, ainda, o papel estratégico da equipe comercial, que atuou na formatação de uma proposta específica de negociação voltada ao público-alvo das ações. Considerando a realidade econômica e social das comunidades, foram oferecidas condições diferenciadas, com parcelamentos flexíveis e orientações individualizadas, o que ampliou significativamente a adesão às negociações.

As ações também contaram com a participação da equipe de relacionamento com o cliente que, em conjunto com a comercial, teve uma atuação importante para garantir que os canais de atendimento fossem acessíveis, resolutivos e acolhedores, estabelecendo uma ponte entre a necessidade dos clientes e a capacidade da Companhia de oferecer soluções customizadas.

Nesse sentido, a presença da Agência Móvel da Companhia de Saneamento possibilitou ampliar o alcance e a efetividade das ações. Posicionada estrategicamente nos territórios atendidos, a Agência Móvel proporcionou atendimento descentralizado, permitindo que os clientes realizassem negociações, esclarecessem dúvidas, atualizassem seus dados e solicitassem serviços de forma rápida, segura e próxima de suas residências. Essa iniciativa reduziu barreiras de deslocamento e ampliou a sensação de acolhimento e respeito por parte da Companhia, fortalecendo o vínculo com a população atendida.

Além disso, a integração entre as áreas internas da Companhia promoveu sinergia institucional e maior eficiência nos processos. Do ponto de vista estratégico, as ações fortaleceram a Licença Social para

Operar, ampliando a legitimidade da Companhia perante a sociedade e facilitando a implementação de futuras iniciativas em territórios de alta complexidade (INTERNATIONAL FINANCE CORPORATION, 2007).

Figura 4: Agência Móvel e equipes socioambiental, operacional e de atendimento



Figura 5: Situação antes e depois da mobilização social.

ANTES



DEPOIS



5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A experiência da Companhia de Saneamento demonstra que a mobilização social é uma ferramenta estratégica e eficaz para a redução da inadimplência e a promoção da cidadania, especialmente em contextos de alta vulnerabilidade socioeconômica. A atuação articulada e sinérgica entre as equipes de desenvolvimento social, comercial, atendimento e operação — orientada pelas premissas do programa "Engajar para Transformar" — evidenciou que o enfrentamento de desafios históricos no saneamento básico demanda mais do que soluções técnicas: exige escuta, presença territorial, empatia e compromisso com a transformação social, sem deixar de lado a estratégia da Companhia. Ao planejar ações integradas, realizar busca ativa, facilitar negociações e garantir a efetivação dos serviços com celeridade e justiça, a Companhia promoveu não apenas a regularização financeira de clientes inadimplentes, mas também reforçou o direito humano à água, promovendo dignidade e inclusão. Essa abordagem humanizada resultou no fortalecimento da Licença Social para Operar, no aumento da confiança da população e no avanço concreto da cidadania. Portanto, a mobilização social, quando estruturada de forma estratégica, sensível e intersetorial, configura-se como um potente instrumento para a consolidação da sustentabilidade nos negócios e para a universalização dos serviços de saneamento. Recomenda-se, assim, a ampliação dessa metodologia, bem como o contínuo investimento em capacitação das equipes e inovação nos canais de relacionamento com os clientes, garantindo que ninguém fique para trás no acesso à água e ao exercício pleno da cidadania, como evidenciado pelo depoimento da cliente Izabele: "Como síndica de um dos conjuntos habitacionais, posso afirmar que a retirada das ligações clandestinas de água trouxe um sentimento de dignidade para todos nós. Agora, temos acesso a um serviço essencial de forma legal e segura, o que não só melhora nossa qualidade de vida, mas também nos faz sentir parte da comunidade. A água é um direito, e agora podemos usufruir desse direito com respeito e dignidade." Esse depoimento ilustra o impacto positivo das ações da Companhia e reforça a importância da mobilização social na transformação da realidade das comunidades atendidas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL. Ministério das Cidades. *Política Nacional de Saneamento Básico*. Brasília: Ministério das Cidades, 2007.

CARROLL, A. B.; BUCHHOLTZ, A. K. *Negócios e sociedade: ética e responsabilidade social nos negócios*. São Paulo: Cengage Learning, 2012.

FREEMAN, R. E. *Gestão estratégica: uma abordagem de stakeholders*. Porto Alegre: Bookman, 2011.

INTERNATIONAL FINANCE CORPORATION. *Stakeholder engagement: a good practice handbook for companies doing business in emerging markets*. Washington, DC: IFC, 2007.

JACOBI, P. R. *Educação ambiental, cidadania e sustentabilidade*. *Cadernos de Pesquisa*, São Paulo, n. 118, p. 189–205, jul. 2003.

LINO, J. *Mobilização social e sustentabilidade: princípios e práticas*. São Paulo: Editora Sustentável, 2021.

MARSHALL, T. H. *Cidadania, classe social e status*. Rio de Janeiro: Zahar, 1967.

PHILIPPI JR., A.; SILVA, L. E. V.; SPERLING, M. (org.). *Saneamento, saúde e ambiente: fundamentos para o desenvolvimento sustentável*. 2. ed. Barueri, SP: Manole, 2017.

Capítulo 5



10.37423/260310819

DESAFIOS DE CIBERSEGURANÇA E CONVERGÊNCIA DE TI E TO EM MEDIÇÕES REMOTAS PARA TRANSFORMAÇÃO DIGITAL COM FOCO EM GESTÃO DE PERDAS

Tânia Mara Pereira Marques

Linking Water

Thiago Braga Branquinho

TI Safe Segurança Cibernética



RESUMO

O monitoramento de variáveis, como vazão, pressão e nível, além das relacionadas à qualidade da água, desde as captações, estações de tratamento, distribuição até chegar nos clientes finais, é uma demanda histórica no setor de saneamento e sempre foi muito desafiadora. Tecnologias disponíveis em cada época, especialmente as tecnologias de instrumentos, sensores e comunicação de dados, necessárias para coletar e transmitir os dados de campo, durante muito tempo foram fatores limitantes para que o setor avançasse mais rapidamente na digitalização de seus ativos. Com a evolução das tecnologias existentes e o surgimento de novas tecnologias, fazer as medições remotas de forma intensiva passou a ser viável e isto também possibilitou que as empresas de saneamento façam a Transformação Digital que precisam, para se tornarem mais eficientes e competitivas. Quando se consideram todas as etapas de construção de um processo de Transformação Digital, a cibersegurança é um dos elementos mais importantes, especialmente para infraestruturas críticas, como é o caso do saneamento. Outro elemento ainda mais crítico para a Transformação Digital no setor são os dados necessários para a gestão de perdas, que envolvem não apenas tecnologias de TI (Tecnologia da Informação), mas também tecnologias de TO (Tecnologia Operacional).

Embora as empresas de saneamento no Brasil já estejam familiarizadas com a cibersegurança de TI, o mesmo não acontece com a cibersegurança de TO porque estas tecnologias eram implantadas nas áreas operacionais sem ser interligadas aos ambientes de TI. Só que a necessidade de fazer a Transformação Digital não é mais uma opção diante do cenário atual. As empresas de saneamento precisam aumentar a sua eficiência rapidamente para reduzir as perdas médias elevadas. É preciso que as medições de consumo dos clientes finais (micromedição), além das medições de vazão nas redes de distribuição e ETAs (Estações de Tratamento de Água), assim como as medições de pressão, sejam levadas até o ambiente de TI das empresas e integradas aos sistemas de gestão, para possibilitar decisões e ações estratégicas, comerciais e operacionais, mais assertivas e rápidas. A partir desta realidade de convergência de dados, fica clara a necessidade de incluir a cibersegurança de TO nos projetos de Transformação Digital e este artigo trata dos desafios de fazer esta cibersegurança para assegurar que as medições remotas sejam feitas de forma eficiente e segura, dentro do contexto de uma Transformação Digital focada na gestão de perdas.

Palavras-chave: Perdas de água, cibersegurança, TO, transformação digital, telemetria.

1 INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas, o crescimento urbano, o envelhecimento das infraestruturas e da força de trabalho, as mudanças regulatórias, a concorrência e demandas de um novo cliente digitalizado, são desafios globais do setor de saneamento que impulsionam o uso mais intensivo de tecnologias para aumentar a velocidade das decisões e ações das empresas. O gerenciamento e controle de perdas é uma questão global histórica no setor. No Brasil, este cenário é ainda mais crítico, considerando que temos 37,78% de perdas na distribuição, conforme apontado no “Estudo de Perdas de Água 2024 (SNIS, 2022): Desafios na Eficiência do Saneamento Básico no Brasil”, publicado pelo Instituto Trata Brasil (ITB).

Se, por um lado temos perdas atuais num nível muito alto, pelo outro temos programas de redução de perdas que vem apresentando melhoras muito discretas, ao longo dos anos, conforme análise dos dados divulgados periodicamente pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS). Em razão disto, a Portaria nº 490/2021, definiu que as empresas precisam atingir o patamar de 25% de perdas na distribuição, até o ano de 2034. Para atingir esta meta, é preciso que as empresas de saneamento reavaliem seus programas de gerenciamento e controle de perdas o mais rápido possível e identifiquem quais as razões da pouca efetividade destes programas. Se não estão utilizando todas as tecnologias atualmente disponíveis e aplicáveis, quais são as tecnologias que trarão os melhores resultados, quais os seus riscos e benefícios, como podem ser implantadas e quais os seus custos? E entre as empresas que estão fazendo uso mais intensivo de tecnologias, incluindo as tecnologias operacionais (TO), como suporte na gestão e controle de perdas, quais as razões dos resultados alcançados ainda não serem os necessários e quais os riscos da forma que estão sendo usadas? Quais são as questões estruturantes para o uso efetivo das tecnologias de TO para a redução das perdas, entre elas as relacionadas aos contratos de DaaS (Data as a Service), que precisam ser respondidas para que os projetos piloto de monitoramento remoto de pressão e vazão consigam se transformar em projetos de larga escala?

Estas são as questões que este artigo busca responder, através das seções em que ele foi desenvolvido, em que se buscou contextualizar inicialmente o estado atual do uso dos sistemas de TO no setor de saneamento, mostrando a evolução da automação e instrumentação tradicional até chegar numa arquitetura de convergência de TI e TO, seus benefícios e riscos. Na sequência, se tratou sobre os temas de cibersegurança de TO e arquiteturas de DaaS, passando para a discussão de resultados, conclusões

e finalizando com a apresentação do Guia simplificado de fundamentos de cibersegurança de TO e convergência de TI/TO.

2 OBJETIVOS

Todo o trabalho de pesquisa realizado teve o foco em demonstrar a necessidade de realizar a convergência dos dados relacionados às perdas, integrando dados de sistemas de TI e de TO, de forma segura, para possibilitar que todas as áreas organizacionais, responsáveis pela gestão e controle de perdas, tenham acesso a informações mais precisas e mais fáceis de visualizar, viabilizando assim a tomada de decisões e ações mais ágil. Através de cases, se buscou também mostrar os riscos de cibersegurança de TI e de TO e entregar um guia simplificado, para ajudar as empresas de saneamento a fazerem uma primeira auto avaliação do estado da cibersegurança das suas infraestruturas de TO.

3 METODOLOGIA UTILIZADA

A metodologia utilizada foi a da revisão bibliográfica, através de livros especializados, pesquisa de artigos de especialistas do setor e de cibersegurança de TO, de trabalhos acadêmicos, cases publicados, padrões, guias, documentações e legislações de agências e associações governamentais e privadas, tanto do Brasil como de outros países, sobre a transformação digital em empresas de saneamento, gerenciamento de perdas, incidentes de cibersegurança e resultados obtidos em projetos piloto e ações mais amplas implementadas por empresas de saneamento.

Entre as fontes de pesquisa, estão o site do governo brasileiro, em relação à Política Nacional de Cibersegurança (PNCIBER) e seus desdobramentos, como o CNCIBER (Comitê Nacional de Cibersegurança) e a eCIBER (Estratégia de Cibersegurança). Organizações de padronização, como o NIST (National Cybersecurity Center of Excellence), AWWA (American Water Works Association) e IWA (International Water Association). Agências como a ANA (Agência Nacional de Águas) o EPA (The Environmental Protection Agency) e CISA (The Cybersecurity and Infrastructure Security Agency) e bancos de dados de incidentes, como o RISI (Repository for Industrial Security Incidents), que relata incidentes em nível global, o Incident Hub, que foi desenvolvido por uma empresa brasileira, especializada em cibersegurança de infraestruturas críticas, além do WaterISAC (Water Information Sharing and Analysis Center).

4 O ESTADO ATUAL DO USO DA TELEMETRIA E DOS SISTEMAS SCADA NO BRASIL

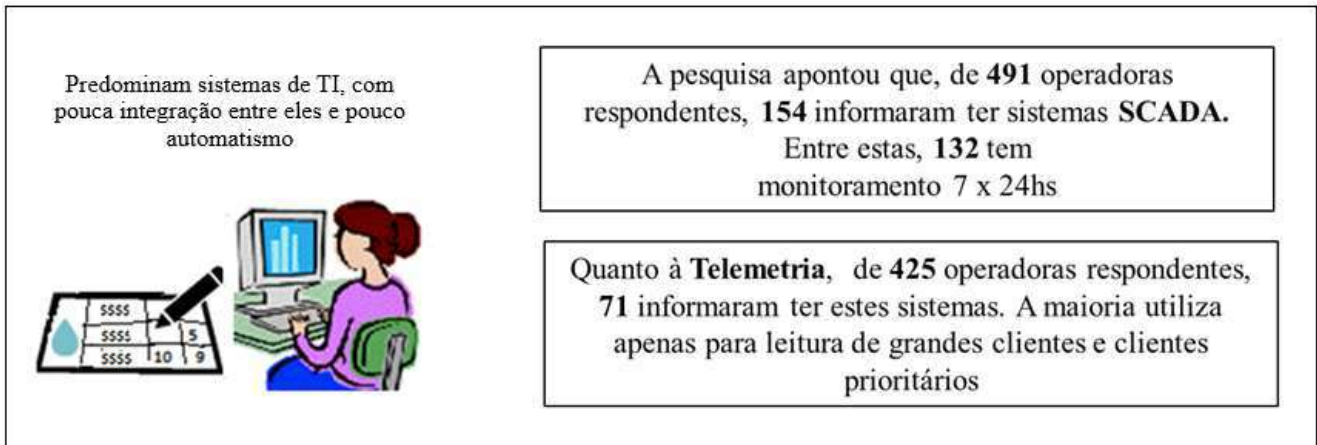
A primeira questão, que precisa ser endereçada pelas empresas de saneamento, se refere ao uso das tecnologias de TO na gestão de perdas.

Há algumas décadas se utilizam sistemas de telemetria e sistemas SCADA no saneamento, no Brasil.

Entretanto, pouco se sabe sobre os resultados que estas tecnologias vêm trazendo, pois eles são pouco quantificados e conhecidos. Para começar a responder a esta primeira pergunta, com embasamento em pesquisa, foi encontrado no site do Ministério das Cidades, um diagnóstico digital, feito no ano de 2020, no âmbito do Projeto de Eficiência Energética em Sistemas de Abastecimento de Água – Fase 2 (ProEESA 2). Esta pesquisa considerou um universo de 1580 empresas prestadoras de serviço, com base naquelas que responderam ao SNIS, em 2018.

Pelos resultados da pesquisa, é possível identificar algumas características de digitalização que se consegue comprovar através da experiência de trabalho diário nas empresas. Os sistemas digitais que predominam são os de TI, basicamente os de gestão, administração e faturamento, que têm algum nível de integração entre si, mas a interoperabilidade entre eles é baixa. Já os sistemas de TO, entre eles os SCADA e a telemetria, são utilizados por poucas empresas, não costumam ter integração entre si, tem pouca integração com os sistemas de TI e tem baixo nível de interoperabilidade. A fig.1 mostra um resumo dos resultados.

Figura 1: Digitalização no setor de saneamento, conforme pesquisa do ProEESA2.



A pesquisa, isoladamente, não permite que se saiba como aconteceu a evolução da digitalização do setor ao longo dos anos. Entretanto, ela apresenta um cenário de como o setor estava em 2020 e mostra que as tecnologias de TO não eram implantadas e nem utilizadas com a finalidade de serem

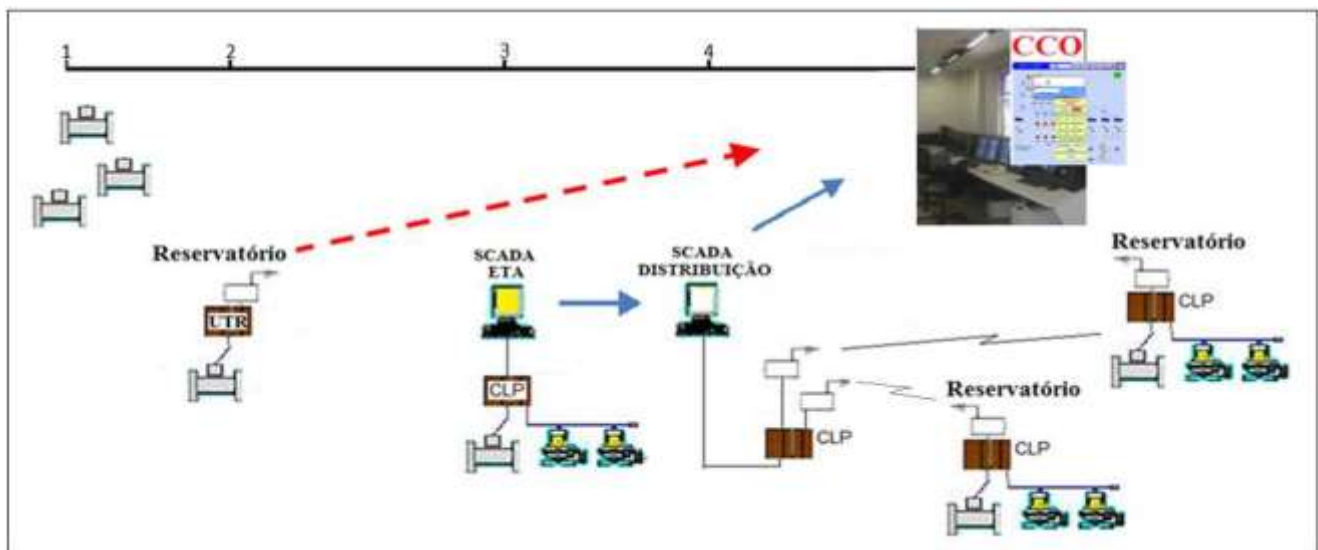
suporte para os programas de gestão e controle de perdas. Conforme dados do SNIS, o valor médio das perdas na distribuição de água nos sistemas urbanos, no ano de 2011, era de 38,8% e em 2024 estas perdas estavam num patamar de 37,78%. Tanto os resultados da pesquisa, quanto os índices de perdas apontados pelo SNIS, mostram que os programas de controle de perdas tiveram resultados muito discretos e que tecnologias como os sistemas SCADA e a telemetria, que poderiam ter auxiliado no alcance de resultados mais expressivos, não foram implantadas na abrangência que era preciso para monitorar e coletar os dados necessários para uma efetiva redução de perdas.

Quais as razões para que isto tenha acontecido? Muitas delas dizem respeito ao estado e evolução das tecnologias de TO ao longo dos anos. Vários fatores contribuíram para que isto acontecesse, entre eles os protocolos de comunicação de TO, que eram desenvolvidos para redes locais de chão de fábrica e não para comunicação em redes de longa distância. Os medidores de vazão e hidrômetros ainda não tinham a capacidade de integração com redes de longa distância e isto tornava muito altos os custos do monitoramento e controle em tempo real.

A fig. 2 mostra um cenário de evolução do uso dos sistemas SCADA em saneamento. Num primeiro momento as medições de vazão eram feitas através de medidores isolados. Num segundo momento, se iniciava o monitoramento remoto, através de Unidades Terminais Remotas (UTR), que enviavam dados de partes relevantes da distribuição para um sistema SCADA, centralizado numa área operacional. Num terceiro momento, se iniciavam as implantações de sistemas SCADA em ETAs, Captações, Reservatórios, Boosters, já utilizando Controladores Lógicos Programáveis (CLP), que possibilitam realizar controles automatizados de forma remota e de forma local, desassistida. Após isto, o sistema SCADA vai sendo ampliado. Este cenário é um entre várias possibilidades que dependem muito da estratégia, dos recursos de investimento de cada empresa e das tecnologias existentes.

Atualmente, as tecnologias de IoT disponíveis, estão possibilitando que muitas empresas iniciem o monitoramento usando tecnologias de celular, LPWAN (Low Power Wide Area Network) e instrumentos inteligentes. Estas tecnologias de IoT (Internet of Things), tornaram os custos de monitoramento remoto mais baixos, viabilizando medições remotas em distritos de medição e na micromedição, em larga escala.

Figura 2: Cenário de evolução de sistemas SCADA em saneamento.



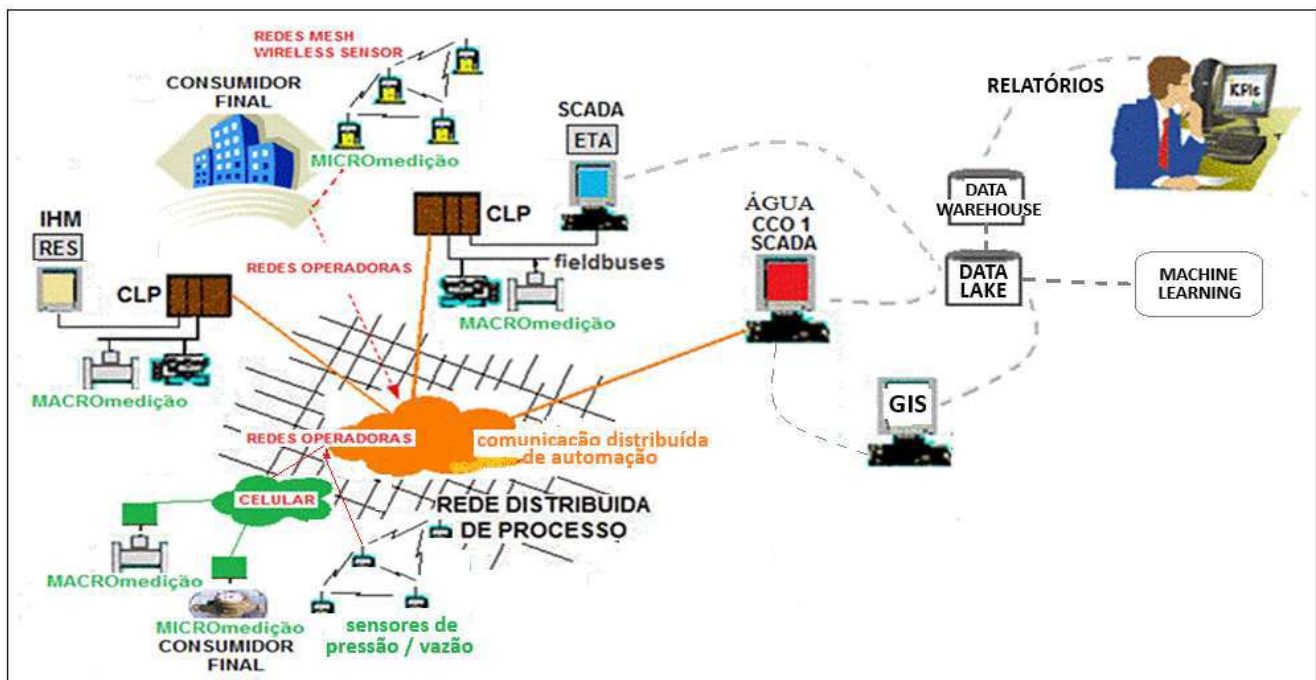
A necessidade de convergência de TI e TO e seus desafios

Quando se analisa as arquiteturas de automação, conforme mostrado na fig.2, é fácil visualizar que o domínio das tecnologias se circunscrevia ao monitoramento e controle, para suporte das decisões operacionais. Havia alguma integração do servidor da aplicação do sistema SCADA para o ambiente de TI, mas toda a infraestrutura abaixo deste servidor, era mantida em redes de comunicação separadas das redes de dados da TI, utilizando radiocomunicação ou circuitos de dados de operadoras. As tecnologias de automação ainda eram proprietárias, a automação ainda não havia entrado no mundo da ethernet industrial.

Quando isto aconteceu e a automação passou a usar protocolos TCP/IP, isto pode ser considerado como o ponto em que realmente surgiu a TO e, a partir dali muitas outras tecnologias de TI, especialmente as de IoT, mudaram o domínio de presença da automação, passando a haver uma zona de convergência e integração entre a TI e a TO.

Sob o ponto de vista da tomada de decisões nas empresas, esta convergência é fundamental para que os dados relevantes da área operacional também possam subsidiar as decisões e estratégias em níveis corporativos. A convergência de TI e TO é a base de um processo de transformação digital, o primeiro e mais essencial passo para que as empresas se tornem data driven. A fig. 3 mostra uma arquitetura de convergência de TI e TO em saneamento, que é um exemplo de como estruturar as tecnologias, não é a única forma.

Figura 3: Uma arquitetura de convergência de TI e TO em saneamento



Os benefícios da convergência de TI e TO são muitos e se mostram facilmente em relação à velocidade da tomada de decisões porque os dados importantes das diferentes áreas das empresas não ficam mais isolados e podem ser utilizados por todas as áreas, complementando informações que antes eram difíceis de cruzar.

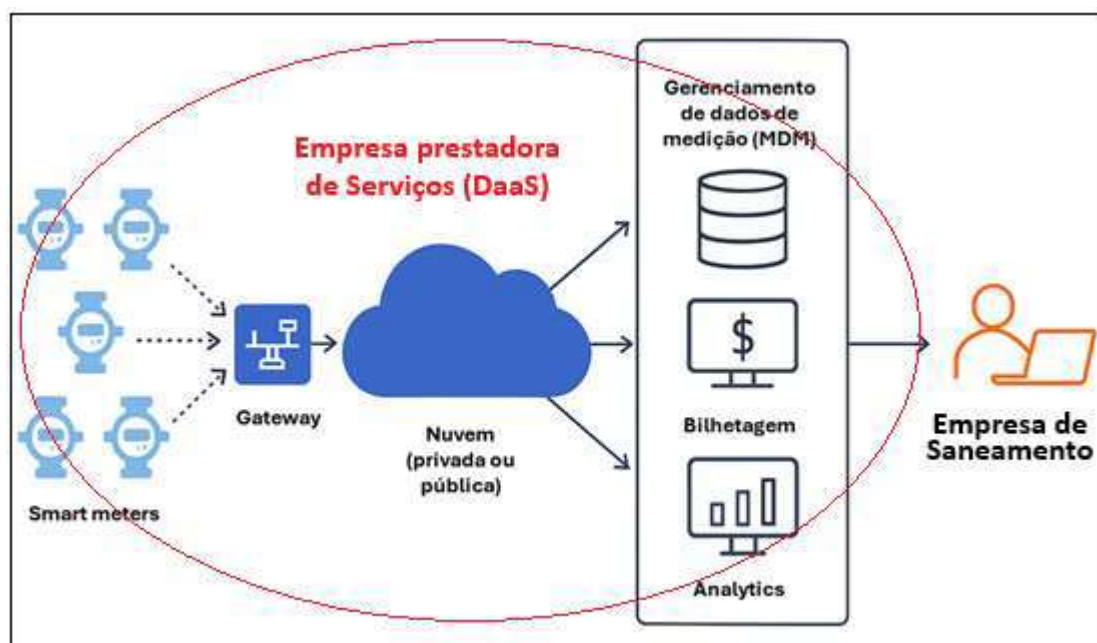
Através desta convergência, é possível verificar a geolocalização de uma bomba, por exemplo, e saber quantas manutenções foram feitas, assim como avaliar se a sua capacidade está sendo suficiente, quantas trocas de peças foram feitas, qual é o custo para mantê-la operando e com isto, é possível dimensionar o melhor momento para comprar uma nova bomba. O cruzamento dos dados operacionais e de manutenção possibilita dimensionar equipes e dimensionar necessidades de treinamentos. O cruzamento de dados do GIS, de manutenção eletromecânica e de manutenção de redes permite um atendimento mais rápido e eficiente de problemas dos clientes finais. Estes são apenas alguns exemplos.

A cibersegurança de TI e TO e as arquiteturas de DaaS (Data as a Service)

Embora a convergência de TI e TO possa trazer tantos benefícios, ela também traz novos desafios, riscos que antes estavam mais controlados, como a cibersegurança, por exemplo. A conectividade dos dados e integração dos sistemas de TI e TO é totalmente estruturada em interligações de redes de dados, tanto internas, como com redes de operadoras e prestadoras de serviços de soluções. Nesse

contexto, de benefícios e riscos, podemos falar da adoção de tecnologias digitais em modelos baseados em Data as a Service (DaaS), que estão transformando a forma como os dados de campo são coletados, transmitidos e analisados. Os sistemas modernos de medição remota inteligente (smart metering) geralmente operam com uma arquitetura distribuída, composta por sensores instalados na rede (medidores, pressurizadores, válvulas), gateways de comunicação, plataformas em nuvem e aplicações analíticas (figura 4).

Figura 4: Uma arquitetura de DaaS para smart metering em saneamento



A fig. 4 mostra o fluxo de dados desde os medidores inteligentes (smart meters), passando por um equipamento gateway que consolida e transmite os dados para a plataforma em nuvem, através de redes de operadoras como LoRaWAN, NB-IoT ou 4G. A partir da nuvem (pública ou privada), os dados são distribuídos para aplicações como gerenciamento de dados de medição (MDM), faturamento (billing) e análise (analytics), chegando para a empresa de saneamento por meio de dashboards ou sistemas corporativos integrados. O cliente final também pode receber os seus dados de consumo, análises e informações de suas contas, em aplicativos específicos. A flexibilidade, escalabilidade e redução de custo operacional tornam este modelo atrativo, principalmente para empresas de saneamento de pequeno e médio porte, como apontam estudos recentes. De acordo com CAHN, A et Al. (2023), um estudo internacional com 112 empresas de saneamento identificou que 29% já utilizam o modelo de DaaS (Data as a Service), sendo mais comum entre as empresas de saneamento pequenas e médias, que não possuem equipe técnica suficiente para operar dispositivos e interpretar dados de sensores. Os dados também apontam que, mesmo entre grandes empresas, há preferência crescente

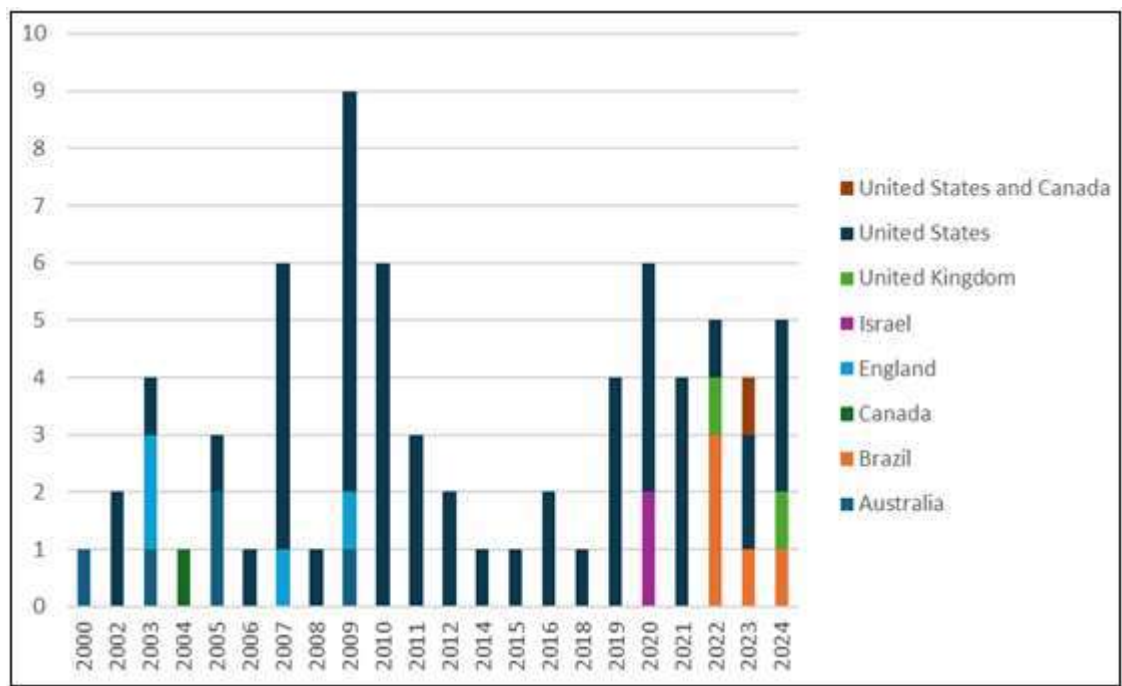
por terceirizar o processo de coleta, transmissão e análise de dados. No entanto, a ampla conectividade entre sensores, redes públicas e aplicações na nuvem, somada à integração com sistemas corporativos, amplia consideravelmente a superfície de ataque cibernético.

A diversidade de fornecedores, protocolos e níveis de maturidade entre os componentes da cadeia DaaS pode introduzir vulnerabilidades críticas, caso não haja governança e medidas de segurança adequadas em cada etapa do processo. As principais motivações identificadas para adoção de DaaS são a facilidade operacional (72%) e a redução de riscos (57% para sistemas de esgoto). Além disso, a possibilidade de obter dados em tempo real e sob demanda permite decisões mais ágeis, otimizando investimentos em infraestrutura e reduzindo custos operacionais com manutenções preventivas. (CAHN et al., 2023)

Contudo, a adoção das tecnologias gera exposições desses ambientes aos atacantes digitais. De acordo com o Incident Hub (2025) há 72 incidentes de segurança cibernética relativas a infraestruturas de águas e saneamento, registradas desde 2002 em diferentes países. Foram analisados dados do banco de incidentes conhecido como Incident Hub, com foco em ocorrências registradas especificamente no setor de água e saneamento. A análise dos registros de 2024 revela uma concentração de incidentes em países como Estados Unidos, Reino Unido e Brasil, com destaque para ataques de ransomware e comprometimento de sistemas de faturamento e operação.

A fig. 5 apresenta a visão dos incidentes por ano, com destaque para a distribuição por país. O caso brasileiro mais recente, um ataque à SABESP em novembro de 2024, reforça a urgência de se adotar estratégias robustas de cibersegurança de TO, principalmente em empresas que já avançaram na transformação digital e utilizam medição remota em escala.

Figura 5 – Incidentes de cibersegurança em sistemas de saneamento por ano e país (dados compilados a partir do Incident Hub, 2025)



Apesar da percepção inicial de que segurança e propriedade dos dados seriam barreiras para adoção do DaaS, o estudo mostra que, entre empresas que já utilizam esse modelo, apenas 25% se mostraram muito preocupadas com segurança da informação. A maioria afirma que contratos bem elaborados e armazenamento em sistemas isolados dos fornecedores mitigam esses riscos (CAHN et al., 2023). Como destacado neste estudo, muitos contratos de DaaS envolvem o uso de sensores, comunicação via rede e processamento em nuvem, o que reforça a importância dos pilares de cibersegurança, como gestão de vulnerabilidades, controle de acesso e governança clara. Essas exigências devem estar contempladas nos requisitos mínimos contratuais entre a empresa de saneamento e o fornecedor, e podem ser validadas com base no guia proposto neste artigo.

Embora a adoção de soluções em nuvem traga receios quanto à perda de controle e à dependência de terceiros, conforme relatado no estudo “Adoption of DaaS by Water Utilities”, o whitepaper da AWS (2023) apresenta argumentos a favor da segurança na nuvem, especialmente para pequenas e médias empresas de saneamento. O modelo de responsabilidade compartilhada proposto pela AWS define claramente os limites entre as obrigações do provedor e do cliente, permitindo que empresas se concentrem em proteger seus dados e aplicações com apoio de ferramentas robustas. Além disso, frameworks como o AWS Well- Architected e o Cloud Adoption Framework (CAF) fornecem diretrizes práticas para construção de ambientes seguros e resilientes, com ênfase em práticas como

autenticação multifator (MFA), inventário de ativos digitais, segmentação lógica de redes e conformidade com normas como NIST CSF e ISO 27001. A AWS também recomenda o uso de ferramentas como Foundational Technical Review e Marketplace de soluções certificadas, que podem mitigar riscos de supply chain e aumentar a confiança das utilities na migração de sistemas OT para a nuvem. A convergência entre TI e TO, inclusive com recursos de computação de borda (edge computing) para sensores e medidores inteligentes, reforça a necessidade de uma abordagem integrada e especializada de segurança — algo que provedores como a AWS têm capacidade técnica e escala global para oferecer.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As pesquisas foram realizadas com o objetivo de mostrar a importância das medições remotas para o gerenciamento de perdas e a necessidade da cibersegurança de TO para assegurar estas medições remotas.

Também se buscou mostrar os desafios da convergência destes dados para o ambiente da TI das empresas e como esta integração entre as áreas de TI e de TO tem reflexos na sua governança, no planejamento das infraestruturas de medição remota e nas ações de cibersegurança de TI e de TO.

Nas pesquisas de artigos e livros especializados, especialistas brasileiros na gestão de perdas contextualizam como críticas, as medições remotas de clientes finais, de distritos de medição e controle (DMCs) e a macromedição em pontos estratégicos da distribuição. Embora não se discuta, no Brasil, as possibilidades de ataques hackers que prejudiquem estas medições, os cases de ataques pesquisados mostram um número maior de ataques originados nas infraestruturas de TO, inclusive nos sistemas de medição de clientes finais, do que aqueles originados nos ambientes de TI. Não temos ainda a cultura da discussão da cibersegurança de TI e de TO, no setor de saneamento no Brasil, assim como não havia esta cultura em empresas de saneamento de vários países, antes da pandemia de 2020. Porém, este cenário mudou muito rapidamente e o tema da cibersegurança no saneamento é considerado agora como um dos principais desafios do setor no mundo.

Com a evolução natural das tecnologias, os novos ambientes concorrenciais e as demandas ambientais, veio a necessidade de fazer uma Transformação Digital, para que as empresas de saneamento sejam mais eficientes, se tornando empresas data driven. Para fazer isto, as empresas do setor precisam incluir seus problemas mais críticos, entre os quais as perdas e a eficiência energética, no núcleo dos

seus projetos de Transformação Digital e a cibersegurança de TI e de TO não pode ser desconsiderada neste projetos. Numa empresa data driven, os dados são os ativos mais valiosos da empresa, especialmente os dados operacionais e dos clientes finais e fazer estes monitoramentos deixou de ser uma opção entre fazer ou não, mas sim de quando e como fazer. Aumentar a eficiência é uma questão de sobrevivência para as empresas do setor. A questão da cibersegurança é tão importante que, em 2019, antes mesmo da pandemia, uma pesquisa da GWI (Global Water Intelligence) já apontava a cibersegurança como o desafio número um na abordagem da Transformação Digital com foco em gestão de perdas no saneamento.

Reconhecer o desafio da cibersegurança já é um passo, mas como fazer a cibersegurança no setor? Quando se trata deste tema, é preciso considerar que as tecnologias e instrumentos usados para fazer as medições remotas na Distribuição, Estações de Tratamento e Captações, são tecnologias de TO (Tecnologia Operacional). No caso das medições remotas nos clientes finais, parte do sistema de medição, que são os medidores inteligentes e seus protocolos nativos, também são tecnologias de TO. Mas as soluções de ponta a ponta, para que exista o envio dos dados convergindo para aplicações que são de TO e outras que são corporativas e estão na TI, envolvem tecnologias que são de TI, o que adiciona mais um desafio porque a TI e a TO, embora tenham semelhanças, também tem muitas diferenças. Reconhecendo este cenário, muitos países estão adotando a abordagem de auxiliar suas empresas de saneamento, através de padrões, guias orientativos e regulamentações que ajudem as empresas do setor a compreenderem o seu nível de maturidade atual em termos de cibersegurança de TI e de TO e consigam, através deste auxílio, realizar ações iniciais estruturantes.

Vários destes padrões e guias orientativos foram pesquisados para este artigo. Para quem não é do setor, pode surgir um questionamento sobre a necessidade deste auxílio e ela acontece pelo fato das empresas do setor, em nível global, normalmente terem poucos recursos humanos específicos de TO e ainda menos de cibersegurança de TO. Isto também acontece no Brasil, por aqui existem igualmente poucos recursos humanos de TO nas empresas de saneamento e quase nenhum recurso humano de cibersegurança de TO porque praticamente não se fazia cibersegurança de TO, já que os sistemas e ativos de TO, como SCADA, PLCs e instrumentos de medição, não costumavam ser interligados diretamente nas redes de dados e sistemas de TI. Esta cultura de tecnologias operacionais isoladas também é a razão pela qual muitos profissionais do setor acreditam que ciber ataques não acontecem nos sistemas de TO, o que não é a realidade.

Até 2020, havia incidentes de cibersegurança de TI e de TO em empresas de saneamento de vários países.

Muitos destes incidentes não eram reportados e a quantidade deles aumentou significativamente durante e após a pandemia. Uma pesquisa do Task Committee on Cyberphysical Security of Water Distribution Systems (EWRI) coletou dados de 15 (quinze) incidentes de cibersegurança, envolvendo TI e TO em empresas de saneamento, no período de 2000 a 2019. O número de incidentes neste período foi muito maior, porém a pesquisa considerou apenas os casos em que todas as informações sobre o que aconteceu, qual o impacto que causou e como foi solucionado, estavam oficialmente reportadas. Destes 15 (quinze) incidentes, 10 (dez) iniciaram em ativos de TO e 03 (três) iniciaram na TI e na TO. Foram incidentes graves, que trouxeram não apenas danos materiais para as empresas de saneamento, mas abalaram a sua imagem de credibilidade e colocaram em risco a população atendida.

Alguns destes incidentes aconteceram em empresas de saneamento que não tinham procedimentos, políticas ou qualquer tipo de defesa de cibersegurança e não discriminaram, no contrato com terceiros, a responsabilidade de cada parte no caso de um ciber ataque. Procedimentos simples, como deixar de cancelar as credenciais de acesso à rede, imediatamente após a demissão do empregado, causaram graves incidentes.

Outros procedimentos simples como atualização de senhas, o uso de MFA, não utilizar senhas default nos equipamentos de rede de TO, poderiam ter evitado vários dos incidentes.

6 CONCLUSÕES / RECOMENDAÇÕES

Entre os muitos benefícios já identificados no uso da medição inteligente no saneamento, pode-se citar a maior confiabilidade em relação ao consumo dos clientes, cujos dados passam a ser coletados e transmitidos automaticamente, sem necessidade de leitura humana no local. A periodicidade diária das leituras e as curvas históricas de consumo, possibilitam identificar anomalias de consumo, habilitando uma ação proativa da empresa de saneamento, antes de emitir a conta para o cliente, o que evita reclamações posteriores e melhora a imagem da empresa. O monitoramento remoto da micromedição, da macromedição e de pressões também vem possibilitando alcançar redução nas perdas, aumentar a eficiência na detecção de vazamentos e no gerenciamento de pressão. Mas, também já foram identificados inúmeros casos de incidentes de cibersegurança que se iniciaram nos sistemas de TO. Por esta razão, as empresas de saneamento que já tem um nível maior de maturidade

em relação à implantação e uso de sistemas inteligentes de medição estão incorporando requisitos de cibersegurança de TO e de TI em seus projetos e contratos, como por exemplo The San Jose Water Company, California, que definiu 23 requisitos de cibersegurança obrigatórios para a contratação de seus sistemas de AMI. As empresas de saneamento do Brasil podem aprender com os incidentes que já aconteceram com outras empresas do setor, em diversas partes do mundo. Este aprendizado tornará mais fácil o caminho de transição para sua Transformação Digital. Nas conclusões deste trabalho, como contribuição para uma discussão inicial no setor, será apresentado um guia simplificado de fundamentos de cibersegurança de TO e de convergência de TI/TO, desenvolvido por especialistas brasileiros nestes temas e com base no guia de 15 Cybersecurity Fundamentals for Water and Wastewater Utilities, elaborado pela WaterISAC.

Guia simplificado de fundamentos de cibersegurança de TO e convergência de TI/TO

Baseado em: WaterISAC 15 Cybersecurity Fundamentals (WATERISAC, 2019), casos e experiências do setor de saneamento, estudos recentes como o Deep H2O (KABIR SIKDER et al., 2023), e dados do Incident Hub (TI Safe, 2025)

1. Capacitação e Cultura Organizacional

Desenvolver consciência e competência em cibersegurança entre todos os colaboradores é essencial, especialmente para quem atua com ativos de TO. Isso inclui promover treinamentos regulares sobre riscos cibernéticos, boas práticas e protocolos de resposta, realizar simulações de incidentes e campanhas de conscientização, bem como integrar equipes de TI, TO e operação em atividades educativas conjuntas.

Auto-avaliação:

- ☐ Nossa equipe técnica já recebeu algum treinamento básico em cibersegurança?
- ☐ Já simulamos um incidente cibernético para treinar nossa equipe?

2. Governança e Responsabilização

É fundamental estabelecer liderança clara e responsabilidades bem definidas na gestão da cibersegurança de TO. Isso significa nomear responsáveis com autoridade, integrar a segurança de TO à governança corporativa e garantir o apoio da alta direção.

Auto-avaliação:

- ☐ Minha empresa possui pelo menos um responsável definido por segurança de sistemas industriais (TO)?

Os contratos com fornecedores de tecnologia exigem segurança dos dados?

3. Gestão de Ativos de TO

Conhecer e monitorar todos os ativos conectados à rede é o ponto de partida para proteger o ambiente de

TO. Isso implica elaborar inventários atualizados, classificar os ativos por criticidade e mapear dependências com sistemas de TI.

Auto-avaliação:

- ☐ Temos inventário atualizado de equipamentos conectados (sensores, PLCs, medidores, etc.)?

4. Segmentação de Redes e Controle de Acesso

Minimizar o impacto de ataques exige isolar as diferentes zonas de TO e aplicar controle rigoroso de acessos. Isso inclui segmentar redes com firewalls industriais, usar autenticação multifator e proibir senhas padrão.

Auto-avaliação:

- ☐ O acesso remoto aos sistemas exige autenticação multifator (MFA)?
- ☐ As redes de operação (TO) são separadas da rede de computadores do escritório (TI)?
- ☐ Há senhas fortes e diferentes para cada sistema (nunca usamos senhas padrão)?
- ☐ Os ex-funcionários têm seus acessos removidos imediatamente ao sair?
- ☐ Os dados da empresa (em trânsito ou em repouso) estão criptografados?

5. Gestão de Vulnerabilidades e Atualizações

Manter os sistemas atualizados e corrigir vulnerabilidades é essencial para evitar explorações. Avaliações periódicas, aplicação de patches planejados e atenção aos dispositivos legados são a base desta prática.

Auto-avaliação:

- ☐ Realizamos atualizações de software e firmware com frequência?
- ☐ Recebemos alertas automáticos de acessos suspeitos ou falhas?

6. Respostas a Incidentes e Continuidade Operacional

Estar preparado para reagir a incidentes é tão importante quanto evitá-los. Planos de resposta bem definidos, testados periodicamente e com identificação das criticidades são essenciais.

Auto-avaliação:

- ☐ Existe um plano escrito com ações para seguir em caso de ataque?
- ☐ Sabemos quais sistemas e processos são mais críticos para manter a operação?
- ☐ Há backups regulares e testados dos sistemas mais críticos?

Notas Finais: Este guia visa auxiliar empresas de saneamento a estruturarem suas ações iniciais de cibersegurança de TO e integração TI/TO, e pode ser adaptado como checklist de autoavaliação ou inserido em contratos de DaaS e projetos de transformação digital. O cumprimento dos itens deste checklist, no entanto, não representa uma auditoria formal nem substitui certificações reconhecidas. Trata-se de um ponto de partida acessível para que as empresas compreendam sua situação atual em segurança e identifiquem áreas prioritárias para evolução.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRANQUINHO, M. A. et al. Segurança de automação industrial e SCADA. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014.

BRANQUINHO, M.; BRANQUINHO, T. Segurança Cibernética Industrial: as infraestruturas críticas mundiais correm perigo. Aprenda a proteger redes e sistemas de controle com uma metodologia comprovada na prática. Rio de Janeiro: Alta Books, 2021.

KOVAC, J. (2021). Digital transformation of water utilities through water loss management approach [Webinar]. IWA Water Loss Specialist Group <https://www.youtube.com/watch?v=kT9nV34aCEM>

SCHLENGER, D. Advanced Metering Infrastructure: a guidance manual for water utilities. Don Schlenger & Associates, LLC, 2019.

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

“Convergência TI/TO – base para a transformação digital do negócio”. In: Revista Controle e Instrumentação, n. 290, p. 30-36, 2024.

AMAZON WEB SERVICES. Securing water utilities with AWS cloud technology. [S.l.]: AWS, 2023.

Disponível em: <https://docs.aws.amazon.com/architecture-diagrams/latest/smart-metering-for-waterutilities/smart-metering-for-water-utilities.pdf>. Acesso em: 17 abr. 2025.

CAHN, A.; KATZ, D.; GHERMANDI, A.; PREVOS, P. Adoption of data-as-a-service by water and wastewater utilities. Utilities Policy, [S.l.], v. 81, p. 101492, 2023. Disponível em:

<https://doi.org/10.1016/j.jup.2023.101492>. Acesso em: 17 abr. 2025.

KABIR SIKDER, M. N.; NGUYEN, M. B. T.; ELLIOTT, E. D.; BATARSEH, F. A. Deep H2O: Cyber attacks detection in water distribution systems using deep learning. Journal of Water Process

Engineering, [S.l.], v. 52, p. 103568, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2023.103568>. Acesso em: 17 abr. 2025.

TUPTUK, N.; HAZELL, P.; WATSON, J.; HAILES, S. A systematic review of the state of cyber-security in water systems. Water, [S.l.], v. 13, n. 1, p. 81, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/w13010081>. Acesso em: 17 abr. 2025.

WATERISAC. 15 Cybersecurity Fundamentals for Water and Wastewater Utilities. [S.l.]: Water Information Sharing and Analysis Center, 2019. Disponível em: <https://www.waterisac.org>. Acesso em: 17 abr. 2025.

TI SAFE. TI Safe Industrial Security Knowledge Hub. [S.l.]: TI Safe, [s.d.]. Disponível em: <https://hub.tisafe.com>. Acesso em: 17 abr. 2025.

Capítulo 6



10.37423/260310836

SEGURANÇA HÍDRICA NO COMPLEXO HIDRELÉTRICO DE URUBUPUNGA

Helio Ricardo Silva

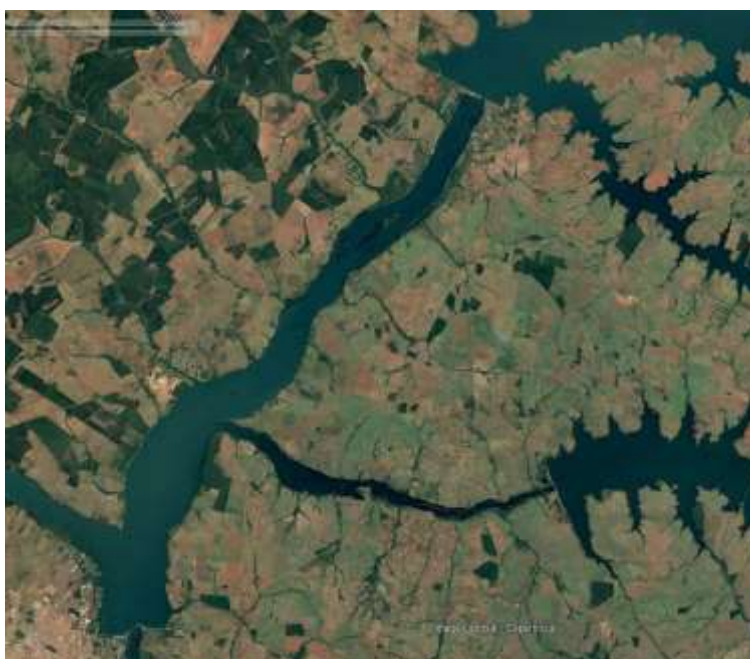
Luiz Lucena

UNIVERSIDADE ESTDUAL PAULISTA/
Faculdade de engenharia/campus Ilha
Solteira
OPER ENGENHARIA



Segundo a Agência Nacional de Água (ANA, 2012) na Região Hídrica (RH) do Rio Paraná estão instaladas as Usinas Hidrelétricas de Ilha Solteira, Engenheiro Souza Dias (Jupiá) e Três Irmãos, que compõem o Complexo de Urubupungá, sendo este, o sexto maior do mundo em capacidade de geração de energia elétrica com 5.860 MVA e uma área de influência que se estende pelos Estados de São Paulo, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais e Goiás (SILVA et al., 2002), conforme mostra a figura 1.

Figura 1- Localizações dos reservatórios das Usinas Hidroelétricas (UHE) do Complexo de Urubupungá.



As atividades agropecuárias tem colaborado com a degradação ambiental destes reservatórios e com a redução na capacidade de armazenamento de água. Silva e Politano (1995) constataram, através da fotointerpretação que nos anos 1971 e 1972 a principal classe de uso do solo, nas vertentes das sub-bacias hidrográficas, afluentes do rio Paraná, eram as pastagens, utilizadas para a exploração da pecuária extensiva. Os autores verificaram que esta atividade ocupou o meio físico de forma acelerada e desordenada, favorecendo a degradação dos solos com consequentes perdas destes através dos processos erosivos. Segundo os autores estes processos estavam contribuindo para o assoreamento dos reservatórios de Ilha Solteira e Três Irmãos, portanto reduzindo a vida útil das suas usinas hidrelétricas. A partir de 2004, com a instalação de várias usinas processadoras de cana-de açúcar nesta região, os proprietários rurais, iniciaram a substituição da pecuária extensiva por esta nova atividade, que era mais rentável.

A redução das áreas exploradas com pastagens face a expansão da cultura da cana de açúcar, reduziu os processos erosivos lineares em municípios localizados nesta região, em função da melhoria no manejo e conservação do solo pelas usinas de álcool. Apesar do ganho ambiental verificado nestes municípios, face a substituição das pastagens pela cana de açúcar, tem sido observadas perdas ambientais devido ao uso excessivo da água, tendo como consequência a transformação de leito perene em leito seco reduzindo assim a oferta de água no reservatório da UHE de Jupia.

Este fato está sendo observado na rede de drenagem denominada Córrego da Onça, que tem a foz no reservatório da Usina Hidroelétrica de Jupia. Algumas hipóteses são levantadas para explicar o secamento deste segmento fluvial tão importante para o enchimento do reservatório da UHE de Jupia. A primeira hipótese está relacionada a mudança do manejo da área onde está localizado o leito intermitente desta rede de drenagem. Esta área sempre foi mantida preservada, contribuindo assim com a produção de água entretanto após a implantação da cultura da cana de açúcar esta área passou a ser utilizada para a exploração agrícola, sendo também recortada por vários carregadores, impedindo assim a produção de água pela nascente localizada mais a montante nesta rede de drenagem.

As figuras 2 e 3, a seguir mostram as localizações das nascentes e leito intermitente em junho de 2004 e em setembro de 2020.

Figura 2: Área conservada onde está localizado o leito intermitente da rede de drenagem Córrego da Onça, localizado entre os municípios de Ilha Solteira – SP e Itapura - SP em 2004.



Figura 3: Área onde se localiza o leito intermitente da rede de drenagem do Córrego da Onça em 2020 recortada por carregadores e utilizada para uso agrícola e a localização da represa que é utilizada na irrigação por salvamento da cultura de cana-de-açúcar.



A segunda hipótese levantada está relacionada utilização da técnica denominada “irrigação por salvamento” da cultura da cana de açúcar, que corresponde atualmente a mais de 90% da área irrigada de cana e consiste na aplicação de água em um período relativamente curto ou num determinado estágio da cultura. Esta modalidade de irrigação é realizada com carretel enrolador (hidro roll) ou com pivô rebocável, sendo aplicadas normalmente lâminas de 60 a 80 mm após cada corte anual da cana (PEREIRA et al., 2015), favorecendo sua recuperação, produtividade e longevidade. Dessa forma, o método considera a aplicação de 80 mm de água distribuídos nos três meses imediatamente após o corte da cana (colheita), garantindo a germinação nos períodos secos. Além da utilização do método acima relatado, foi constatado o uso consuntivo da água pelas usinas de álcool, através da utilização de caminhões pipa na “irrigação de salvamento” desta cultura, implantada nos municípios paulistas de Ilha Solteira e Itapura. A água utilizada neste método de irrigação está sendo retirada da represa, localizada na rede de drenagem denominada Córrego da Onça (Figura 3) o que tem reduzido drasticamente o volume de água que chega até o reservatório da UHE de Jupia.

Outros afluentes dos reservatórios das UHE de Jupia, Ilha Solteira, Três Irmãos e Porto Primavera, deixaram, ao longo das décadas, de contribuir para o enchimento destes reservatórios pois tiveram as suas nascentes assoreadas em função da retirada da vegetação ciliar, durante a implantação das atividades agropecuárias.

Além do uso consuntivo da água pela agropecuária na região onde estão localizadas as UHE de Jupia, Ilha Solteira, Três Irmãos e Porto Primavera, ocorre também nesta região o uso consuntivo pela indústria de transformação (celulose, cana-de-açúcar).

Figura 4:Localização do segmento do leito perene transformado em leito seco na rede de drenagem do Córrego da Onça



Assim conclui-se que é de suma urgência que ações sejam tomadas com o envolvimento de forma participativa e consciente das indústrias de transformação (celulose, cana-de-açúcar), proprietários rurais, governos municipal, estadual e federal e universidades na busca de soluções que garantam a auto-sustentabilidade das ações para aumentar a oferta de água e assim não comprometendo a segurança hídrica na região de influência das UHE de Jupia, Ilha Solteira, Três Irmãos e Porto Primavera.

Palavras-chave: assoreamento, degradação ambiental.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA (Brasil) Panorama da qualidade das águas superficiais do Brasil: 2012/Agência Nacional de Águas - Brasília: ANA, 2012. 264 p

SILVA, H.R.; POLITANO, W. Análise do uso e ocupação do solo e processos de erosão na área de influência do conjunto de Urubupungá: estudo dos municípios de Pereira Barreto, Ilha Solteira e Suzanápolis (SP). In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO, 5., 1995, Bauru. Anais... Bauru: ABGE-IPT-DIGEO, 1995. p.145-7.

SILVA, H.R. et al. A utilização do geoprocessamento na identificação e monitoramento dos níveis de degradação das pastagens na Região de Influência do Complexo de Urubupungá. In: GISBRASIL 2002 SHOW DE GEOTECNOLOGIAS, 8, 2002, Curitiba. Anais...Curitiba: FatorGis, 2002. 10p. (CD-ROM).

Capítulo 7



10.37423/260310837

IMPACTO DOS MICROPLÁSTICOS E NANOPLÁSTICOS NA SAÚDE HUMANA

ANGELA CRISTINA DE SOUZA CORDEIRO

FUNDAÇÃO OSWALDO CRUZ

JOSÉ ANTÔNIO BAPTISTA NETO

UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE

DALTON MARCONDES SILVA

FUNDAÇÃO OSWALDO CRUZ



RESUMO

A contaminação ambiental por microplásticos (MPs) e nanoplásticos (NPs) tornou-se uma preocupação emergente no campo da saúde pública e ambiental. Esses resíduos, resultantes da degradação de plásticos maiores, apresentam dimensões microscópicas ($<5\text{ mm}$) e nanométricas ($<1\text{ }\mu\text{m}$), respectivamente, e são amplamente distribuídos no ambiente, incluindo água potável, alimentos e ar. Este artigo revisa os principais caminhos de exposição, os impactos potenciais à saúde humana e as lacunas de conhecimento que ainda desafiam a comunidade científica. Evidências preliminares sugerem que esses polímeros podem provocar efeitos adversos, como inflamação, alterações imunológicas e potencial toxicidade celular. A compreensão dos riscos associados é fundamental para embasar políticas públicas e estratégias de mitigação no contexto da engenharia sanitária e ambiental.

Palavras-chave: microplásticos, nanoplásticos, saúde humana, toxicidade, poluição ambiental.

INTRODUÇÃO

Em 1907, o belga Leo Hendrik Baekeland criou a baquelite, o primeiro plástico sintético, representando o início da era da indústria plástica a nível mundial. No entanto, o desenvolvimento significativo da produção de plástico só ocorreu na década de 1950, partindo-se de 1,7 milhão de toneladas para uma produção mundial de 413,8 milhões de toneladas em 2023 (PLASTICS EUROPE, 2024; NEVES *et al.*, 2022).

Desde então, o crescimento da produção de plásticos foi exponencial, acompanhando a industrialização global, o crescimento populacional e a demanda por materiais leves, duráveis e de baixo custo. Segundo dados da Plastics Europe (2024), a produção mundial de plásticos atingiu 413,8 milhões de toneladas em 2023, representando um aumento de mais de 240 vezes em relação à produção de 1950.

As projeções indicam que, se o atual ritmo de crescimento se mantiver, a produção global poderá ultrapassar 1,2 bilhão de toneladas anuais até 2050 (OECD, 2022), especialmente com o aumento do consumo em países em desenvolvimento e a expansão de setores como embalagens, construção civil, transportes e eletrônicos. Entretanto, esse crescimento acarreta sérios desafios ambientais e de saúde pública, especialmente no que se refere à geração de resíduos plásticos e à dispersão de micro e nanoplásticos no ambiente.

Diante desse cenário, torna-se urgente promover a transição para uma economia circular do plástico, com foco na redução da produção, no aumento da reciclabilidade, na substituição por materiais alternativos e na implementação de tecnologias de remediação e degradação ambiental (UNEP, 2023).

Assim, considerando o amplo uso e produção global de plásticos, bem como a persistência desses materiais no meio ambiente, é urgente avaliar como a exposição contínua a micro e nanoplásticos pode impactar a saúde humana.

OBJETIVOS

Este estudo, ao revisar e compilar as evidências científicas sobre os possíveis efeitos dos micro e nanoplásticos na saúde humana, pretende esclarecer os riscos envolvidos e fornecer uma base para o desenvolvimento de políticas públicas voltadas à redução da exposição humana e ao manejo sustentável dos resíduos plásticos, ressaltando-se a relevância do tema para o saneamento e a

engenharia ambiental.

METODOLOGIA UTILIZADA

Esta pesquisa se concentrou no impacto potencial de micro e nanoplásticos na saúde humana, em suas rotas de exposição e respostas de toxicidade, por meio de informações coletadas em artigos científicos. A literatura foi pesquisada de 2018 a 2024, usando as bases de dados Web of Science (WoS), Scopus e PubMed. A busca foi restrita a artigos originais revisados por pares e escritos em inglês. Os seguintes termos em inglês foram usados nas buscas das três bases de dados: microplastics, nanoplastics, human health, toxicity e environmental pollution. Foram feitas buscas também em outros sites nacionais e internacionais.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O que são microplásticos e nanoplásticos

Definição e características

Os microplásticos e nanoplásticos são pequenas partículas derivadas de polímeros plásticos, diferenciadas principalmente pelo tamanho. Essas partículas são classificadas de acordo com suas dimensões e apresentam características específicas que as tornam altamente persistentes no meio ambiente e potencialmente prejudiciais para a saúde humana (CÁSSIO; BATISTA; PRADHAN, 2022).

Microplásticos: São partículas plásticas com tamanho inferior a 5 mm. Podem ser originados diretamente de produtos de consumo (como esfoliantes e produtos de higiene pessoal que contêm microesferas plásticas) ou resultar da fragmentação de plásticos maiores devido a processos físicos, químicos e biológicos no ambiente. Os microplásticos podem ser divididos em primários (projetados já em tamanho reduzido) e secundários (resultantes da degradação de plásticos maiores).

Nanoplásticos: São partículas ainda menores, com tamanho inferior a 1 μm . Elas surgem da degradação contínua dos microplásticos ou de outros produtos plásticos que se fragmentam em partículas extremamente pequenas. Devido ao seu tamanho nanométrico, os nanoplásticos

possuem propriedades físico-químicas distintas, como maior superfície específica e potencial de penetração em tecidos biológicos, o que pode aumentar sua reatividade e toxicidade.

Essas partículas podem variar quanto à composição, forma, densidade e carga superficial, características que influenciam sua dispersão no ambiente e sua interação com organismos vivos. A presença de aditivos e contaminantes adsorvidos na superfície das partículas, como metais pesados e poluentes orgânicos persistentes, potencializa seus efeitos adversos, pois essas substâncias podem ser liberadas durante o processo de degradação ou ao serem ingeridas por seres vivos.

Devido ao tamanho reduzido, tanto microplásticos quanto nanoplásticos podem ser facilmente transportados por correntes de ar, águas superficiais e subterrâneas, e podem se acumular em diversos ecossistemas. Essa ubiquidade ambiental torna a presença de micro e nanoplásticos uma preocupação global, tanto para a preservação dos ecossistemas quanto para a saúde pública (OLIVATTO *et al.*, 2018; SANGKHAM *et al.*, 2022).

Fontes de Microplásticos e Nanoplásticos

As fontes de microplásticos e nanoplásticos são variadas e abrangem desde atividades industriais até o uso cotidiano de produtos plásticos. Essas partículas podem ser divididas em fontes primárias e secundárias, com diferentes origens e processos de geração.

Fontes Primárias: São partículas de micro e nanoplásticos fabricadas intencionalmente para fins específicos ou geradas diretamente a partir de produtos de consumo. Entre as principais fontes primárias, destacam-se:

Produtos de Higiene Pessoal e Cosméticos: Alguns esfoliantes, pastas de dente e produtos de limpeza facial contêm microesferas plásticas que, ao serem descartadas no esgoto, podem acabar nos corpos d'água (HABIB *et al.*, 2022).

Indústria Têxtil: Lavagens de roupas sintéticas, como poliéster, nylon e acrílico, liberam fibras microscópicas que entram no sistema de esgoto e podem atingir rios e oceanos (DE FALCO *et al.*,

2019; PINLOVA; NOWACK, 2023; CARR, 2017; GAVIGAN *et al.*, 2020; STONE *et al.*, 2020; LELLIS *et al.*, 2019).

Pneus de Veículos: A abrasão dos pneus durante a condução gera micropartículas de borracha e plásticos que se acumulam nas vias e, com a chuva, são levadas para os corpos d'água.

Esferas e Pellets Plásticos: São usados como matéria-prima para a fabricação de produtos plásticos e, por vezes, são acidentalmente liberados durante o transporte ou o manuseio (ZHANG, *et al.*, 2022).

Fontes Secundárias: Surgem da fragmentação de plásticos maiores, que se degradam devido à exposição a fatores ambientais como radiação UV, oxidação, atrito e ação biológica. As principais fontes secundárias incluem:

Resíduos Plásticos no Ambiente: Sacolas plásticas, embalagens, garrafas, redes de pesca e outros resíduos maiores, que ao chegarem ao ambiente se fragmentam com o tempo, formando micro e nanoplásticos (ZIANI *et al.*, 2023).

Fragmentação de Resíduos Urbanos e Marinhos: Produtos plásticos que acabam em aterros, praias e oceanos estão sujeitos à fragmentação física e química, transformando-se em partículas menores (ZIANI *et al.*, 2023).

Degradação de Materiais de Construção e Pinturas: Certos materiais de construção e tintas contêm partículas plásticas que, com a erosão e desgaste, se transformam em microplásticos e nanoplásticos, sendo liberados no solo, ar e água (LEISTENSCHNEIDER *et al.*, 2021; KOLE *et al.*, 2017).

Rotas de Exposição Humana aos Microplásticos e Nanoplásticos

Os MPs e NPs são encontrados em diversos ambientes, como oceanos, solos, fontes de água potável e até no ar. Esses materiais podem entrar no corpo humano por meio da ingestão de alimentos contaminados, pela inalação de partículas presentes no ar, ou, em menor proporção, por contato dérmico (WANG *et al.*, 2022; BASHIR *et al.*, 2021). Embora os efeitos de exposição a microplásticos

na saúde humana ainda estejam sendo estudados, há evidências que sugerem que ela tem inúmeros impactos negativos em nossa saúde (Figura 1).

Ingestão de Alimentos Contaminados

Uma das principais rotas de exposição humana aos microplásticos e nanoplásticos é a ingestão de alimentos contaminados. A presença dessas partículas em alimentos consumidos regularmente é motivo de preocupação, pois evidencia a contaminação da cadeia alimentar, tornando-se uma via potencial de entrada de substâncias tóxicas no organismo humano (AL MAMUN *et al.*, 2023; CAMPANALE *et al.*, 2020; KANNAN; VIMALKUMAR, 2021).

Frutos do Mar: Estudos têm mostrado que os frutos do mar, como peixes, moluscos e crustáceos, apresentam níveis significativos de microplásticos. Como esses animais filtram a água para se alimentar, acabam acumulando partículas plásticas presentes no ambiente marinho. Assim, ao consumir frutos do mar, humanos podem ingerir microplásticos acumulados nos tecidos desses animais.

Sal de Cozinha: Pesquisas detectaram a presença de microplásticos em diversos tipos de sal, incluindo o sal marinho, o sal de rocha e o sal de lago. Isso se deve à contaminação das fontes de água de onde o sal é extraído.

Água Potável: Microplásticos e, em menor escala, nanoplásticos, foram encontrados tanto em água potável engarrafada quanto em água de torneira, variando de acordo com a localização geográfica e o sistema de tratamento de água. Estudos indicam que as partículas podem vir da própria embalagem plástica das garrafas ou serem captadas ao longo do processo de distribuição de água.

Alimentos Processados e Embalados: A contaminação pode ocorrer durante o processamento e a embalagem de alimentos, especialmente em plásticos. As partículas podem se desprender das embalagens e migrar para o alimento durante o armazenamento e o manuseio, aumentando a exposição dos consumidores.

Produtos Agrícolas: Fertilizantes que contêm lodo de esgoto, onde podem existir partículas plásticas, são frequentemente usados na agricultura. Isso significa que vegetais e outros produtos

agrícolas podem estar contaminados com microplásticos absorvidos do solo. Além disso, a irrigação com água contaminada e a dispersão de microplásticos atmosféricos nas lavouras são outras fontes potenciais.

A ingestão desses alimentos contaminados é uma preocupação para a saúde humana, pois os microplásticos e nanoplásticos podem não apenas acumular-se no trato gastrointestinal (AL MAMUN *et al.*, 2023; CAMPANALE *et al.*, 2020), mas também liberar aditivos químicos e contaminantes que carregam em sua superfície (CAMPANALE *et al.*, 2020; VERLA *et al.*, 2019). Esses compostos, como ftalatos, bisfenóis e metais pesados, têm o potencial de causar efeitos adversos, incluindo inflamação, disfunções hormonais e toxicidade celular, o que evidencia a necessidade de uma análise mais profunda sobre os riscos associados a essa rota de exposição.

Inalação de partículas em suspensão

Além da ingestão de alimentos contaminados, outra rota significativa de exposição humana a microplásticos e nanoplásticos é a inalação de partículas em suspensão no ar (KANNAN; VIMALKUMAR, 2021). Devido ao seu tamanho reduzido, essas partículas podem ser transportadas por correntes de ar e dispersas em diferentes ambientes, tornando-se uma preocupação especialmente em áreas urbanas e industriais.

Ambientes Internos: Em locais fechados, como residências, escritórios e veículos, as partículas de microplásticos podem estar presentes no ar devido ao desgaste de materiais plásticos usados em móveis, carpetes, pisos e até em produtos de uso cotidiano, como tecidos sintéticos e produtos de limpeza. A atividade cotidiana, como limpar ou movimentar objetos, pode suspender partículas plásticas no ar, que podem ser inaladas.

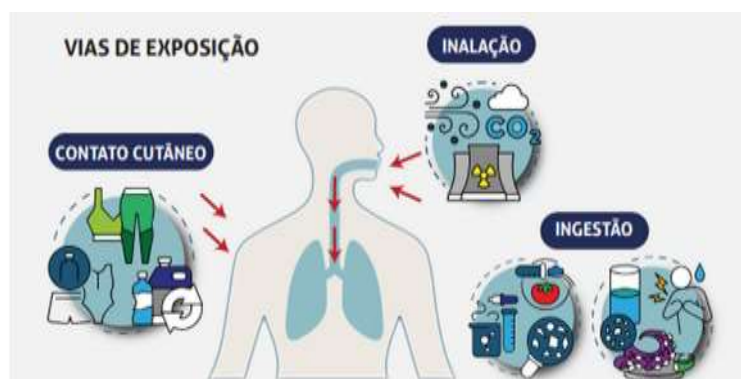
Ambientes Externos: Em ambientes urbanos, a inalação de microplásticos pode ocorrer devido ao desgaste de pneus, à fragmentação de resíduos plásticos em vias públicas e ao uso de tintas e revestimentos plásticos em construções. A poluição atmosférica pode facilitar a dispersão dessas partículas, que se misturam com outras partículas de poeira e poluentes no ar.

Indústrias e Fábricas: Pessoas que trabalham em indústrias de plástico, têxtil, e em setores que envolvem a manipulação de produtos plásticos têm uma maior chance de inalar partículas plásticas. Nessas atividades, o corte, moagem e processamento de materiais plásticos geram partículas que podem se espalhar pelo ar, aumentando o risco de inalação direta (ENYOH *et al.*, 2020).

Atmosfera Global: Estudos mostram que micro e nanoplásticos podem ser transportados pela atmosfera, alcançando até áreas remotas, como regiões de montanhas e oceanos. A exposição a esses contaminantes pode ocorrer até mesmo em locais distantes de fontes diretas de poluição plástica (OLIVATTO *et al.*, 2018).

A inalação de micro e nanoplásticos é preocupante porque, ao penetrar nas vias respiratórias, essas partículas podem alcançar os pulmões e, potencialmente, atravessar barreiras celulares, levando a inflamações (CAPUTI *et al.*, 2022), estresse oxidativo (PALANIAPPAN; SADACHARAN; ROSTAMA, 2022) e danos ao sistema respiratório. Em casos de partículas ultrafinas, há risco de que possam atingir até mesmo a corrente sanguínea. Assim, a inalação representa uma rota importante de exposição que, embora menos evidente do que a ingestão de alimentos, pode ter impactos significativos na saúde, especialmente para indivíduos expostos constantemente a ambientes contaminados.

Figura 1: Representação esquemática das principais vias de exposição humana aos MPS e NPs.



Fonte: Sociedade Brasileira de Pediatria & Associação Brasileira de Alergia e Imunologia (2024).

Mecanismos de Toxicidade dos Microplásticos e Nanoplásticos

Interferência Hormonal

A interferência hormonal, também conhecida como desregulação endócrina, é um dos mecanismos de toxicidade mais preocupantes associados aos microplásticos e nanoplásticos. Essas partículas podem atuar como disruptores endócrinos, substâncias que interferem no sistema hormonal do corpo humano, afetando o funcionamento normal das glândulas endócrinas e a regulação hormonal (GHOSH; SINHA; RAGHUNATH, 2019; HUANG *et al.*, 2022; LANDRIGAN *et al.*, 2023; SINHA *et al.*, 2014).

- ***Liberção de Substâncias Químicas:*** Microplásticos e nanoplásticos podem carregar em sua superfície uma variedade de aditivos e substâncias químicas tóxicas, como ftalatos, bisfenol A (BPA), pesticidas, metais pesados e compostos orgânicos persistentes (MENÉNDEZ-PEDRIZA; JAUMOT, 2020). Essas substâncias são conhecidas por serem *disruptores endócrinos*, ou seja, elas podem imitar, bloquear ou alterar os sinais hormonais naturais do corpo, causando efeitos adversos no equilíbrio hormonal.
- ***Efeitos no Sistema Endócrino:*** A presença dessas substâncias no corpo humano pode afetar a produção, liberação, transporte e metabolismo de hormônios essenciais, como estrogênios, andrógenos, tireoidianos e insulina. A exposição prolongada pode levar a uma variedade de efeitos, incluindo:
- ***Alterações na Reprodução:*** Os disruptores endócrinos podem afetar a fertilidade, causar disfunções ovarianas, reduzir a qualidade do espermatozoides, e estar associados a condições como síndrome dos ovários policísticos (SOP) e infertilidade.
- ***Distúrbios Metabólicos:*** A exposição a essas substâncias pode alterar o metabolismo, contribuindo para o aumento da obesidade, resistência à insulina e diabetes tipo 2, uma vez que os disruptores endócrinos podem afetar a regulação do metabolismo lipídico e a sinalização insulínica.

- *Desenvolvimento Fetal e Infantil:* A exposição a disruptores endócrinos durante a gravidez pode interferir no desenvolvimento fetal, resultando em alterações no desenvolvimento sexual, no cérebro e no sistema imunológico do feto. Além disso, crianças expostas a esses produtos químicos podem ter um risco aumentado de desenvolver doenças crônicas mais tarde na vida.
- *Mecanismos Moleculares:* O impacto dos microplásticos e nanoplásticos no sistema endócrino pode ocorrer por meio de diferentes mecanismos moleculares. Esses incluem a interação direta com receptores hormonais (como os receptores de estrogênio e andrógenos), a modulação da expressão de genes relacionados à síntese e metabolismo hormonal, e a interferência nos processos de transporte de hormônios por proteínas plasmáticas. O contato prolongado com essas substâncias pode alterar o equilíbrio hormonal de maneira sutil, mas significativa, ao longo do tempo.

Portanto, a interferência hormonal causada pelos microplásticos e nanoplásticos pode levar a uma série de condições de saúde a longo prazo, afetando o sistema reprodutor, endócrino e metabólico. Essa via de toxicidade representa uma área crítica de pesquisa, pois os efeitos podem ser difíceis de detectar e podem se manifestar de forma crônica e cumulativa ao longo da vida, aumentando o risco de doenças hormonais e metabólicas.

Inflamação e Estresse Oxidativo

A exposição a microplásticos e nanoplásticos pode desencadear processos inflamatórios e gerar estresse oxidativo no organismo, que são mecanismos chave associados à toxicidade dessas partículas. Esses processos podem levar a danos celulares, promover doenças crônicas e afetar diferentes órgãos e sistemas do corpo humano.

- *Inflamação:* Quando os microplásticos e nanoplásticos entram em contato com tecidos biológicos, eles são reconhecidos como partículas estranhas pelo sistema imunológico. Isso ativa a resposta imunológica, levando à liberação de mediadores inflamatórios, como citocinas e quimiocinas, que são moléculas que sinalizam e amplificam a inflamação. O corpo

tenta isolar e eliminar as partículas invasoras, mas, em muitos casos, essas partículas não são completamente eliminadas, resultando em uma inflamação crônica.

- *Inflamação local:* Nos locais de deposição das partículas, como no trato gastrointestinal, pulmões ou fígado, a inflamação pode se manifestar como irritação, dor e alteração na função dos tecidos. No intestino, por exemplo, a ingestão de microplásticos pode danificar a mucosa intestinal, promovendo inflamação e alterando a microbiota intestinal.
- *Inflamação sistêmica:* Quando a inflamação local se espalha, ela pode causar uma resposta inflamatória sistêmica, afetando órgãos distantes e resultando em doenças como artrite, doenças cardiovasculares e doenças respiratórias crônicas.
- *Estresse Oxidativo:* O estresse oxidativo é um desequilíbrio entre a produção de espécies reativas de oxigênio (EROs), também conhecidas como radicais livres, e a capacidade do corpo de neutralizá-las com antioxidantes. A exposição a microplásticos e nanoplásticos pode induzir a produção excessiva de EROs, que, quando não neutralizadas adequadamente, causam danos celulares, lipídicos, protéicos e ao DNA.
- *Danos celulares:* As partículas de microplásticos e nanoplásticos podem gerar estresse oxidativo diretamente ao interagir com as células ou indiretamente ao carregar contaminantes tóxicos (como metais pesados ou produtos químicos). Esse estresse pode afetar diversas funções celulares, como a função mitocondrial, síntese de proteínas e reparo do DNA.
- *Processos inflamatórios exacerbados:* O estresse oxidativo e a inflamação estão frequentemente interligados, pois as EROs podem ativar vias inflamatórias, amplificando o dano tecidual. O ciclo vicioso entre inflamação e estresse oxidativo pode contribuir para o desenvolvimento de doenças degenerativas, como doenças cardiovasculares, câncer e doenças neurodegenerativas (como Alzheimer e Parkinson).
- *Impacto nos Órgãos e Sistemas:* A inflamação e o estresse oxidativo induzidos pelos microplásticos e nanoplásticos podem afetar vários órgãos. No sistema respiratório, por exemplo, a inalação de microplásticos pode causar inflamação crônica nos pulmões e

contribuir para condições como bronquite crônica e doença pulmonar obstrutiva crônica (DPOC). No sistema gastrointestinal, a ingestão dessas partículas pode prejudicar a função intestinal, alterando a barreira intestinal e favorecendo a inflamação crônica, o que pode contribuir para doenças inflamatórias intestinais, como doença de Crohn.

Esses mecanismos de toxicidade, envolvendo inflamação e estresse oxidativo, são fundamentais para entender os efeitos adversos de microplásticos e nanoplásticos na saúde humana. Com o tempo, a exposição repetida e prolongada a essas partículas pode contribuir para o desenvolvimento de doenças crônicas e degenerativas, tornando esses processos um foco central de pesquisa sobre os impactos à saúde causados pela poluição plástica.

Estudos Epidemiológicos e Experimentais sobre os Efeitos na Saúde Humana

Resultados de estudos em Animais de Laboratório

Os estudos experimentais realizados em modelos animais têm sido fundamentais para entender os efeitos dos microplásticos e nanoplásticos na saúde humana, já que esses estudos permitem a observação de respostas biológicas diretas e a avaliação de mecanismos de toxicidade em níveis celulares e orgânicos. Embora os resultados em animais nem sempre sejam diretamente extrapoláveis para os seres humanos, eles fornecem *insights* valiosos sobre os potenciais riscos associados a essas partículas (MONCLÚS *et al.*, 2022; YEDIER; YALÇINKAYA; BOSTANCI, 2023)

- ***Efeitos no Sistema Respiratório***

Estudos em roedores, como ratos e camundongos, expostos a microplásticos e nanoplásticos por inalação demonstraram inflamação nas vias respiratórias e nos pulmões. A exposição crônica a essas partículas pode causar:

- ***Inflamação Pulmonar:*** A inalação de partículas plásticas pode levar à ativação do sistema imunológico no pulmão, resultando em inflamação. Os macrófagos, células do sistema imunológico que tentam eliminar partículas estranhas, são ativados, mas nem sempre conseguem eliminar completamente os microplásticos e nanoplásticos, o que resulta em

inflamação persistente.

- *Alterações no Funcionamento Pulmonar:* Em modelos animais, a exposição prolongada a essas partículas tem sido associada a alterações na função pulmonar, como a redução da capacidade pulmonar e a obstrução das vias aéreas, o que pode simular condições como as doenças respiratórias crônicas em humanos, incluindo a asma e a doença pulmonar obstrutiva crônica (DPOC).
- *Efeitos no Sistema Digestivo*

Estudos de ingestão de microplásticos e nanoplásticos em modelos animais também mostraram efeitos adversos no sistema gastrointestinal. Esses efeitos incluem:

- *Danos à Mucosa Intestinal:* A ingestão de microplásticos tem sido associada a lesões na mucosa intestinal, resultando em aumento da permeabilidade intestinal, uma condição conhecida como “intestino permeável”. Isso facilita a passagem de substâncias tóxicas, bactérias e patógenos para a corrente sanguínea, o que pode desencadear respostas imunes e inflamatórias.
- *Distúrbios na Microbiota Intestinal:* A presença de microplásticos no trato gastrointestinal também pode afetar a composição da microbiota intestinal. Alterações na microbiota intestinal têm sido relacionadas a uma série de doenças, como síndrome do intestino irritável, doenças inflamatórias intestinais (como doença de Crohn e colite ulcerativa), além de distúrbios metabólicos e imunes.
- *Efeitos no Sistema Endócrino e Reprodutor*

Os efeitos dos microplásticos e nanoplásticos no sistema endócrino têm sido observados em modelos animais, com foco em como esses contaminantes podem alterar os níveis hormonais e a função reprodutiva (YE *et al.*, 2017; KIK; BUKOWSKA; SICINSKA, 2020):

- *Interferências Hormonais:* Muitos estudos em animais mostraram que os microplásticos e

nanoplásticos podem carregar produtos químicos tóxicos, como ftalatos e bisfenol A (BPA), que atuam como disruptores endócrinos. Esses compostos têm o potencial de alterar a produção e a função de hormônios essenciais, como estrogênios e andrógenos, afetando o sistema reprodutor. No caso de roedores, isso se traduziu em alterações na produção de esperma, qualidade ovariana e até em defeitos no desenvolvimento fetal.

- *Efeitos na Fertilidade:* A exposição a microplásticos tem sido associada a uma redução na fertilidade em vários modelos animais. Em fêmeas, isso pode envolver a redução da quantidade e da qualidade dos óvulos, enquanto em machos, pode ocorrer uma diminuição na quantidade e qualidade do esperma.
- *Desregulação do Desenvolvimento Sexual:* Estudos indicam que a exposição a essas partículas durante períodos críticos de desenvolvimento, como durante a gravidez ou a puberdade, pode afetar o desenvolvimento sexual e reprodutivo. Alterações hormonais podem resultar em distúrbios no crescimento sexual e no comportamento reprodutivo, com potenciais impactos na saúde a longo prazo.

- *Efeitos no Sistema Imunológico*

A exposição a microplásticos e nanoplásticos também pode ter um impacto significativo no sistema imunológico dos animais:

- *Ativação Imunológica:* Estudos experimentais mostraram que as partículas de microplásticos e nanoplásticos podem ativar o sistema imunológico, resultando na produção de citocinas pró-inflamatórias e na ativação de células inflamatórias, como macrófagos e linfócitos. Isso pode levar a uma inflamação crônica, prejudicando a resposta imune do organismo.
- *Comprometimento Imunológico:* A exposição crônica pode reduzir a capacidade do sistema imunológico de combater infecções, tornando os animais mais suscetíveis a doenças. Em modelos de roedores, a exposição prolongada a essas partículas resultou em uma diminuição da resposta imunológica a agentes patogênicos.
- *Efeitos no Sistema Nervoso Central*

Embora menos explorado, alguns estudos também sugerem que os microplásticos e nanoplásticos

podem afetar o sistema nervoso central:

- *Neurotoxicidade:* Em modelos de ratos, a exposição a nanoplásticos demonstrou causar alterações no comportamento e na função cerebral. Isso inclui um aumento no nível de ansiedade e alterações no aprendizado e memória, sugerindo que as partículas plásticas podem atravessar a barreira hematoencefálica, afetando o cérebro de forma direta.
- *Dano Neurológico:* O estresse oxidativo gerado pela presença de microplásticos e nanoplásticos pode resultar em danos às células nervosas e à estrutura do cérebro, aumentando o risco de doenças neurodegenerativas, como Alzheimer e Parkinson, em exposições prolongadas.

Os estudos em animais de laboratório têm fornecido informações importantes sobre os mecanismos pelos quais microplásticos e nanoplásticos podem afetar a saúde humana. Eles demonstram que essas partículas podem causar uma série de efeitos adversos, incluindo inflamação, estresse oxidativo, disfunções hormonais, danos ao sistema respiratório, digestivo, imunológico e nervoso, além de comprometer a função reprodutiva e aumentar o risco de doenças crônicas. Embora os resultados em modelos animais ainda precisem ser complementados por mais estudos em humanos, eles indicam que a exposição a essas partículas pode ter consequências sérias para a saúde humana, especialmente com exposições prolongadas e contínuas.

Estudos em Populações Humanas

Embora os estudos experimentais em modelos animais tenham fornecido informações valiosas sobre os efeitos dos microplásticos e nanoplásticos, a pesquisa em populações humanas é fundamental para entender como esses poluentes afetam diretamente a saúde das pessoas. A maioria dos estudos epidemiológicos ainda está em estágios iniciais, mas alguns indicam associações entre a exposição a microplásticos e nanoplásticos e diferentes condições de saúde, embora as evidências não sejam ainda suficientes para conclusões definitivas.

- *Exposição Ocupacional*

Trabalhadores de indústrias que manipulam plásticos ou que estão em contato com ambientes poluídos por microplásticos, como na reciclagem de plásticos ou na fabricação de produtos de plástico, podem estar mais expostos a essas partículas. Estudos epidemiológicos sobre esses grupos têm mostrado que a exposição ocupacional pode aumentar o risco de:

- *Problemas Respiratórios:* Trabalhadores expostos a partículas de plástico podem desenvolver problemas respiratórios semelhantes à doença pulmonar obstrutiva crônica (DPOC) ou bronquite crônica. Isso ocorre devido à inalação contínua de microplásticos, que, ao serem depositados nos pulmões, podem causar inflamação e danos às vias aéreas. Embora os estudos sobre esse tema ainda sejam escassos, há algumas evidências que sugerem que a exposição ocupacional a essas partículas pode aumentar a incidência de doenças respiratórias.
- *Efeitos Imunológicos:* A exposição prolongada a microplásticos pode afetar o sistema imunológico, tornando os trabalhadores mais susceptíveis a infecções ou doenças autoimunes. Alguns estudos têm indicado um aumento na prevalência de condições inflamatórias entre trabalhadores expostos a partículas plásticas no ambiente de trabalho.
- *Exposição Alimentar e Contaminação por Água*

A ingestão de microplásticos através de alimentos e bebidas tem sido uma área de crescente preocupação. Estudos que investigam a contaminação por microplásticos em peixes, mariscos, frutas e vegetais, além da água potável, sugerem que os seres humanos podem estar ingerindo essas partículas regularmente. A pesquisa sugere que:

- *Risco Gastrointestinal:* Embora o impacto exato dos microplásticos na saúde gastrointestinal humana ainda seja desconhecido, estudos iniciais indicam que a ingestão dessas partículas pode afetar a microbiota intestinal e contribuir para distúrbios como a síndrome do intestino irritável, doenças inflamatórias intestinais e outras condições digestivas. O impacto sobre a permeabilidade intestinal também pode favorecer a entrada de toxinas e patógenos na corrente sanguínea.

- *Contaminação por Alimentos e Água:* Diversos estudos indicam que frutos do mar, como moluscos e peixes, contêm microplásticos devido à poluição nos oceanos. Além disso, pesquisas mostram que a água potável também pode ser contaminada por microplásticos, especialmente em áreas com alto nível de poluição plástica. A ingestão de alimentos e água contaminados é uma das principais rotas de exposição humana aos microplásticos.
- *Exposição Ambiental e Poluição do Ar*

A poluição do ar por microplásticos é um campo emergente de pesquisa, já que partículas plásticas menores, como nanoplásticos, podem ser suspensas no ar e inaladas. Estudos em populações humanas têm investigado a relação entre a exposição ambiental a microplásticos e a saúde respiratória:

- *Problemas Respiratórios e Inflamação:* A exposição a partículas de plástico no ar pode estar associada a doenças respiratórias, como asma e bronquite. Embora os estudos específicos sobre a poluição do ar por microplásticos ainda sejam limitados, a relação com outras partículas poluentes finas no ar já é bem estabelecida. A inalação de partículas plásticas pode causar inflamação nas vias respiratórias, comprometendo a função pulmonar e exacerbando doenças respiratórias preexistentes.
- *Efeitos na Saúde Reprodutiva e Hormonal*

Disruptores endócrinos presentes nos microplásticos, como os ftalatos e o bisfenol A (BPA), têm sido associados a alterações hormonais e problemas de fertilidade em modelos experimentais, e algumas evidências iniciais sugerem que esses compostos podem afetar a saúde humana, especialmente a saúde reprodutiva:

- *Fertilidade e Desenvolvimento Sexual:* Estudos em populações humanas sugerem que a exposição a microplásticos, especialmente aqueles que carregam disruptores endócrinos, pode afetar a fertilidade, alterando a qualidade do esperma em homens e a função ovariana em mulheres. Além disso, a exposição precoce a essas substâncias durante a gravidez ou infância pode afetar o desenvolvimento sexual e o equilíbrio hormonal, contribuindo para

distúrbios como puberdade precoce ou infertilidade.

- *Efeitos Neurotoxicológicos*

O impacto dos microplásticos e nanoplásticos na função cerebral e no sistema nervoso central é uma área de crescente interesse. Embora os estudos em humanos sejam limitados, algumas pesquisas epidemiológicas sugerem que a exposição a partículas plásticas pode estar relacionada a condições neuropsiquiátricas (BARBOZA *et al.*, 2020; ANWAR; ANJUM; GHAYAS, 2021):

- *Comportamento e Função Cognitiva:* Estudos experimentais já mostraram que a exposição a microplásticos pode afetar o comportamento e o aprendizado em modelos animais. Para humanos, ainda não há consenso, mas algumas pesquisas estão investigando se a exposição a essas partículas pode estar associada a condições como ansiedade, depressão e deterioração cognitiva.
- *Risco de Doenças Neurodegenerativas:* A presença de microplásticos no sistema nervoso, caso as partículas atravessem a barreira hematoencefálica, poderia contribuir para doenças neurodegenerativas, como Alzheimer e Parkinson, uma vez que a inflamação e o estresse oxidativo induzidos por essas partículas poderiam danificar as células nervosas a longo prazo.

Desafios e Limitações nos Estudos Humanos

Apesar do crescente número de estudos sobre microplásticos em humanos, existem várias limitações e desafios que precisam ser superados:

- *Falta de Dados Consistentes:* Os dados sobre a exposição humana a microplásticos são frequentemente inconsistentes, em parte devido à dificuldade de medir as concentrações dessas partículas no ambiente e no corpo humano. Além disso, os efeitos de diferentes tipos e tamanhos de partículas ainda não são bem compreendidos.

- *Fatores Ambientais e Socioeconômicos:* A exposição aos microplásticos pode variar consideravelmente com fatores ambientais e socioeconômicos, como o estilo de vida, a dieta e o local de residência. Essas variáveis podem influenciar a forma como as populações estão expostas e, conseqüentemente, os riscos à saúde.

Embora os estudos sobre os efeitos dos microplásticos e nanoplásticos em populações humanas ainda sejam limitados, as evidências sugerem que a exposição a essas partículas pode estar associada a uma série de problemas de saúde, incluindo distúrbios respiratórios, problemas gastrointestinais, alterações hormonais, infertilidade, e até condições neuropsiquiátricas. A pesquisa continua a evoluir, e são necessários mais estudos em larga escala para confirmar esses efeitos e estabelecer diretrizes claras para a proteção da saúde humana frente à exposição a microplásticos e nanoplásticos.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Síntese dos Principais Achados

A pesquisa sobre microplásticos e nanoplásticos revela um problema complexo e crescente que afeta tanto o meio ambiente quanto a saúde humana. A seguir, estão os principais achados deste estudo sobre o impacto desses poluentes:

- *Onipresença dos Microplásticos e Nanoplásticos*

Microplásticos e nanoplásticos estão amplamente disseminados no ambiente, encontrados em diversos ecossistemas, incluindo oceanos, rios, solos, ar e até na água potável. Essas partículas minúsculas são originadas principalmente de plásticos descartáveis, degradação de produtos plásticos maiores e atividades industriais. O estudo demonstrou que a poluição por plásticos não é apenas um problema ambiental, mas também uma ameaça à saúde humana devido à contaminação da cadeia alimentar.

- *Rotas de Exposição Humana*

A principal forma de exposição humana a microplásticos e nanoplásticos ocorre por ingestão, através de alimentos contaminados, principalmente frutos do mar, sal, água potável e outros produtos alimentares processados. A inalação também é uma via relevante de exposição, especialmente em ambientes urbanos e industriais onde essas partículas estão presentes no ar. Essas vias de exposição são preocupantes, uma vez que o corpo humano pode absorver essas partículas, com riscos potenciais à saúde.

- *Mecanismos de Toxicidade*

Os microplásticos e nanoplásticos têm sido associados a diversos mecanismos de toxicidade, como interferência hormonal, inflamação e estresse oxidativo. Estudos indicam que essas partículas podem afetar o sistema imunológico, cardiovascular e reprodutivo, além de poderem ter efeitos carcinogênicos, embora as evidências sobre os impactos diretos na saúde humana ainda sejam limitadas. A toxicidade dos microplásticos também está ligada à presença de aditivos químicos e à capacidade dessas partículas de adsorverem contaminantes do ambiente.

- *Estudos Epidemiológicos e Experimentais*

Estudos em modelos animais de laboratório têm mostrado que os microplásticos podem causar danos aos órgãos, além de alterar processos biológicos em níveis celulares. No entanto, os estudos epidemiológicos em humanos são limitados e mostram resultados ainda inconclusivos, embora haja um número crescente de pesquisas sugerindo uma relação entre a exposição a microplásticos e doenças respiratórias, digestivas e metabólicas. A falta de dados robustos e longitudinais sobre os efeitos diretos na saúde humana continua sendo um grande desafio para entender completamente os riscos.

- *Regulamentação e Medidas de Mitigação*

As regulamentações, tanto em nível nacional quanto internacional, têm avançado no sentido de controlar o uso de plásticos e reduzir a poluição por microplásticos. Embora as ações governamentais, como proibições de plásticos de uso único e a regulação de microplásticos em

cosméticos, sejam um passo importante, ainda existem lacunas significativas na legislação global. Além disso, as estratégias de mitigação, como a redução do uso de plásticos descartáveis, o tratamento de água, a conscientização pública e o desenvolvimento de tecnologias de filtragem, precisam ser ampliadas para efetivamente reduzir a exposição humana.

- *Necessidade de Mais Pesquisa e Inovação*

A pesquisa sobre microplásticos e nanoplásticos ainda está em estágios iniciais, especialmente no que diz respeito aos efeitos diretos na saúde humana. Há uma necessidade urgente de mais estudos para avaliar a magnitude da exposição e seus impactos a longo prazo. Além disso, o desenvolvimento de novas tecnologias para monitoramento, remoção e reciclagem de microplásticos, bem como a criação de alternativas ao plástico convencional, é fundamental para reduzir a poluição e proteger a saúde pública.

CONCLUSÃO

Embora os microplásticos e nanoplásticos representem uma ameaça significativa ao meio ambiente e à saúde humana, ainda existem muitas incertezas sobre os mecanismos de toxicidade e os efeitos de longo prazo da exposição a essas partículas. As ações para mitigar a poluição plástica e reduzir a exposição humana estão em andamento, mas são necessárias abordagens mais abrangentes, envolvendo políticas públicas mais eficazes, inovação tecnológica, conscientização social e mais pesquisas científicas para garantir um futuro livre de plásticos prejudiciais. O sucesso na redução da exposição dependerá da colaboração entre governos, indústrias, cientistas e a população em geral.

Necessidade de Mais Pesquisas e Monitoramento

Apesar dos avanços nas pesquisas sobre microplásticos e nanoplásticos, ainda há uma grande lacuna no entendimento dos efeitos desses poluentes no meio ambiente e na saúde humana. O monitoramento adequado e a realização de mais estudos são cruciais para avaliar os riscos associados a esses poluentes e desenvolver estratégias eficazes de mitigação. As principais áreas que demandam mais atenção incluem:

- *Efeitos a Longo Prazo na Saúde Humana*

Embora estudos iniciais tenham sugerido possíveis impactos negativos dos microplásticos e nanoplásticos na saúde humana, como inflamação e distúrbios hormonais, os efeitos de longo prazo ainda não estão totalmente claros. Mais pesquisas são necessárias para:

- *Avaliar os Riscos Crônicos:* A exposição contínua a microplásticos e nanoplásticos, mesmo em concentrações baixas, pode ter efeitos cumulativos que ainda não foram completamente investigados. Estudos de longo prazo são fundamentais para entender os potenciais impactos em doenças crônicas, como câncer, doenças respiratórias e cardiovasculares.
- *Compreender os Mecanismos Biológicos:* Investigar os mecanismos exatos pelos quais microplásticos e nanoplásticos afetam os processos biológicos, incluindo a interação com células e tecidos, ajudará a identificar quais órgãos ou sistemas do corpo humano podem ser mais vulneráveis.

- *Monitoramento da Presença de Microplásticos e Nanoplásticos*

A detecção e quantificação precisa de microplásticos e nanoplásticos em diferentes ambientes e em alimentos ainda representam um grande desafio devido ao tamanho diminuto dessas partículas. Portanto, é necessário:

- *Desenvolver Métodos de Monitoramento Sensíveis e Precisos:* Novas tecnologias e metodologias para detectar microplásticos e nanoplásticos em níveis muito baixos são necessárias, especialmente em fontes de água, alimentos e ar. Isso inclui a padronização de métodos de coleta e análise para garantir comparabilidade e confiabilidade nos dados.
- *Rastreabilidade de Microplásticos na Cadeia Alimentar:* Monitorar a presença desses poluentes ao longo da cadeia alimentar, desde a origem (como na água e no solo) até os alimentos consumidos pelos seres humanos, é essencial para entender melhor as rotas de exposição e os riscos associados.
- *Avaliação dos Riscos Ambientais*

Além da saúde humana, os microplásticos e nanoplásticos têm um impacto significativo nos ecossistemas. A poluição por plásticos é uma das principais ameaças para a vida marinha e terrestre, e mais estudos são necessários para:

- *Avaliar o Impacto nos Ecossistemas Aquáticos e Terrestres:* Pesquisas adicionais sobre como microplásticos e nanoplásticos afetam os organismos aquáticos e terrestres (incluindo o impacto na biodiversidade, bioacumulação e comportamento das espécies) são essenciais para entender o efeito desses poluentes no equilíbrio dos ecossistemas.
- *Interações com Outros Poluentes Ambientais:* Investigar como os microplásticos interagem com outros poluentes ambientais, como metais pesados, pesticidas e produtos químicos tóxicos, pode ajudar a avaliar os riscos combinados desses contaminantes para a saúde ambiental e humana.
- *Desenvolvimento de Soluções Tecnológicas*

A criação de soluções eficazes para reduzir a presença de microplásticos no ambiente e nos alimentos é urgente. A pesquisa deve se concentrar em:

- *Tecnologias de Filtragem e Remoção:* Melhorar as tecnologias de filtragem, como o uso de nanomateriais ou membranas especializadas, para remover microplásticos de fontes de água potável e efluentes industriais. O desenvolvimento de novos processos de purificação também é fundamental para reduzir a carga de microplásticos no ambiente.
- *Alternativas aos Plásticos Convencionais:* Investir em novos materiais biodegradáveis, compostáveis e menos tóxicos pode ajudar a diminuir a produção de plásticos convencionais, que se decompõem em microplásticos. Pesquisa em bioplásticos e outros materiais sustentáveis pode ser uma solução promissora para mitigar a poluição plástica.
- *Colaboração Internacional e Regulamentação*

A regulação dos microplásticos e nanoplásticos ainda é insuficiente em muitos países, e um esforço global coordenado é necessário para enfrentar a poluição plástica. A pesquisa sobre políticas públicas e regulamentação deve incluir:

- *Políticas Globais para Contenção da Poluição Plástica:* Criar e implementar normas internacionais sobre a produção, descarte e reciclagem de plásticos pode reduzir a liberação de microplásticos no meio ambiente. A colaboração entre nações e organizações internacionais é fundamental para enfrentar essa questão de forma eficaz.

- *Avaliação de Estratégias de Mitigação:* A pesquisa deve focar em avaliar a eficácia das políticas existentes e identificar novas estratégias para reduzir a exposição humana e ambiental aos microplásticos. Isso inclui regulamentações sobre produtos de consumo, como cosméticos, alimentos e roupas, que podem conter microplásticos.

CONCLUSÃO

A necessidade de mais pesquisas e monitoramento contínuos sobre microplásticos e nanoplásticos é crucial para proteger a saúde humana e o meio ambiente. A expansão do conhecimento sobre os efeitos dessas partículas, a implementação de tecnologias de monitoramento mais eficazes e a adoção de políticas públicas baseadas em dados científicos são passos essenciais para mitigar os impactos dos microplásticos. Só com uma abordagem global, coordenada e bem fundamentada será possível enfrentar esse problema crescente e garantir um futuro mais saudável e sustentável.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AL MAMUN, A.; PRASETYA, T. A. E.; DEWI, I. R.; AHMAD, M. Microplastics in human food chains: Food becoming a threat to health safety. *Science of the Total Environment*, v. 858, 2023, p. 159834.
- ANWAR, Z.; ANJUM, F.; GHAYAS, S. Polycarbonate plastics and neurological disorders: From exposure to preventive interventions. In: *Environmental contaminants and neurological disorders*. Cham: Springer International Publishing, 2021. p. 147-183.
- BARBOZA, L.G.A.; CUNHA, S.C.; MONTEIRO, C.; FERNANDES, J.O.; GUILHERMINO, L. Bisphenol A and its analogs in muscle and liver of fish from the North East Atlantic Ocean in relation to microplastic contamination. Exposure and risk to human consumers. *Journal of hazardous materials*, v. 393, 2020, p. 122419.
- BASHIR, S. M.; KIMIKO, S.; MAK, C.W.; FANG, J. K. H.; GONÇALVES, D. (2021). Personal care and cosmetic products as a potential source of environmental contamination by microplastics in a densely populated Asian city. *Frontiers in Marine Science*, v. 8, 2021, p. 683482.
- BHATTACHARYA, A.; KHARE, S. K. Ecological and toxicological manifestations of microplastics: current scenario, research gaps, and possible alleviation measures. *Journal of Environmental Science and Health, Part C*, v. 38, n. 1, 2022, p. 1-20.
- CAMPANALE, C.; MASSARELLI, C.; SAVINO, I.; LOCAPUTO, V.; URICCHIO, V.F. A Detailed Review Study on Potential Effects of Microplastics and Additives of Concern on Human Health. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, v. 17, n. 4, 2020, p.1212.
- CAPUTI, S.; DIOMEDE, F.; LANUTI, P.; MARCONI, G. D.; Di CARLO, P.; SINJARI, B.; TRUBIANI, O. Microplastics affect the inflammation pathway in human gingival fibroblasts: A study in the Adriatic Sea. *International journal of environmental research and public health*, v. 19, n. 13, 2022, p. 7782.
- CARR, S. A. Sources and dispersive modes of micro-fibers in the environment. *Integrated environmental assessment and management*, v. 13, n. 3, 2017, p. 466-469.
- CÁSSIO, F.; BATISTA, D.; PRADHAN, A. Plastics Interactions with Pollutants and Consequences to Aquatic Ecosystems: What We Know and What We Do Not Know. *Biomolecules*, v. 12, n. 6, 2022, p. 798.
- DE FALCO, F.; DI PACE, E.; COCCA, M.; AVELLA, M. The contribution of washing processes of synthetic clothes to microplastic pollution. *Scientific reports*, v. 9, n. 1, 2019, p. 6633.
- ENYOH, C. E.; SHAFEA, L.; VERLA, A. W.; VERLA, E. N.; QINGYUE, W.; CHOWDHURY, T.; PAREDES, M. Microplastics exposure routes and toxicity studies to ecosystems: an overview. *Environmental analysis, health and toxicology*, v. 35, n. 1, 2020, p. e2020004.
- GAVIGAN, J.; KEFELA, T.; MACADAM-SOMER, I.; SUH, S.; GEYER, R. Synthetic microfiber emissions to land rival those to waterbodies and are growing. *PLoS One*, v. 15, n. 9, 2020, p. e0237839.
- GHOSH, S.; SINHA, J. K.; RAGHUNATH, M. 'Obesageing': Linking obesity & ageing. *Indian Journal of Medical Research*, v. 149, n. 5, 2019, p. 610-615.

HABIB, R.Z.; ALDHANHANI, J.A.K.; ALI, A.H.; GHEBREMEDHIN, F.; ELKASHLAN, M.; MESFUN, M.; KITTANEH, W.; AL KINDI, R.; THIEMANN, T. Trends of microplastic abundance in personal care products in the United Arab Emirates over the period of 3 years (2018–2020). *Environmental Science and Pollution Research*, v. 29, n. 59, 2022, p. 89614-89624.

HUANG, D.; ZHANG, Y.; LONG, J.; YANG, X.; BAO, L.; YANG, Z.; WU, B.; SI, R.; ZHAO, W.; PENG, C.; YAN, D. Polystyrene microplastic exposure induces insulin resistance in mice via dysbacteriosis and pro-inflammation. *Science of The Total Environment*, v. 838, 2022, p. 155937.

KIK, K.; BUKOWSKA, B.; SICINSKA, P. Polystyrene nanoparticles: Sources, occurrence in the environment, distribution in tissues, accumulation and toxicity to various organisms. *Environmental Pollution*, v. 262, 2020, p. 114297.

KANNAN, K.; VIMALKUMAR, K. A review of human exposure to microplastics and insights into microplastics as obesogens. *Frontiers in Endocrinology*, v. 12, 2021, p. 724989.

KOLE, P. J.; LOHR, A. J.; VAN BELLEGHEM, F. G. A. J.; RAGAS, A. M. Wear and tear of tyres: a stealthy source of microplastics in the environment. *International journal of environmental research and public health*, v. 14, n. 10, 2017, p. 1265.

LANDRIGAN, P.J.; RAPS, H.; CROPPER, M.; BALD, C.; BRUNNER, M.; CANONIZADO, E.M.; CHARLES, D.; CHILES, T.C.; DONOHUE, M.J.; ENCK, J.; DUNLOP, S. The Minderoo-Monaco commission on plastics and human health. *Annals of Global Health*, v. 89, n. 1, 2023, p. 23.

LEISTENSCHNEIDER, C.; BURKHARDT-HOLM, P.; MANI, T.; PRIMPKE, S.; TAUBNER, H.; GERDTS, G. Microplastics in the Weddell Sea (Antarctica): a forensic approach for discrimination between environmental and vessel-induced microplastics. *Environmental science & technology*, v. 55, n. 23, 2021, p. 15900-15911.

LELLIS, B.; FÁVARO-POLONIO, C. Z.; PAMPHILE, J. A.; POLONIO, J. C. Effects of textile dyes on health and the environment and bioremediation potential of living organisms. *Biotechnology Research and Innovation*, v. 3, n. 2, 2019, p. 275-290.

MENÉNDEZ-PEDRIZA, A.; JAUMOT, J. Interaction of environmental pollutants with microplastics: a critical review of sorption factors, bioaccumulation and ecotoxicological effects. *Toxics*, v. 8, n. 2, 2020, p. 40.

MONCLÚS, L.; MCCANN SMITH, E.; CIESIELSKI, T.M.; WAGNER, M.; JASPERS, V.L.B. Microplastic ingestion induces size-specific effects in Japanese quail. *Environmental Science & Technology*, v. 56, n. 22, 2022, p. 15902-15911.

NEVES, C.; GAYLARDE, C.; NETO, J.; VIEIRA, K.; PIERRI, B.; WAITE, C.; SCOTT, D.; FONSECA, E. The transfer and resulting negative effects of nano-and micro-plastics through the aquatic trophic web—A discreet threat to human health. *Water Biology and Security*, v. 1, n. 4, 2022, p. 100080.

OECD – Organisation for Economic Co-operation and Development. *Global Plastics Outlook: Policy Scenarios to 2060*. Paris: OECD Publishing, 2022. Disponível em: <https://www.oecd.org/environment/global-plastics-outlook-policy-scenarios-to-2060-b9251b4e-en.htm>. Acesso em: 21 abr. 2025.

OLIVATTO, G. P.; CARREIRA, R.; TORNISIELO, V. L.; MONTAGNER, C. C. Microplásticos: Contaminantes de preocupação global no Antropoceno. *Revista Virtual de Química*, v. 10, n. 6, 2018, p. 1968-1989.

PALANIAPPAN, S.; SADACHARAN, C.M.; ROSTAMA, B. Polystyrene and polyethylene microplastics decrease cell viability and dysregulate inflammatory and oxidative stress markers of MDCK and L929 cells in vitro. *Exposure and Health*, v. 14, n. 1, 2022, p. 75-85.

PINLOVA, B.; NOWACK, B. Characterization of fiber fragments released from polyester textiles during UV weathering. *Environmental Pollution*, v. 322, 2023, p. 121012.

PLASTICS EUROPE. *Plastics – the fast Facts 2024*. [S.l.]: Plastics Europe, 2024. Disponível em: <https://plasticseurope.org/knowledge-hub/plastics-the-fast-facts-2024/>. Acesso em: 21 abr. 2025.

SANGKHAM, S.; ORASAI, F.; NARONGSUK, M.; PORNPUN, S.; CHUMLONG, A.; MURTHY, C.; MILAD, M.; ANANDA T. A review on microplastics and nanoplastics in the environment: Their occurrence, exposure routes, toxic studies, and potential effects on human health. *Marine Pollution Bulletin*, v. 181, 2022, p. 113832.

SINHA, J.K.; GHOSH, S.; SWAIN, U.; GIRIDHARAN, N.V.; RAGHUNATH, M. Increased macromolecular damage due to oxidative stress in the neocortex and hippocampus of WNIN/Ob, a novel rat model of premature aging. *Neuroscience*, v. 269, 2014, p. 256-264.

STONE, C.; WINDSOR, F. M.; MUNDAY, M.; DURANCE, I. Natural or synthetic—how global trends in textile usage threaten freshwater environments. *Science of the Total Environment*, v. 718, 2020, p. 134689.

UNEP – United Nations Environment Programme. *Turning off the Tap: How the world can end plastic pollution and create a circular economy*. Nairobi: UNEP, 2023. Disponível em: <https://www.unep.org/resources/turning-off-tap>. Acesso em: 21 abr. 2025.

VERLA, A.W.; ENYOH, C.E.; VERLA, E.N.; NWARNORH, K.O. Microplastic–toxic chemical interaction: A review study on quantified levels, mechanism and implication. *SN Applied Sciences*, v. 1, n. 11, 2019, p. 1-30.

WANG, Y.; BAYNES, A.; RENNER, K. O.; ZHANG, M.; SCRIMSHAW, M. D.; ROUTLEDGE, E. J. Uptake, elimination and effects of cosmetic microbeads on the freshwater gastropod *Biomphalaria glabrata*. *Toxics*, v. 10, n. 2, 2022, p. 87.

YE, H.; HA, M.; YANG, M.; YUE, P.; XIE, Z.; LIU, C. Di2-ethylhexyl phthalate disrupts thyroid hormone homeostasis through activating the Ras/Akt/TRHr pathway and inducing hepatic enzymes. *Scientific Reports*, v. 7, n. 1, 2017, p. 40153.

YEDIER, S.; YALÇINKAYA, S. K.; BOSTANCI, D. Exposure to polypropylene microplastics via diet and water induces oxidative stress in *Cyprinus carpio*. *Aquatic Toxicology*, v. 259, 2023, p. 106540.

ZHANG, Q.; HE, Y.; CHENG, R.; LI, Q.; QIAN, Z.; LIN, X. Recent advances in toxicological research and potential health impact of microplastics and nanoplastics in vivo. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.* v. 29, 2022, p. 40415–40448.

ZIANI, K.; IONITA-MINDRICAN, C. B.; MITITELU, M.; NEACSU, S. M.; NEGREI, C.; MOROSAN, E.; DRAGANESCU, D.; PREDA, O. T. Microplastics: a real global threat for environment and food safety: a state of the art review. *Nutrients*, v. 15, n. 3, 2023, p. 617.

Capítulo 8



10.37423/260310840

REDUÇÃO DE PERDAS DE ÁGUA NO MUNICÍPIO DE VALPARAÍSO DE GOIÁS: UM ESTUDO DE CASO NA SANEAGO

Monike Fabiane Alves Ribeiro Lacerda

Saneamento de Goiás S/A

Alexandre Gomes de Souza

Saneamento de Goiás S/A

Alison Servoli da Silva

Saneamento de Goiás S/A

Itamar Ferreira de Oliveira

Saneamento de Goiás S/A

Carlos Emanuel Fries Prado

Saneamento de Goiás S/A



RESUMO

Devido à crescente demanda por recursos hídricos, as concessionárias e prestadoras de serviços de saneamento básico tem direcionado esforços no combate as perdas de água na distribuição, desenvolvendo metodologias para a reestruturação dos sistemas de abastecimento de água. Dessa forma, utilizando metodologias já existentes e validadas, a SANEAGO vem apresentando resultados positivos a cada ano. Em Valparaíso de Goiás o trabalho de combate as perdas de água se iniciaram no ano de 2019 com ações comportamentais (treinamentos e engajamento das equipes), comerciais (substituição de hidrômetros) e operacionais (combate ativo aos vazamentos, macromedição, gestão das pressões e cadastro operacional). Apesar dos desafios enfrentados, como a pandemia e o incremento de vazão aos sistemas de abastecimento, o trabalho contínuo gerou resultados satisfatórios, partindo do Índice de Perdas na Distribuição superior a 40% em 2019 para 25,04 % em dezembro de 2024. Nesses seis anos de trabalho de combate às perdas de água foram realizadas 86.638 pesquisas de vazamentos com haste de escuta, 17.417 revisões de corte, foram substituídos 4.703 ramais e 28.929 hidrômetros velocimétricos por volumétricos. Assim, a experiência adquirida com o trabalho de redução de perdas no Distrito de Valparaíso demonstra que para atingir resultados satisfatórios é necessário a contribuição de todas as áreas da companhia, operacionais e comerciais, e ainda realizar um processo de mudança cultural onde o programa seja disseminado e internalizado por todos os funcionários.

Palavras-chave: Índice de Perdas na Distribuição, Índice de Perdas por Ligação, micromedição, perda real, perda aparente.

INTRODUÇÃO

As empresas de saneamento têm direcionado esforços para combater o índice de perdas de água devido à crescente demanda por recursos hídricos, a escassez de água nos mananciais e ao crescimento populacional.

Dessa forma, reduzir as perdas de água significa suprir esta demanda crescente, sem necessitar explorar e degradar os mananciais de maneira insustentável (SANTOS; MONTENEGRO, 2014; PIECHNICKI et al., 2011).

Este cenário possibilita entender a necessidade, por parte das concessionárias e prestadoras, de desenvolver metodologias para a reestruturação dos sistemas de abastecimento de água com o objetivo de reduzir as perdas reais (físicas) e aparentes (não físicas), diminuindo o volume de água não contabilizada e considerando a viabilidade técnica e econômica das ações de combate as perdas de água em relação ao processo operacional dos sistemas (MOURA et al., 2004).

Portanto, reduzir as perdas em sistemas de abastecimento de água abrange estratégias na tomada de decisões, visando a sustentabilidade e a competitividade da companhia diante da concorrência e, ainda, investir no controle e redução das perdas traz benefícios econômicos, tecnológicos, energéticos, sociocultural e ambiental (KUSTERKO et al., 2018).

Dessa forma, com o compromisso de diminuir as perdas de água tratada nos sistemas de abastecimento de água, principalmente na distribuição, a empresa Saneamento de Goiás S/A (SANEAGO) investe na implementação de metodologias já existentes, mas muito eficazes e vem apresentando resultados positivos a cada ano: segundo o Instituto Trata Brasil e a GO Associados (2023) Goiás foi o Estado com o melhor índice de perdas de água na distribuição do Brasil, com base nos dados do ano de 2021. A média nacional de perdas, no referido ano, foi de 40,3% enquanto Goiás marcou 28,5%, sendo o único estado brasileiro com índice abaixo de 30%. Conforme destacam Santos e Montenegro (2014) as companhias nacionais que obtiveram sucesso só conseguiram quando o compromisso se tornou uma missão, por meio de um plano estratégico por parte da empresa e não apenas por iniciativa de quem está na base.

OBJETIVOS

Descrever as principais ações realizadas no município de Valparaíso de Goiás pela concessionária SANEAGO para a redução das perdas de água na distribuição e avaliar o comportamento dos indicadores de desempenho.

METODOLOGIA UTILIZADA

ESTUDO DE CASO DO DISTRITO DE VALPARAÍSO

A SANEAGO atua em 223 municípios do Estado de Goiás os denominando Distritos. O Distrito de Valparaíso compreende o município de Valparaíso de Goiás que integra a Regional Luziânia que, por sua vez, integra a Superintendência Regional de Operações do Entorno do Distrito Federal.

Valparaíso de Goiás é abastecido pelo Rio Corumbá, cuja água é tratada na ETA Corumbá, obra proveniente do consórcio entre as companhias de saneamento de Goiás (SANEAGO) e Distrito Federal (Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal – CAESB); e por mananciais subterrâneos em Sistemas de Abastecimento de Água (SAA) ainda não atendidos pelo SAA Corumbá. Assim, os 9 (nove) SAA existentes no município abastecem com água tratada 82.845 ligações de água, por meio de 354.909 metros de rede de distribuição de água e 39 reservatórios.

Em 2019 iniciou-se o trabalho de redução de perdas de água no Distrito de Valparaíso. Na ocasião o município não era abastecido pela ETA Corumbá e sim pelo Ribeirão Saia Velha com contribuição de 86 poços subterrâneos. Em 2023 iniciou-se a contribuição gradativa do SAA Corumbá ao município e em 2024 o SAA Saia Velha foi desativado.

Para verificar a eficácia das ações de redução de perdas foi realizado o acompanhamento dos indicadores: Índice de Perdas na Distribuição (IPD), Volume Disponibilizado, Volume Consumido Medido, Volume de Perda Aparente, Volume de Perda Real e Índice de Perdas por Ligação (IPL).

AÇÕES COMPORTAMENTAIS

As ações comportamentais abrangeram o envolvimento e comprometimento das equipes no combate aos volumes perdidos de água e treinamentos e capacitações das equipes; para este fim foi criado um Centro de Treinamento no Distrito de Valparaíso. Para a pesquisa de vazamentos as equipes foram

instruídas a utilizar equipamentos de detecção acústica, a haste de escuta e o geofone eletrônico, e para o controle de pressões as equipes aprenderam a instalar e realizar manutenção em Válvulas Redutoras de Pressão (VRP).

AÇÕES COMERCIAIS

Em relação às ações comerciais foram realizadas a troca dos hidrômetros velocimétricos para os volumétricos e os mutirões de revisão de corte, este último visando a identificação de irregularidades comerciais. Foi adotada a meta de 1500 substituições de hidrômetros mensais e para a seleção dos hidrômetros a serem substituídos foi adotado como critério o consumo mensal por ligação. Dessa forma os primeiros hidrômetros substituídos foram das ligações com consumo acima de $20 \text{ m}^3 \cdot \text{mês}^{-1}$; esse valor foi reduzido gradativamente até alcançar os hidrômetros com consumo de 4 a $7 \text{ m}^3 \cdot \text{mês}^{-1}$.

AÇÕES OPERACIONAIS

Concomitante às ações comportamentais e comerciais foram executadas as ações operacionais descritas na Tabela 1:

Tabela 1: Ações operacionais desenvolvidas no Distrito de Valparaíso.

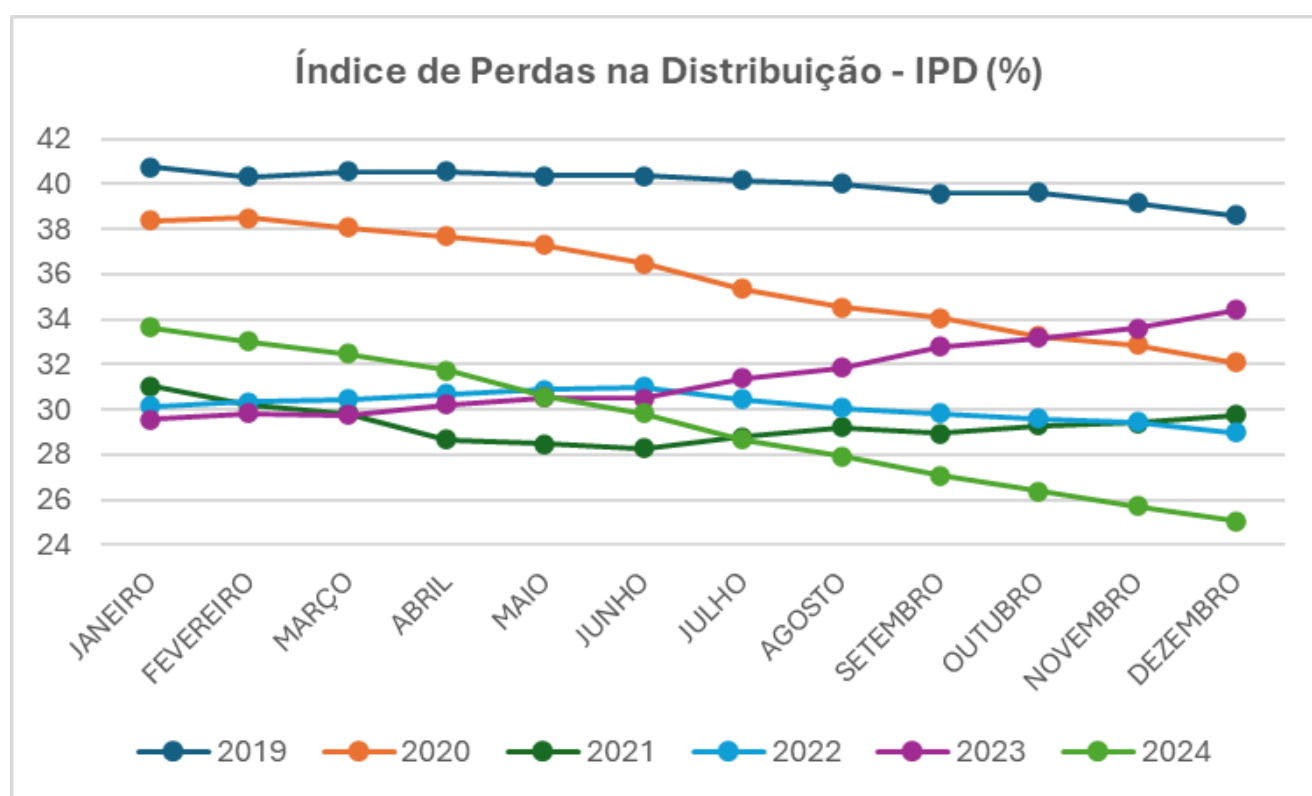
Ação Operacional	Descrição da Ação
Pesquisa e retirada de vazamentos não visíveis	A pesquisa de vazamentos não visíveis foi realizada bairro a bairro, primeiramente com a haste de escuta e posteriormente com o geofone eletrônico nos pontos suspeitos. Havendo confirmação o vazamento era retirado substituindo o ramal totalmente, evitando emendas de tubos.
Retirada de vazamentos visíveis	Os vazamentos visíveis eram reparados logo após sua detecção com materiais e métodos adequados para não haver reincidência de vazamento no local.
Gestão de pressões manométricas	Consiste na realização de estudos contínuos das pressões nas redes para instalação de VRPs em pontos estratégicos e após a instalação realização de avaliações periódicas do seu funcionamento.
Gestão da macromedição	Foram instalados macromedidores nas saídas dos reservatórios com o objetivo de obter confiabilidade do Volume Disponibilizado.
Gestão do cadastro técnico operacional	Foi utilizada a ferramenta Giswater para realizar o cadastro técnico georreferenciado dos sistemas de abastecimento de água.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

ÍNDICE DE PERDAS NA DISTRIBUIÇÃO

O trabalho de redução do IPD se iniciou no ano de 2019, quando este índice apresentava valores superiores a 40 % (Figura 1). A primeira ação realizada foi comportamental, ao criar um Centro de Treinamento – CT no Distrito de Valparaíso para a capacitação dos funcionários.

Figura 1: Índices de Perdas na Distribuição do Distrito de Valparaíso de Goiás, entre os anos de 2019 e 2024.



Os resultados apresentados na Figura 1 demonstram a importância do comprometimento das equipes operacionais e comerciais com as atividades relacionadas ao controle de perdas, visto que ações implementadas de forma gradativa apresentaram resultados significativos de redução do IPD entre os anos de 2019 e 2021.

Os anos de 2020 e 2021 foram marcados pela pandemia e as atividades do Distrito foram realizadas com equipe reduzida e com falta de insumos. Assim, os trabalhos de combate as perdas ocorreram com menor intensidade, no entanto nota-se que a redução gradativa do índice permaneceu até junho de 2021, onde apresentou o menor valor (28,27%) desde o início de 2019.

Entre julho de 2021 e agosto de 2023 o trabalho de redução de perdas de água no Distrito de Valparaíso foi desassistido causando o aumento gradativo do IPD para valores superiores a 30%. Tardelli Filho (2015)

explica que:

A experiência observada na implementação e operacionalização de Programas de Combate às Perdas mostra que nos primeiros anos os resultados são animadores; depois, a cada ano que passa, são mais lentos e as ações requeridas ficam mais caras (incremento da atividade de renovação de infraestrutura). Outro exemplo, é um programa que vinha sendo bem conduzido, com resultados favoráveis, mas que, por alguma contingência financeira ou administrativa da companhia, teve descontinuidade em algumas ações importantes (TARDELLI FILHO, 2015).

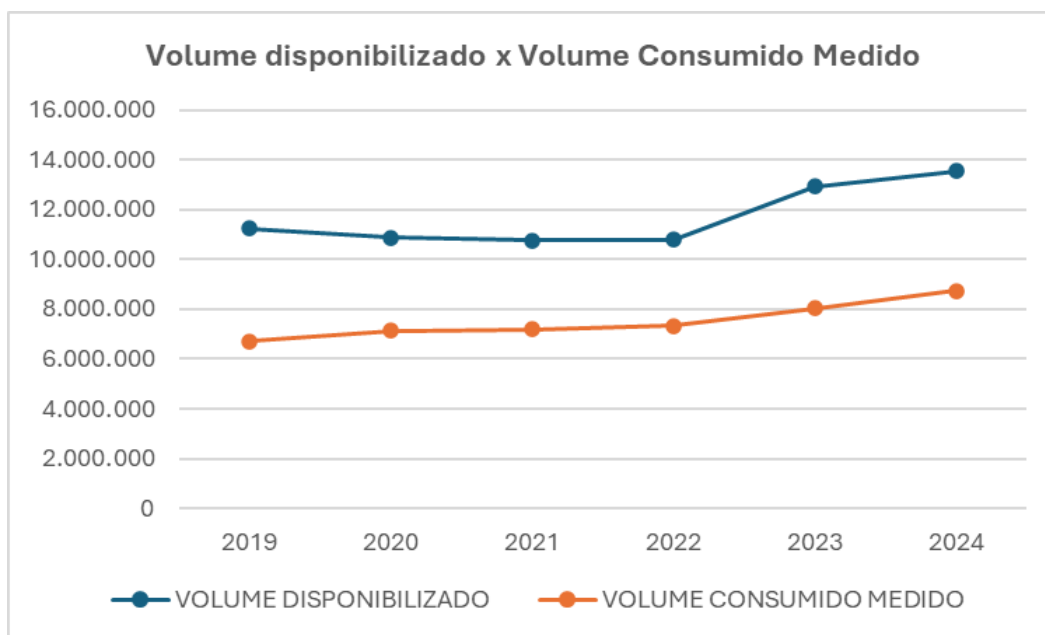
Diante deste cenário em setembro de 2023 o combate às perdas foi resgatado, com intensificação das ações já realizadas, tais como aumento de substituições de hidrômetros com equipes voltadas somente para este fim, mutirões de revisão de corte buscando o combate às irregularidades comerciais e criação de equipe para pesquisa de vazamento oculto; e com adição de novas ações, sendo estas contrato com empresa terceirizada para realizar a substituição de ramais e intensificação do controle de pressão.

VOLUME DISPONIBILIZADO X VOLUME CONSUMIDO MEDIDO

A diferença entre o volume disponibilizado e o volume consumido medido é o volume perdido antes de chegar aos clientes, dessa forma, para reduzir as perdas de água é necessário diminuir o volume distribuído e aumentar o volume utilizado. Para tanto Santos e Montenegro (2014) reforçam que as ações de controle de pressão, pesquisa e reparo de vazamentos e melhorias na infraestrutura visam reduzir o volume distribuído, enquanto combater as fraudes, investir em cadastro e melhorar o parque de hidrômetros para evitar os efeitos da submedição, elevam o volume utilizado.

A Figura 2 apresenta os resultados do acompanhamento dos volumes no período estudado. A elevação do volume disponibilizado no ano de 2023 é resultado da contribuição do SAA Corumbá ao município de Valparaíso de Goiás. O volume consumido medido acompanhou o volume disponibilizado, isto ocorreu pois após anos com períodos de escassez hídrica, o município teve água disponível para a população no período de estiagem.

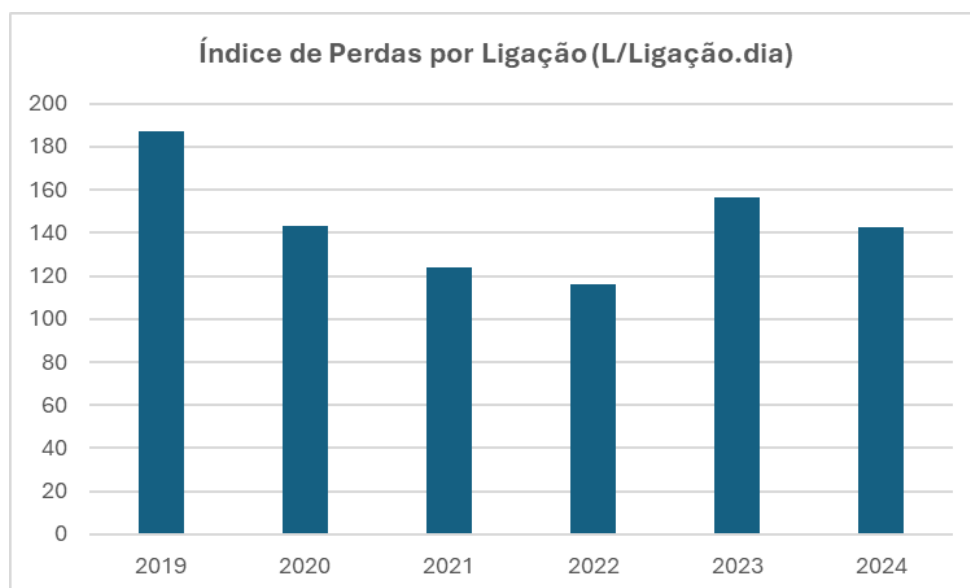
Figura 2: Relação do volume disponibilizado e do volume consumido medido no Distrito de Valparaíso.



Fonte: elaboração própria a partir de dados da SANEAGO.

O aumento do volume disponibilizado e do volume consumido medido foi acompanhado pelo aumento do IPD e pelo IPL (Figura 3). No entanto, com a retomada do trabalho de combate às perdas de água no ano de 2023, os índices mencionados decaíram gradativamente.

Figura 3: Índices de Perdas por Ligação do Distrito de Valparaíso de Goiás, entre os anos de 2019 e 2024.



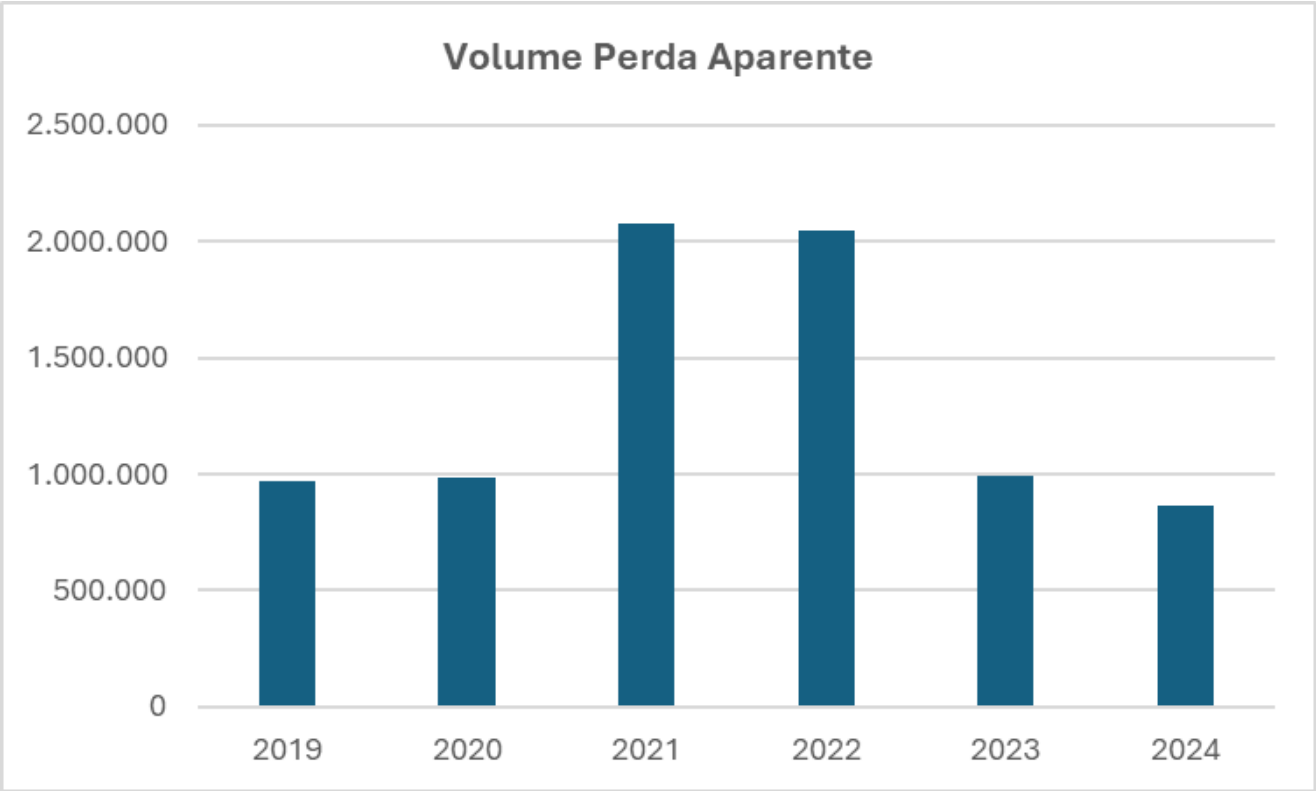
Fonte: elaboração própria a partir de dados da SANEAGO.

Na Figura 3 pode-se observar que mesmo com o aumento da água disponibilizada no ano de 2023, o IPL não voltou aos patamares do ano de 2019 quando se iniciou o trabalho de combate às perdas de água. No período estudado, o maior valor para o IPD foi em 2019 com 187,4 L/lig.dia e o menor valor foi em 2022 com 116 L/lig.dia. Este resultado foi alcançado por meio da gestão contínua, que segundo Aquino (2007) é mais importante do que a técnica em si, pois somente com a gestão continuada há diminuição de perdas de forma sustentável.

VOLUME DE PERDA APARENTE

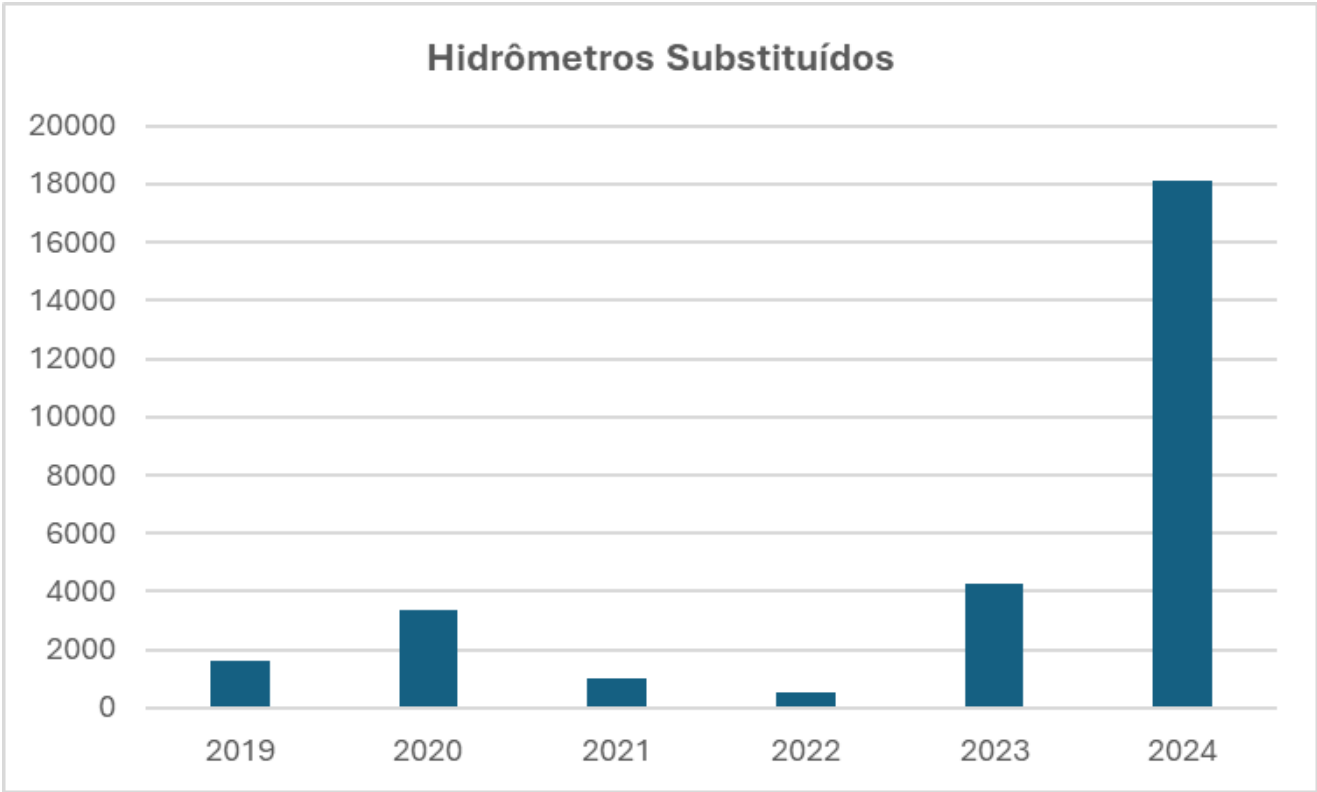
Para combater a perda aparente (Figura 4), além da capacitação dos funcionários, os esforços se concentraram nas revisões de corte, sendo realizadas 17.417 revisões entre 2019 e 2024, e na substituição de hidrômetros velociméticos por volumétricos, com o objetivo de reduzir o erro nos medidores. Assim, o Distrito de Valparaíso alcançou o número recorde de substituições em 2024, com 18.101 hidrômetros substituídos (Figura 5).

Figura 4: Volume de Perda Aparente no Distrito de Valparaíso de Goiás, entre os anos de 2019 e 2024.



Fonte: elaboração própria a partir de dados da SANEAGO.

Figura 5: Hidrômetros substituídos entre os anos de 2019 e 2024 no Distrito de Valparaíso de Goiás.



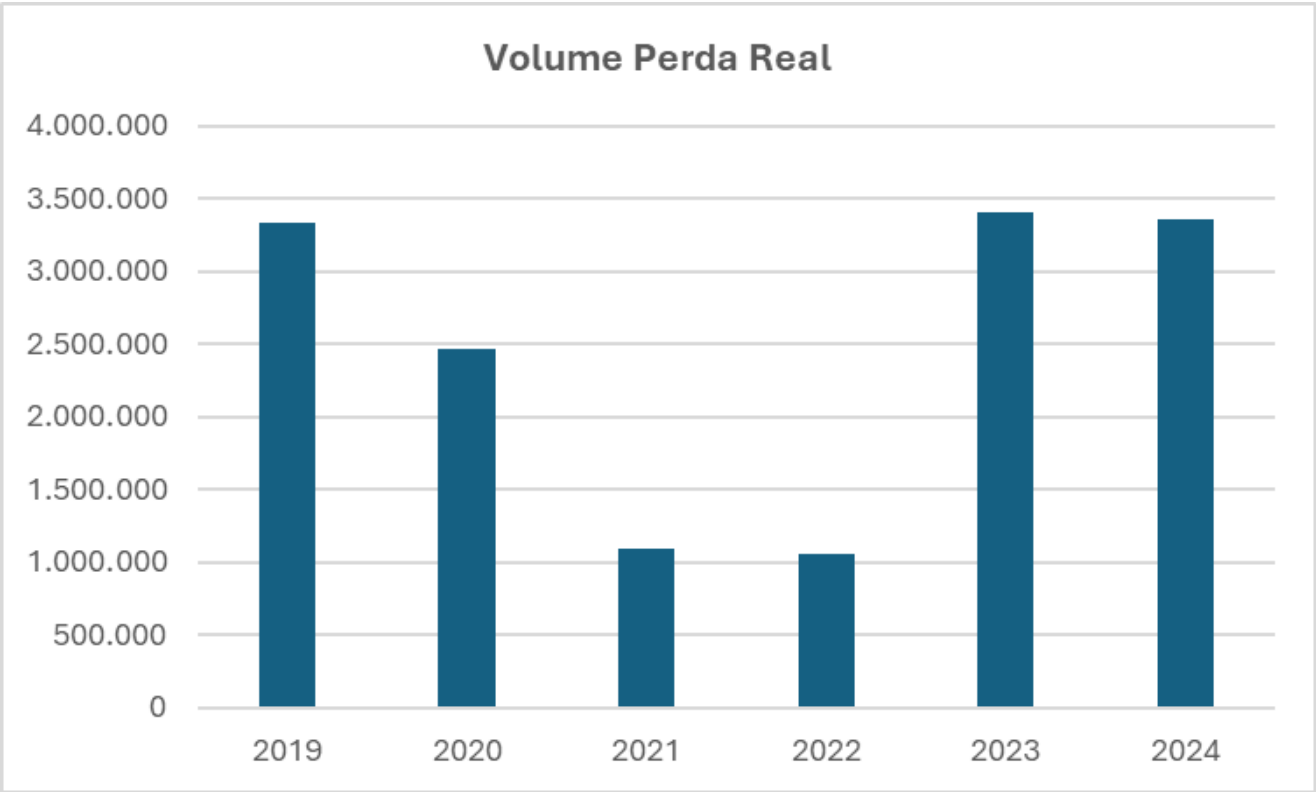
Fonte: elaboração própria a partir de dados da SANEAGO.

Mendonça et al. (2020) simularam os efeitos da substituição dos hidrômetros velocimétricos por volumétricos na redução do índice de perdas de um bairro da cidade de Itabirito no estado de Minas Gerais e concluíram que os hidrômetros volumétricos foram mais eficientes, chegando a medir até 50% a mais que os velocimétricos; e ainda que a substituição dos hidrômetros poderia diminuir o índice de perda de 21,13% para 5,39%.

VOLUME DE PERDA REAL

O combate da perda real (Figura 6) foi baseado no controle ativo dos vazamentos visíveis e não visíveis.

Figura 6: Volume de Perda Real no Distrito de Valparaíso de Goiás, entre os anos de 2019 e 2024.



Fonte: elaboração própria a partir de dados da SANEAGO.

O incremento de água tratada pela ETA Corumbá no ano de 2023 também impactou nas perdas reais; pois ocasionou ou intensificou os vazamentos. Considerando os vazamentos não visíveis, foram realizadas varreduras com haste de escuta e substituição total de ramais, conforme dados apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Número de pesquisas de vazamentos com haste de escuta e de ramais substituídos no Distrito de Valparaíso, entre os anos de 2019 e 2024

Ano	Pesquisa com Haste de Escuta	Ramais Substituídos
2019	11.234	267
2020	14.800	341
2021	7.047	281
2022	710	105
2023	5.397	396
2024	47.450	3.313

De acordo com Moraes, Cavalcante e de Almeida (2010) a deterioração das redes e ramais ao longo dos anos pode provocar rompimentos nas tubulações, o que gera vazamentos em que a água é escoada pelas redes de esgoto ou pelas redes de água pluvial, impossibilitando que o problema seja visivelmente detectado, muitas vezes durante um período bastante prolongado. Assim, as ações para

diminuir as perdas reais tem o objetivo de minimizar o volume distribuído, que se perde através dos vazamentos.

Para alcançar os números apresentados na Tabela 2 foram criadas equipes específicas para a pesquisa de vazamento oculto, sendo este trabalho desenvolvido primeiramente nos bairros com maiores reclamações de vazamento pelos clientes e houve a terceirização do trabalho de substituição de ramais; assim a empresa terceirizada retirava os vazamentos não visíveis enquanto os funcionários da companhia se concentravam nos vazamentos visíveis.

Outro ponto que merece destaque no combate às perdas reais é o controle das pressões nas redes. De acordo com Freitas et al. (2007), o controle de pressão reduz o volume perdido, pois aumenta a oferta de água para áreas com intermitência, traz qualidade no abastecimento e melhora a imagem da empresa perante a sociedade.

Segundo Moura et al. (2004) para os sistemas já implantados, como os sistemas do Distrito de Valparaíso, deve-se priorizar a redução de pressões na rede de distribuição para que haja redução de perdas. Desta forma, o Distrito de Valparaíso conta atualmente com 26 VRPs, 32 Ventosas e 12 Day Nights.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A experiência adquirida com o trabalho de redução de perdas de água no Distrito de Valparaíso demonstrou que controlar perdas exige esforços das áreas de produção de água tratada, de manutenção de redes e da área comercial, e para tanto o engajamento das equipes é o que possibilita o alcance de resultados positivos. Fontes et al. (2009) enfatiza que um programa de redução de perdas de água é um processo de mudança cultural devendo ser internalizado por todos e disseminado entre todos os funcionários próprios e terceirizados.

Destaca-se também que a criação de equipes específicas para pesquisa de vazamentos ocultos e para a substituição de hidrômetros promoveu a eficiência dessas atividades e permitiu alcançar as metas propostas pela companhia. Ressaltamos ainda que a contratação de empresa terceirizada para as substituições de ramais foi um marco no combate as perdas, pois solucionou a problemática de falta de mão de obra para este fim.

Assim, conforme Moura et al. (2004) ressaltamos que “o tratamento das perdas deve ser de caráter permanente, devendo, portanto, ser considerado como um programa estratégico dos prestadores de serviços de água. Caso não se adote tal política, as ações de combate a perdas nem sempre serão efetivas, e os resultados positivos serão temporários ou irrisórios”.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AQUINO, V. A luta para combater as perdas de água. *Revista Saneas*, v. 10, 2007, p. 5-16.
- FREITAS, V.V.; ORELLANA, A.; KUHL, J.G.; OLIVEIRA, C.R.O. Uma década de controle de pressão nas redes de distribuição da Sabesp. *Revista Dae*, n. 176, 2007, p. 15-17.
- INSTITUTO TRATA BRASIL; GO ASSOCIADOS. Perdas de água 2023 (SNIS 2021): desafios para disponibilidade hídrica e avanço da eficiência do saneamento básico no Brasil. 78 p.
- KUSTERKO, S.; ENSSLIN, S.R.; ENSSLIN, L.; CHAVES, L.C. Gestão de perdas em sistemas de abastecimento de água: uma abordagem construtivista. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 23, 2018, p. 615- 626.
- MENDONÇA, W.M.; DOS SANTOS, E.P.C.C.; DA SILVA COSTA, P.E.; DA COSTA TEIXEIRA, E.K. Estudo para comparar a eficiência de medição tanto do hidrômetro volumétrico quanto do velecimétrico, tendo-se como meta a diminuição de perdas de água no sistema. In.: 72ª Reunião Anual da SBPC, 2020.
- MORAIS, D.C.; CAVALCANTE, C.A.; DE ALMEIDA, A.T. Priorização de áreas de controle de perdas em redes de distribuição de água. *Pesquisa Operacional*, v. 30, n. 1, 2010, p. 15-32.
- MOURA, E.M.; DIAS, I.C.S.; DA SILVA, J.S., DA SILVA, F.C. Abordagem sobre perdas de água em sistemas de abastecimento: breve explanação sobre os tipos e principais causas. In: IV SEREA-Seminário Hispano-Brasileiro sobre Sistemas de Abastecimento Urbano de Água João Pessoa (Brasil), v. 8, 2004.
- PIECHNICKI, A.S.; KOVALESKI, J.L.; DE SOUZA, M.V.; PIECHNICKI, F.; BARAN, L.R. Utilização da metodologia de análise e solução de problemas na redução das perdas de água: Um estudo de caso na SANEPAR. *Revista de Engenharia e Tecnologia*, v. 3, n. 2, 2011, p. 90-99.
- SANTOS, D.D.; MONTENEGRO, S.M.G.L. Avaliação da metodologia para controle de perdas de água em rede de distribuição no Recife-PE. *Revista Dae*, v. 197, 2014, p. 56-70.
- TARDELLI FILHO, J. Aspectos relevantes do controle de perdas em sistemas públicos de abastecimento de água. *Revista Dae*, v. 64, n. 201, 2016, p. 6-20.

Capítulo 9



10.37423/260310841

COMPOSTAGEM DOMÉSTICA A BAIXO CUSTO: UMA SOLUÇÃO FRENTE À PROBLEMÁTICA DO RESÍDUO SÓLIDO ORGÂNICO URBANO

Alfredo Fernando Tavares Miglio

UFPA

Prof. Dr Rui Guilherme Cavaleiro de Macedo Alves

PPGESA/ITEC/UFPA



RESUMO

Com o crescente aumento das populações urbanas e grande incremento na geração de resíduos nos últimos anos, a compostagem doméstica surge como alternativa para disposição e tratamento da parte orgânica desses materiais. Neste contexto o presente estudo propõe a reflexão a respeito dos benefícios gerados por tal prática, fornecendo informações pontuais para que as pessoas possam iniciar uma unidade de compostagem domiciliar a baixo custo e em pequenos espaços nas suas residências. Para o processo utilizou-se três baldes reciclados de margarina com a capacidade de 18L cada, posicionados em área aberta, coberta e sombreada na Universidade Federal do Pará. Ao final do processo, o composto orgânico formado apresentou características físicas, químicas e biológicas desejáveis, concluindo-se que a compostagem doméstica mostrou-se perfeitamente viável para a reciclagem de resíduos orgânicos domiciliares e potencialmente útil para diversas culturas agrícolas, principalmente como condicionador de solo.

Palavras-chave: composteira, compostagem, composto orgânico, matéria orgânica, resíduo orgânico.

INTRODUÇÃO

O constante aumento do consumo nas cidades tem proporcionado uma grande geração de resíduos orgânicos, que em alguns casos, provocam sérios problemas de poluição, causando preocupação da humanidade quanto ao destino final destes resíduos.

O aumento substancial da geração de resíduos sólidos urbanos, devido o crescimento populacional das sociedades de consumo, tem constituído um grande problema ambiental. A coleta e a disposição final destes resíduos tornam-se um problema de difícil solução, com consequentes riscos de poluição do solo e das águas, superficiais e subterrâneas, com implicações na qualidade de vida da população (NÓBREGA *et al.*, 2007).

Quando se fala em resíduos sólidos, lembra-se muito de coleta seletiva para reciclagem de materiais secos como papel, metal, vidro e plástico, porém pouco se lembra da fração de resíduos sólidos orgânicos, que representa mais da metade de todo o lixo gerado nas grandes cidades.

Os resíduos domiciliares, originados nas residências familiares típicas, contêm, em média, 67,0% de restos de alimentos, 19,8% de papéis, 6,5% de plásticos, 3,0% de vidros e 3,7% de metais (REIS *et al.*, 2006).

Na natureza, nada se cria, nada se perde, tudo se transforma (LAVOISIER, 1775).

A compostagem nada mais é do que um processo biológico de transformação da matéria orgânica, através de agentes decompositores, em substâncias húmicas. Em palavras mais simples é a transformação do nosso resíduo sólido orgânico em alimento para plantas, dessa forma reciclando-o.

O método de compostagem doméstica possui diferenciais atraentes: alta eficiência e baixo custo, tornando-se uma alternativa no prolongamento da vida útil dos aterros sanitários presentes nas regiões metropolitanas, pois quanto menos resíduo orgânico das residências, escolas e empresas forem destinados a esses locais, por mais tempo o aterro atenderá às necessidades a que foi projetado.

RESUMO TEÓRICO

A fração orgânica dos resíduos sólidos no Brasil ultrapassa os 50%, demonstrando o grande potencial de material apto a ser compostado (Tabela 1).

Tabela 1 - Participação dos Principais Materiais no Total de RSU Coletados no Brasil em 2012 (em mil toneladas)

Material	Participação (%)	Quantidade (t/ano)
Metais	2,9	1.640.294
Papel, Papelão e TetraPak	13,1	7.409.603
Plástico	13,5	7.635.851
Vidro	2,4	1.357.484
Matéria Orgânica	51,4	29.072.794
Outros	16,7	9.445.830
TOTAL	100,0	56.561.856

Fonte: ABRELPE : panorama 2011 in www.abrelpe.org.br/panorama

A separação da matéria orgânica na origem (residências, escolas, empresas, instituições ou estabelecimentos comerciais) é de enorme importância para obtenção de um material com excelente qualidade. Nesse momento dá-se o primeiro passo para um processo de compostagem de sucesso.

Todo resíduo orgânico de origem animal ou vegetal pode ser compostado, porém no caso da compostagem doméstica, para evitar mau cheiro e presença de animais indesejados, os de origem animal (com exceção da casca de ovo) e alimentos cozidos e muito processados devem ser excluídos. Dessa forma, os tipos de resíduos mais recomendados são: restos de frutas e legumes, borras de café, cascas de ovos, podas de jardim, folhas secas e sementes.

O composto aeróbico é o resultado, portanto, da degradação biológica da matéria orgânica em presença de oxigênio do ar. O composto orgânico constitui-se em material umidificado, com odor de terra, facilmente manuseado e estocado, contribuindo significativamente para a fertilidade e a estrutura do solo (KIEHL, 1985).

A compostagem vem sendo definida como um processo aeróbico controlado, desenvolvido por uma colônia mista de microrganismos, efetuada em duas fases distintas: a primeira quando ocorrem as reações bioquímicas de oxidação mais intensas predominantemente termofílicas; a segunda, ou fase de maturação, quando ocorre o processo de humificação (PEREIRA NETO, 1996).

A anaerobiose é prejudicial ao meio ambiente, pois produz gases que possuem um potencial poluidor maior à camada atmosférica do que o gás carbônico (gás gerado em uma decomposição aeróbia) e geram mau cheiro. Como forma de melhorar a disponibilidade de oxigênio no composto reviramos manualmente o conteúdo da composteira a cada três dias.

O processo anaeróbio tem o inconveniente da liberação de mau cheiro, devido a não liberação completa do nitrogênio aminado como amônia, com a consequente formação de aminas incompletas, mal cheirosas, as quais devem ser oxidadas para perder esta característica. Uma compostagem mal conduzida pode levar a oxidação anaeróbia, acompanhada de putrefação e mau cheiro eliminado na atmosfera, na forma de gás ácido sulfídrico, mercaptanas (dimetildisulfeto, dimetilsulfeto, metilmercaptanas) e outros produtos contendo enxofre, todos com cheiro de ovo podre (KIEHL, 1998)

A degradação da matéria orgânica é um processo natural, tudo que é vivo nasce, se desenvolve, morre e se decompõe. Logo, através da observação do que acontecia na natureza, antigas civilizações perceberam como funciona este processo, através da decomposição de animais mortos, dejetos animais, galhos e troncos de árvores, folhas secas, etc.

Porém, na natureza este é um processo demorado, pois depende das condições climáticas para formar um meio propício à multiplicação de microrganismos decompositores no solo. Já a compostagem feita pelo homem, desenvolveu técnicas para acelerar o processo de decomposição, a fim de atender rapidamente suas necessidades, oferecendo condições controladas (principalmente de umidade e temperatura) para que os microrganismos decompositores se reproduzam e alimentem-se mais, reduzindo o período de maturação do composto em relação à natureza em até 60%.

As temperaturas variam de acordo com as três fases. A primeira, denominada Criófila aos 30°C, seguida pela Mesófila (30°C a 40°C), e a Termófila, de 45°C a 75°C, declinando em seguida (KIEHL, 1985).

Nas fases Criófila e Mesófila acontece a bioestabilização, que consiste na degradação da celulose por microrganismos, aumentando a temperatura do composto. Ocorre uma reação exotérmica, onde os organismos liberam calor enquanto se alimentam.

A faixa de umidade ótima para se obter um máximo de decomposição está entre 40% a 60%, principalmente durante a fase inicial, pois é necessário que exista um adequado suprimento de água para promover o crescimento dos organismos biológicos envolvidos no processo e para que as reações bioquímicas ocorram adequadamente durante a compostagem (MERKEL, 1981).

A transformação da matéria orgânica é resultante da ação combinada da macro e mesofauna (minhocas, formigas, besouros e ácaros) e de diferentes comunidades de microrganismos (incluindo bactérias, actinomicetas, leveduras e fungos) que predominam em diferentes fases da compostagem. Inicialmente, atuam microrganismos que metabolizam o nitrogênio orgânico transformando-o em nitrogênio amoniacal e com o decorrer da decomposição, a amônia pode ser perdida por volatilização ou convertida à forma de nitratos, pela nitrificação, fenômeno que é acidificante e contribui para que o composto maturado seja mais ácido do que o material original. Porém, se houver condições de anaerobiose, o nitrato será perdido por desnitrificação e este fenômeno tem efeito alcalinizante (OLIVEIRA et al, 2002).

Os microrganismos que atuam na compostagem têm como faixa ótima de desenvolvimento pH entre 6,5 a 8,0, portanto, quando bem conduzida, a compostagem não apresenta problemas relacionados ao controle de pH (PEIXOTO, 1988).

O termo composto orgânico pode ser aplicado ao produto compostado, estabilizado e higienizado, que é benéfico para a produção vegetal (ZUCONNI & BERTOLDI, 1987).

Os materiais utilizados na compostagem podem ser divididos em duas classes, a dos materiais ricos em carbono, que também são chamados de

secos ou castanhos, e dos materiais ricos em nitrogênio, também chamados de úmidos ou verdes. Entre os materiais ricos em carbono pode-se destacar principalmente as folhas secas, galhos secos, palhas, feno, serragem, papel e papelão. Já entre os materiais ricos em nitrogênios, estão prioritariamente restos de frutas, legumes e hortaliças, folhas verdes, borra de café, etc. A proporção da mistura desses materiais definirá a relação C/N. Geralmente, quanto mais baixa a relação C/N mais rápido termina a compostagem, e quando a relação for alta, mais demorada a decomposição será.

A relação em peso frequentemente considerada como ideal entre carbono e nitrogênio é 30, ou seja, 30 gramas de carbono, para um grama de material nitrogenado ($C/N = 30/1$). Uma mistura muitas vezes utilizada para atingir-se essa relação, é de duas partes de material rico em carbono (em volume), com uma parte de material rico em nitrogênio. Uma mistura bem feita atribuirá valores de umidade considerados ótimos para o composto.

As principais vantagens da prática de compostagem, segundo (DO NASCIMENTO *et al.*, 2005) são:

- “- Melhora a saúde do solo”. A matéria orgânica composta se liga às partículas (areia, limo e argila), ajudando na retenção e drenagem do solo, melhorando sua aeração;
- Aumenta a capacidade de infiltração de água, reduzindo a erosão;
- Dificulta ou impede a germinação de sementes de plantas invasoras;
- Aumenta o número de minhocas, insetos e microrganismos desejáveis, devido a presença de matéria orgânica, reduzindo a incidência de doenças de plantas;
- Mantém a temperatura e os níveis de acidez do solo;
- Ativa a vida do solo, favorecendo a reprodução de microrganismos benéficos às culturas agrícolas;
- Aproveitamento agrícola da matéria orgânica.”

Do ponto de vista sanitário, as vantagens também são muitas:

- É um processo ambientalmente seguro;
- Gera economia no tratamento de efluentes;
- Contribui indiretamente com a saúde pública;
- Contribui com a redução de emissão de gases poluentes na atmosfera;
- Economia no transporte de resíduos por carros coletores aos aterros sanitários;
- Pode aumentar em até 50% a vida útil de aterros sanitários;

- Reduz a quantidade de sacolas plásticas utilizadas para transportar o resíduo orgânico até os aterros;
- Com a substituição de adubos minerais, pelo composto orgânico, reduzimos a poluição do solo e lençóis freáticos.

METODOLOGIA

O estudo foi realizado no Campus Profissional da Universidade Federal do Pará, precisamente no Espaço ITEC Cidadão, onde se encontram os Bosques Benito Calzavara e Camilo Viana. Teve início em fevereiro/2019 e estendeu-se até março/2021. A Figura 01 mostra a localização da área do experimento.

Foram utilizados nos experimentos diversos tipos de resíduos orgânicos. Dentre os úmidos: restos de frutas e legumes e também frutas caídas ao chão, das diversas árvores frutíferas que existem no local (jenipapo, jambo, taperebá, manga, ingá, cacau, oiti, etc.). Dentre os resíduos secos: aparas de grama, folhas secas, cascas de mulateiro, caroços de açaí, fibras de coco, etc.

Figura 01 – Localização Espaço ITEC Cidadão.



Fonte: Google Satélite (2022)

Para o caso de compostagem urbana/domiciliar, a fim de suprimir problemas indesejáveis, evitamos incluir alguns itens como: gorduras (liberam ácidos graxos que podem impermeabilizar a parede celular dos organismos decompositores, atrasando o processo) e restos de matéria orgânica de origem animal (para evitar moscas), com excessão às cascas de ovos. Frutas ácidas e papéis coloridos podem ser utilizados, desde que nunca excedendo a parcela de 10 a 20%, pois reduzem o pH do composto, o que não é atrativo às bactérias, enquanto papéis coloridos contém metais pesados.

Como forma de acelerar o processo, os resíduos foram triturados na granulometria entre 3-5 cm, assim favorecendo a aeração do composto, evitando a anaerobiose que ocorre quando o composto está compactado.

Sabendo-se que bactérias decompositoras têm melhor desenvolvimento em pH neutro, este foi controlado reduzindo o número de material ácido na

Compostagem e com isso evitando a redução da colônia de bactérias. Caso o composto acidifique, a dinâmica microbiana é afetada negativamente, comprometendo a eficiência da composteira. Ocorrendo uma decomposição anaeróbia no composto, o pH poderá subir, alcalinizando o mesmo.

A temperatura era medida diariamente nos primeiros 20 dias com termômetro digital espeto modelo “TP300” e a umidade controlada através de um medidor de solo 3 em 1 modelo “Flameer” para que a temperatura do composto não ultrapassasse os 60°C. Caso a temperatura estivesse acima do desejado, a pilha de composto era regada com água e no outro dia era feita a verificação da temperatura.

Supondo que todas as variáveis vistas anteriormente estejam de acordo com as condições para o desenvolvimento da colônia de bactérias decompositoras, elas começarão o processo em poucos dias, ocasionando um incremento na temperatura do composto. Quando a temperatura for maior que 40°C a predominância é de organismos termófilos, que são responsáveis pela rápida decomposição da matéria orgânica. O composto atinge facilmente a temperatura de 55°C, promovendo a eliminação de organismos patogênicos para humanos e plantas, que por ventura estejam no material. Caso a temperatura ultrapasse a marca dos 60°C é necessário molhar o composto para que ele não aqueça demasiadamente e acabe eliminando os microrganismos responsáveis pela decomposição.

A humificação do composto ocorre na fase da bioestabilização. O tempo de maturação varia de acordo com os parâmetros de: temperatura ambiente, clima, tamanho da composteira, pH, aeração do composto, umidade, granulometria da matéria orgânica e uma relação C/N equilibrada.

CONFECÇÃO DA COMPOSTEIRA

Foram utilizados três baldes plásticos de margarina, de dezoito litros, empilhados uns sobre os outros, com o objetivo de baratear os custos e ocupar o menor espaço possível.

PASSO A PASSO DA MONTAGEM

A composteira doméstica foi confeccionada com três baldes reutilizados (Figura 2) os quais ficam empilhados de forma que todo o efluente resultante do processo seja drenado para o último balde (número “3” na Figura 02), o qual é chamado de “caixa coletora”.

Os baldes superiores são chamados “caixas digestoras” (números “1” e “2” na Figura 02), que é onde toda a biomassa será transformada em composto através da digestão dos microrganismos.

Figura 02 – Composteira doméstica de baldes



Fonte: o autor (2022)

Fez-se 15 furos espaçados de 5mm de diâmetro no fundo dos baldes 1 e 2. Estes furos tem a função de drenar o biofertilizante dos baldes superiores (Figura 03). Fez-se, também, furos laterais com 2mm de diâmetro nomeados de “janelas de ventilação”, que permitem a entrada do oxigênio e ao mesmo tempo impede a entrada de moscas e outros insetos indesejados (Figura 04).

Figura 03 – Furos de drenagem



Fonte: o autor (2022)

Figura 04 – Janelas de ventilação



Fonte: o autor (2022)

Para que os baldes pudessem permanecer empilhados uns sobre os outros, foi necessário cortar o centro das tampas dos baldes 2 e 3, restando aproximadamente 4cm de borda, que serve de apoio ao balde acima (Figura 05).

Figura 05 – Tampa cortada para apoio dos baldes



Fonte: o autor (2022)

Esse sistema de compostagem é dimensionado para atender famílias de três a quatro pessoas, podendo variar o tamanho ou quantidade de módulos de acordo com a necessidade.

Começou-se a alimentação da composteira com os resíduos na caixa digestora mais acima, de forma que em aproximadamente 30 dias ela esteja cheia. Depois disso foi necessário trocá-la de posição com a caixa digestora 2, para que o composto nela contido termine o seu processo enquanto terá novamente uma caixa vazia no topo da composteira para receber novos resíduos por mais um mês. Enquanto a caixa superior recebeu mais 30 dias de resíduos a caixa digestora que está no meio da

composteira terminou seu processo, fornecendo composto pronto que foi retirado, utilizado e também armazenado para que a caixa ficasse vazia novamente e volte para o topo do sistema.

Enquanto esse processo aconteceu, houve formação de efluente na caixa coletora, o qual à medida que for se formando, já estará pronto para uso na agricultura.

Colocou-se entre os baldes 2 e 3 uma tela de nylon, pois é importante que nenhuma (ou quase nenhuma) matéria orgânica sólida entre em contato com o efluente coletado. O biofertilizante coletado assim como o composto orgânico poderá ser armazenado à sombra.

A composteira de baldes foi colocada em local arejado (não devemos desperdiçar locais ensolarados com a compostagem, que dispensa a luz solar; as plantas sim precisam dela para fazer a fotossíntese e se desenvolverem) e posicionada sobre uma cadeira plástica para que ficasse elevada, assim facilitando o manejo.

Depois que o sistema estiver funcionando em equilíbrio, pretende-se obter, em média, em uma residência, cerca de 10 litros de composto orgânico e 10 litros de biofertilizante, a cada 30 dias.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com a possibilidade de mudança do comportamento humano, cabe promover e incentivar hábitos que consigam conciliar o desenvolvimento sustentável com o equilíbrio ambiental, como conscientizar-se a respeito da geração pessoal de resíduos e sua destinação adequada. Nesse contexto, um dos fatores principais para iniciar esse processo é a separação adequada dos resíduos orgânicos dos demais resíduos secos, pois quando é feita diretamente na fonte geradora a sua reciclagem através da compostagem é bastante facilitada.

A técnica utilizada para a reciclagem desse material orgânico foi satisfatória, pois o composto obtido apresentou características esperadas (Figura 06) como: cheiro agradável, coloração escura (com aparência de terra preta), e o resíduo totalmente decomposto e solúvel, pronto para ser usado na adubação orgânica de culturas diversas. O biofertilizante gerado (Figura 07) também apresentou características desejadas como cheiro agradável, cor escura, pH neutro e eletro condutividade satisfatória.

Figura 06 – Composto pronto para utilização



Fonte: o autor (2022)

Figura 07 – Biofertilizante pronto para utilização



Fonte: o autor (2022)

Analizando este processo, percebe-se que pode ser facilmente aplicado a baixo custo em residências e apartamentos (que geralmente dispõem de pouca área), e também aos diversos grupos de nossa sociedade, democratizando o conhecimento e implantando-o na sociedade a partir de pequenas mudanças de hábitos com relação ao descarte de resíduos, em busca da melhoria da qualidade de vida.

Dito isto, considera-se que o objetivo principal desse estudo foi atingido, e que a implantação de composteiras domésticas de baixo custo é uma proposta promissora a todos, agregando valores e potencializando a prática da educação ambiental de forma mais abrangente.

CONCLUSÃO

A compostagem doméstica demonstra ser eficaz e eficiente para a reciclagem dos resíduos orgânicos. Torna-se solução a baixo custo, e num período de 90 a 120 dias origina um composto com características físicas, químicas e biológicas adequadas para uso como substrato em plantas e condicionador de solo. Quando bem conduzida, não produz geração de mau cheiro ou atração de insetos, tornando-a uma grande alternativa para a reciclagem do lixo orgânico em residências, escolas, empresas, prefeituras e condomínios.

Quando fala-se em reciclagem, imediatamente vem ao pensamento a segregação dos materiais “secos”, porém não faz sentido privilegiar estes materiais em detrimento da fração orgânica, que pelo que já foi estudado, representa pelo menos 50% de todo resíduo gerado em domicílios.

Aterrar resíduos orgânicos atualmente é um mal necessário, esta disposição, mesmo ao atender todas as técnicas sanitárias, ocasiona em um grande desperdício de ricos recursos naturais. O chorume tóxico, grande poluidor de solos e cursos d'água está presente no resíduo sólido orgânico, quando está misturado com o inorgânico. Já o produto gerado no processo de compostagem vem na contramão desta ideia, recebendo outra denominação: biofertilizante, pois não apresenta toxicidade e é transformado em alimento para plantas.

O que antes era lixo poluente transforma-se em composto orgânico da melhor qualidade com líquidos biológicos riquíssimos em nutrientes, que alimentarão nossas culturas, nos fornecendo de volta alimentos como hortaliças, legumes e frutas, formando assim um ciclo.

A natureza cíclica dos processos ecológicos é um importante princípio da ecologia. Os laços de realimentação dos ecossistemas são as vias ao longo das quais os nutrientes são continuamente reciclados. Sendo sistemas abertos, todos os organismos de um ecossistema produzem resíduos, mas o que é resíduo para uma espécie é alimento para outra, de modo que o ecossistema como um todo permanece livre de resíduos (CAPRA, 2004).

A reciclagem dos resíduos orgânicos vem pra tirar os cidadãos da chamada “zona de conforto”, ativar a consciência ambiental, e necessita de um ambiente no qual o mesmo consiga agir e participar, entendendo que a redução dos impactos ambientais da vida urbana, encontra na compostagem doméstica um caminho sustentável, passando mais pela mudança de atitude, do que por desenvolvimento de novas tecnologias.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- NÓBREGA, Rafaela Simão Abrahão *et al.* Utilização de biossólido no crescimento inicial de mudas de aroeira (*Schinus terebynthifolius* Raddi). *Revista Árvore*, v. 31, p. 239-246, 2007.
- REIS, Mariza Fernanda Power *et al.* A produção de composto orgânico em uma unidade de triagem e compostagem. *Revista Brasileira de Agroecologia*, Rio Grande do Sul, v. 1, n. 1, p. 1, 2006.
- KIEHL, J.E. Fertilizantes orgânicos. Piracicaba: Agronômica Ceres, 1985.
- LAVOISIER, Antoine Laurent. Mémoire sur la nature du principe qui se combine avec les métaux pendant leur calcination, & qui en augmente le poids. 1775.
- PEREIRA NETO, João Tinôco. Manual de compostagem: processo de baixo custo. Belo Horizonte: UNICEF, p. 56, 1996.
- ZUCCONI, Franco; BERTOLDI, M. de. Organic waste stabilization throughout composting and its compatibility with agricultural uses. 1987.
- ZUCCONI, Franco; BERTOLDI, M. de. Specifications for solid waste compost. BioCycle (USA), 1987.
- ZUCCONI F & BERTOLDI M. Composts specifications for the production and characterization of composts from municipal solid waste. In *Compost: production, quality and use*, M de Bertoldi, M.P. 37 Ferranti, P.L'Hermite, F.Zucconi eds. Elsevier Applied Science, London, p. 30-50, 1987.
- MERKEL, A.J. (1981). Managing livestock wastes. Ed. Avi Publishing Company, Westport. 419 p.
- KIEHL, Edmar José. Manual de compostagem: maturação e qualidade do composto. 1998.
- PEIXOTO, R. T. dos. G. Compostagem: Opção para o manejo orgânico do solo. Londrina: IAPAR, 1988, 46 p
- OLIVEIRA, F.C.; MATIAZZO, M.E.; MARCIANO, C.R. & ROSSETO, R. Efeitos de aplicações sucessivas de lodo de esgoto em Latossolo Amarelo distrófico cultivado com cana-de-açúcar: carbono orgânico, condutividade elétrica, pH e CTC. *R. Bras. Ci. Solo*, 26:505-519, 2002.
- Nascimento, Adelina M. do *et. al.* Química e Meio Ambiente: reciclagem de lixo e química verde, papel, vidro, pet, metal, orgânico. Secretaria de Educação: Curso Formação Continuada Ciências Da Natureza, Matemática E Suas Tecnologias, 2005
- CAPRA, F. A Teia da Vida. São Paulo: Pensamento, 2004.

Capítulo 10



10.37423/260310842

BIODIGESTORES ANAERÓBIOS PARA TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS E INTENSIFICAÇÃO DA RENDA DE PEQUENOS PRODUTORES SUÍNOS NO ESTADO DO MARANHÃO

Alana Gandra Lima de Moura

Universidade Federal do Maranhão

Thyago Diogo Rocha Moraes

Universidade Estadual do Maranhão

Railda Silva Gomes

Universidade Federal do Maranhão

Hilton Costa Louzeiro

Universidade Federal do Maranhão

Geyse Adriana Correa Ribeiro

Universidade Federal do Maranhão

Priscila Bernardes Silva

Universidade Federal do Maranhão

João Paulo Tenório da Silva Santos

Universidade Federal do Maranhão

Mikele Candida Sousa de Santanna

Universidade Federal do Maranhão

Renan Cavalcante Martins

Universidade Federal do Maranhão

Fernanda Hellen de Souza Santos

Universidade Federal do Maranhão

RESUMO

A suinocultura se destaca como uma das principais atividades geradoras de renda no meio rural. O Brasil figura entre os maiores produtores e exportadores de carne suína do mundo, atrás apenas de China, União Europeia e EUA. A produção intensiva de suínos atrelada à constante busca pelo aumento da produtividade condiciona o aumento da geração de dejetos, que contribuem de maneira significativa para a poluição ambiental do solo e da água, além da emissão de Gases de Efeito Estufa. Portanto, torna-se essencial a introdução de tecnologias que visem integrar o potencial produtivo da suinocultura ao uso sustentável dos recursos naturais disponíveis. No Nordeste, o Maranhão atualmente é o segundo maior produtor de suínos com aproximadamente 536 mil cabeças. Cerca de 78,42% desta produção está inserida no sistema de criação de subsistência, aumentando os riscos com a sanidade, tendo em vista que a maioria das produções não possuem manejo adequado dos resíduos. O mercado de créditos de carbono criou uma commodity baseada em níveis de emissão de carbono e estabeleceu um novo paradigma de transações de carbono em nome do desenvolvimento sustentável. A instalação de Biodigestores para o tratamento dos dejetos animais antes do seu lançamento no ambiente elucida a oportunidade de concomitante adequação ambiental e geração adicional de energia/renda em propriedades rurais no Maranhão. Desta forma, esta revisão bibliográfica visa elucidar o potencial de intensificação na renda de produtores rurais no estado do Maranhão, através da geração de biocombustível, biofertilizantes e créditos de carbono, a partir da implementação de biodigestores anaeróbios.

Palavras-chave: biodigestor anaeróbio; águas residuárias; suinocultura.

1 INTRODUÇÃO

A suinocultura é um dos setores de produção animal que mais cresceu no Brasil nas últimas décadas (GIRIOTTO & MIELE, 2004), sendo considerado o 4º maior produtor mundial de carne suína com aproximadamente 41,3 milhões de cabeças (ABPA, 2017, USDA, 2024). Somado à produção de carne, também são produzidas grandes quantidades de resíduos sólidos e líquidos, provenientes de esterco, urina, bebedouro, raspagem e limpeza de baias, gaiolas e outras instalações da granja suína (DE LUCA; HUSSAR, 2017). A criação de suínos é uma atividade que demanda elevada disponibilidade de água, sendo um motivo de preocupação pela atual necessidade crescente de economia e uso racional da água nas cadeias produtivas (ITO et al., 2016). Estima-se que o consumo diário de um suíno em um sistema de produção convencional de ciclo completo seja 72,9 L/animal/dia (FATMA, 2014). A água tem relação direta com a quantidade de dejetos gerada durante a produção. Em média um suíno adulto produz 0,27m³ dejetos/mês. Matrizes em período de lactação podem gerar 18kg/dia e produzir 27 litros de dejetos líquidos/dia (KONZEN, 1980 apud FERNANDES, 2012).

Desta forma, torna-se imprescindível a adoção de tecnologias sustentáveis que mitiguem os impactos causados na destinação final de dejetos sólidos e líquidos da atividade suína. A implementação de biodigestores anaeróbios é uma alternativa viável e promissora para o tratamento adequado dos dejetos animais na produção animal e geração de energia renovável (ALBUQUERQUE, 2022). É uma tecnologia de fácil implementação, em que os resíduos são submetidos a um processo de decomposição em ambiente com ausência de oxigênio (anaerobiose), gerando um produto final composto principalmente de metano (CH₄) e dióxido de carbono (CO₂), transformando a matéria orgânica gerada pelos animais em energia alternativa como o gás natural (biogás) e biofertilizantes.

Além disso, a adoção de um sistema de biodigestão anaeróbia reduz a emissão de metano na atmosfera, que é considerado um gás extremamente poluente, sendo responsável por cerca de 20% do aquecimento global no planeta (CENBIO, 2008). Outro aspecto que contribui com o aumento do interesse de adesão da tecnologia é a possibilidade de gerar receita através da venda de crédito de carbono proveniente do não lançamento de gases de efeito estufa na atmosfera (MONTEIRO et al., 2015). Portanto, o uso de biodigestores em propriedades rurais e consequente aproveitamento energético aliado a venda de créditos de carbono pode acrescer na renda de produtores rurais, promovendo maior sustentabilidade na produção animal e no equilíbrio ambiental.

2 CENÁRIO DA SUINOCULTURA NO MARANHÃO E IMPACTOS SOCIOAMBIENTAIS DOS RESÍDUOS

O Maranhão atualmente é o segundo maior produtor de suínos (536 mil cabeças) e ~78% desta produção está inserida no sistema de criação de subsistência. Sendo que a grande maioria das propriedades não apresentam nenhum tipo de tratamento dos resíduos da suinocultura antes de lançá-los no ambiente, e nenhuma motivação para mudar este cenário em um futuro próximo (ABCS, 2016). A produção de suínos gera grandes volumes de potencial poluidor, esses compostos podem causar vários danos ao meio ambiente como contaminação dos recursos hídricos, eutrofização e nitrificação do solo, diminuindo o potencial produtivo das áreas, e contribuindo para a emissão de gases de efeito estufa. Os dejetos geralmente são compostos de urina, fezes, resíduos de ração, cerdas, poeira e material particulado, água dos bebedouros, limpeza e chuva.

Normalmente, apresenta coloração escura, consistência pastosa, líquida ou sólida, e ficam concentrados em pequenas áreas, gerando grandes volumes de águas residuárias de grande potencial poluidor, se tratando de efluentes ricos em Sólidos Suspensos e Dissolvidos, Metais Pesados, Sais, Agentes Patogênicos, Matéria Orgânica, Nitrogênio (NH_3), Fósforo (P), Zinco (Zn) e Cobre (Cu). Um suíno produz em média 2,35 kg de efluente sólido por dia, e quando se considera o sólido associado ao líquido, esse número se eleva a 5,80 kg, fazendo com que sistemas intensivos de produção com alta densidade de animais torne-se uma atividade extremamente poluidora (BELI et al., 2010). Os dejetos são cerca de 260 vezes mais poluentes se comparados ao potencial poluente de esgotos domésticos (MARTINKOSKI et al., 2017).

Apesar do potencial poluidor dessa água residuária, ela contém macro e micronutrientes como nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, ferro, zinco, cobre e outros, que são essenciais e benéficos para o desenvolvimento dos vegetais. Esta característica viabiliza o uso dos dejetos na agricultura, após seu tratamento e estabilização, para reduzir o uso de adubos sintéticos (BOLZANI et al., 2012; EFFGEN, 2014). Além disso, os resíduos oriundos da suinocultura possuem um grande potencial de energia renovável, reduzindo a emissão de resíduos no ambiente, e aumentando a fonte de energias renováveis de baixo custo, tornando-se um tema de interesse em pesquisas recentes (WINCKLER et al., 2017).

Dessa forma, o grande desafio da suinocultura consiste na definição de um sistema produtivo que seja capaz de harmonizar a continuidade das atividades com o uso racional dos recursos naturais e a preservação da qualidade ambiental nas regiões de maior vulnerabilidade (OLIVEIRA, 2004).

3 BIODIGESTOR ANAERÓBIO: PRODUÇÃO DE BIOGÁS E VENDA DE CRÉDITOS DE CARBONO

As fontes de energia renováveis tem sido cada vez mais buscadas, em prol do aumento do uso de energias sustentáveis. Estas são capazes de gerar resultados positivo sem propriedades rurais, como o desenvolvimento de uma melhor gestão dos recursos naturais e financeiros, e redução de problemas ambientais e riscos à saúde humana (BARBOSA & LANGER, 2011). O biodigestor de resíduos suínos possui grande potencial de geração de energia renovável, visto que pode agrupar vários segmentos da pecuária sem interferir na produção, como a utilização de biomassa, que pode ser uma fonte de energia renovável capaz de mitigar o uso de energias não renováveis (BORGES et al., 2016).

O uso de biodigestores para tratamento dos dejetos é uma das maneiras de destinar corretamente os resíduos da suinocultura. Estes processam a matéria orgânica, a transformando em biogás, ao serem alimentados pelos dejetos (MILELBRATZ & DOLZAN 2016). Portanto a biodigestão anaeróbia é o processo de decomposição da matéria orgânica residual, submetida a um ambiente de anaerobiose (ausência de oxigênio), gerando um composto constituído principalmente de metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2), também conhecido como BIOGÁS, e um resíduo líquido organicamente estabilizado rico em minerais e nutrientes benéficos para o desenvolvimento das culturas agrícolas, podendo ser utilizado como biofertilizantes (SANTOS, 2016).

Desta forma, os biodigestores anaeróbios são um recurso que pode oferecer aos criadores de suínos a redução da poluição ambiental, bem como o abatimento de custos, visto que os dejetos são convertidos em biogás, que pode substituir outros tipos de combustíveis fósseis. Ademais, os biodigestores utilizados no tratamento de resíduos da suinocultura tem grande potencial para gerar créditos de carbono e renda para o pequeno produtor, pois possuem baixo custo de instalação, e diminui as altas concentrações de metano que são expostas na atmosfera. Projetos que envolvam a instalação de biodigestores em granjas suínas são de suma importância, pois contemplam os aspectos ambientais e econômicos do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) e são viáveis para as condições climáticas do Brasil, além de garantir um sistema de produção mais sustentável, e uma boa rentabilidade para os produtores (BERNSTORFF, 2009).

Dentre os projetos que visem gerar créditos de carbono no Brasil, a suinocultura encontra-se num percentual de 21% do total dos projetos desenvolvidos, e a sua inovação está na possibilidade de tratamento dos resíduos gerados na atividade de produção (MONTEIRO et al., 2015). Sendo assim, o

uso de biodigestores pode gerar renda adicional para pequenos produtores rurais, com a negociação dos créditos de carbono.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABPA. Relatório Anual 2017. 2017. Disponível em: <https://abpa-br.org/abpa-relatorio-anual/>. Acesso em 07 jan. 2024.
- Albuquerque, M. G., Sousa, S. S. O. D., Arruda, V. C. M. D., El-Deir, S. G Impactos socioambientais dos dejetos da pecuária no âmbito rural: uma revisão de literatura. Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales. Investigación, desarrollo y práctica, v. 15, n. 1, p. 517-529, 2022.
- Bernstorff, C. Créditos de carbono e mecanismo de desenvolvimento limpo - MDL: captura de metano no tratamento de dejetos suínos. Pós-Graduação em Engenharia do Meio Ambiental, Faculdade de Engenharia. Mestrado Profissionalizante em Engenharia Ambiental. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. 2009
- BSG. Saiba como fazer o cálculo da produção de biogás. BSG Equipamentos para Biogás. Area de Testes, 2018. Disponível em: <https://www.bgsequipamentos.com.br/calculo-da-producao-debiogas/#:~:text=Exemplo%20de%20c%C3%A1lculo%20da%20produ%C3%A7%C3%A3o%20de%20biog%C3%A1s&text=Eletricidade%20E2%80%93%20200%20x%200%20C08,480%20kWh%20de%20energia%20el%C3%A9trica>. Acesso em: 12 de dez de 2023.
- CENBIO. Nota Técnica VIII: Biogás e o mercado de crédito de carbono. São Paulo, 2008. Disponível em: http://cenbio.iee.usp.br/download/documentos/notatecnica_viii. Pdf. Acesso em: 10 de jan. de 2024.
- Coldebella, A.; Souza, S. N. M.; Souza, J. Viabilidade da cogeração de energia elétrica com biogás da bonivocultura de leite. Proceedings of the 6. Encontro de Energia no Meio Rural, 2006.
- Ito, M., Guimarães, D. D., Amaral, G. F. Impactos ambientais da suinocultura: desafios e oportunidades. BNDES Setorial, n. 44 , p. 125-156, set. 2016.
- Lopes, C. R. M; Filho, N. R.A; Alves, M. I. R. A. Impactos ambientais e sociais causados por voláteis emanados por excretos de suínos. Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer, v. 9, n. 17, p. 3556-3565, 2013.
- Monteiro, M. K. D., Vieira, A. S., Aragão, J. M. C., & de Freitas Soares, J. Proposta de um modelo matemático para mensuração dos créditos de carbono da suinocultura brasileira. Revista de Gestão Social e Ambiental, v. 9, n. 1, p. 82, 2015.
- Motteran, F.; Braga, J. K.; Sakamoto, I. K.; Varesche, M. B. A. Methanogenic potential of an anaerobic sludge in the presence of anionic and nonionic surfactants. International Biodeterioration and Biodegradation, 96, 198-204, 2014.
- Oliver, A. D. P. M., Neto, A. A., Quadros, D. D., Valladares, R. E. Manual de treinamento em biodigestão. Instituto de Estudos Del Hambre. Bahia, v. 23, p. 93, 2008.
- Rosa J. C. S., Sánchez L. E. Aspectos metodológicos da avaliação de impactos ambientais por meio de serviços ecossistêmicos. Anais Eletrônicos do Congresso Brasileiro de Avaliação de Impactos. 2012. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/002323794>. Acesso em: 20 de jan de 2024.

USDA. United States Department of Agriculture Foreign Agricultural Service. Livestock and poultry: World markets and trade. United States Department of Agriculture. 2024. Disponível em: https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/livestock_poultry.pdf . Acesso em: 08 jan. 2024.

Capítulo 11



10.37423/260310845

ESTOQUE DE CARBONO ORGÂNICO DO SOLO COMO INDICADOR DE SERVIÇOS AMBIENTAIS: BIOMA MATA ATLÂNTICA DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO

Camila Peixoto de Oliveira

Programa de Engenharia Ambiental da UFRJ

Weslei Peter de Oliveira

ProPEd - UERJ

José Luiz de Medeiros

*Escola de Química, Universidade Federal do
Rio de Janeiro*

Ofélia de Queiroz Fernandes Araújo

*Escola de Química, Universidade Federal do
Rio de Janeiro*



RESUMO

O trabalho apresenta resultados de pesquisa em estoque de carbono orgânico do solo (COS) como possível apoio a políticas públicas. O COS é aplicado como indicador de serviço ambiental (AS) de Sequestro de Carbono e Clima (SCC) no Bioma Mata Atlântica do Estado do Rio de Janeiro (BMARJ). Com recorte inicialmente para os municípios de Petrópolis, Magé e Paty de Alferes, selecionados por proximidade, o estudo compara os municípios visando, em etapa futura, identificar políticas públicas que tenham promovido diferenças ou que possam ser adotadas para recuperar AS e SCC do BMARJ. O método de análise baseia-se em PARRON et al (2015) e VASQUES et al. (2017), com adaptações metodológicas baseadas em revisão da literatura. A análise utiliza na construção da base de dados o Mapa de Estoque de Carbono Orgânico do Solo (COW) a 0-30 cm do Brasil, construído pela EMBRAPA (VASQUES et al., 2017). Visando identificar correlações entre COS, AS e SCC, o trabalho desenvolve novos mapas para densidade demográfica, cobertura vegetal e uso do solo nos três municípios investigados.

Palavras-chave: estoque de carbono orgânico do solo; serviço ambiental; sequestro de carbono e clima; políticas públicas.

1 INTRODUÇÃO

As atividades antrópicas afetam os serviços ecossistêmicos tornando necessária a avaliação e a monitoração para a proposição de medidas de políticas públicas para mitigação de seus impactos principalmente via práticas de manejo e conservação. As alterações na utilização e cobertura da terra afetam diversos componentes ambientais, impactando diretamente sua capacidade de prover bens e serviços para a sociedade. Citam-se sete impactos relevantes para políticas públicas:

(1) Biodiversidade - a conversão de habitats naturais em áreas agrícolas, urbanizadas ou industriais muitas vezes resulta na perda de habitats, dificultando a oferta de serviços pelos ecossistemas, como polinização, controle de pragas e manutenção da diversidade genética;

(2) Qualidade da Água - A mudança no uso da terra (e.g., desmatamento e agricultura) pode levar à erosão do solo e ao aumento do escoamento superficial, que pode aumentar a quantidade de sedimentos e nutrientes nos cursos de água, prejudicando a qualidade da água e afetando os serviços de provisão (como água potável) e de regulação (como a filtragem de água).

(3) Qualidade do Solo - O uso intensivo da terra para agricultura pode esgotar os nutrientes do solo, reduzir a matéria orgânica e afetar a estrutura do solo. Um solo degradado limita a capacidade do ecossistema de produzir cultivos, o que afeta diretamente o serviço de provisão de alimentos.

(4) Processos do Ecossistema - Os serviços regulatórios, como a regulação climática e o ciclo de nutrientes, dependem de processos ecossistêmicos saudáveis. A mudança no uso da terra pode alterar esses processos, afetando o sequestro de carbono, a regulação do clima local e a reciclagem de nutrientes.

(5) Sequestro de Carbono e Clima - Florestas e outros ecossistemas naturais são importantes estoques de carbono. Quando essas áreas são desmatadas ou degradadas, o carbono armazenado é liberado para a atmosfera, contribuindo para o aquecimento global e alterando os padrões climáticos.

(6) Serviços Culturais - A perda ou alteração de paisagens naturais pode afetar serviços culturais como recreação, turismo, educação e a própria identidade cultural de comunidades que dependem de ecossistemas tradicionais.

(7) Resiliência do Ecossistema - Um ecossistema diversificado e intacto é mais resiliente a distúrbios e mudanças, como condições climáticas extremas. As mudanças no uso da terra podem reduzir essa resiliência, aumentando a vulnerabilidade a desastres naturais e alterações climáticas.

Essas mudanças influenciam a habilidade dos ecossistemas de prover recursos e serviços essenciais. PARRON et al. (2015) destacam as consequências das mudanças no uso e cobertura do solo no fluxo dos SAs, refletindo em custos associados ao controle de enchentes, ao fornecimento de água potável e ao controle da erosão do solo. Compreender essas transformações é fundamental para identificar padrões de atividade humana e a capacidade dos ecossistemas de entregar serviços ambientais (SAs) (PARRON et al., 2015).

Com essa finalidade, a seleção de indicadores é fundamental para estimar o valor dos serviços ambientais (SA). Os indicadores precisam refletir as dimensões ecológica, social e econômica, e não necessariamente precisam ser monetários, mas podem ser baseados em unidades biofísicas e análises qualitativas. A pesquisa visa organizar informações sobre as consequências do uso da terra em três municípios do Bioma Mata Atlântica do Estado do Rio de Janeiro (BMARJ), a saber: Petrópolis, Magé e Paty de Alferes. Especificamente, analisa-se o estoque de carbono orgânico do solo tendo como objetivo disponibilizar informações que orientem futuras políticas públicas de controle do estoque de carbono orgânico no solo (COS) como indicador do serviço ambiental (AS) Sequestro de Carbono e Clima (SCC) no BMARJ com recorte para os municípios selecionados. O presente estudo levanta indicadores de estoque de carbono e analisa fatores que tenham potencialmente interferido nestes indicadores, e que deveriam ser manipulados por políticas públicas para otimizar os SAs do BMARJ. Especificamente, os fatores investigados são o uso e cobertura do solo, e a densidade demográfica.

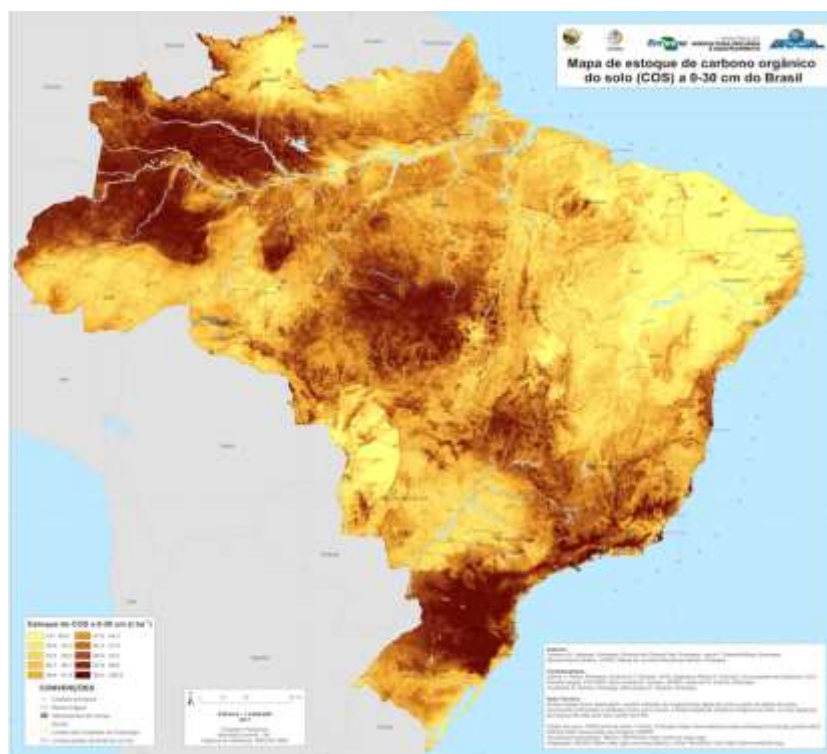
2 MÉTODOS

A análise dos Serviços Ambientais da região definida pelos municípios do BMARJ (SA-BMARJ) Petrópolis, Magé e Paty de Alferes prioriza os seguintes SAs: Qualidade do Solo, Sequestro de Carbono e Clima, Serviços Culturais, e Resiliência do Ecossistema. A pesquisa é conduzida com as seguintes etapas metodológicas:

- (a) Caracterização dos Serviços Ambientais SA “Sequestro de Carbono e Clima” (SCC/SA-BMARJ) e COS como indicador SCC/SA-BMARJ;

- (b) Recorte do Mapa de Estoque de Carbono Orgânico do Solo (COW) a 0-30 cm do Brasil, construído pela EMBRAPA (VASQUES et al., 2017) para a microrregião avaliada. O COW é usado como indicador de SCC;
- (c) Construção do Mapa de Densidade Demográfica, utilizado como indicador de fator antrópico de impacto no COS;
- (d) Construção do Mapa de Cobertura Vegetal, utilizado como indicador de fator misto (antrópico e natural) de impacto no COS;
- (e) Construção de Mapa de Uso e Manejo da Terra, utilizado como indicador de fator antrópico de impacto no COS;
- (f) Análise da relação entre o uso e manejo do solo e o SCC/SA-BMARJ;
- (g) Análise do impacto do uso e manejo da terra no COS; COS como indicador da qualidade do solo; e
- (h) Análise de emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) do solo.

Figura 1: Mapa de Estoque de Carbono Orgânico no Solo em Território Nacional. Fonte: VASQUES et al. (2017).



Destaca-se que a metodologia baseia-se em PARRON et al (2015) e VASQUES et al. (2017), com ampliação de indicadores e elaboração de seus respectivos mapas, a saber: densidade demográfica, cobertura vegetal e uso do solo. A originalidade do estudo está na confrontação dos dados do mapa de VASQUES et al. (2017) (Figura 1) com indicadores de fatores antrópicos e mistos (antrópicos e naturais) para identificar correlações causais.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O estudo associa os dados de densidade demográfica, uso e cobertura do solo, e estoques de carbono orgânico no solo, exibidos em mapas recortados para as regiões avaliadas, com os serviços ambientais (e.g., qualidade do solo e da água). É relevante na análise a declaração de Santos e colaboradores (2012, p. 2): “as diferenciações no uso e cobertura do solo associadas à dinâmica climática local geram implicações socioambientais em ambientes urbanos, onde os elementos naturais foram transformados (...). A formação de ilhas de calor, inversão térmica, poluição atmosférica, dentre outros processos ocasionados pela ação antrópica em função de transformações ocorridas no balanço de energia das cidades, tem comprometido cada vez mais a qualidade de vida das populações que residem nesses ambientes”. Por exemplo, a redução da qualidade da água é afetada por diversas atividades de uso e ocupação antrópicas que alteram os processos biológicos, físicos e químicos dos sistemas naturais (Oliveira-Filho et al., 2012). O impacto da urbanização na qualidade da água é diagnosticado por Deschamps e colaboradores (2014, p. 136): “Os resultados obtidos no estudo dos parâmetros físicos, químicos e microbiológicos e a sua relação com o uso e ocupação do solo reafirmaram que este último foi determinante na qualidade da água da bacia hidrográfica do rio Duas Mamas. Áreas com mata nativa produzem concentrações de fósforo total, nitrogênio amoniacal e coliformes termotolerantes superiores aos padrões ambientais estabelecidos pela legislação. Outros parâmetros também apresentaram valores elevados, mas em conformidade com a legislação. O uso antrópico, seja agrícola ou urbano, interferiu, mesmo que de maneira branda, na qualidade de água. A urbanização, apesar de pequena, comprometeu a qualidade da água, pois foi a seção fluviométrica cujos resultados mais superaram os valores estabelecidos na legislação). Essas mudanças influenciam a habilidade dos ecossistemas de prover recursos e serviços essenciais. Compreender essas transformações é fundamental para estudar os padrões de atividade humana e a capacidade dos ecossistemas de entregar serviços ambientais (PARRON et al., 2015).

Martins et al. (2017) e Stoddard et al. (2006) apontam que áreas que foram impactadas de forma mínima manifestam valores de parâmetros físicos e químicos característicos de água com boa qualidade, inseridos em padrões que permitem a manutenção do equilíbrio das comunidades aquáticas, adequadas ao consumo humano após tratamento simples. Para Gaston et al. (2002), com expectativa de resguardar áreas com características de estabilidade, as unidades de conservação ambiental são uma estratégia globalmente utilizada.

A Figura 2 apresenta os mapas de Estoque de Carbono do Solo, Cobertura do Solo e Densidade Demográfica para os municípios de Petrópolis, Magé e Paty dos Alferes. A Figura 3 é auxiliar da Figura 2, definindo a localização geográfica dos municípios analisados e as escalas dos indicadores Estoque de Carbono no Solo e Densidade Demográfica, o código de cobertura e uso da terra. Os mapas e indicadores levantados possibilitam uma análise quantitativa do Serviço Ambiental “Sequestro de Carbono e Clima” e inferência qualitativa dos demais serviços ambientais elencados na Tabela 2. Na análise, o desempenho dos serviços ambientais tem natureza qualitativa, classificando-os em três níveis: ALTO, MÉDIO e BAIXO.

Figura 2 – Mapas de Estoque de Carbono do Solo, Cobertura do Solo e Densidade Demográfica para os municípios de Petrópolis, Magé e Paty dos Alferes.

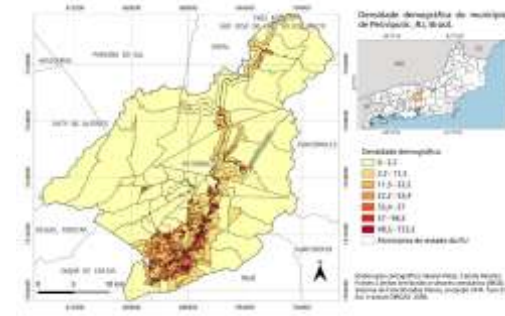
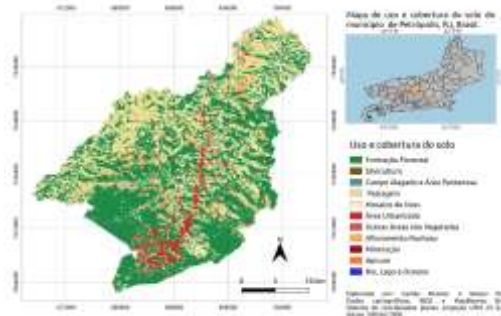
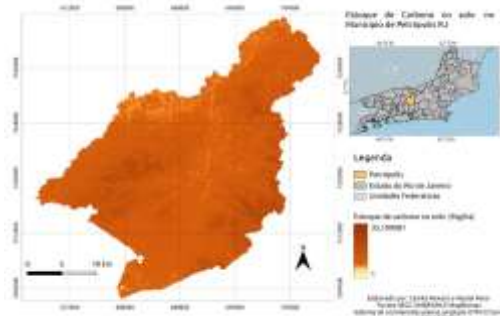
Município

Estoque de Carbono do Solo

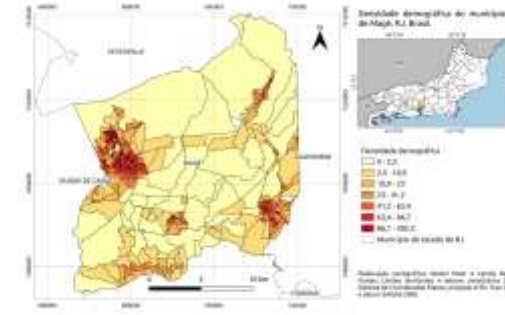
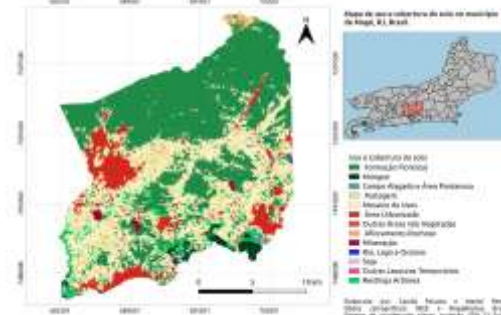
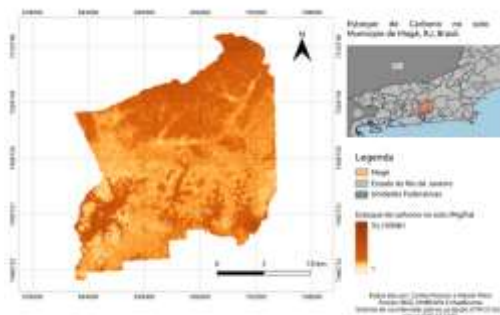
Uso e Cobertura do Solo

Densidade Demográfica

Petrópolis



Magé



Paty dos Alferes

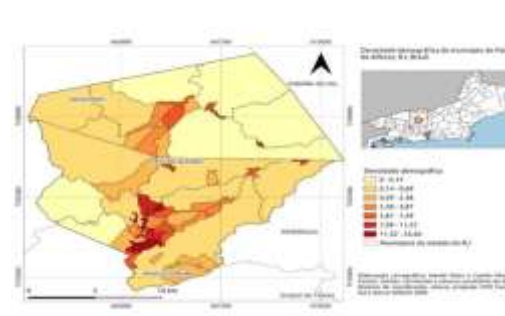
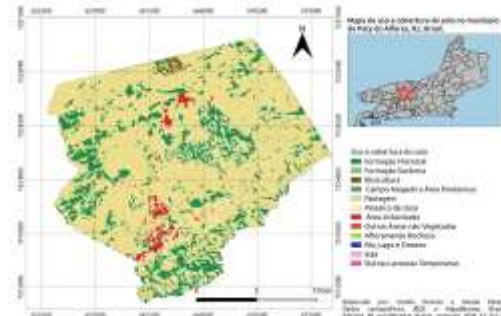
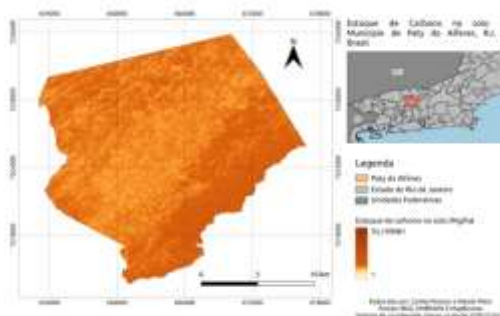


Figura 3 – Dados geográficos dos municípios de Petrópolis, Magé e Paty dos Alferes.

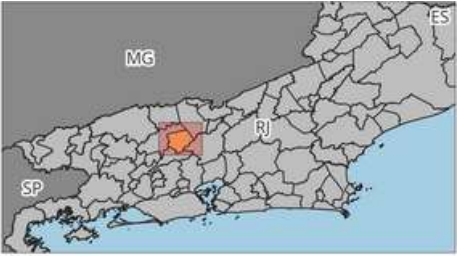
	Localização	Legendas		
Município	Estoque de Carbono no Solo a 0-30 cm (t ha ⁻¹)		Uso e Cobertura de Solo	Densidade Demográfica
Petrópolis			- Formação Florestal - Silvicultura - Campo Alagado e Área Pantanosa - Pastagem - Mosaico de Usos - Área Urbanizada - Outras Áreas não Vegetadas - Afloramento Rochoso - Mineração - Apicim - Rio, Lago e Oceano	Densidade demográfica 0 - 2,2 2,2 - 11,5 11,5 - 22,2 22,2 - 35,4 35,4 - 57 57 - 98,5 98,5 - 733,2
Magé		4.9 - 26.8 26.9 - 32.3 32.4 - 36.0 36.1 - 38.7 38.8 - 41.5 41.6 - 44.2 44.3 - 47.9 48.0 - 52.5 52.6 - 58.9 59.0 - 238.3	- Formação Florestal - Mangue - Campo Alagado e Área Pantanosa - Pastagem - Mosaico de Usos - Área Urbanizada - Outras Áreas não Vegetadas - Afloramento Rochoso - Mineração - Rio, Lago e Oceano - Soja - Outras Lavouras Temporárias - Restinga Arbórea	Densidade demográfica 0 - 2,5 2,5 - 10,9 10,9 - 23 23 - 41,2 41,2 - 63,4 63,4 - 86,7 86,7 - 305,3
Paty dos Alferes			- Formação Florestal - Formação Savânica - Silvicultura - Campo Alagado e Área Pantanosa - Pastagem - Mosaico de Usos - Área Urbanizada - Outras Áreas não Vegetadas - Afloramento Rochoso - Rio, Lago e Oceano - Soja - Outras Lavouras Temporárias	Densidade demográfica 0 - 0,14 0,14 - 0,69 0,69 - 2,38 2,38 - 3,87 3,87 - 7,49 7,49 - 11,52 11,52 - 33,66

Tabela 1 – Análise do nível de serviço ambiental da região avaliada

Serviço Ambiental	Petrópolis	Magé	Paty de Alferes
1. Biodiversidade	Alto	Médio	Médio
2. Qualidade da água	Alto	Médio	Médio
3. Qualidade do Solo	Alto	Baixo	Médio
4. Processos do Ecossistema	Alto	Baixo	Baixo
5. Sequestro de Carbono e Clima	Alto	Baixo	Médio
6. Serviços Culturais	Alto	Baixo	Médio
7. Resiliência do Ecossistema	Médio	Médio	Baixo

Na atribuição dos níveis de qualidade, foi determinante para os SAs 3, 4, e 6 a cobertura vegetal, com avaliação da densidade demográfica como fator de modificação dos SAs. O serviço 2 foi analisado classificado priorizando o efeito da urbanização. Para o SA5, o estoque de carbono e a cobertura vegetal foram determinantes. Observa-se que Magé apresenta regiões de alta densidade demográfica com redução forte de cobertura vegetal, mostrando o impacto da urbanização.

Em Petrópolis, a redução da cobertura vegetal estende-se em formação longiforme, possivelmente associada à região entre a BR-040 e a estrada União Indústria. O projeto da União indústria começou em 1854, quando o comendador Mariano Procópio Ferreira Lage recebeu a concessão por 50 anos para a construção de custeio de uma rota que, partindo de Petrópolis, se dirigisse à margem do rio Paraíba. Inaugurada em 1861, a rodovia União e Indústria unia os interesses do Império aos da região sul da Zona da Mata Mineira e, particularmente, de Juiz de Fora. A primeira estrada pavimentada (com macadame) do país (Genovez, 1998) claramente exemplifica o impacto da política pública do período imperial, sugerindo que a abertura de novas rodovias e vias vicinais a essas terão impacto negativo nos serviços determinados por densidade urbanização e modificação da cobertura vegetal. Genovez (1998) menciona que as ferrovias promoveram a falência da concessão à estrada União Indústria, podendo ter promovido a proteção de serviços ambientais, quando comparadas a cobertura e a densidade demográfica dos três municípios. Na classificação do SA 7 dos municípios, a cobertura vegetal é determinante dentre os fatores analisados. Contudo, a região de Petrópolis, por seu relevo, é mais suscetível a mudanças climáticas pelos riscos de deslizamentos.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa aborda o Estado do Rio de Janeiro pelos ciclos de transformação do seu bioma da Mata Atlântica. Especificamente, analisa-se o estoque de carbono orgânico do solo. Com decisão pelo

recorte geográfico referente aos municípios de Petrópolis, Paty de Alferes e Magé, pertencentes ao estado do Rio de Janeiro. Como desenvolvimentos futuros, sinalizam-se a inclusão de outros serviços ambientais (e.g., Biodiversidade, Qualidade da água, Qualidade do Solo, Processos do Ecossistema, Serviços Culturais, e Resiliência do Ecossistema) para embasar recomendações de Políticas Públicas. Os resultados da análise apontam serviços ambientais em ordem decrescente de qualidade para Petrópolis, Magé e Paty dos Alferes. A avaliação evidencia que o impacto da urbanização pode ser mitigado por planejamento de vias de escoamento urbano, como mostrado pela estrada União Indústria no município de Petrópolis. Recomenda-se que a políticas de urbanização sejam harmonizadas com planejamento de rede de rodovias, indicando que ferrovias, pela predefinição de estações de parada, tem como traçar a expansão urbana em áreas de proteção de serviços ambientais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Deschamps, F. C.; Heinz, K. G. H.; Pinheiro, A.; Pinheiro, I. G.; Schoen, C.; Schultz, J. Relação Entre o Uso do Solo e a Qualidade da Água em Bacia Hidrográfica Rural no Bioma Mata Atlântica. RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos, volume 19, n. 3, jul./set. 2014, 127-139.

Genovez, PF. 1998. A viagem enquanto forma de poder: a viagem de Pedro II e a inauguração da rodovia União e Indústria, em 1861. Tempo 3(5), 161-180. Disponível em https://www.historia.uff.br/tempo/artigos_livres/artg5-8.pdf

Gaston, KJ, Pressey, RL, Margules CR. 2002. Persistence and vulnerability: Retaining biodiversity in the landscape and in protected areas. Journal of Biosciences 27: 361–384. <http://dx.doi.org/10.1007/BF02704966>

Martins IS, Ligeiro R, Hughes RM, Macedo DR, Callisto M. 2017. Regionalisation is key to establishing reference conditions for neotropical savanna streams. Marine and Freshwater Research 69 (1): 82-84. <http://dx.doi.org/10.1071/MF16381>

OLIVEIRA-FILHO, P. C.; DUTRA, A. M.; CERUTI, F.C. Qualidade das águas superficiais e o uso da terra: estudo de caso pontual em bacia hidrográfica do oeste do Paraná. Revista Floresta e Ambiente, Seropédica, v.19, v.1, jan./mar. 2012.

Parron Junior, L. M., Ruiz Garcia, E. B. de O., Brown, G. G., Prado, R. B. 2015. Serviços Ambientais em Sistemas Agrícolas e Florestais do Bioma Mata Atlântica. EMBRAPA. <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1024082/1/LivroServicosAmbientaisEmbrapa.pdf>

Prado, R. B., Fidalgo, E. C. C., Balieiro, F. de C., Coutinho, H. L. da C., Turetta, A. P. D., Goncalves, A. O., Pedreira, B. da C. C. G., Schuler, A. E., Monteiro, J. M. G., Coelho, M. R., Donagemma, G. K., Martins, A. L. da S., Almeida, E. de P. C., Oliveira, A. P. de. 2015. Serviços ambientais no bioma Mata Atlântica do Estado do Rio de Janeiro: abordagem metodológica e desafios. EMBRAPA. <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1001116>.

Santos, J. S. dos, Silva, V. de P. R. da, Lima, E. R. V., Araújo, L. E. de, & Costa, A. D. L. (2012). Campo Térmico Urbano e a sua Relação com o Uso e Cobertura do Solo em Cidade Tropical Úmida (Thermal Urban Field and its Relation to the Use and Land Cover in a Humid Tropical City). Revista Brasileira De Geografia Física, 5(3), 540–557. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v5i3.232851>

Santos, J. S. dos, Silva, V. de P. R. da, Lima, E. R. V., Araújo, L. E. de, & Costa, A. D. L. (2012). Campo Térmico Urbano e a sua Relação com o Uso e Cobertura do Solo em Cidade Tropical Úmida (Thermal Urban Field and its Relation to the Use and Land Cover in a Humid Tropical City). Revista Brasileira De Geografia Física, 5(3), 540–557. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v5i3.232851>

Stoddard JL, Larsen DP, Hawkins CP, Johnson RK, Norris RH. 2006. Setting expectations for the ecological condition of streams: the concept of reference condition. Ecological Applications 16 (1): 1267-1276

Vasques, G. de M., Dart, R. de O., Baca, J. F. M. Ceddia, M. B., Mendonça Santos, M. de L. EMBRAPA, 2017. Mapa de estoque de carbono orgânico do solo (COS) a 0-30 cm do Brasil. <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1085197>.

Capítulo 12



10.37423/260310846

EFEITOS DA DESCONTINUIDADE DO ABASTECIMENTO DE ÁGUA TRATADA NA SAÚDE PÚBLICA EM MIRASSOL D'OESTE (MATO GROSSO)

Luciana Nascimento da Silva

Pietra Nascimento Cruz

*Mestre em Tecnologia Ambiental e Eng.
Sanitarista pela Universidade Federal de
Mato Grosso (UFMT).
Mestre em Enfermagem e Enfermeira pela
Universidade Federal de Mato Grosso
(UFMT).*



RESUMO

As recorrentes notificações de arboviroses em Mirassol D'Oeste (MT), especialmente fora do período chuvoso, levantaram hipóteses sobre a relação entre falhas no abastecimento de água tratada e a proliferação do *Aedes aegypti*. Este estudo objetivou integrar dados institucionais de saúde, saneamento e clima para analisar o impacto da intermitência no fornecimento de água sobre os indicadores epidemiológicos locais. A metodologia adotada envolveu estudo de caso com abordagem mista (qualitativa e quantitativa), baseada em dados secundários de instituições municipais, registros pluviométricos e estatísticas epidemiológicas (LIRAa, DATASUS). Também foram realizadas entrevistas, visitas técnicas e reuniões interinstitucionais para validação participativa das informações. Os resultados revelaram correlação entre falhas no abastecimento, uso de reservatórios improvisados e aumento de focos vetoriais, especialmente em bairros periféricos. Entre 2013 e 2024, os custos estimados com arboviroses superaram R\$ 2,5 milhões. A média pluviométrica anual reduziu de 1.462 mm (2013-2018) para 1.079 mm (2019-2024), indicando maior vulnerabilidade hídrica. A expansão da captação de água de 4,5 km (1996) para 10 km (2025) reflete a crescente escassez dos recursos hídricos locais. Conclui-se que a descontinuidade no abastecimento de água potencializa riscos à saúde pública e eleva custos sociais. Reforça-se a importância da integração entre saúde, saneamento e gestão climática como estratégia preventiva e de planejamento sustentável regional.

Palavras-chave: Saúde pública; Intermitência distribuição de água; infestação larvária; segurança hídrica.

INTRODUÇÃO

As arboviroses, como Dengue e Chikungunya, representam um desafio global, com impactos significativos na saúde pública e na economia. Os custos associados a essas doenças, tanto diretamente quanto indiretamente, destacam a necessidade de relacionar sua incidência às condições de saneamento básico e climático. No Brasil, dados de 2016 mostram que 2% do orçamento do Ministério da Saúde foi destinado ao enfrentamento das arboviroses, evidenciando a relevância do tema (BRASIL, 2017).

A continuidade do abastecimento de água é fundamental para garantir condições adequadas de saúde pública, especialmente em climas quentes e com alta dependência de fontes hídricas regulares (PAHO, 2023).

A área de estudo localiza-se no estado de Mato Grosso (MT), na Região Oeste do estado, fronteira com a Bolívia, a 296 km da capital, Cuiabá, na Região Intermediária de Cáceres e Imediata de Mirassol d'Oeste (antiga microrregião de Jauru), município de Mirassol d'Oeste, com coordenadas geográficas de Latitude Sul 15°40'3" e Longitude Oeste 58°05'45". Criado em 1976, possui uma população total estimada de 27.511 habitantes em 2024 (IBGE, 2024). Mirassol d'Oeste é o município com a maior população de sua microrregião, que conta com 12 municípios: Araputanga, Figueirópolis d'Oeste, Glória d'Oeste, Indiavaí, Jauru, Lambari d'Oeste, Mirassol d'Oeste, Porto Esperidião, Reserva do Cabaçal, Rio Branco, Salto do Céu e São José dos Quatro Marcos. Sua área total é de 1.085 km², com área urbana de 8,1 km². Segundo a classificação de Wladimir Köppen, pertence ao clima tropical de savana (Aw) (IBGE, 2024).

Os pequenos e próximos municípios da região se reúnem em Consórcios Intermunicipais, como o Consórcio Intermunicipal de Saúde do Oeste de Mato Grosso (CISOMT), criado em 1996 (CISOMT, 2024); o Consórcio Intermunicipal de Desenvolvimento Econômico, Social, Ambiental e Turístico do Complexo Nascentes do Pantanal (CIDESAT), criado em 2007 (CIDESAT, 2024); e o consórcio público mais recente, a Agência Regional de Regulação dos Serviços de Saneamento do Complexo Nascentes do Pantanal (AGERR Pantanal), criada em 2018, com início de suas atividades em 2021, responsável por regular, controlar e fiscalizar os serviços públicos de saneamento básico dos municípios que a integram (AGERR PANTANAL, 2024).

A AGERR Pantanal, em parceria com o CISOMT e o CIDESAT, iniciou um trabalho de articulação entre as instituições da região visando à coleta de dados pulverizados, elaboração de relatórios e análises,

propondo a troca de informações para melhor criação de estratégias e melhoria da saúde pública local (AGERR PANTANAL, 2024; CIDESAT, 2024; CISOMT, 2024).

O município piloto é Mirassol d'Oeste. A responsabilidade municipal pelas atividades de saneamento básico está a cargo da autarquia Serviços de Água e Esgoto de Mirassol (SAEMI); as ações de vigilância sanitária (VIGISAÚDE) estão sob a Secretaria Municipal de Saúde; e os dados de pluviometria foram fornecidos por uma empresa agrícola de etanol e açúcar, localizada na área urbana da cidade. A estação meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizada no município de Salto do Céu, fornece registros muito irregulares (INMET, 2024).

A constatação, pela Secretaria Municipal de Saúde de Mirassol d'Oeste (MT), setor de Vigilância Sanitária, de notificações de arboviroses recorrentes nos mesmos bairros fora do período chuvoso, contrariou a tendência geral dos surtos dessas doenças, dando origem a este estudo. Este trabalho descreve ações de uso de dados isolados em diferentes atores institucionais, tratados como informações, para ampliar a sinergia em saúde pública e gestão dos serviços de saneamento básico, promovendo ações conjuntas para o desenvolvimento sustentável local (BRASIL, 2017; PAHO, 2023; AGERR PANTANAL, 2024).

OBJETIVOS

Aperfeiçoar os conhecimentos sobre dados institucionais e públicos, por meio do uso integrado de estatísticas oriundas de instituições atualmente desarticuladas, configurando-se como uma estratégia essencial para a avaliação e otimização dos custos diretos e indiretos das arboviroses nos municípios, incluindo os impactos familiares, públicos e sociais. Essa abordagem visa operacionalizar, de forma participativa, a sistematização das informações e dados existentes, promovendo a discussão e validação conjunta dos conhecimentos, a fim de estimular o aprimoramento corporativo e institucional. A reflexão crítica sobre estratégias para mitigação de custos relacionados à saúde pública e ao saneamento básico se torna, portanto, um componente fundamental para a formulação de políticas mais eficientes, sustentáveis e integradas. O propósito central é fomentar a continuidade e a sinergia entre as ações intersetoriais, contribuindo de forma efetiva para o desenvolvimento sustentável dos territórios (BRASIL, 2017; PAHO, 2023; AGERR Pantanal, 2024).

METODOLOGIA UTILIZADA

Para a realização do presente estudo, foi adotado o método exploratório de estudo de caso, com abordagem qualitativa e quantitativa integrada, a partir de uma metodologia participativa. A sistematização de informações se deu por meio da coleta de dados quantitativos provenientes de atores institucionais e de dados qualitativos oriundos de entrevistas individuais, reuniões interdepartamentais e institucionais, além de visitas técnicas e entrevistas pontuais. Esses procedimentos foram utilizados para coletar, descrever e analisar dados relevantes, como estatísticas oficiais, relatórios institucionais e cartografias locais.

Optou-se por não aplicar instrumentos específicos de coleta de dados primários, como formulários estruturados ou questionários padronizados, com o objetivo de não sobrecarregar os limitados recursos técnicos disponíveis nas instituições envolvidas. Essa escolha também visou oportunizar aos profissionais locais uma nova perspectiva sobre os dados com os quais já trabalham rotineiramente, promovendo uma apropriação crítica das informações e contribuindo para seu uso estratégico nas atividades operacionais cotidianas (MINAYO, 2023).

As informações sobre precipitações pluviométricas foram obtidas da estação meteorológica localizada na Usina de Alcool e Açúcar Agropecuária Novo Milênio, com uma série histórica de 11 anos. Dados anuais sobre o sistema de abastecimento de água foram fornecidos pela Autarquia de Serviços de Água e Esgoto de Mirassol d'Oeste (SAEMI). Já a Secretaria Municipal de Saúde (SESAU), em conjunto com o setor de Vigilância Sanitária, disponibilizou estatísticas de notificações de arboviroses e os Índices de Infestação Predial pelo *Aedes aegypti*, por meio do Levantamento Rápido de Índices para *Aedes aegypti* (LIRAA) (BRASIL, 2022).

Além disso, realizou-se uma análise documental de estudos epidemiológicos publicados e dados secundários oficiais, abrangendo séries históricas de notificações de arboviroses no município entre os anos de 2001 e 2023.

Os dados sobre os gastos com hospitalizações por arboviroses foram obtidos por meio do sistema DATASUS, utilizando a plataforma TABNET, permitindo a análise dos custos relacionados ao atendimento hospitalar, ambulatorial e casos não tratados das arboviroses (Dengue, Febre Chikungunya e Zika vírus) no município de Mirassol d'Oeste, Mato Grosso, conforme classificação dos sistemas de informação em saúde pública do Ministério da Saúde (PAHO, 2023; BRASIL 2022).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados evidenciaram uma maior incidência de focos de insetos em reservatórios de água inadequados, especialmente em bairros com deficiência na infraestrutura urbana, correlacionando-se diretamente com o aumento de casos de arboviroses registrados nas estatísticas de saúde pública locais. Em 2013, no Brasil, o custo médio por paciente com arbovirose variava de US\$ 12,90 a US\$ 70,10, a depender do nível de atendimento recebido (SILVA et al., 2016). No município do Rio de Janeiro, o custo médio por caso de febre Chikungunya foi estimado em R\$ 3.360,00 em 2019, totalizando R\$ 127.373.305,00 no ano (SANTOS et al., 2021).

No município de Mirassol d'Oeste (MT), a estimativa do custo médio por paciente notificado com arbovirose entre os anos de 2001 e 2023 foi de aproximadamente R\$ 1.215,00, totalizando um custo acumulado de R\$ 2.548.467,50 no período analisado, com base nos dados do DATASUS/TABNET (BRASIL, 2024). Observou-se que os custos de combate ao vetor, particularmente relacionados às ações de controle e prevenção do mosquito *Aedes aegypti*, representaram a maior parte das despesas, estando diretamente associados às precárias condições de saneamento básico na região.

Tais achados reforçam a relação intrínseca entre saúde pública e saneamento, uma vez que a ausência de infraestrutura adequada, como sistemas de abastecimento de água, coleta e destinação de resíduos sólidos e drenagem urbana, contribui para o agravamento do problema, elevando os custos financeiros e sociais decorrentes das arboviroses. Nesse contexto, estratégias preventivas aliadas a investimentos estruturais em saneamento básico podem reduzir significativamente os impactos econômicos e melhorar a qualidade de vida das populações afetadas (PAHO, 2023; BRASIL, 2022).

Devido às falhas ou descontinuidades nos registros das estações meteorológicas oficiais do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) nos municípios de Salto do Céu, Pontes e Lacerda e Cáceres, optou-se pela utilização dos dados da estação meteorológica da empresa Cana Nova, localizada próxima à área urbana de Mirassol d'Oeste.

Essa estação apresenta uma série histórica contínua desde o final de 2012, sendo utilizada neste estudo por sua maior regularidade e proximidade espacial com a área de estudo.

A análise dos dados pluviométricos entre os anos de 2013 e 2024 evidencia um padrão de sazonalidade bem definido, com maiores índices de precipitação nos primeiros meses do ano, especialmente entre janeiro e março.

Os anos de 2014 (1.987,5 mm), 2016 (1.556,5 mm), 2013 (1.366,0 mm) e 2023 (1.306,82 mm) se destacam como os períodos de maior volume acumulado de chuvas, enquanto 2019 (770,3 mm) e 2024 (964,9 mm) apresentaram os menores totais anuais registrados.

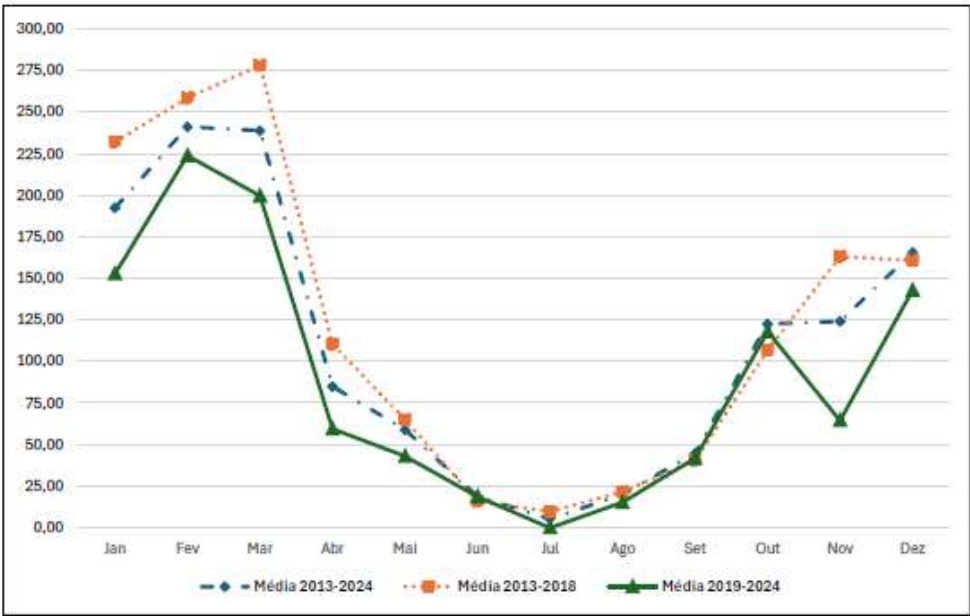
Segundo o maior detalhamento climático realizado para o estado de Mato Grosso, Mirassol d'Oeste está inserido na unidade climática classificada como “Tropical Continental alternadamente úmida e seca”, influenciada principalmente pela continentalidade (distância do oceano) e pelo relevo regional predominantemente plano (MAITELLI, 2005). A estação seca estende-se de maio a setembro, enquanto o período chuvoso ocorre entre os meses de outubro e abril, com temperaturas médias anuais variando entre 25 °C e 26 °C, sendo frequentes as máximas superiores a 35 °C.

Em 2024, observou-se um período de cinco meses consecutivos sem registros significativos de precipitação, evidenciando um agravamento da estiagem. A análise da série histórica de 12 anos (2013–2024), baseada nos dados da estação meteorológica da Usina Agropecuária Novo Milênio, indicou uma média anual de precipitação de 1.317,33 mm. No primeiro período da série (2013–2018), a média foi de 1.462,08 mm, com destaque para o ano de 2014, que apresentou o maior índice pluviométrico da série, com 1.987,50 mm. Já no segundo período (2019–2024), observou-se uma redução significativa da média para 1.079,22 mm/ano, sendo 2019 o ano com menor precipitação, registrando apenas 770,30 mm, de acordo com a tabela 1:.

Tabela 1: Dados mensais de pluviometria (mm), entre jan/2013-dez/2024, Mirassol D’oeste, registrados pela Agrícola Cananova na sua estação metereológica (2023-mar/2025)

Meses	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	Média 2013 - 2024	2025
Jan	167.0	342.5	127.0	236.0	227.0	292.0	14.4.5	34.0	194.0	208.8	127.0	208.6	192.37	206.60
Fev	211.5	407.5	119.0	275.0	228.0	310.0	15.9.5	399.5	177.0	182.4	217.22	206.6	241.1	135.00
Mar	305.0	218.0	354.0	357.5	163.0	271.0	13.5.5	119.0	126.0	243.1	382.2	191.2	238.82	309.90
Abr	79.0	259.0	144.0	95.0	101.0	50.0	56.5	30.5	78.0	133.6	136.4	46.2	98.0	0.00
Mai	22.0	168.0	60.0	85.0	0.0	10.0	0.0	28.0	41.0	0.0	84.9	30.0	50.08	0.00
Jun	69.0	16.5	0.0	0.0	9.0	0.0	0.0	23.0	23.0	38.8	21.4	0.0	18.72	0.00
Jul	35.0	18.0	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.67	0.00
Ago	0.0	0.0	15.0	0.0	79.0	33.0	3.0	32.0	0.0	47.8	5.6	0.0	17.33	0.00
Set	39.5	54.0	52.0	42.0	17.0	38.0	32.0	28.0	28.0	65.8	118.4	4.5	44.83	0.00
Out	171.0	94.5	159.0	152.0	84.0	124.0	51.0	134.5	165.0	204.6	240.8	73.3	122.55	0.00
Nov	134.0	169.0	131.5	105.0	229.0	201.0	12.4.5	158.5	200.0	185.6	128.6	70.8	149.01	0.00
Dez	133.0	259.0	153.0	145.0	134.0	154.0	12.5.5	134.5	151.0	201.2	88.0	156.0	165.6	0.00
TOTAL	1366.0	1987.5	1210.0	1556.5	1231.0	1421.5	77.03	1020.5	1007.76	1405.04	1306.82	961.90	1317.33	661.2

Figura 1: Média mensal de pluviometria (mm) registrados na Agrícola Cana Nova Mirassol, 2013-2024, 2013-2018 e 2019-2024



Os dados climáticos observados ao longo da série histórica de precipitação podem sugerir indícios de “mudança climática” regional, embora a série temporal seja curta para afirmar com precisão essa tendência.

De fato, nota-se que os períodos de seca têm se prolongado nos anos mais recentes, como ilustrado na Tabela 1. No entanto, os participantes do processo de coleta de dados e análise afirmam que as ações antrópicas desempenham um papel significativo nesse cenário, apresentado na figura 1.

A diminuição da cobertura arbórea, das matas ciliares e das nascentes, resultante das atividades produtivas da pecuária e da agricultura mecanizada, tem afetado diretamente as bacias hidrográficas dos córregos responsáveis pela captação superficial de água para o uso urbano. Esse impacto tem exigido que os pontos de captação de água sejam cada vez mais distantes da Estação de Tratamento de Água (ETA). Um exemplo disso é o córrego Carnaíba, que, atualmente, apresenta características de um curso de água semiperene, o que tem aumentado a dependência de fontes de água mais distantes e contribuído para a escassez de recursos hídricos.

A cronologia dos eventos descritos pode ser visualizada no Tabela 2 a seguir.:

Tabela 2: Cronologia da evolução dos pontos de captação de água com distância até a ETA, em Mirassol D'oeste

CÓRREGOS DE CAPTAÇÕES (micro-bacias)	DISTÂNCIA ATÉ A ETA	ANO DE INSTALAÇÃO
Carnaíba (afluente Caetés)	4,5 km	1996
Caramujo *	10 km	2025

Essa realidade também pode ser atribuída ao pequeno, mas constante crescimento da população urbana e ao envelhecimento da rede de abastecimento de água, fatores que resultam em intermitências no fornecimento de água, especialmente nos bairros mais distantes e/ou nas áreas mais elevadas da cidade, como o Jardim São Paulo e o COHAB Parque da Serra. Nessas localidades, é comum o uso de reservatórios improvisados como alternativa para contornar a irregularidade do abastecimento.

Entre os anos de 2013 e 2024, observou-se um comportamento oscilante nas taxas de incidência de dengue no município analisado, com picos expressivos de casos nos anos de 2013 (15,5 casos por 1.000 habitantes), 2015 (8,7 casos por 1.000 habitantes), 2021 (13,9 casos por 1.000 habitantes) e 2024 (13,6 casos por 1.000 habitantes). Por outro lado, os menores índices de notificação foram registrados

nos anos de 2014, 2017 e 2019. Os dados indicam um padrão cíclico de incidência da doença, com elevações significativas a taxa de casos a cada intervalo de 2 a 3 anos, como pôde ser observado na figura 2:

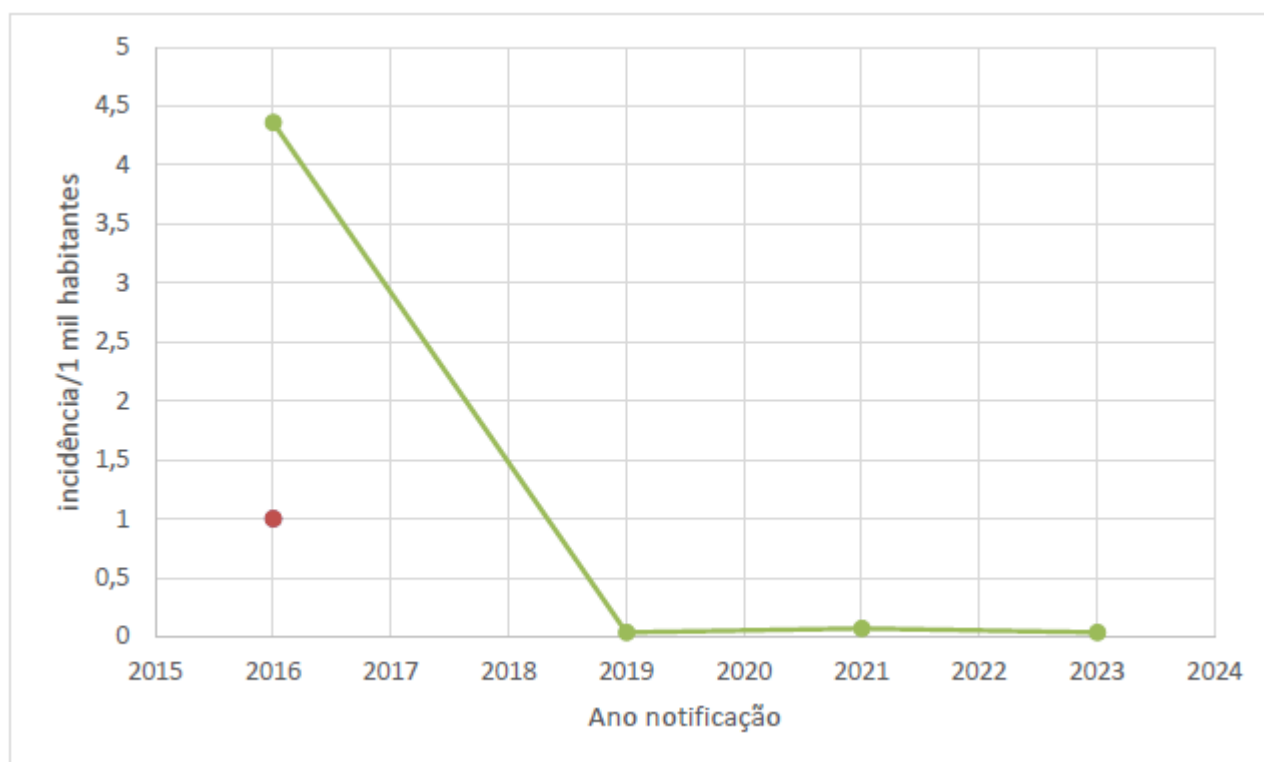
Figura 2: Incidência dos casos de dengue de 2013 à 2024 em Mirassol D'Oeste



No que se refere à febre de Chikungunya, observa-se um crescimento abrupto em 2024, ano em que a taxa de incidência atingiu o maior valor de toda a série analisada, com aproximadamente 15 casos por 1.000 habitantes. Nos anos anteriores, entre 2017 e 2023, os índices mantiveram-se relativamente baixos, com valores inferiores a 2 casos por 1.000 habitantes, apresentando estabilidade entre 2019 e 2023. Esse aumento repentino em 2024 pode estar relacionado a fatores como mudanças nas condições climáticas, falhas na continuidade do abastecimento de água e insuficiência das ações de controle vetorial, especialmente em áreas mais vulneráveis do município, apresentado na figura 3:

Figura 3: Incidência dos casos de Febre de Chikungunya de 2017 à 2024 em Mirassol D'Oeste

Já infecção pelo vírus Zika, os dados evidenciam uma queda acentuada a partir do ano de 2016, quando a taxa de incidência alcançou 4,4 casos por 1.000 habitantes. A partir de 2019, os valores caíram para menos de 0,2 casos por 100.000 habitantes, permanecendo baixos e estáveis até 2023, sem novos aumentos significativos registrados. Esse comportamento pode estar associado ao aumento da imunidade populacional, à redução da circulação viral e à eficácia das ações de controle vetorial durante o período analisado, de acordo com a figura 4:

Figura 4: Incidência dos casos de Zika vírus de 2016 à 2023 em Mirassol D'Oeste

Referente a valores financeiros totais no atendimento hospitalar para casos suspeitos de dengue, evidencia-se uma redução drástica nos montantes entre os anos de 2013 e 2018, seguida por uma leve oscilação até 2023 e, posteriormente, um novo aumento acentuado em 2024, com valores próximos aos registrados em 2013, apresentado na tabela 3:

Tabela 3: Gastos com hospitalizações por arboviroses em Mirassol d’Oeste (MT), entre 2013 e 2024 (em R\$).

ANO	VALOR
2013	6154,96
2018	607,52
2019	287,76
2020	295,76
2021	637,47
2022	311,76
2023	879,28
2024	5721,38
Total	14895,89

Tabela 4: Número de imóveis registrados e visitados nos ciclos 5º e 6º de controle vetorial em Mirassol d’Oeste (MT)

Ciclos	Nº de imóveis RG	Nº de imóveis visitados
5º	15368	10130
6º	15368	7243

De acordo com a tabela 4, durante o ano de 2024, foram realizados dois ciclos de visita domiciliar com o objetivo de controle vetorial do Aedes aegypti. No 5º ciclo, foram inspecionados 10.130 imóveis, com 130 imóveis fechados e 31 recuperados, enquanto no 6º ciclo houve redução das visitas, totalizando 7.243 imóveis inspecionados, 188 fechados e apenas 21 recuperados. O número de imóveis registrados (RG) para ambos os ciclos foi o mesmo: 15.368.

Tabela 5: Percentual de imóveis visitados em relação ao total registrado nos ciclos 5º e 6º de controle vetorial em Mirassol d’Oeste (MT)

Ciclos	%
5º	68,75081327
6º	47,10474951

Assim, a tabela 5, demonstra que a cobertura das visitas em relação ao total de imóveis RG foi de 68,8% no 5º ciclo e de 47,1% no 6º ciclo. Essa redução representa um importante retrocesso nas ações de controle e possivelmente contribuiu para o aumento dos indicadores entomológicos subsequentes (BRASIL, 2019).

O número de focos tratados também apresentou queda, passando de 106 no 5º ciclo para 85 no 6º ciclo, acompanhando a redução na cobertura das visitas. Isso pode comprometer a eficácia das ações de controle do vetor, principalmente em áreas onde a infestação ainda é presente (HORTA et al., 2020).

Tabela 6: Índices de Infestação Predial (IIP) e de Breteau (IB) para *Aedes aegypti* e *Aedes albopictus* em Mirassol d’Oeste (MT), segundo ciclos do LIRAa em 2024

Ordem LIRA	Situação de risco	2024			
		Aedes aegypt		Aedes Albopictos	
		IIP	IB	IIP	IB
1º LIRAa	Alto Risco	4,6	5,0	0	0
2º LIRAa	Médio Risco	1,4	1,4	0	0
3º LIRAa	Médio Risco	3,0	3,0	0	0
4º LIRAa	Médio Risco	1,1	1,1	0	0
5º LIRAa	Baixo Risco	0,0	0,0	0	0

Em 2024, foram realizados cinco Levantamentos de Índice Rápido do *Aedes aegypti* (LIRAa). Os resultados apresentados na tabela 6, revelaram um comportamento flutuante dos indicadores de Infestação Predial (IIP) e de Breteau (IB), com declínio progressivo ao longo do ano: 1º LIRAa: IIP = 4,6; IB = 5,0 → Alto Risco 2º e 3º LIRAa: IIP e IB = 1,4 e 3,0 → Médio Risco, 4º LIRAa: IIP e IB = 1,1 → Médio Risco, 5º LIRAa: IIP e IB = 0,0 → Baixo Risco

O decréscimo dos índices ao longo do ano sugere possível impacto das ações de controle, embora não se possa descartar a influência de fatores sazonais e climáticos (PEREIRA et al., 2019). Importante destacar que não houve detecção de *Aedes albopictus* em nenhum ciclo, o que simplifica o perfil entomológico local, mas mantém o risco epidemiológico concentrado no *Aedes aegypti* (BRASIL, 2019).

Tabela 7: Índice de Infestação Predial (IIP) por bairro nos ciclos de visitas e mutirões de combate ao Aedes aegypti em Mirassol d’Oeste (MT), entre 2024 e 2025

Bairro	Período da visita	IIP	Data mutirão	Período da visita	IIP
Jardim aparecida	5º Ciclo 2024	0,29	20 de Janeiro de 2025	1º Ciclo 2025	1,14
Portal do Sol	6º Ciclo 2024	0,27	20 de Janeiro de 2025	1º Ciclo 2025	0,68
Shangri-la	4º Ciclo 2024	0,41	27 de Janeiro de 2025	1º Ciclo 2025	2,03
Residencial Laranjeira	3º Ciclo 2024	0,0	27 de Janeiro de 2025	1º Ciclo 2025	4,35
São José	6º Ciclo 2024	0,0	27 de Janeiro de 2025	NR	
Cohab Juruena	6º Ciclo 2024	2,61	10 de Fevereiro de 2025	NR	
Castilho Paiva	6º Ciclo 2024	3,07	10 de Fevereiro de 2025	NR	
Tamandaré (111)	5º Ciclo 2024	3,80	25 de Novembro de 2024	1º Ciclo 2025	5,0
Cohab Parque da Serra	6º Ciclo 2024	6,59	25 de Novembro de 2024	NR	
Tamandaré (70)	5º Ciclo 2024	2,55	02 de Dezembro de 2024	1º Ciclo 2025	4,25
Jardim São Paulo (69)	6º Ciclo 2024	9,45	09 de Dezembro de 2024	1º Ciclo 2025	3,61
Morumbi III (110)	6º Ciclo 2024	1,63	16 de Dezembro de 2024	NR	

A análise apresentada na tabela 7, por bairros demonstrou variações significativas nos Índices de Infestação Predial entre ciclos de 2024 e o início de 2025. Alguns bairros apresentaram aumento expressivo de infestação, como: Residencial Laranjeira: IIP de 0,0 (3º ciclo de 2024) para 4,35 (1º ciclo de 2025), Shangri-la: de 0,41 para 2,03, Tamandaré (70): de 2,55 para 4,25. Já outros bairros mantiveram ou reduziram seus índices: Jardim São Paulo: de 9,45 para 3,61, Tamandaré (111): de 3,80 para 5,0 (aumento moderado). O bairro Cohab Parque da Serra apresentou o maior índice no 6º ciclo de 2024, com IIP de 6,59, sem dados disponíveis para o ciclo seguinte, o que limita inferências futuras (HORTA et al., 2020).

A série histórica dos ciclos de 2019 a 2024 revela uma tendência flutuante, com destaque para os seguintes pontos: Pico mais alto no 1º ciclo de 2023 (IIP = 5,52), Redução significativa nos índices em

2024, com o 3º e 4º ciclos registrando IIP abaixo de 1,0. Apesar da melhora relativa em 2024, os ciclos 5º (IIP = 1,12) e 6º (IIP = 2,24) indicam que a transmissão ainda não está sob controle pleno. A persistência de índices superiores a 1,0 em ciclos finais é preocupante, pois coincide com períodos de maior precipitação e favorecimento à proliferação do vetor (LOURENÇO-DE-OLIVEIRA et al., 2015).

Ao analisar esses dados juntamente com os gráficos de incidência de arboviroses no mesmo período, observou-se uma forte ligação entre o aumento da precipitação e o crescimento no número de casos de dengue, sobretudo nos meses subsequentes às maiores chuvas. A dengue apresentou variação sazonal perceptível, com elevação dos casos geralmente entre fevereiro e maio, refletindo o aumento na proliferação do vetor *Aedes aegypti* durante e após o período chuvoso (Brasil, 2019). Picos importantes foram registrados nos anos de 2013, 2015, 2016, 2021 e 2024, todos caracterizados por médias pluviométricas elevadas ou acima da média histórica (HORTA et al., 2020).

A febre Chikungunya, embora tenha mantido baixa incidência em anos anteriores, apresentou aumento expressivo em 2024, coincidente com o retorno de altos volumes pluviométricos no início do ano. Esse crescimento pode ser explicado, além das condições ambientais, pela baixa imunidade da população frente ao vírus, favorecendo a ocorrência de surtos (PEREIRA et al., 2019).

Quanto à infecção por Zika vírus, foi identificado um pico relevante em 2016, também em um período de alta precipitação. No entanto, nos anos seguintes, mesmo com chuvas em níveis semelhantes, não houve aumento significativo de casos. Esse padrão sugere que fatores como a imunidade adquirida pela população e o fortalecimento das ações de controle vetorial exerceram influência direta na contenção da circulação viral (LOURENÇO-DE-OLIVEIRA et al., 2015).

Dessa forma, os dados indicam uma relação positiva entre o aumento das chuvas e a intensificação dos casos de arboviroses, especialmente dengue e Chikungunya. Destaca-se a relevância do monitoramento climatológico como uma ferramenta estratégica em saúde pública, visto que os períodos de maior volume pluviométrico podem ser considerados sinais de alerta para o aumento do risco de transmissão dessas doenças. Com isso, torna-se essencial o reforço das estratégias de prevenção e controle do vetor nos meses que antecedem e sucedem as chuvas, especialmente em áreas historicamente mais suscetíveis (BRASIL, 2019; HORTA et al., 2020).

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Constatou-se que os bairros mais distantes e localizados em áreas elevadas da rede de abastecimento enfrentam dificuldades ocasionais com a quantidade diária de água, situação altamente considerada pelas populações locais. Este problema tem sido compensado pelo uso de reservatórios informais, frequentemente armazenados ao nível do solo, o que contribui para o aumento da proliferação de vetores e agrava os riscos à saúde pública.

A redução dos impactos das arboviroses exige uma abordagem integrada, que una ações de saneamento básico, vigilância sanitária e educação em saúde. A compreensão dos custos associados a essas doenças e sua relação com fatores ambientais é fundamental para orientar políticas públicas eficientes, aliviando os custos financeiros e o sofrimento humano.

Foi confirmado o pressuposto de que existem dados e informações desarticuladas e/ou subutilizadas. Nesse sentido, é necessário adaptar os dados coletados, transformando-os, de maneira participativa, em informações úteis para o uso integrado local. Observou-se que os dados captados pelos agentes municipais para alimentar os sistemas federais de informação são pouco utilizados para articulação informativa interdepartamental no município, como nas áreas de vigilância sanitária, saneamento básico, saúde, educação e planejamento. Além disso, não existe experiência de análises conjuntas das informações estatísticas geradas.

Outra constatação importante é que os técnicos, dirigentes e a população não costumam estimar custos relacionados às enfermidades, atendimentos, e consumo de água tratada, com baixa percepção da diferença entre o custo público e o familiar. A sistematização de dados e apresentações integradas tem se mostrado motivadora para ações complementares e integradas. O processo participativo deve respeitar os diferentes momentos e possibilidades de envolvimento dos atores, para garantir o sucesso e não se limitar a cronogramas impostos, buscando resultados que promovam a ruptura das práticas tradicionais por novas abordagens.

Partir de problemas concretos e próximos da realidade da população, como a falta de água e os custos familiares e para o erário, mostrou-se uma estratégia eficaz. A ampliação da análise para a situação das redes de abastecimento e das bacias de captação foi uma decisão acertada. Recomenda-se a continuidade das ações, com a realização de reuniões periódicas abertas ao público, com os resultados sendo divulgados pelos meios regionais e comunicação social. Também é importante convidar

municípios próximos para participarem das reuniões, despertando o interesse regional e fortalecendo a rede de colaboração.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVIM, A.B.; RONCA, J.L.C. Metodologia de avaliação qualitativa das ações dos Comitês de Bacias com ênfase em gestão integrada: O Comitê do Alto Tietê em São Paulo. *Revista Engenharia Sanitária Ambiental*, v. 12, n. 3, jul.-set. 2007, p. 325-334.

ANDRADE, L.N.P.S.; SOUZA, C.A. Sub-bacia Hidrográfica do córrego das Pitas: Análise batimétrica e transporte de sedimentos. *Geociências*, v. 28, n. 4, 2009, p. 387-400.

ARTAXO, P. As três emergências que nossa sociedade enfrenta: saúde, biodiversidade e mudanças climáticas.

Revista da USP Estudos Avançados, v. 34, n. 100, 2020, p. 53-66.

BRASIL. Ministério da Saúde. Manual de vigilância e controle da dengue. Brasília: Ministério da Saúde, 2019.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Departamento de Vigilância em Doenças Transmissíveis. Levantamento Rápido de Índices para *Aedes Aegypti* (LIRAA) para vigilância epidemiológica do *Aedes Aegypti* no Brasil, metodologia para avaliação dos índices Breteau e Predial e tipo de recipientes. Brasília, 2013. 84 p.

CASTRO, C.N. Água, problemas complexos e o Plano Nacional de segurança hídrica. Rio de Janeiro: IPEA, 2022. 282 p.

GONÇALVES, T.S. Os custos da chikungunya no município do Rio de Janeiro e sua relação com a variável climática. Rio de Janeiro: Fundação Oswaldo Cruz, Escola Nacional de Saúde Pública, 2021. Dissertação de mestrado. 131 p.

HORTA, M.F.; et al. Análise dos fatores ambientais e sanitários na transmissão de arboviroses: um estudo no município de Mirassol D'Oeste, MT. *Revista Brasileira de Saúde Pública*, v. 56, n. 2, 2020, p. 233-241.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Regiões de Influência das Cidades (REGIC): 2018. Rio de Janeiro, 2020. 187 p.

IBGE - ANA. Contas Econômicas Ambientais de Água 2013-2017 (CEAA). Brasília: ANA-IBGE, 2018. 12 p.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 29 abr. 2025.

LOURENÇO-DE-OLIVEIRA, R.; et al. *Aedes aegypti* e *Aedes albopictus*: a importância de novos dados sobre a vigilância de arboviroses. *Ciência & Saúde Coletiva*, v. 20, 2015, p. 215-225.

MAITELLI, D.M. O clima e as variações pluviométricas na região do Mato Grosso. *Revista de Geociências*, v. 12, n. 1, 2005, p. 58-69.

MAITELLI, G.T. Interações atmosfera-superfície (clima). In: MORENO, G.; HIGA, T.C.S. Geografia de Mato Grosso. Cuiabá: Ed. Entrelinhas, 2005, p. 238-249.

MINAYO, M.C.S. O desafio do conhecimento: pesquisa qualitativa em saúde. São Paulo: Hucitec, 2006.

PEREIRA, C.A.; et al. Análise do surto de febre Chikungunya em 2024: fatores climáticos e imunológicos em Mirassol D'Oeste, MT. Revista de Saúde Pública, v. 53, n. 1, 2019, p. 1-8.

VILLAR, P.C.; GRANZIERA, M.L.M. Direito de águas à luz de governança. Brasília: ANA, 2020. 189 p.

Capítulo 13



10.37423/260310847

EDUCAÇÃO AMBIENTAL COMO ESTRATÉGIA DE PREVENÇÃO E CONTROLE DE ARBOVIROSES

Natália da Silva Toledo

*Universidade Estadual Paulista - UNESP,
Faculdade de Engenharia e Ciências de
Guaratinguetá - FEG.*

Isabel Cristina de Barros Trannin

*Universidade Estadual Paulista - UNESP,
Faculdade de Engenharia e Ciências de
Guaratinguetá - FEG.*

Lília dos Anjos de Freitas

*Universidade Estadual Paulista - UNESP,
Faculdade de Engenharia e Ciências de
Guaratinguetá - FEG.*

Arthur Pinto Marques Lima

*Universidade Estadual Paulista - UNESP,
Faculdade de Engenharia e Ciências de
Guaratinguetá - FEG.*

Mayla de Cássia Fernandes Barbosa

*Universidade Estadual Paulista - UNESP,
Faculdade de Engenharia e Ciências de
Guaratinguetá - FEG.*

Maria Júlia Castro Ferretti

*Universidade Estadual Paulista - UNESP,
Faculdade de Engenharia e Ciências de
Guaratinguetá - FEG.*

Nicolas Araujo Correa

*Universidade Estadual Paulista - UNESP,
Faculdade de Engenharia e Ciências de
Guaratinguetá - FEG.*

Amanda Maria da Silva Alves Pinto

*Universidade Estadual Paulista - UNESP,
Faculdade de Engenharia e Ciências de
Guaratinguetá - FEG.*

José Eduardo Barbosa Marques Júnior

*Prefeitura Municipal de Guaratinguetá
Secretaria Municipal de Saúde Vigilância em
Saúde*

RESUMO

Nos últimos anos, as arboviroses, doenças virais transmitidas por artrópodes, como mosquitos e carrapatos, têm representado um dos maiores desafios à saúde pública no Brasil. O principal vetor é o mosquito *Aedes aegypti*, transmissor de dengue, zika e chikungunya, cujos sintomas variam de febre alta a complicações graves, especialmente no caso da dengue, podendo evoluir para óbito. Fatores como condições climáticas favoráveis, precariedade da infraestrutura urbana e deficiências no saneamento básico têm favorecido a proliferação do vetor e a disseminação dessas doenças em todo o território nacional. No município de Guaratinguetá/SP, foi desenvolvido um projeto de educação ambiental voltado à prevenção e ao controle de arboviroses, integrando ações de incentivo à melhoria da infraestrutura de saneamento básico com estratégias de manejo integrado do vetor, *Aedes aegypti*, com o objetivo de reduzir a incidência dessas doenças no contexto local. O projeto foi desenvolvido por meio de uma parceria entre a equipe universitária da Faculdade de Engenharia e Ciências da Universidade Estadual Paulista, Câmpus de Guaratinguetá – FEG/UNESP, a Secretaria Municipal de Saúde e a Companhia de Serviços de Água, Esgoto e Resíduos de Guaratinguetá – SAEG, promovendo ações de educação ambiental e mobilização comunitária voltadas à prevenção e à eliminação de criadouros do mosquito *Aedes aegypti*. Ao longo de dois anos (2024 a 2026), além da comunidade diretamente beneficiada, o projeto alcançou aproximadamente 15 mil pessoas por meio da plataforma Instagram e contribuiu para a redução significativa dos casos de dengue no município de Guaratinguetá, com queda expressiva nos últimos meses de 2024 e ao longo dos anos de 2025 e 2026.

Palavras-chave: *Aedes aegypti*; saneamento básico; saúde pública; arboviroses; controle vetorial.

1 INTRODUÇÃO

As arboviroses são doenças virais transmitidas por artrópodes, como mosquitos e carrapatos. No Brasil, o principal vetor de arboviroses é o mosquito *Aedes aegypti*, responsável pela transmissão de dengue, zika e chikungunya. De acordo com o Ministério da Saúde, as manifestações clínicas associadas a essas infecções podem variar de sintomas leves, como febre alta, dores musculares e articulares, fadiga e erupções cutâneas, a complicações graves, incluindo hemorragias nos casos de dengue, microcefalia fetal associada à infecção por zika durante a gestação e artrite crônica relacionada à chikungunya, podendo evoluir para óbito em situações mais severas (Brasil, 2024).

Historicamente, o país tem registrado surtos dessas enfermidades, exacerbados pela precariedade do saneamento básico, associada à urbanização desordenada e às desigualdades socioeconômicas (Souza et al., 2023). O descarte inadequado de resíduos sólidos, a inexistência de coleta e tratamento de esgoto e o acesso restrito à água potável geram condições propícias à proliferação do vetor, cuja reprodução ocorre em locais com água parada.

De acordo com informações do programa conjunto de monitoramento da World Health Organization e do UNICEF, aproximadamente 17 milhões de pessoas na América Latina e Caribe ainda não possuem acesso a serviços seguros de água potável, enquanto cerca de 72 milhões permanecem sem acesso adequado a serviços de saneamento (WHO; UNICEF, 2024).

No contexto brasileiro, apesar dos avanços preconizados pelo Novo Marco Legal do Saneamento Básico, instituído pela Lei Federal nº 14.026/2020, que estabelece metas para a universalização desses serviços, desigualdades significativas ainda persistem. Neste aspecto, o Ranking do Saneamento 2024, revelou que 35 milhões de brasileiros não possuem acesso à água potável encanada e que 100 milhões carecem de coleta de esgoto (Instituto Trata Brasil, 2024).

Soma-se a esse cenário o fato de que, em 2024, foram coletadas no Brasil mais de 81 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos, das quais aproximadamente 34% tiveram destinação inadequada em aterros controlados ou lixões a céu aberto (Abrema, 2025). Essa gestão ineficiente de resíduos representa um risco significativo à saúde pública, pois cria condições ambientais favoráveis à proliferação de organismos vetores. Nesse contexto, destaca-se o processo de sinantropia, caracterizado pela adaptação de determinadas espécies ao ambiente antrópico. O mosquito *Aedes aegypti* constitui um exemplo emblemático desse processo, uma vez que sua elevada plasticidade ecológica lhe permite explorar recipientes artificiais e ambientes urbanos como locais de reprodução,

favorecendo a manutenção e a expansão da transmissão de arboviroses.

Entre as arboviroses emergentes, destacam-se os casos registrados de dengue, que têm atingido índices alarmantes nos últimos anos, sendo decretada situação de emergência em diferentes regiões do país nos primeiros meses de 2024.

Diante do surto epidêmico de dengue registrado em 2024, que demandou medidas emergenciais tanto do poder público quanto da população, estudantes da Universidade Estadual Paulista, vinculados à Faculdade de Engenharia e Ciências, câmpus de Guaratinguetá – FEG/UNESP, desenvolveram o presente projeto de intervenção coletiva, com duração de dois anos (2024 a 2026). Iniciado no período de maior incidência da epidemia, o projeto foi articulado às ações ampliadas da Secretaria Municipal de Saúde de Guaratinguetá, que intensificou as estratégias de controle vetorial em parceria com a Companhia de Serviços de Água, Esgoto e Resíduos de Guaratinguetá – SAEG. A integração de medidas de melhoria no saneamento básico, educação sanitária e ambiental e a conscientização coletiva, por meio de ações promovidas pela parceria entre o poder público, a universidade e a comunidade, configurou uma estratégia eficaz para a eliminação de criadouros e a mitigação da incidência de arboviroses.

As ações integradas promoveram o engajamento da população na adoção de práticas simples e eficazes de prevenção, contribuindo para a redução da incidência de arboviroses no município de Guaratinguetá nos últimos meses de 2024, tendência que se manteve ao longo de 2025 e 2026. Estas iniciativas favoreceram a melhoria das condições de saneamento básico, a redução da proliferação do mosquito *Aedes aegypti*, a promoção de práticas sustentáveis e, conseqüentemente, a melhoria da qualidade de vida da população local.

O projeto também contribuiu com as metas dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, notadamente, saúde e bem-estar (ODS 3), educação de qualidade (ODS 4), água potável e saneamento (ODS 6), trabalho decente e crescimento econômico (ODS 8), e cidades e comunidades sustentáveis (ODS 11).

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização do município de Guaratinguetá

O município de Guaratinguetá está localizado na região do Vale do Paraíba, área de elevada relevância

econômica e estratégica para o Estado de São Paulo, em razão de sua posição no principal eixo de integração entre as metrópoles, São Paulo e Rio de Janeiro (Figura 1).

Figura 1 - Localização do município de Guaratinguetá na Região Metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte, no Estado de São Paulo.



Fonte: Adaptada de Abreu (2006).

Essa localização favorece a intensa circulação de pessoas, mercadorias e atividades produtivas, conferindo à região papel importante no desenvolvimento industrial, logístico e tecnológico do país. De acordo com o censo demográfico do SINISA (2025), o município conta com uma população de 119.229 habitantes, dos quais 113.580 residem na área urbana e 5.649 em área rural.

O clima do município de Guaratinguetá é classificado como subtropical úmido (Cwa) segundo a classificação climática de Köppen, caracterizando-se por verões quentes, abafados e chuvosos, e invernos mais curtos e relativamente secos, com temperaturas mais amenas, baixa umidade relativa do ar e predomínio de céu com poucas nuvens. Ao longo do ano, a temperatura média varia, em geral, entre 12 °C e 31 °C, sendo raros valores inferiores a 9 °C ou superiores a 35 °C. Essas condições climáticas favorecem o desenvolvimento e a proliferação do mosquito *Aedes aegypti*, especialmente durante os períodos mais quentes e úmidos do ano (Prefeitura Municipal de Guaratinguetá, 2017).

2.1.1 Indicadores de Saneamento Básico de Guaratinguetá

Com base nas informações do SINISA (Brasil, 2023); do Instituto Água e Saneamento (2025), dos dados do IBGE (2022) e da Companhia de Serviços de Água, Esgoto e Resíduos de Guaratinguetá (SAEG) foi possível analisar os indicadores de saneamento básico do município de Guaratinguetá, e verificar avanços importantes na cobertura de alguns serviços essenciais, embora ainda persistam fragilidades estruturais, que podem influenciar a dinâmica de doenças de veiculação hídrica e vetorial. Os principais indicadores de saneamento são apresentados no Quadro 1, observando-se que até 2023, a coleta de resíduos sólidos foi o único serviço que atingiu 100% de cobertura do município.

No que se refere ao abastecimento de água, a SAEG, que opera o saneamento básico no município, atende a quase totalidade (97,5%) da população municipal, percentual superior à média do estado de São Paulo (96%) e à média nacional (83,1%). Apesar desse cenário relativamente favorável, cerca de 2,5% da população, aproximadamente 2.930 pessoas, ainda não possui acesso à rede de abastecimento. Nessas situações, é comum a necessidade de armazenamento doméstico de água em recipientes como caixas d'água, tambores e baldes. Estes recipientes quando não são devidamente vedados e higienizados, tornam-se potenciais criadouros do mosquito *Aedes aegypti*.

Em relação aos serviços de esgotamento sanitário no município de Guaratinguetá, observa-se uma discrepância entre os dados divulgados por diferentes fontes institucionais. Informações recentes da SAEG (2026) indicam que cerca de 80% da população é atendida por rede de coleta de esgoto, enquanto apenas 26,5% do volume coletado recebe tratamento. Segundo a concessionária, investimentos estão sendo realizados visando a ampliação gradual da capacidade de tratamento, incluindo a reativação e modernização de estações de tratamento. Por outro lado, dados do SINISA (Brasil, 2023) apontam que a cobertura de esgotamento sanitário no município alcança 90,5% da população, percentual superior à média nacional (59,7%), porém ligeiramente inferior à média do estado de São Paulo (91,5%). A análise desses indicadores sugere que aproximadamente 11.294 pessoas, cerca de 9,5% da população, ainda não dispõem de atendimento por rede de esgoto, abrangendo quase 10% da população urbana e mais de 30% da população residente em áreas rurais. Nessas áreas, são frequentemente observadas formas inadequadas de disposição de efluentes, como lançamento em valas, cursos d'água e encostas, criando ambientes propícios à proliferação de vetores. Embora ambientes com esgoto a céu aberto sejam tradicionalmente associados à presença de mosquitos do gênero *Culex*, estudos recentes indicam que a elevada plasticidade ecológica do *Aedes aegypti* permite sua adaptação a diferentes condições ambientais no contexto urbano.

Quadro 1 - Caracterização dos componentes dos serviços de saneamento básico e potenciais implicações para a ocorrência de arboviroses no município de Guaratinguetá (SP)

Componente do Saneamento	Indicador	Situação de Guaratinguetá	Comparação estadual/nacional	Observações e implicações
Abastecimento de água	Atendimento por rede pública	97,5% da população	Estado SP: 96% Brasil: 83,1%	O município apresenta cobertura superior às médias estadual e nacional. Entretanto, 2,5% da população (cerca de 2.930 pessoas) não possui acesso à rede de abastecimento, necessitando armazenar água em recipientes como caixas d'água, tambores e baldes, que podem se tornar potenciais criadouros do mosquito <i>Aedes aegypti</i> caso não sejam vedados e higienizados.
Formas de acesso à água	Tipos de abastecimento domiciliar	Predominância de rede geral de distribuição, com presença de outras formas de acesso	—	O Censo Demográfico aponta diferentes formas de acesso à água no município, indicando que parte da população depende de soluções alternativas de abastecimento, o que pode aumentar a necessidade de armazenamento doméstico de água.
Esgotamento sanitário	Atendimento total (coleta)	90,5% da população	Estado SP: 91,5% Brasil: 59,7%	O município apresenta cobertura superior à média nacional, porém inferior à média estadual, indicando necessidade de ampliação do serviço.

Déficit de esgotamento sanitário	População sem atendimento (coleta)	9,5% da população (11.294 pessoas)	—	Cerca de 10% da população urbana e mais de 30% da população rural não possuem acesso ao serviço de esgotamento sanitário. Nestes casos pode ocorrer descarte inadequado em valas, rios e encostas, criando ambientes propícios para a proliferação de vetores.
Tipos de esgotamento sanitário	Formas de disposição de esgoto	Rede pública, fossas sépticas, fossas filtro e outras soluções individuais	—	Sistemas individuais são mais frequentes em áreas rurais, onde o déficit de atendimento é superior a 30%, onde tecnologias acessíveis como fossas sépticas biodigestoras representam alternativas para o tratamento descentralizado.
Resíduos sólidos	Cobertura da coleta	100% da população (urbana e rural)	Similar à cobertura urbana estadual e nacional	Trata-se do único indicador de saneamento com atendimento pleno no município.
Destinação de resíduos sólidos	Formas de descarte	Predomina a coleta pública. Pequena parcela destina/desconta inadequadamente	—	Persistem práticas como queima de resíduos ou descarte em terrenos baldios, encostas e áreas públicas, que podem favorecer a formação de criadouros de mosquitos.

Gestão de resíduos sólidos (RSU) na prática	Situação observada	Descarte irregular de RSU em diferentes pontos da cidade	—	Mesmo com cobertura total da coleta, o descarte inadequado pela população contribui para o entupimento de bueiros e bocas de lobo, favorecendo o acúmulo de água e a ocorrência de alagamentos.
Drenagem urbana	Área urbana do município	5% do território municipal	—	A maior parte do território é rural, o que influencia a distribuição da infraestrutura urbana.
Risco de inundação	Domicílios em áreas de risco	1% dos domicílios	—	Embora os registros históricos do sistema nacional indiquem ausência de eventos entre 2018 e 2023, episódios recentes evidenciam maior vulnerabilidade de bairros do município.
Eventos hidrológicos recentes	Ocorrências registradas	Alagamentos em 2024 e 2026	—	Chuvas intensas provocaram transbordamentos do Rio Paraíba do Sul e do Ribeirão Guaratinguetá, causando alagamentos em bairros como Parque Santa Luzia, Jardim Rony, Parque das Árvores e Coelho Neto. Em março de 2026 foram registrados quase 150 mm de chuva em 24 horas, o maior volume no estado de São Paulo naquele período.

Fonte: Adaptado de IBGE (2022), SINISA (Brasil, 2023) e Instituto Água e Saneamento (2025).

No município de Guaratinguetá também são observadas alternativas ao sistema público de coleta e tratamento de esgoto, especialmente em áreas rurais, onde são utilizadas soluções individuais, como as fossas rudimentares. Considerando que mais de 30% da população rural ainda não dispõe de sistemas adequados de esgotamento sanitário, a adoção de tecnologias descentralizadas e de baixo

custo, como as fossas sépticas biodigestoras, constitui uma estratégia relevante para ampliar o acesso ao tratamento de efluentes domésticos. Nesse contexto, as iniciativas de extensão e educação ambiental voltadas à divulgação e à conscientização sobre essas soluções tecnológicas podem contribuir para a melhoria das condições sanitárias locais.

No que se refere ao manejo de resíduos sólidos, o município apresenta cobertura formal de coleta para 100% da população, tanto em áreas urbanas quanto rurais. Entretanto, apesar da universalização do serviço, ainda são observadas práticas inadequadas de disposição de resíduos por parte de uma grande parcela da população, incluindo a queima de resíduos e o descarte em terrenos baldios, encostas, vias públicas e áreas abertas. Estas práticas têm favorecido a formação de ambientes propícios à proliferação de vetores, além de gerar impactos ambientais adicionais, como o entupimento de bueiros e bocas de lobo, com consequentes alagamentos das vias em períodos de chuvas intensas, como os registrados em alguns bairros de Guaratinguetá no início de março de 2026. Estes alagamentos evidenciam que a gestão adequada de resíduos envolve não apenas a oferta do serviço público, mas também requer mudanças comportamentais e maior conscientização da população, o que pode ser alcançado por meio de ações de conscientização e educação ambiental.

Quanto à drenagem urbana e ao manejo de águas pluviais, observa-se que aproximadamente 5% da área territorial do município é classificada como área urbana, sendo que cerca de 1% dos domicílios localizam-se em áreas sujeitas a risco de inundação. De acordo com dados do SINISA, não foram registrados eventos de enxurradas, inundações ou alagamentos em Guaratinguetá no período entre 2018 e 2023 (Brasil, 2023). No entanto, esses registros podem subestimar a vulnerabilidade real do município diante de eventos climáticos extremos recentes.

Em fevereiro de 2024, por exemplo, chuvas intensas provocaram alagamentos em diversos bairros, demandando o resgate de cerca de 60 pessoas pela Defesa Civil. Situação semelhante foi registrada em fevereiro de 2026, quando o nível do Rio Paraíba do Sul ultrapassou 5,3 metros e atingiu 5,79 metros, levando à emissão de alerta máximo para áreas como os bairros Tamandaré (Prainha) e Ribeirão dos Motas. No início de março de 2026, o município registrou o maior volume de chuva em 24 horas no estado de São Paulo naquele período, com aproximadamente 150 mm acumulados, causando o transbordamento do Ribeirão Guaratinguetá e, consequentemente, alagamentos severos em diferentes regiões da cidade, com destaque para os bairros Parque Santa Luzia, Jardim Rony, Parque das Árvores e Coelho Neto, resultando no desalojamento de moradores e em impactos significativos para a população local (Aqui Vale, 2026; Rede Vanguarda, 2026).

Diante desse cenário, evidencia-se que as condições de saneamento básico, associadas a fatores ambientais, urbanos e comportamentais, desempenham papel fundamental na dinâmica de doenças transmitidas por vetores. Nesse sentido, conforme destacado por Dias et al. (2022), a construção de ambientes urbanos menos suscetíveis à ocorrência de doenças vetoriais depende não apenas da infraestrutura de saneamento, mas também do diálogo e da articulação entre poder público, comunidade e sociedade civil na análise e no enfrentamento dos fatores que influenciam a reprodução, a disseminação e o controle do mosquito *Aedes aegypti*.

A análise integrada desses indicadores de saneamento evidencia que, apesar dos avanços na cobertura de serviços essenciais, persistem fragilidades estruturais relacionadas principalmente ao esgotamento sanitário, à gestão adequada de resíduos e à drenagem urbana. Essas limitações podem contribuir para a formação de ambientes favoráveis à proliferação do *Aedes aegypti*, reforçando a necessidade de ações integradas de saneamento, planejamento urbano e educação ambiental

2.2 Metodologia Aplicada

Para a execução deste projeto foi adotada a metodologia participativa (Kummer, 2007), que tem como base o envolvimento ativo da comunidade externa em todas as etapas do processo, desde o diagnóstico das demandas locais até o planejamento, a implementação e a avaliação das ações, promovendo a construção coletiva do conhecimento, por meio da troca de saberes entre a equipe universitária da FEG/UNESP, profissionais da Secretaria da Saúde e da SAEG, e a comunidade do município de Guaratinguetá/SP, fortalecendo a autonomia de todos os atores sociais envolvidos. As ações foram implementadas em cinco etapas sequenciais:

Etapa 1 - Diagnóstico do saneamento básico do município de Guaratinguetá: realizado por meio de consulta aos dados do Sistema Nacional de Informações de Saneamento Básico – SINISA (Brasil, 2023); IBGE (2022) e aos dados fornecidos pela SAEG.

Etapa 2 - Educação e conscientização da população: realização de atividades em creches e escolas de ensino fundamental e médio, e eventos públicos como o “UNESP na Praça” e outras ações em parceria com a Secretaria de Saúde de Guaratinguetá. Estas ações foram complementadas pela divulgação de medidas de controle e prevenção das arboviroses em redes sociais, como o Instagram do projeto (@sanearbo.2024); página da Secretaria de Saúde de Guaratinguetá e da FEG/UNESP. Também foram distribuídos, a cartilha “Juntos no Combate às Arboviroses” e folhetos sobre o ciclo do *Aedes aegypti*

e práticas sanitárias, como destinação adequada de resíduos sólidos, vedação de reservatórios, drenagem pluvial, captação de água de chuva e tratamento de esgoto, por meio de fossas sépticas biodigestoras em comunidades isoladas.

Etapa 3 - Desenvolvimento de estratégias de mobilização comunitária: estímulo à participação ativa dos moradores, com apresentação de experiências exitosas e incentivo à adoção de práticas sanitárias simples e eficazes para a prevenção e controle de arboviroses.

Etapa 4 - Monitoramento e avaliação de impacto: utilização de métricas de redes sociais (alcance e engajamento), enquetes e comparações diagnósticas do quadro epidemiológico municipal, antes e após a implementação das medidas de prevenção e controle, conforme Painel de Monitoramento das Arboviroses do Ministério da Saúde (BRASIL, 2024).

Etapa 5 - Sistematização e divulgação dos resultados alcançados: elaboração de relatórios técnico-científicos, publicações em eventos acadêmicos, de extensão e científicos.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

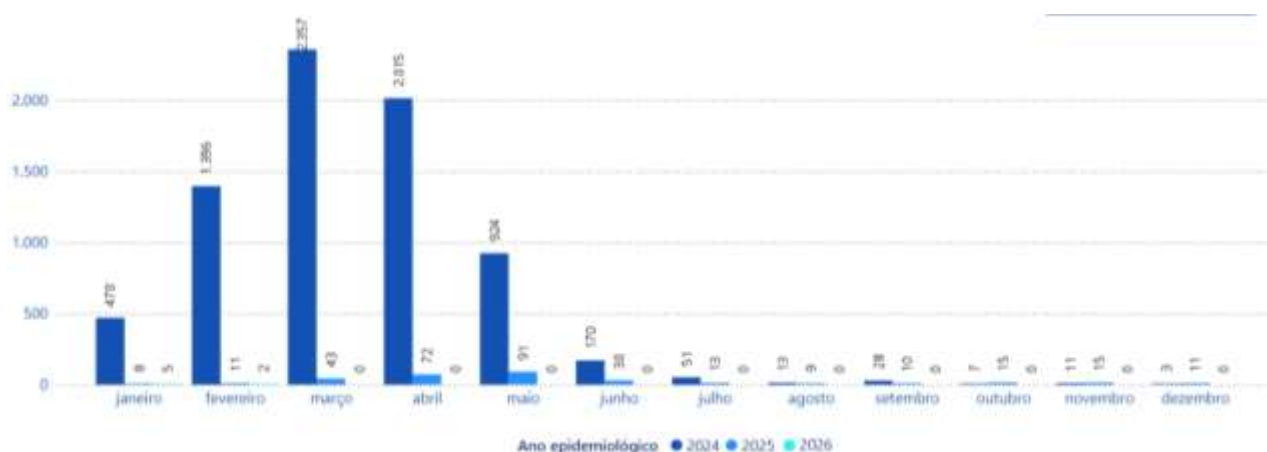
3.1 *Diagnóstico da ocorrência de arboviroses em Guaratinguetá*

Em 2024, quando este projeto foi implementado, o Painel de Monitoramento de Arboviroses do Ministério da Saúde (Brasil, 2024), indicou que Guaratinguetá registrou 12 casos prováveis de chikungunya e nenhum caso de zika. Em contraste, observou-se uma epidemia de dengue, com 7.445 casos prováveis e três óbitos confirmados. O pico de transmissão ocorreu em março de 2024, quando foram registrados 2.357 casos, representando aumento expressivo em relação a março de 2023, quando haviam sido notificados 57 casos da doença.

Diante deste cenário, para monitorar a ocorrência de arboviroses nos diferentes bairros do município e analisar as possíveis relações com as condições de saneamento básico e os impactos da epidemia de dengue, a Secretaria Municipal de Saúde implementou em 2025, o Painel de Arboviroses de Guaratinguetá, uma ferramenta de acompanhamento epidemiológico. Vale destacar que o período de maior incidência de arboviroses no Brasil ocorre entre os meses de janeiro e maio, com picos frequentemente registrados entre março e abril, uma vez que as condições climáticas predominantes, caracterizadas por temperaturas mais elevadas e maior disponibilidade de água decorrente das chuvas de verão favorecem a proliferação do mosquito *Aedes aegypti*.

De acordo com os dados do Painel de Arboviroses de Guaratinguetá, no período de janeiro a agosto de 2025 foram registrados 275 casos confirmados de dengue, dos quais 268 foram classificados como autóctones, além da ocorrência de três óbitos, resultando em uma taxa de incidência de 221 casos por 100 mil habitantes (Prefeitura Municipal de Guaratinguetá, 2025). Considerando todo o ano de 2025, foram contabilizados 329 casos prováveis de dengue, indicando uma redução substancial da incidência em relação ao ano anterior, sendo o pico epidêmico em maio, com o registro de 91 casos. No mês de março de 2025 foram registrados 43 casos, o que representou uma redução de aproximadamente 98% em comparação ao pico observado em março de 2024. No mesmo período, foram notificados 12 casos prováveis de chikungunya e nenhum caso de zika. A Figura 2 apresenta a distribuição mensal dos casos de dengue, permitindo a comparação da dinâmica epidemiológica entre os anos de 2024, 2025 e 2026.

Figura 2 - Casos prováveis de dengue em Guaratinguetá nos anos de 2024, 2025 e 2026



Fonte: Ministério da Saúde (Brasil, 2025).

Como pode ser observado na Figura 2, houve uma elevada incidência de casos de dengue no município de Guaratinguetá nos primeiros cinco meses de 2024. Esse cenário epidemiológico demandou a adoção de medidas emergenciais por parte do poder público e de diferentes instituições, incluindo ações intensivas de limpeza urbana, vistoria de imóveis e eliminação de focos e criadouros do mosquito *Aedes aegypti*, além da ampliação de atividades de informação e conscientização da população. Nesse contexto, o presente projeto integrou o conjunto de iniciativas voltadas à educação ambiental e à mobilização social, promovendo a disseminação de informações por meio de redes sociais, palestras em escolas e na universidade, bem como atividades de extensão junto à comunidade local, incluindo o evento UNESP na Praça.

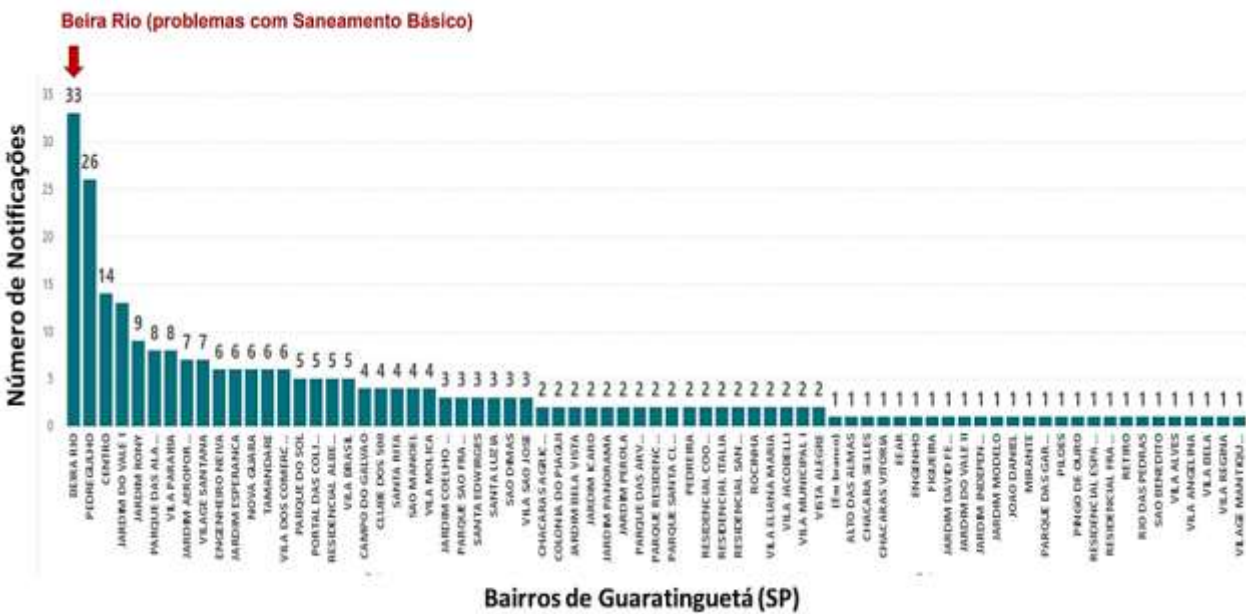
A evolução dos resultados apresentados na Figura 2 indica que as ações implementadas ao longo do

período estiveram associadas a uma redução expressiva no número de casos, culminando em apenas três registros no mês de dezembro de 2024, queda próxima de 100% em relação ao pico observado no início daquele ano. Essa tendência de baixa incidência de casos de dengue manteve-se ao longo de 2025 e nos primeiros meses de 2026.

Destaca-se que as ações de educação ambiental e mobilização comunitária voltadas à prevenção e eliminação de criadouros do mosquito *Aedes aegypti* foram reforçadas pelo início da campanha de vacinação contra a dengue no município de Guaratinguetá, em maio de 2024. A combinação entre estratégias educativas, controle vetorial e imunização da população contribuiu para a manutenção de baixos índices de ocorrência da doença no período subsequente.

A Figura 3 apresenta a distribuição espacial das notificações de casos de dengue por bairro de Guaratinguetá, no período de janeiro a agosto de 2025, evidenciando a heterogeneidade da ocorrência da doença no território municipal e permitindo identificar áreas com maior concentração de registros. Os bairros com maior número de notificações corresponderam, em geral, às áreas que apresentam maiores fragilidades nas condições de saneamento básico e infraestrutura urbana, indicando uma associação entre a ocorrência da doença e a precariedade desses serviços.

Figura 3 - Distribuição espacial das notificações de casos de dengue por bairro do município de Guaratinguetá, no período de janeiro a agosto de 2025



Fonte: Prefeitura Municipal de Guaratinguetá (2025).

Nesse âmbito, o georreferenciamento dos casos, apresentado na Figura 4, constituiu um instrumento

importante para a análise da dinâmica espacial e temporal da doença no município, permitindo identificar os bairros com maior incidência e, conseqüentemente, áreas prioritárias para ações de vigilância e controle do mosquito *Aedes aegypti*.

Figura 4 - Georreferenciamento dos casos de dengue em Guaratinguetá/SP no período de janeiro a agosto de 2025.



Fonte: Prefeitura Municipal de Guaratinguetá (2025).

3.2. Aplicação do Modelo Força Motriz-Pressão-Estado-Impacto-Resposta (FPEIR)

O elevado número de casos de dengue no município de Guaratinguetá, reflete a interação entre vulnerabilidades sociais e deficiências de saneamento básico. Neste contexto, modelos conceituais de indicadores, como Força Motriz-Pressão-Estado-Impacto-Resposta (FPEIR), oferecem uma abordagem integrada para analisar os fatores determinantes, consequências e respostas frente às epidemias (WHO, 2001). Assim, o modelo FPEIR, foi aplicado para compreender a dinâmica das arboviroses em Guaratinguetá em 2025, relacionando a ocorrência de casos de dengue com as condições de saneamento e as respostas adotadas pelo poder público.

O Quadro 2 apresenta de forma resumida os resultados da aplicação do modelo FPEIR na análise da dinâmica da ocorrência de casos de dengue em Guaratinguetá relacionada às condições de saneamento, e as respostas do poder público no ano de 2025.

Quadro 2 – Modelo FPEIR aplicado à dinâmica de ocorrência de dengue em Guaratinguetá

Componente	Descrição
Força Motriz	1. Crescimento urbano desordenado em áreas periféricas. 2. Desigualdade socioeconômica entre bairros (regiões de vulnerabilidade socioambiental). 3. Déficit histórico de investimentos em saneamento básico.
Pressão	1. Armazenamento de água em recipientes improvisados. 2. Coleta insuficiente e descarte incorreto de resíduos sólidos, acumulando água de chuva. 3. Rede de esgoto deficitária em bairros periféricos.
Estado	1. Condições ambientais propícias à proliferação do <i>Aedes aegypti</i> . 2. Bairros com maior número de notificações: Beira Rio (33 casos), Pedregulho (26), Centro (14), Jardim do Vale I (9), Parque das Alamedas (8), Jardim Tamandaré (8). 3. Pico epidêmico em maio de 2025 (91 casos).
Impacto	1. 275 casos totais de dengue no município, dos quais 268 autóctones. 2. Incidência de 221/100 mil habitantes, caracterizando surto. 3. Três óbitos confirmados (letalidade de 1%). 4. Sobrecarga nos serviços de saúde e impacto social nas famílias afetadas.
Resposta	1. Campanhas municipais de combate ao vetor (mutirões de limpeza, eliminação de criadouros, visitas domiciliares). 2. Ações emergenciais da vigilância epidemiológica. 3. Necessidade de respostas estruturais: ampliação do esgotamento sanitário, coleta eficiente de resíduos sólidos, planejamento urbano sustentável. 4. Articulação intersetorial (saúde, meio ambiente, saneamento e educação). 5. Vacinação.

Fonte: Autores.

A *Resposta* identificada no modelo FPEIR, incluiu campanhas municipais de combate ao vetor; ações emergenciais de vigilância epidemiológica; identificação da necessidade de respostas estruturais e de intensificação da articulação intersetorial e, principalmente, de campanhas de vacinação contra arboviroses, especialmente, dengue. É válido ressaltar que medidas emergenciais de combate ao vetor são importantes, mas devem ser articuladas a políticas públicas interssetoriais de longo prazo, visando reduzir a vulnerabilidade socioambiental e promover a saúde coletiva.

O modelo FPEIR foi eficaz para analisar a dinâmica das arboviroses em nível municipal, permitindo identificar a relação entre vulnerabilidades estruturais e incidência de dengue. A epidemia de 2024, em Guaratinguetá, esteve associada a deficiências de saneamento, confirmando a necessidade de

respostas estruturais, como a ampliação da rede de esgoto e do gerenciamento de resíduos sólidos, com implementação de coleta seletiva, visando a reciclagem; bem como o planejamento urbano integrado. Segundo Queiroz, Silva e Heller (2020), a situação do saneamento básico de um município deve ser discutida e analisada minuciosamente, para a compreensão de como o saneamento básico afeta e contribui para a proliferação e disseminação do mosquito *Aedes aegypti*.

3.2 Educação Ambiental como estratégia de prevenção e controle de Arboviroses

A literatura científica evidencia que intervenções baseadas em educação ambiental, mobilização comunitária e gestão ambiental participativa constituem estratégias eficazes para reduzir criadouros do mosquito vetor *Aedes aegypti* e diminuir os índices de infestação em áreas urbanas (Vanlerberghe et al., 2009; Arunachalam et al., 2012; Soria et al., 2024). Nesta perspectiva, a educação ambiental vem se consolidando como estratégia fundamental para prevenção e controle de arboviroses, especialmente em contextos urbanos, onde fatores socioambientais e deficiências de saneamento básico favorecem a proliferação do *Aedes aegypti*. No âmbito deste projeto foram realizadas ações integradas de educação sanitária, mobilização social e disseminação de informações sobre práticas adequadas de saneamento e prevenção junto aos diferentes setores da comunidade do município de Guaratinguetá, descritas a seguir.

3.3.1. Interação dialógica de amplo alcance

Como o projeto foi implementado ao longo de dois anos, entre fevereiro de 2024 e janeiro de 2026, foram priorizadas as interações dialógicas entre a equipe universitária e as comunidades em situação de maior vulnerabilidade socioambiental. As atividades foram estruturadas de forma a promover não apenas a difusão de informações sobre as arboviroses, mas também o engajamento da população na identificação e eliminação de potenciais criadouros do vetor, fortalecendo o papel da comunidade na vigilância e no controle dessas doenças.

O diagnóstico das condições locais de saneamento básico e da ocorrência de casos de arboviroses no município, forneceu subsídios para a definição de áreas prioritárias para intervenção e orientou as estratégias de atuação do projeto. Essa etapa foi conduzida em parceria com a Secretaria Municipal de Saúde e com a SAEG, permitindo o acesso a dados epidemiológicos e informações relacionadas à infraestrutura de saneamento.

Além da análise dos dados fornecidos pela Secretaria Municipal de Saúde e da SAEG, foram promovidas ações de comunicação e divulgação científica para a população, por meio de plataformas digitais, como o Instagram da Prefeitura Municipal, buscando ampliar o alcance das informações e estimular o debate público sobre a situação epidemiológica do município de Guaratinguetá. Nessa perspectiva, foram realizadas transmissões ao vivo na plataforma Instagram, como a conduzida pelo veterinário José Eduardo Marques Júnior, parceiro do projeto junto à Secretaria de Saúde de Guaratinguetá, com o objetivo de promover a discussão pública dos casos de dengue registrados no município, bem como divulgar informações e orientar a população acerca das estratégias de prevenção e controle da doença (Figura 5). Essa atividade contribuiu para aproximar a universidade, os órgãos públicos e a comunidade, favorecendo o diálogo entre estas instituições e o acesso à informação e conscientização da população, promovendo a construção coletiva de estratégias de enfrentamento das arboviroses e ampliando a capacidade local de prevenção e controle dessas doenças.

Figura 5 – Live no Instagram para discussão da ocorrência de dengue e de estratégias de prevenção e controle da doença no município de Guaratinguetá.



Fonte: Autores.

3.2.1 Educação Ambiental e mobilização Social

As ações de educação ambiental, visando a mobilização social, foram realizadas por meio da interação dialógica entre a equipe universitária e crianças do ensino infantil (creches), estudantes de ensino fundamental e médio, e a comunidade em geral, por meio de eventos públicos e ações em parceria

com a Secretaria Municipal de Saúde, além da divulgação no perfil do Instagram.

Como material didático de apoio, foram elaborados e distribuídos para os diferentes setores da sociedade, cartilhas e folhetos informativos (Figura 6).

Figura 6 - Cartilhas disponibilizadas à comunidade na forma impressa e de E-book e folhetos informativos sobre estratégias de controle do vetor das arboviroses



Fonte: Autores.

Esses materiais didáticos tiveram como objetivo facilitar a compreensão sobre o ciclo de vida do mosquito *Aedes aegypti* e divulgar práticas sanitárias simples, mas eficazes na prevenção e controle da proliferação do vetor das arboviroses, incluindo a destinação adequada de resíduos sólidos, a vedação correta de reservatórios de água, o manejo e drenagem das águas pluviais, a captação segura de água de chuva e alternativas para o tratamento de esgoto doméstico.

A produção e disseminação desses materiais didáticos informativos constituíram uma estratégia relevante de educação ambiental, pois contribuíram para traduzir conteúdos técnicos em linguagem acessível, favorecendo a compreensão da população acerca dos fatores ambientais e sanitários associados à proliferação do mosquito vetor *Aedes aegypti*. Dessa forma, esses instrumentos contribuíram para ampliar o alcance das ações de sensibilização e estimularam a participação ativa da comunidade no controle de criadouros do vetor e na promoção de ambientes mais saudáveis.

As cartilhas e folhetos educativos foram impressos e distribuídos durante os eventos realizados ao longo do período de execução do projeto, ampliando o acesso da população a informações claras e objetivas sobre prevenção de arboviroses e práticas simples e adequadas de saneamento. Paralelamente, esses materiais também foram disponibilizados gratuitamente em formato digital (e-

books) por meio do perfil do projeto na plataforma Instagram, possibilitando maior alcance e continuidade das ações de educação ambiental para além das atividades presenciais.

3.3.2.1. Interação dialógica com o público geral

A Figura 7 ilustra uma das ações de divulgação do projeto no âmbito da iniciativa “UNESP na Praça”, promovida pela FEG/UNESP. Esta atividade foi realizada na Praça Conselheiro Rodrigues Alves e no Mercado Municipal de Guaratinguetá, reunindo estudantes, docentes e membros da comunidade local. Na ocasião, foram apresentados ao público diversos projetos de ensino, pesquisa e extensão desenvolvidos pela instituição, incluindo as ações voltadas à prevenção e ao controle de arboviroses. As atividades contaram com o apoio da Secretaria Municipal de Saúde de Guaratinguetá, fortalecendo a articulação entre universidade, poder público e sociedade na promoção da saúde e da educação ambiental.

Para estimular a conscientização e a mobilização comunitária, foram apresentadas experiências exitosas obtidas com a adoção de práticas como a coleta seletiva, a vedação de caixas d’água e a instalação de sistemas simples de captação de água de chuva e de sistemas descentralizados de tratamento de esgoto, como as fossas sépticas biodigestoras.

As ações de conscientização e mobilização social realizadas nos eventos “UNESP na Praça” foram desenvolvidas com crianças, adolescentes e adultos, por meio de abordagens simples, lúdicas e pedagogicamente orientadas, de modo a favorecer a compreensão e o engajamento do público participante. Para o público infantil, foram promovidas atividades recreativas, como desenhos para colorir, pintura facial e a distribuição de pequenos brindes, como pirulitos, criando um ambiente acolhedor e interativo. Essas estratégias contribuíram para estimular a participação das crianças e, conseqüentemente, aproximar também seus familiares das atividades educativas, favorecendo a integração das famílias e fortalecendo o envolvimento da comunidade nas ações de educação ambiental e prevenção de arboviroses.

Figura 7 - Registro das ações de educação ambiental junto ao público geral, realizadas nos eventos “UNESP na Praça” em Guaratinguetá/SP



Fonte: Autores.

3.3.2.2. Interação dialógica com estudantes do Ensino Médio

As ações de educação ambiental voltadas à prevenção e ao controle de arboviroses também foram desenvolvidas no âmbito do evento “Universidade de Portas Abertas”, promovido pela Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá (FEG/UNESP). Esta iniciativa recebe anualmente estudantes do ensino

médio de escolas públicas e privadas da região, com o objetivo de proporcionar contato direto com a infraestrutura acadêmica e com os cursos de graduação oferecidos pela instituição.

Durante o evento, os participantes têm a oportunidade de conhecer as atividades de ensino, pesquisa e extensão desenvolvidas na universidade, favorecendo a aproximação entre a comunidade escolar e o ambiente universitário. Além disso, a ação busca estimular o interesse dos estudantes pelo ensino superior, incentivando sua participação nos processos seletivos da instituição e ampliando o acesso à informação sobre as oportunidades de formação acadêmica (Figura 8). Nesse contexto, as atividades do projeto voltadas à educação ambiental foram apresentadas aos visitantes, promovendo a sensibilização dos estudantes acerca da importância da prevenção e do controle de arboviroses, bem como da adoção de práticas adequadas de saneamento e cuidado ambiental em seus contextos familiares e comunitários.

Figura 8 – Interação dialógica da equipe universitária com estudantes do ensino médio, durante o evento “Universidade de Portas Abertas” promovido pela FEG/UNESP



Fonte: Autores.

Durante o evento, foram realizadas atividades de sensibilização e orientação voltadas à temática das arboviroses, com foco na disseminação de informações sobre o ciclo de vida do mosquito vetor *Aedes aegypti* e nas principais medidas de prevenção relacionadas ao saneamento básico e às práticas cotidianas de cuidado ambiental. A iniciativa buscou promover a conscientização dos estudantes sobre os fatores ambientais e sanitários associados à ocorrência de doenças como dengue, zika e

chikungunya, incentivando a adoção de comportamentos preventivos em suas residências e comunidades.

Além de contribuir para a aproximação entre universidade e sociedade, essa ação buscou estimular a formação de jovens multiplicadores de conhecimento, capazes de disseminar informações corretas sobre prevenção e controle de arboviroses em seus contextos escolares e familiares, ampliando o alcance das estratégias de educação ambiental voltadas à promoção da saúde coletiva.

3.3.2.3. Interação dialógica com estudantes do Ensino Fundamental II

As ações de interação dialógica com estudantes do Ensino Fundamental II da rede pública, abordaram a relação entre as arboviroses e as condições de saneamento básico (Figura 9). Essa iniciativa teve como propósito fortalecer a conscientização no ambiente escolar, incentivando os estudantes a atuarem como multiplicadores de conhecimento em seus contextos familiares e comunitários. Nesse sentido, buscou-se promover a compreensão sobre os fatores ambientais e sanitários associados à ocorrência de arboviroses, destacando a importância das ações de controle vetorial direcionadas ao mosquito *Aedes aegypti*. Entre as medidas enfatizadas, destacam-se a eliminação de potenciais criadouros, o manejo adequado da água armazenada e a correta destinação de resíduos sólidos, práticas essenciais para a redução de ambientes favoráveis à proliferação do vetor.

Figura 9 – Interação dialógica com estudantes do ensino fundamental II



Fonte: Autores.

3.3.2.4. Interação dialógica com crianças da Educação Infantil

As atividades de interação dialógica realizadas com crianças da Educação Infantil mostraram-se particularmente enriquecedoras e prazerosas, tanto para os participantes quanto para a equipe envolvida no projeto. Por meio de abordagens lúdicas e pedagógicas adequadas à faixa etária, foi possível promover um ambiente de aprendizado participativo, no qual as crianças puderam compreender, de forma simples e acessível, aspectos relacionados à prevenção e ao controle das arboviroses. Nesse contexto, as crianças desempenham um papel relevante na dinâmica do núcleo familiar, uma vez que tendem a assimilar com facilidade as informações transmitidas em atividades educativas e a reproduzi-las em seu ambiente doméstico. Dessa forma, as crianças tornam-se importantes agentes multiplicadores de conhecimento, contribuindo para sensibilizar familiares sobre a importância de práticas preventivas, como a eliminação de possíveis criadouros do mosquito vetor *Aedes aegypti*, o cuidado com recipientes que possam acumular água e a manutenção de ambientes limpos e organizados.

Na Figura 10 podem ser observadas as ações de vistoria do quintal da creche “Pingo de Gente”, em uma dinâmica de “caça ao mosquito”, visando a identificação e eliminação de criadouros do *Aedes aegypti*. A metodologia incluiu o uso de recursos audiovisuais adaptados ao público infantil e a distribuição de máscaras temáticas para estimular o lúdico e a criatividade. O engajamento das crianças foi evidenciado durante a coleta de resíduos sólidos e a secagem de recipientes e brinquedos com água parada. Complementarmente, os universitários realizaram intervenções lúdicas caracterizados como o mosquito *Aedes*, em parceria com a Secretaria de Saúde de Guaratinguetá, fortalecendo a integração entre o saber acadêmico e a prática comunitária. O material pedagógico, incluindo a cartilha informativa do projeto, foi formalmente entregue ao corpo docente para assegurar a continuidade das ações nas creches.

Figura 10 – Interação dialógica com crianças da Educação Infantil



Fonte: Autores.

Essa experiência permitiu verificar que a inserção de ações de educação ambiental voltadas ao público infantil representa uma estratégia eficaz de promoção da saúde e de fortalecimento das medidas de prevenção de arboviroses, ampliando o alcance das informações e incentivando a adoção de hábitos mais responsáveis no cotidiano das famílias e da comunidade.

3.3.3. Respostas estruturais da Prefeitura Municipal de Guaratinguetá

As respostas estruturais adotadas pela Prefeitura Municipal de Guaratinguetá no enfrentamento das arboviroses têm se baseado em ações integradas, articulando a introdução da vacinação em 2025, políticas de saneamento, com a melhoria da gestão de resíduos sólidos, a vigilância epidemiológica e a mobilização social (Figura 11). Essas medidas buscam atuar não apenas no controle emergencial dos

surtos, mas também na mitigação dos fatores ambientais que favorecem a proliferação do mosquito vetor *Aedes aegypti*.

Figura 11 – Coleta seletiva de resíduos sólidos uma resposta estrutural da prefeitura municipal



Fonte: SAEG (2026).

Entre as estratégias estruturais implementadas pelo poder público municipal, destaca-se a ampliação e fortalecimento das ações de manejo adequado de resíduos sólidos, com ênfase na implantação e consolidação do sistema de coleta seletiva. A iniciativa tem como objetivo promover a segregação dos resíduos recicláveis na fonte geradora, incentivando sua destinação adequada e reduzindo o descarte irregular em vias públicas, terrenos baldios e áreas verdes. A gestão inadequada de resíduos sólidos constitui um fator relevante na formação de ambientes propícios ao acúmulo de água e, consequentemente, à criação de potenciais criadouros do vetor.

Nesse contexto, a coleta seletiva representa uma importante ferramenta de prevenção indireta das arboviroses, ao contribuir para a redução de materiais descartados de forma inadequada que possam acumular água da chuva, como embalagens plásticas, latas, garrafas e outros recipientes. Além de seus benefícios ambientais associados à promoção da economia circular e à redução do volume de resíduos encaminhados para disposição final, o sistema de coleta seletiva também desempenha um papel significativo na promoção da saúde pública.

A implementação dessas ações tem sido acompanhada por campanhas educativas e iniciativas de conscientização da população, buscando incentivar a participação da comunidade na separação correta dos resíduos e na manutenção de ambientes urbanos mais limpos e seguros. Dessa forma, as respostas estruturais adotadas pelo município evidenciam a importância da integração entre políticas

de saneamento, educação ambiental e vigilância em saúde como estratégias fundamentais para a prevenção e o controle sustentável das arboviroses no território municipal.

3.3.4. Divulgação Técnica e Científica

A divulgação dos resultados obtidos ao longo do projeto tem sido realizada por meio de diferentes estratégias de comunicação científica e de extensão, visando ampliar o alcance das informações produzidas e fortalecer o diálogo entre universidade, poder público e sociedade.

Entre as principais formas de disseminação destacam-se a elaboração de relatórios técnico-científicos, a apresentação de trabalhos em eventos acadêmicos, científicos e de extensão (Figura 12) e a produção de materiais educativos destinados ao público em geral.

Figura 12 – Divulgação das ações do projeto em eventos científicos e de extensão universitária



Fonte: Autores.

Nesse contexto, foi elaborada a cartilha educativa “Juntos no Combate às Arboviroses” (ISBN 978-65-88830-37-6), que reúne informações sobre prevenção, controle vetorial e práticas relacionadas ao saneamento básico e à promoção da saúde. O material foi concebido com linguagem acessível e caráter didático, com o objetivo de facilitar a compreensão da população sobre os fatores ambientais associados à proliferação do mosquito vetor, *Aedes aegypti*, e incentivar a adoção de medidas preventivas no cotidiano da população.

Além dos meios acadêmicos tradicionais, a divulgação das ações e dos resultados do projeto também tem sido realizada por meio do perfil @sanearbo.2024 na plataforma Instagram (Figura 13). O logotipo utilizado no perfil do projeto no Instagram foi desenvolvido pelos integrantes do projeto com o objetivo de reforçar o lema da iniciativa e estabelecer uma identidade visual atrativa, capaz de facilitar

o reconhecimento das ações e ampliar o engajamento do público nas atividades de educação ambiental e prevenção das arboviroses.

Figura 13 – Logotipo do projeto utilizado no perfil do projeto no Instagram @sanearbo.2024



Fonte: Autores.

A utilização dessa ferramenta digital possibilita a disseminação contínua de conteúdos informativos, registros das atividades desenvolvidas e orientações voltadas à prevenção das arboviroses, ampliando o alcance das ações educativas e favorecendo a interação com diferentes segmentos da comunidade. Dessa forma, a combinação de estratégias de comunicação científica e de divulgação em mídias digitais tem contribuído para fortalecer a visibilidade do projeto, promover a educação ambiental e ampliar o impacto social das iniciativas voltadas à prevenção e ao controle das arboviroses.

As publicações no Instagram @sanearbo.2024 tiveram forte impacto na divulgação das ações do projeto e difusão de informações relevantes para prevenção e controle de arboviroses, sendo contabilizadas 15.505 visualizações das postagens no período de 8,5 meses (de 29/04/24 a 13/01/2024). Em agosto de 2025 o perfil foi hackeado, mas a equipe conseguiu recuperá-lo e dar continuidade à divulgação das ações do projeto, sendo registradas 2.347 visualizações entre novembro de 2025 a janeiro de 2026, evidenciando a importância das plataformas digitais no processo de conscientização da população.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos ao longo da execução do projeto comprovaram que a integração entre ações de educação ambiental, melhoria das condições de saneamento básico e mobilização social constitui uma estratégia eficaz para a prevenção e o controle das arboviroses no contexto urbano. Entre as principais

contribuições destacam-se a promoção de soluções sanitárias acessíveis, como fossas sépticas biodigestoras e sistemas de captação de água pluvial, a ampliação da adesão da população às práticas de eliminação de criadouros do mosquito vetor *Aedes aegypti* e o fortalecimento do protagonismo comunitário em ações voltadas ao manejo adequado de resíduos e à coleta seletiva.

A consolidação das parcerias institucionais com a Secretaria Municipal de Saúde e com a Companhia de Serviços de Água, Esgoto e Resíduos de Guaratinguetá (SAEG), especialmente a partir de 2025, representou um marco importante para o projeto, permitindo a incorporação de dados epidemiológicos mais precisos e a ampliação da atuação territorial das ações desenvolvidas. Essa articulação institucional contribuiu para o fortalecimento das estratégias de controle vetorial e para a implementação de medidas estruturantes no município de Guaratinguetá, como a implantação do programa municipal de coleta seletiva em janeiro de 2026.

Os indicadores epidemiológicos reforçam a efetividade das intervenções implementadas. Entre janeiro e agosto de 2025 foram registrados 275 casos de dengue no município, representando uma redução expressiva em comparação aos 7.445 casos prováveis registrados em 2024. Embora a introdução da vacinação contra a dengue em maio de 2024 tenha contribuído significativamente para esse cenário, a associação entre a melhoria das condições de saneamento e a redução da incidência da doença reforça a relevância do saneamento básico como estratégia estrutural e sustentável para o controle das arboviroses em longo prazo.

Além dos resultados sanitários, o projeto também promoveu uma reflexão ampliada sobre a relação entre saúde pública, ambiente e desigualdades socioespaciais. Ao priorizar ações educativas e tecnologias de baixo custo em áreas mais vulneráveis, a iniciativa contribuiu para ampliar o acesso a soluções de saneamento e para promover maior equidade na prevenção das doenças. Nesse sentido, as ações desenvolvidas dialogam diretamente com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável relacionados à saúde, educação, água e saneamento, trabalho digno e cidades sustentáveis.

Conclui-se, portanto, que a articulação entre conhecimento técnico-científico, políticas públicas e participação comunitária constitui um caminho promissor para a construção de estratégias mais efetivas de promoção da saúde. A experiência desenvolvida em Guaratinguetá demonstra que a cooperação entre universidade, poder público e sociedade pode gerar impactos concretos na melhoria da qualidade de vida da população, contribuindo para o desenvolvimento de cidades mais resilientes, saudáveis e socialmente justas.

REFERÊNCIAS

Abreu, R. L. Mapa de localização do município de Guaratinguetá no Estado de São Paulo, Brasil. 2006. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Guaratinguet%C3%A1#/media/Ficheiro:SaoPaulo_Municip_Guaratingueta Acesso em: 14 mar. de 2026.

Aqui Vale. Guaratinguetá registra maior volume de chuva do estado nas últimas 24 horas e tem pontos de alagamento. 2026. Disponível em: <https://portalaquivale.com.br/guaratingueta-registra-maior-volume-de-chuva-do-estado-nas-ultimas-24-horas-e-tem-pontos-de-alagamento/>. Acesso em: 10 mar. 2026.

Arunachalam, N. et al. Community-based control of *Aedes aegypti* by adoption of eco-health methods in Chennai City, India. *Pathogens and Global Health*, v. 106, n. 8, p. 488–496, 2012.

Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente – Abrema. Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2025. São Paulo: Abrema, 2025. Disponível em: <https://www.abrema.org.br/panorama/>. Acesso em: 14 mar. de 2026.

Brasil. Ministério das Cidades. Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico – SINISA. Brasília, DF: Ministério das Cidades, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/cidades/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/sinisa>. Acesso em: 14 mar. 2026.

Brasil. Ministério da Saúde. Boletim Epidemiológico: Monitoramento dos casos de arboviroses urbanas transmitidas pelo *Aedes aegypti* (dengue, chikungunya e zika), semanas epidemiológicas 52p., 2024. Brasília: Ministério da Saúde, 2024.

Brasil. Ministério da Saúde. Painel de Monitoramento das Arboviroses. Brasília, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/saude/ptbr/assuntos/saude-de-a-a-z/a/aedes-aegypti/monitoramento-das-arboviroses>. Acesso em: 26 abr. 2025.

Dias, I. K. R. et al. Ações educativas de enfrentamento ao *Aedes Aegypti*: revisão integrativa. *Ciência e Saúde Coletiva*, v.27, n.1, p.231-241, 2022.

Instituto Água e Saneamento. Guaratinguetá (SP). 2025. Disponível em: <https://www.aguaesaneamento.org.br/municipios-e-saneamento/sp/guaratingueta>. Acesso em: 10 mar. 2026.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Censo Demográfico Brasileiro 2022: Cidades e Estados - Guaratinguetá (SP). Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/guaratingueta/panorama>. Acesso em: 10 mar. 2026.

Instituto Trata Brasil. Ranking do Saneamento 2024: estudo sobre os indicadores de saneamento nas 100 maiores cidades brasileiras (SNIS 2022). 15 ed. São Paulo: Trata Brasil, 2024. 88 p. Disponível em: <https://tratabrasil.org.br/ranking-do-saneamento-2024/>. Acesso em: 26 abr. de 2024.

Kummer, L. Metodologia participativa no meio rural: uma visão interdisciplinar - conceitos, ferramentas e vivências. Salvador: GTZ/EBDA, 2007. 155 p.

Prefeitura Municipal de Guaratinguetá. Painel de Arboviroses 2025. Guaratinguetá: Secretaria Municipal de Saúde, 2025. Disponível em: <https://guaratingueta.sp.gov.br/saude/>

Prefeitura Municipal de Guaratinguetá. Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos de Guaratinguetá. Guaratinguetá: Prefeitura Municipal de Guaratinguetá, 2017. Disponível em: <https://www.saeg.net.br/pmgirs-plano-municipal-de-gestao-integrada-de-residuos-solidos/> Acesso em: 14 mar. de 2026.

Queiroz, J. T. M.; Silva, P. N.; Heller, L. Novos pressupostos para o saneamento no controle de arboviroses no Brasil. *Cadernos de Saúde Pública*, Rio de Janeiro, v. 36, n. 4, e00233719, 2020.

Rede Vanguarda. Chuva causa alagamentos, deixa carros submersos e tira 10 pessoas de casa em Guaratinguetá. 06 mar. 2026. Disponível em: <https://g1.globo.com/sp/vale-do-paraiba-regiao/noticia/2026/03/06/video-chuva-causa-alagamentos-deixa-carros-submersos-e-tira-10-pessoas-de-casa-em-guaratingueta.ghtml> Acesso em: 14 mar. 2026.

Serviço Autônomo de Água, Esgoto e Resíduos de Guaratinguetá – SAEG. Informações institucionais sobre os serviços de esgotamento sanitário no município de Guaratinguetá. Guaratinguetá: SAEG, 2026. Comunicação institucional.

Soria, C. et al. Systematic Review of Impacts of Educational Interventions to Control Breeding Sites of *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* Mosquitoes. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, v. 110, n. 5, p. 979–988, 2024.

Souza, R. L. et al. Density of *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) in a low-income Brazilian urban community where dengue, Zika and chikungunya viruses co-circulate. *Parasites & Vectors*, v. 16, n. 159, 2023.

Vanlerberghe, V. et al. Community involvement in dengue vector control: cluster randomised trial. *BMJ*, v. 338, b1959, 2009.

World Health Organization (WHO); United Nations Children's Fund (UNICEF). Progress on household drinking water, sanitation and hygiene 2000–2024. Joint Monitoring Programme (JMP). Geneva/New York: WHO; UNICEF, 2024.

World Health Organization (WHO). Health and Environment Linkages Initiative (HELI): Driving Forces–Pressure–State–Exposure–Effect–Action framework. Geneva: WHO/UNEP, 2001.

Capítulo 14



10.37423/260310864

ÁGUA E CLIENTE NA CADEIA DE SUPRIMENTOS

Lara Dias de Jesus

Centro Universitário FEI



RESUMO

A procura pela água está cada vez maior e o abastecimento cada vez menor. Os consumidores estão cada vez mais exigentes e mudando suas preferências para empresas mais sustentáveis. A coordenação da cadeia de abastecimento de água é um ramo da gestão da cadeia de abastecimento e deve ter estudos que conduzam estratégias de tomada de decisão. Portanto é necessária uma operação sustentável e uma gestão de riscos da água nas operações. Deste modo foi realizada pesquisa de revisão bibliométrica e sistemática, em maio de 2024, na base de dados Scopus, que contém informações multidisciplinares, abrangentes e confiáveis, para identificar o cenário atual da cadeia de suprimentos da água, conectando com a experiencia do cliente. Em 17 artigos localizados foi possível identificar diversas informações, entre elas os autores de referência e a origem dos estudos, liderados pela China. A principal contribuição desta pesquisa é o levantamento de lacunas para pesquisas futuras e as teorias que estão conduzindo o tema.

1 INTRODUÇÃO

Com o aumento da população, o desenvolvimento da economia social e a melhoria dos padrões de vida das pessoas, as contradições entre a procura cada vez maior e o abastecimento de água cada vez menor, tornam-se cada vez mais agudas, pois atualmente, os seres humanos enfrentam problemas como a escassez de água, a poluição e a disputa pela água (TAO, 2008).

Como a fonte da vida e o berço da civilização, a água tem uma importante função de recurso, função ecológica e função económica e devido à escassez de recursos hídricos e ao lançamento de um maior número de esgotos domésticos e efluentes industriais, o processo de fabricação de água potável é crítico (HUANG, TANG, 2021). E de acordo com esses autores os consumidores estão a mudar as suas preferências para marcas mais amigas do ambiente e a colaboração entre parceiros é benéfica para trazer melhorias ambientais e económicas aos parceiros de abastecimento de água.

A coordenação da cadeia de abastecimento de água é um ramo da gestão da cadeia de abastecimento (HUANG, TANG, 2021). Segundo a pesquisa há estudos de estratégias de tomada de decisão dos membros da cadeia de abastecimento de água, papel dos atores, os modelos de contrato, análises de demanda, financiamentos, distribuição de água, redução de tempo e recursos, segurança da cadeia, entre outros.

De acordo com Lepawsky (2024) as alterações climáticas são uma causa do risco de stress hídrico a nível mundial e a dinâmica da rede significa que os riscos de stress hídrico podem propagar-se de empresas individuais ou regiões de preocupação para sistemas sistémicos. Em análise feita para riscos de stress hídrico projetados para 2030 e 2040 no âmbito dos três cenários de emergência climática (otimista, BAU e pessimista, sugerem que existe uma grande probabilidade de surgirem riscos de stress hídrico nas infraestruturas de produção nas próximas duas décadas.

A chegada da era da informação levará inevitavelmente à informatização da gestão inteligente da cadeia de abastecimento de água (RUAN, 2021). Para o autor a cadeia inteligente de abastecimento de água precisa de controle de riscos, enfatizando a integridade, com uso de tecnologia avançada da Internet das coisas, realizar a integração de informações da cadeia de abastecimento e reduzir o risco de perda da cadeia de abastecimento de água.

Dada a escala do consumo de água, a variação geográfica e temporal na disponibilidade de água, a sustentabilidade do uso da água representa um importante tópico de investigação (CRIST, 2015).

Com base nesse cenário, esta pesquisa busca entender o panorama da cadeia de suprimentos, com foco na cadeia de suprimentos da água e na experiência do cliente. Para alcançar tal objetivo foi realizada uma revisão bibliométrica e sistemática. Cujos resultados serão apresentados ao longo deste artigo.

Este artigo conta com, além desta introdução, o referencial teórico apresentado a seguir, e item de metodologia, coleta e análise de dados, bem como conclusões e referências.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Conforme mencionado em Mentzer *et al.* (2001), o sucesso das empresas depende das interações entre os fluxos de informação, materiais, dinheiro, mão de obra e equipamento de capital e a dinâmica do sistema pode influenciar o desempenho de funções como pesquisa, engenharia, vendas e promoção. De acordo com o autor a cadeia de suprimentos, *suplly chain* (CS), é um conjunto de três ou mais entidades (organizações ou indivíduos) diretamente envolvidas nos fluxos upstream e downstream de produtos, serviços, finanças e/ou informações de uma fonte para um cliente.

Segundo Ahmed (2015) a cadeia de suprimentos é uma disciplina que atende às necessidades do cliente e à eficiência operacional de um negócio do ponto de vista do processo. Para Mentzer *et al.* (2001), as cadeias de abastecimento existem, sejam elas geridas ou não e o consumidor final é considerado um membro da cadeia de abastecimento.

A gestão da cadeia de abastecimento (SCM) é definida como a coordenação estratégica e sistêmica das funções empresariais tradicionais e das funções empresariais táticas dentro de uma determinada empresa e entre empresas dentro da cadeia de abastecimento, com o objetivo de melhorar o desempenho a longo prazo das empresas individuais e da cadeia de abastecimento como um todo (MENTZER, *et. al.* 2001).

Apesar da sua crescente importância, as empresas muitas vezes têm uma compreensão limitada dos contextos regulamentares, ambientais e sociais. Tanto de seus fornecedores upstream, quando comparado com suas próprias operações e aqueles de seus fornecedores imediatos (TAHERZADEH, 2021).

A regulamentação governamental, tal como a melhoria do desempenho é uma preocupação global que os líderes da cadeia de abastecimento em todo o mundo devem ter (DOBRZYKOWSKI, 2019). Para

o autor há pressão para inovar na gestão a fim de melhorar as medidas tradicionais de desempenho da cadeia de abastecimento, nomeadamente custo, qualidade e experiência do cliente.

Segundo pesquisa realizada por Ku (2022) as capacidades tecnológicas melhoram a agilidade da cadeia de abastecimento, ressaltando a importância estratégica e o valor da flexibilidade e das ligações dos fornecedores sendo cada vez mais importantes aproveitar as capacidades analíticas e criar uma vantagem competitiva.

No âmbito jurídico, Piszcz (2019) chama a atenção para a necessidade de uma proteção “bilateral”, ou seja, a proteção tanto dos fornecedores contra os compradores como dos compradores contra os fornecedores.

De acordo com Dobrzykowski (2019) os fluxos de produtos ou materiais são uma preocupação principal no nível a montante da cadeia de abastecimento e a coordenação da informação e dos fluxos de trabalho é uma preocupação primordial no nível a jusante da cadeia de abastecimento.

É sugerido por Crist (2015) que, para operar de forma sustentável, as organizações precisam se envolver com abordagens de gestão ambiental orientadas para a cadeia de abastecimento, de modo que também tenham acesso a formas apropriadas de dados físicos e monetários, pois é um passo vital para que este objetivo seja alcançado.

Conforme estudo de Mehregan et. al. (2024) é importante examinar os impactos económicos e ambientais de acordo com a cadeia de abastecimento, pois permite ao decisor examinar o sistema como um todo e evitar atrasos na distribuição de água aos consumidores e poderia afetar o desempenho global da cadeia de abastecimento.

Um aspecto importante dentre as questões sociais e ambientais é a gestão do recurso hídrico. Para as empresas que querem fazer uma gestão mais sustentável, um conjunto mínimo de práticas são recomendadas, entre elas compras verdes, aquisição de matérias-primas verdes, gestão de resíduos, de água e ar, transporte e distribuição ecológicos, entre outras (ZIMON et. al. 2001).

De acordo com Zimon et. al. (2001), é ainda necessário fazer a gestão da água pois atende o Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 6 - Água Limpa e Saneamento, de modo que os formuladores de políticas precisam atuar na implementação de tecnologias de produção que minimizam o consumo de água (em cada um dos links que co-criam o cadeias de suprimentos), aumentando o importância da

eficiência hídrica, não contaminação, e fazer que seus funcionários estejam cientes da justificativa para gestão da água. Em seu texto nota-se ainda que é necessária uma operação sustentável e uma gestão de riscos da água.

Ao desenvolver uma melhor gestão de distribuição e logística, as operações são mais econômicas, com distribuições zonais convenientes e características de SCM responsivas, de modo que é sugerido plano de distribuição espacial e uma solução de sequenciação de rotas para a distribuição de água (AHMED, 2015).

A relação interativa entre economia de água e esforços publicitários pode não só poupar mais recursos hídricos, mas também permitir que os consumidores desfrutem de produtos mais amigos do ambiente (WANG, 2024).

A seguir está apresentado o método do desenvolvimento deste trabalho.

3 MÉTODO

A revisão apresentada consiste em método de revisão bibliométrica e sistemática. De acordo com Zupic e Cater (2015) o método bibliométrico mapeia de forma quantitativa os estudos da área que se pretende pesquisar, além devido sua transparência, serem passíveis de reprodução. Um levantamento de dados bibliométricos permite identificar correntes invisíveis de pesquisa, que são grupos de pesquisadores que compartilham dos mesmos interesses. E os dois usos principais deste método são análise de desempenho do tema e o mapeamento científico do desenvolvimento de pesquisas e publicações de indivíduos e instituições. A técnica de bibliometria faz uso de métodos quantitativos para analisar as publicações científicas (JULIANI, 2014)

A pesquisa foi realizada em maio de 2024, na base de dados Scopus, que contém informações multidisciplinares, abrangentes e confiáveis. O processo de levantamento dos artigos contou com uma sequência de buscas e refinamentos, conforme descritos a seguir. As palavras-chave base da pesquisa foram *supply chain*, *water*, *water supply chain* e *customer experience*, com as palavras-chave em inglês, a fim de tornar a pesquisa mais abrangente.

A primeira busca foi a pesquisa com as palavras-chave “*supply chain*” e *water* no campo *article title*, resultando em 246 documentos. Seguida da palavra-chave “*water supply chain*” no campo *article title*,

resultando em 26 documentos. E por fim as palavras “*supply chain*” no campo *article title* com “*water*” e “*customer experience*”, pesquisando em *all fields*. resultando em 20 documentos.

O passo seguinte se deu pelo refinamento das buscas, sendo considerados apenas artigos que possuem DOI, sendo estes apenas 22 artigos. Na sequência ainda foram excluídos três arquivos que se tratava de livros e dois artigos em duplicidade. Para a continuidade da pesquisa foram considerados 17 artigos, publicados entre 2008 e 2004, em sua maioria em periódicos considerados top journals, com 58, 82% classificados em Q1, de acordo com a plataforma Scimago Journal & Country Rank - SJR, conforme Tabela 1.

Tabela 1 - Classificação dos Journals

Artigo	Ano	Classificação	Journal
Study on inventory control in water resource supply chain management	2008	Não identificado	International Seminar on Business and Information Management, ISBIM 2008
Supply chain planning for water distribution in Central Asia	2009	Q1	Industrial Management and Data Systems
Water management accounting and the wine supply chain: Empirical evidence from Australia	2014	Q1	British Accounting Review
Tropical agriculturalisation: scenarios, their environmental impacts and the role of climate change in determining water-for-food, locally and along supply chains	2015	Q1	Food Security
Water Management Accounting and the Wine Supply Chain: Empirical Evidence from Australia	2015	Q3	Social and Environmental Accountability Journal
Professional service supply chains	2016	Q1	Journal of Operations Management
Understanding the Downstream Healthcare Supply Chain: Unpacking Regulatory and Industry Characteristics	2019	Q1	Journal of Supply Chain Management
Optimization of Reverse Osmosis Water Desalination Supply Chain with Economic and Environmental Approach (Case Study: Water Desalination Supply Chain in Hormozgan Province)	2020	Q4	Journal of Environmental Studies
EU Directive on Unfair Trading Practices in Business-to-Business Relationships in the Agricultural and Food Supply Chain: Dipping a Toe in the Regulatory Waters?	2020	Não identificado	Balkan Yearbook of European and International Law
Water resources supply chain of south-to-north water transfer project	2021	Q3	Desalination and Water Treatment
Locating pressures on water, energy and land resources across global supply chains	2021	Q1	Journal of Cleaner Production
Pollution risk combination optimization control method for drinking water's intelligent cold chain supply chain	2021	Descontinuado	Arabian Journal of Geosciences
Technological capabilities that enhance tourism supply chain agility: role of E-marketplace systems	2022	Q1	Asia Pacific Journal of Tourism Research

Retraction: Analysis on the Water Supply Chain Model under Revenue-Sharing Contract considering Marketing Effort, Water Purity (Mathematical Problems in Engineering (2021) 2021 (5593463) DOI: 10.1155/2021/5593463)	2023	Q2	Mathematical Problems in Engineering
Rethinking Salt Supply Chains: Cost and Emissions Analysis for Coproduction of Salt and Fresh Water from U.S. Seawater	2023	Q1	Management Science
Climate change induced water stress and future semiconductor supply chain risk	2024	Q1	iScience
Optimal pricing strategy considering consumer sensitivity to water-saving and advertising in the apparel supply chains	2024	Q1	Kybernetes

Fonte 1: Elaborado pela autora

Observa-se que a maioria dos artigos estão publicados em journals de referência considerados como Q1 e Q2 na classificação, no entanto há publicações em periódicos de menor avaliação, duas unidades não foram encontradas nas avaliações na SJR e um deles teve sua publicação descontinuada.

Em um segundo passo foi realizado um estudo longitudinal onde foram lidos criticamente os 17 artigos para identificar os estágios de evolução da literatura de *water supply chain*.

Para compor o referencial teórico deste texto, acrescentou-se dois artigos, sendo eles *Defining Supply Chain Management* e *Drivers of sustainable supply chain management: Practices to alignment with un sustainable development goals*, ambos também publicados em journals de alto desempenho.

Os achados nesta pesquisa, estão fundamentados nos artigos supracitados, e seguem no item coleta e análise de dados.

4 COLETA E ANÁLISE DE DADOS

A primeira análise dos artigos consistiu em verificar a quantidade de citações de cada um, segundo informações da base de dados pesquisada. As informações seguem da Tabela 2, abaixo:

Tabela 2 - Quantidade de citações

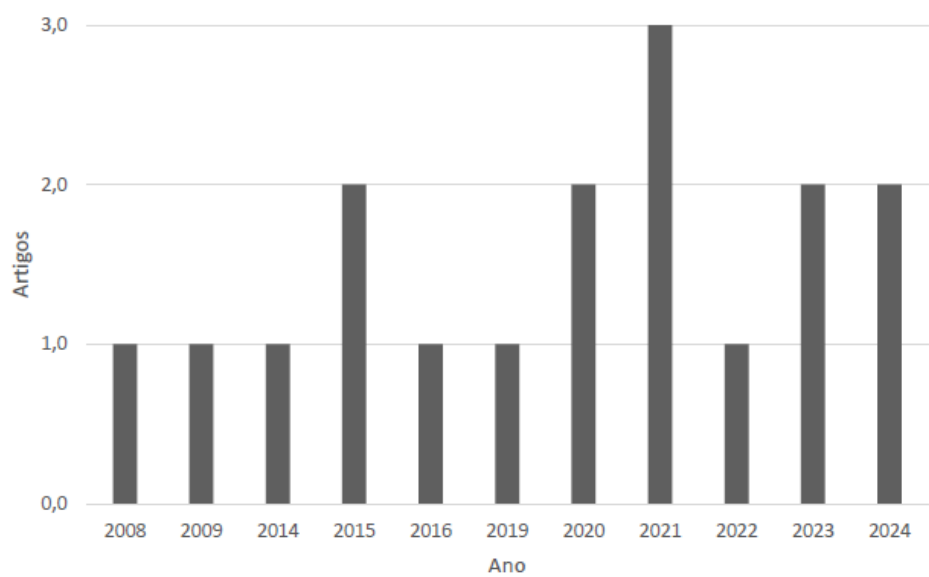
Título	Quantidade de citações
Water management accounting and the wine supply chain: Empirical evidence from Australia	66
Understanding the Downstream Healthcare Supply Chain: Unpacking Regulatory and Industry Characteristics	40
Professional service supply chains	29
Technological capabilities that enhance tourism supply chain agility: role of E-marketplace systems	11
Tropical agriculturalisation: scenarios, their environmental impacts and the role of climate change in determining water-for-food, locally and along supply chains	6
Supply chain planning for water distribution in Central Asia	5
Study on inventory control in water resource supply chain management	3
Water Management Accounting and the Wine Supply Chain: Empirical Evidence from Australia	3
Pollution risk combination optimization control method for drinking water's intelligent cold chain supply chain	3
Locating pressures on water, energy and land resources across global supply chains	2
Optimization of Reverse Osmosis Water Desalination Supply Chain with Economic and Environmental Approach (Case Study: Water Desalination Supply Chain in Hormozgan Province)	1
Rethinking Salt Supply Chains: Cost and Emissions Analysis for Coproduction of Salt and Fresh Water from U.S. Seawater	1

Fonte 2: Elaborado pela autora.

Os artigos com mais citações envolvem temas de gestão da água, questões regulatórias que impactam a cadeia, profissionais e capacidades tecnológicas.

Uma observação a ser realizada é que o artigo *Water management accounting and the wine supply chain: Empirical evidence from Australia* foi publicado em diferentes locais e menciona outro autor. Para esta pesquisa, não foi considerado como duplicidade. E a análise segue com os dois artigos. A seguir Figura 1, demonstrando a evolução da quantidade de publicações ao longo dos anos.

Figura 1: Evolução da quantidade de publicações



Fonte 3: Elaborado pela autora

Neste levantamento os artigos aparecem a partir de 2008 até 2024, conectando temas de água, cadeia de suprimentos e experiencia do cliente. A produção ainda está emergindo, quando o olhar esta para o número de publicações. O ano com mais publicações foi 2021. Nota-se uma tendência de aumento de publicações na temática pois apenas no início de 2024, já foram localizadas duas pesquisas. Em relação à produção por instituição de ensino, apresenta-se a Quadro 1, abaixo:

Quadro 1- Universidades de origem

Universidades
Bang College of Business, KIMEP, Australia
Bowling Green State University, Estados Unidos
Business School, Hohai University, China
College of Information Engineering, Shandong Management University, China
Department of Geography, King’s College London, Reino Unido
Department of Geography, Memorial University of Newfoundland and Labrador, Canada
Department of Geography, University of Cambridge, Reino Unido
Department of Travel Management, National Kaohsiung University of Hospitality and Tourism, Taiwan
Economic and Management School, Zhongyuan University of Technology, China
Faculty of Law, University of Białystok, Polonia
La Trobe University, Australia
Marshall School of Business, University of Southern California, Estados Unidos
School of Economy and Management, Jingdezhen Ceramic University, China
School of Management, Université du Québec À Montréal, Canada
The College of Management and Economics, Tianjin University, China
University of South Australia, Business School, Australia

Fonte 4 Elaborado pela autora

Existe uma diferença dos artigos publicados entre o período analisado. Observou-se uma concentração na produção científica em *water supply chain* na China, pois cinco universidades foram identificadas. Destaca-se também o interesse de outras universidades, três universidades na Austrália, duas nos Estados Unidos, Canada e Reino Unido, uma em Taiwan e Polônia. Ao todo 16 instituições de ensino produziram trabalhos *water supply chain*, o que indica que a temática atrai atenção de pesquisadores de diferentes instituições de ensino. Para este item foi considerada a universidade informada pelo primeiro autor de cada artigo. Quanto a posição geográfica das publicações por países, baseado nos artigos levantados, bom apresenta-se a Tabela 3.

Tabela 3: Origem dos autores

Pais	Quantidade
China	5
Austrália	3
Canada	2
Estados Unidos	2
Reino Unido	2
Iran	1
Polônia	1
Taiwan	1

Fonte 5: Elaborado pela autora

Neste levantamento foram obtidos artigos provenientes de 8 países: China, Austrália, Canada, Estados Unidos, Reino Unido, Iran, Polônia e Taiwan. Com destaque na produção da China e da Austrália. Ressalta-se que a pesquisa trouxe artigos escritos na língua inglesa. Os 17 artigos foram sistematizados com relação a quantidade de autores, tal como se apresenta na Tabela 4.

Tabela 4 Quantidade de autores

Quantidade de autores	Quantidade de Artigos	Distribuição percentual
5	1	5,88%
2	1	5,88%
1	15	88,24%

Fonte 6 Elaborado pela autora.

Houve bom predomínio de autores que apresentaram individualmente seus trabalhos (88,24%) e, em seguida, a presença de uma dupla e um quinteto, com um artigo cada um, representando 11,76% dos casos. O que indica que os autores não buscam ou encontram conhecimentos complementares para desenvolver artigos de *water supply chain*, possivelmente pelo assunto ainda aparentemente estar emergindo. Em relação a abordagem metodológica, apresenta-se na Tabela 5, a classificação dos 17 artigos.

Tabela 5 Quantidade por métodos de pesquisa aplicados

Quantidade	Método	Característica dos dados
2	Quali – Quanti	Análise de cenário
1	Quali – Quanti	Análise de dados
1	Quali – Quanti	Estudo de caso / Modelo matemático
1	Quali – Quanti	Estudo de caso
1	Qualitativo	Estudo conceitual
1	Qualitativo	Estudo de caso
1	Qualitativo	Análise de legislação
1	Quantitativo	Survey
2	Quantitativo	Comparação de modelos
3	Quantitativo	Análise de modelo
1	Quantitativo	Simulação
2	Quantitativo	Regressão múltipla

Fonte 7 Elaborado pela autora

Nos artigos foram identificados, cinco desenvolvidos de forma quali-quanti, com destaque para a forma de desenvolvimento de análise de cenários. Onde mostram projeções de cenários futuros, demonstrando preocupação com as mudanças. Localizou-se três artigos qualitativos, com estudos e nove artigos quantitativos, com destaque para análise e comparação de modelos. Na tabela 6, apresenta-se a distribuição dos artigos ao longo do período levantado, por subtemas.

Tabela 6 Quantidade de artigos por subtemas

Quantidade	Subtemas
7	Recursos Hídricos
2	Contabilidade Ambiental
2	Saúde
1	Agricultura
1	Direito
1	Marketing
1	Tecnologia
1	Turismo
1	Vestuário

Fonte 8 Elaborado pela autora

Observamos que dos 17 artigos, 41% deles abordam o tema recursos hídricos no seu desenvolvimento, conectando direta ou indiretamente a *water supply chain* e 24% abordam contabilidade ambiental e saúde, que são área cuja a água é potencialmente relevante. Agricultura, direito, marketing, tecnologia, turismo e vestuário também conectam a água e/ou a experiência do cliente com a *supply chain*. A seguir apresenta-se a Quadro 3, onde estão descritas características apontadas em *supply chain management* levando-se em consideração os 17 artigos da pesquisa.

Quadro 2 Características de SCM encontradas

Características SCM	Autor
Cocriarão do Fenômeno	Dobrzykowski (2019)
Ambiguidade do ator	Dobrzykowski (2019)
Demanda Variável	Dobrzykowski (2019)
Centralidade do Profissional x descentralizado	Dobrzykowski (2019)
Informações Assimétricas	Dobrzykowski (2019)
Ação e planejamento	Harvey (2016)
Dimensionalidade	Harvey (2016)
Incerteza Irredutível	Harvey (2016)
Não-linearidade	Harvey (2016)
Conectividade da rede	Harvey (2016)
Ambientes Dinâmicos	Harvey (2016)
Controlador global	Harvey (2016)
Muitos níveis de análise ou escalas	Harvey (2016)
Auto-organização e emergência	Harvey (2016)
Nível de estoque	Tao (2008)
Custo de transporte	Tao (2008)
Gerenciamento do produto	Tao (2008)
Gerenciamento da entrega	Tao (2008)

Fonte 9 Elaborado pela autora

Nos artigos elencados no quadro acima, os autores fazem menções a estas características e apresentam como lidar com estes aspectos quando envolvem *supply chain management*, pode-se notar características de um ambiente complexo e dinâmico. Além destas, foram encontradas menções interessantes a respeito de clima, planejamento e economia.

Mulligan (2015) examinou as alterações climáticas projetadas que podem provocar mudanças na água disponível para apoiar a segurança alimentar, localmente e ao longo das cadeias de abastecimento, incluindo características e projeções para o Brasil. Na pesquisa de Ahmed (2015), o autor apresenta o modelo SCOR sendo padrão intersetorial para o gerenciamento da cadeia de suprimentos que prescreve um conjunto de contornos de processos e sua divisão em um conjunto de elementos mais detalhado, distinguindo entre categorias de planejamento, execução e nível de processo.

Em seu artigo Huang e Tang (2021) apresentaram no referencial teórico uma revisão da cadeia de suprimentos da água, a qual recomenda-se leitura mais aprofundada. No estudo de Wang (2024), os membros da cadeia de suprimentos podem verificar as diretrizes sobre a coordenação de investimentos em economia de água e esforços de publicidade que forneceram uma nova visão sobre a interação desses dois fatores nas cadeias de suprimentos. Na leitura das obras, em oito artigos não

foram identificadas teorias aplicadas, no entanto nos demais pode-se identificar teorias que estão conduzindo a temática, conforme Quadro 4, a seguir.

Quadro 3 Teorias aplicadas nos artigos

Teoria aplicadas
Componentes principais
Decomposição da Camada de Produção
Dinâmica de redes
Teoria da complexidade
Teoria da contingência e nova sociologia institucional (NIS)
Teoria de controle de inventário de gerenciamento de fornecedores (VMI)
Teoria dos jogos
Teoria institucional

Fonte 10 Elaborado pela autora

De acordo com Dobrzykowski (2019) a teoria institucional fornece uma lente útil para investigar as cadeias de abastecimento, porque fornece informações sobre fatores exógenos que influenciam a tomada de decisão e sugerem que à medida que uma indústria amadurece, as empresas e redes dentro dessa indústria tornam-se mais homogêneas devido a pressões externas decorrentes de regulamentações governamentais, concorrentes e profissões para ganhar legitimidade. Ainda de acordo com o autor as pressões normativas estão enraizadas nas normas industriais e profissionais pois pressões resultam de práticas reconhecidas por uma comunidade profissional no que diz respeito à contratação de pessoas com qualificações específicas, como a educação formal, bem como de normas da indústria, como a acreditação de agências.

Para Harvey (2016) a teoria da complexidade pode ser utilizada em cadeias de abastecimento pois a necessidade de intervenção de vários profissionais de diferentes áreas para resolver a situação, introduzem incertezas e variações imprevisíveis no fluxo de casos, tempo de ciclo, custo, experiência, resultado e rendimento. A teoria da complexidade pode ser útil na nossa busca por uma compreensão mais holística de tais serviços. Envolve mecanismos internos que os fazem mudar ao longo do tempo, um ambiente dinâmico com muitos possíveis equilíbrios subótimos e coevolução entre o sistema e o seu ambiente, com limites em evolução e relações não lineares. De modo que podem ser analisados em diferentes escalas, desde o microsistema (interação cliente-profissional), até um nível mezzo (processo ou cadeia) até uma perspectiva global.

Segundo Qui (2021) A tecnologia Análise de Componentes Principais - PCA é para extrair as características das informações de abastecimento de recursos hídricos da cadeia de abastecimento de

água e eliminar a colinearidade entre várias variáveis características do abastecimento de recursos hídricos, de modo que esta etapa pode efetivamente melhorar a precisão da avaliação de riscos e obter a correlação entre os nós da cadeia de abastecimento de água e construir o modelo de avaliação de risco.

Conforme Lepawsky (2024) a dinâmica da rede refere-se à forma como as empresas individuais estão conectadas ou desconectadas de outras empresas na mesma rede de produção global, de modo que estas relações condicionam riscos para a resiliência global da rede, bem como para empresas individuais dentro da rede.

Para Taherzadeh (2021) a Decomposição da Camada de Produção (PLD) surgiu como uma abordagem disciplinada para examinar como a carga ambiental de países e setores é influenciada. concentrados nas suas redes de abastecimento e assim o PLD permite desvendar atividades da cadeia de abastecimento por consumo (por exemplo, ligada à procura global, nacional ou setorial) para avaliar as suas necessidades de produção e o ambiente associado.

No trabalho de Tao (2008) é apresentada a teoria de controle de inventário de gerenciamento de fornecedores VMI, que rompe com o método tradicional de gestão de estoques caracterizado por “cada um segue seu caminho” e traz os estoques das empresas downstream para seu escopo de supervisão. E tem como objetivo eliminar incentivos inconsistentes e promover o compartilhamento de informações, alterando as distribuições de direitos de tomada de decisão entre empresas a montante e a jusante, para melhorar efetivamente a ineficiência operacional.

Teoria da contingência, mencionada por Crist (2015) é usada para fornecer explicações para as diferentes atividades contábeis realizadas pelas organizações, valendo-se de uma combinação de fatores contextuais que incluem tamanho organizacional, estratégia, estrutura e tecnologia de modo que os gestores se envolvem em práticas que maximizem o desempenho, se adequando entre contextos para atividades mais eficazes.

A seguir, Tabela 7, contendo as palavras chave, identificadas nos artigos estudados.

Tabela 7 Quantidade de palavras-chave identificadas

Palavras-chave	Quantidade	Palavras-chave	Quantidade
Adaptive systems	1	Principal Component Analysis	1
Advertising efforts	1	Production layer decomposition (pld)	1
Agriculture	1	Professional services	1
Apparel industry	1	Public policy	1
Catastrophic failure	1	Resource insecurity	1
Central asia	1	Resource nexus	1
Climate change	1	Risk assessment	1
Commodity	1	Risk combination	1
Complexity science	1	Salt suply chains	1
Conservation	1	Service episode	1
Cost-sharing contracts	1	Service experience	1
Desalination	1	Service supply chains	1
Distribution management	1	South-to-North Water Transfer Project	1
Diversion of water from South to North	1	Supplier–supplier connection	1
Drinking water	1	Supply chain	1
E-marketplace systems	1	Supply chain management	3
Environment	1	Supply chain pollution	1
Game theory	1	Supply chain risk	1
Healthcare operations	1	Tourism marketing	1
Intelligent cold chain	1	Tourism supply chain	1
Interprofessional interface	1	Tropical	1
Inventory control	1	Vendor management inventory (vmi)	1
Land use change	1	Water resource	1
Legal and regulatory issues	1	Water resources	1
Mrioa	1	Water saving	1
Natural resources	1	Water supply	1
Node correlation	1	Water supply chain	1
Optimization control	1	Water supply engineering	1
Total	59	Water–energy–land system	1

Fonte 11 Elaborado pela autora

No total foram mencionadas 59 palavras chave diferentes. O que demonstra que a pesquisa conectando água, cadeia de suprimentos e experiência do cliente é abrangente e passível de ser aplicada em múltiplos setores, desde políticas públicas a operações. Analisando-se as 699 referências mapeadas nos 17 artigos publicados entre 2008 e 2024, apresenta-se a Tabela 8, os quatro trabalhos mais frequentes, ou seja, que foram citados mais vezes nos artigos analisados.

Tabela 8 Referencias mais citadas

Referencias	Mais citadas
Abeysekara, N., & Wang, H. (2019). Effect of supply-chain resilience on firm performance and competitive advantage: A study of the Sri Lankan apparel industry. <i>Business Process Management Journal</i> , 25(7), 1673–1695. https://doi.org/https://doi.org/10.1108/BPMJ-09-2018-0241	2
HARVEY, Jean. Operations Management in Professional Service Organisations: A Typology. <i>International Journal of Operations & Production Management</i> , v. 10, n. 4, p. 5-15, 1990.	2
CHRIST, Katherine L.; BURRITT, Roger L. Critical environmental concerns in wine production: an integrative review. <i>Journal of Cleaner Production</i> , v. 53, p. 232-242, 2013.	2
CHOI, Thomas Y.; DOOLEY, Kevin J.; RUNGTUSANATHAM, Manus. Supply networks and complex adaptive systems: control versus emergence. <i>Journal of operations management</i> , v. 19, n. 3, p. 351-366, 2001.	2

Fonte 12 Elaborado pela autora

Podemos verificar quem entre as 4 referências mais citadas estão artigos que abordam resiliência, vantagem competitiva, gestão de operações, meio ambiente, visão integrativa, redes e complexidade, de modo que podemos endereçar como grandes características na *water supply chain*. Como próximo passo, parte-se para análise dos autores mais citados, considerando-se o universo de 699 referências. Foram selecionados os autores mais citados, apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 Autores mais citados

1ºs Autores	Mais citados	1ºs Autores	Mais citados
Dobrzykowski, D.	6	Herzlinger, R. E.	2
Mandal, S.	5	Hwang, J	2
J. L. Zhu,	3	J. Harvey	2
J. LaDou	3	K. Frost,	2
Kanemoto	3	L. L. Zhang,	2
Ku, E. C. S.	3	Lambin, E. F.	2
Lenzen	3	Li, X	2
Miller	3	Malik	2
W. Du	3	Mickley, M	2
Abeysekara, N	2	Sarstedt, M	2
B. Lüthje	2	T. Smith,	2
Barrie, M.B	2	Taherzadeh	2
Choi, T. Y	2	Y. Chen,	2
E. Kondili	2	Zhang N	2
H. M. Wang	2	Zhang X	2
Hansen, M	2	Total	31

Fonte 13 Elaborado pela autora

Em uma análise dos autores mais citados, a partir da leitura das referências de cada um, nota-se uma predominância de autores dedicados ao campo da *supply chain* de forma geral como conceito, desenvolvimento, teorias e modelos ou com enfoques específicos. O autor mais citado, Dobrzykowski, das referências coletadas, teve sua primeira obra escrita em 2014 e a última em 2017, abordando

temas de inovação, satisfação, complexidade e capacidade das cadeias em especial da área da saúde. Mandal teve sua primeira obra em 2018 e a última em 2020, abordando big data, tecnologia, agilidade, em especial na área de turismo. O que podemos observar que são autores, um com mais de dez anos de experiencia no campo e outro com abordagens mais recentes e tecnológicas. No Quadro 5, estão mencionadas as pesquisas futuras sugeridas pelos autores dos artigos analisados neste estudo.

Quadro 4 Sugestões de pesquisas futuras

Area de concentração	Pesquisa futura	Autor
Contabilidade ambiental	Principais áreas a serem consideradas incluem a adequação do uso de escalas de autoavaliação para medir a estratégia corporativa e a pressão regulatória.	Crist (2015)
Recursos hídricos	Modelo completo de otimização de recursos hídricos da cidade de bandar abbas, incluindo águas subterrâneas e superficiais (barragens e água de dessalinização) para atender às necessidades de água e compreender o valor real da água doce em um planejamento integrado sustentável de recursos hídricos.	Mehregan et. Al. (2024)
Recursos hídricos	Considerar os pequenos componentes de investimento, custos operacionais e ambientais da planta de dessalinização de água e outras partes da cadeia de abastecimento num modelo matemático para otimizá-los e analisá-los.	Mehregan et. Al. (2024)
Recursos hídricos	No entanto, a complexa adequação ambiental do modelo não pode ser verificada porque o modelo de design descrito neste artigo não leva em consideração a condição de adaptabilidade. Para obter melhores resultados de pesquisa, este ponto de entrada é o primeiro problema a ser resolvido no futuro.	Qiu (2021)
Recursos hídricos	Maior reflexão sobre a importância de vias de utilização de recursos associadas (ou seja, o nexo água-energia-solo) como foco da pegada e gestão multidimensional dos recursos, mostrando que caminhos singulares e menos complexos de uso de recursos podem contribuir mais significativamente em relação às pegadas de recursos do país e do setor.	Taherzadeh (2021)
Recursos hídricos	O uso do pld a pegada de recursos do país e do sector pode ajudar a orientar a investigação e prioridades políticas para a gestão integrada dos recursos naturais.	Taherzadeh (2021)
Saúde	Os clientes têm historicamente tem sido menos integrado/envolvido em o fornecimento de saúde cadeia, mas isso está mudando. Entender como o cliente influência e interpreta a prestação de cuidados de saúde experiências e resultados devem ser um objetivo fundamental para o futuro.	Dobrzykowski (2019)
Saúde	Considerar os relacionamentos do médico com 1) o paciente recebendo tratamento serviços, 2) o hospital onde os serviços são fornecidos, 3) o plano de seguro saúde contratado e remunerando tanto o médico e o hospital e 4) lealdades.	Dobrzykowski (2019)
Saúde	Emprego médico e vários outros coordenação financeira (e relacional) mecanismos têm surgiu, mas é necessária investigação substancial sobre abordagens eficazes dadas as nuances finamente granuladas destes relacionamentos. Desenho sobre a governança literatura em scm pode ser útil.	Dobrzykowski (2019)
Saúde	Embora a adoção do hit tenha aumentado, pouco se sabe sobre como extrair valor desses investimentos. Potencial existe para ir além de associações amplas (ou seja, a caixa preta) para entender mediação e fatores moderadores que apoiam eficazmente uso de hit e troca de informações.	Dobrzykowski (2019)
Saúde	Problemas nas interfaces interprofissionais foram identificados entre contadores e advogados, arquitetos e engenheiro), assistentes sociais e psiquiatras e no setor da saúde. No entanto, pouco se sabe sobre o impacto operacional de tais fluxos imprevisíveis e pouco interligados. Precisamos ir além dos modos de contato, que foram discutidos no serviço om e marketing para melhor compreender como as opiniões de especialistas são produzidas, fluem e colidem, criando ou destruindo valor ao longo de episódios prolongados.	Harvey (2016)
Saúde	Uma melhor compreensão das interfaces interprofissionais contribuiria muito para uma melhor compreensão dos psscs e, portanto, dos casss.	Harvey (2016)

Tecnologia	A gravidade relativa destes fatores de stress agravados é condicionada por fatores ecológicos, políticos, económicos e sociais baseados no local. Este estudo lançou algumas bases importantes para análises futuras que poderão examinar como estes fatores de stress agravados variam geograficamente a um nível sistémico global	Lepawsky (2024)
Vestuário	O mecanismo de coordenação entre os membros da cadeia de suprimentos pode ser considerado e a distribuição justa dos lucros pode ser estudada.	Wang (2024)
Vestuário	Além disso, pode-se considerar a influência das políticas governamentais sobre a estratégia ótima, bem como mudanças no bem-estar social.	Wang (2024)

Fonte 14 Elaborado pela autora

As pesquisas futuras indicam para estudos na área de aplicação de escalas, mensuração do valor da água, investimentos, utilização dos recursos, interfaces profissionais, geografia, coordenação da cadeia, influência política, envolvimento do cliente, entre outras questões.

5 CONCLUSÃO

Podemos concluir após a leitura que a maioria dos artigos foram publicados em journals de referência, e por um autor, possivelmente por ser tema muito específico. Os artigos com mais citações envolvem temas de gestão da água, questões regulatórias que impactam a cadeia, profissionais e capacidades tecnológicas. Neste levantamento os artigos aparecem a partir de 2008 até 2024, conectando temas de água, cadeia de suprimentos e experiencia do cliente. Observou-se uma concentração na produção científica em water supply chain na China, pois cinco universidades foram identificadas.

A produção do conhecimento com relação à metodologia é diversa, mas com destaque ao quantitativo pois nove artigos foram localizados, com destaque para análise e comparação de modelos. Observamos que dos 17 artigos, 41% deles abordam o tema recursos hídricos no seu desenvolvimento. Nos artigos pode-se notar características de um ambiente complexo e dinâmico. Além destas, foram encontradas menções interessantes a respeito de clima, planejamento e economia.

No Quadro 4, estão apresentadas as teorias que foram base para os estudos e na sequencia as 59 palavras chave diferentes, que fazem conexão com os temas. Foi identificado universo de 699 referências, cujos autores mais citados Dobrzykowski, abordando temas de inovação, satisfação, complexidade e capacidade das cadeias em especial da área da saúde e Mandal, abordando big data, tecnologia, agilidade, em especial na área de turismo. No Quadro 5, estão mencionadas as pesquisas futuras sugeridas pelos autores dos artigos analisados neste estudo, indicadas por área de concentração.

A principal contribuição desta pesquisa é o levantamento de lacunas para pesquisas futuras e as teorias que estão conduzindo o tema. Onde pesquisadores, empresas e a sociedade civil podem se basear para desenvolver necessidades voltadas a *water suply chain*. Esta pesquisa tem como limitação a quantidade de línguas pesquisadas na busca da palavra-chave, somente a língua inglesa, recomenda-se incluir buscas com o termo em português, para entender melhor o cenário Brasileiro.

REFERENCIAS

AHMED, Shamsuddin. Supply chain planning for water distribution in Central Asia. *Industrial Management & Data Systems*, v. 109, n. 1, p. 53-73, 2009.

CHRIST, Katherine L. Water management accounting and the wine supply chain: Empirical evidence from Australia. *The British Accounting Review*, v. 46, n. 4, p. 379-396, 2014.

DOBZYKOWSKI, David. Understanding the downstream healthcare supply chain: Unpacking regulatory and industry characteristics. *Journal of Supply Chain Management*, v. 55, n. 2, p. 26-46, 2019.

ENGINEERING, Mathematical Problems in. Retracted: Analysis on the Water Supply Chain Model under Revenue-Sharing Contract considering Marketing Effort, Water Purity. *Mathematical Problems in Engineering*, v. 2023, 2023.

HARVEY, Jean. Professional service supply chains. *Journal of operations management*, v. 42, p. 52-61, 2016.

JULIANI, Douglas Paulesky et al. Inovação social: perspectivas e desafios. *Revista ESPACIOS* | Vol. 35 (Nº 5) Año 2014, 2014

KU, Edward CS. Technological capabilities that enhance tourism supply chain agility: role of E-marketplace systems. *Asia Pacific Journal of Tourism Research*, v. 27, n. 1, p. 86-102, 2022.

LEPAWSKY, Josh. Climate change induced water stress and future semiconductor supply chain risk. *Iscience*, v. 27, n. 2, 2024.

MEHREGAN, Mohammad Reza et al. Optimization of Reverse Osmosis Water Desalination Supply Chain with Economic and Environmental Approach (Case Study: Water Desalination Supply Chain in Hormozgan Province). *Journal of Environmental Studies*, v. 45, n. 4, p. 773-786, 2022.

MENTZER, John T. et al. Defining supply chain management. *Journal of Business logistics*, v. 22, n. 2, p. 1-25, 2001.

MULLIGAN, Mark. Tropical agriculturalisation: scenarios, their environmental impacts and the role of climate change in determining water-for-food, locally and along supply chains. *Food Security*, v. 7, p. 1133-1152, 2015.

PAWSEY, Nicholas. Water management accounting and the wine supply chain: Empirical evidence from Australia. *Social and Environmental Accountability Journal*, v. 35, n. 3, p. 195-195, 2015.

PISZCZ, Anna. EU Directive on Unfair Trading Practices in Business-to-Business Relationships in the Agricultural and Food Supply Chain: Dipping a Toe in the Regulatory Waters?. In: *Balkan Yearbook of European and International Law 2019*. Cham: Springer International Publishing, 2019. p. 109-127.

QIU, Ting. Water resources supply chain of South-to-North Water Transfer Project. *DESALINATION AND WATER TREATMENT*, v. 239, p. 172-180, 2021.

RUAN, Mengli. Pollution risk combination optimization control method for drinking water's intelligent cold chain supply chain. *Arabian Journal of Geosciences*, v. 14, n. 13, p. 1224, 2021.

SOŠIĆ, Greys. Rethinking salt supply chains: cost and emissions analysis for coproduction of salt and fresh water from US seawater. *Management Science*, v. 69, n. 12, p. 7651-7668, 2023.

TAHERZADEH, Oliver. Locating pressures on water, energy and land resources across global supply chains. *Journal of Cleaner Production*, v. 321, p. 128701, 2021.

TAO, Xiao-yan. Study on inventory control in water resource supply chain management. In: 2008 International Seminar on Business and Information Management. IEEE, 2008. p. 337-340.

WANG, Zongxian. Optimal pricing strategy considering consumer sensitivity to water-saving and advertising in the apparel supply chains. *Kybernetes*, v. 53, n. 1, p. 1-26, 2024.

ZIMON, Domnik; TYAN, Jonah; SROUFE, Robert. Drivers of sustainable supply chain management: Practices to alignment with un sustainable development goals. *International Journal for Quality Research*, v. 14, n. 1, 2020.

ZUPIC, Ivan; ČATER, Tomaž. Bibliometric methods in management and organization. *Organizational research methods*, v. 18, n. 3, p. 429-472, 2015.

Capítulo 15



10.37423/260310867

IMPACTOS DO SANEAMENTO RURAL NA SAÚDE PÚBLICA E NA SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL

Jakeline Aparecida Nunes da Silva

*Centro Universitário Vale do Rio Verde –
UninCor*

Viviam Cristine de Carvalho Silva

Universitário Vale do Rio Verde – UninCor

Rosângela Francisca de Paula Vitor Marques

*Centro Universitário Vale do Rio Verde –
UninCor*



RESUMO

A precariedade do saneamento básico em áreas rurais brasileiras compromete diretamente a saúde pública, o meio ambiente e o desenvolvimento sustentável. Este artigo tem como objetivo discutir os impactos ambientais gerados pela ausência de serviços como abastecimento de água, esgotamento sanitário, manejo de resíduos sólidos e drenagem pluvial em comunidades rurais, além de apresentar soluções sustentáveis viáveis para esse contexto. Trata-se de uma pesquisa de caráter bibliográfico, baseada em dados secundários de órgãos oficiais e literatura técnica. Os resultados indicam que a falta de saneamento está associada à poluição e/ou contaminação de solos e corpos d'água, proliferação de doenças de veiculação hídrica, degradação da biodiversidade e emissão de gases de efeito estufa. Tecnologias descentralizadas, de baixo custo e fácil manutenção — como fossas sépticas biodigestoras, tanques de evapotranspiração, jardins filtrantes e sistemas de compostagem — mostraram-se eficazes para mitigar os impactos ambientais e sanitários. Conclui-se que a ampliação do saneamento rural, aliada à educação ambiental e ao uso de práticas agrícolas conservacionistas, é essencial para garantir saúde, qualidade de vida e sustentabilidade às populações do campo.

Palavras-chave: Doenças de veiculação hídrica; Saneamento inadequado; Sustentabilidade ambiental; Comunidade rural; Esgotamento sanitário.

INTRODUÇÃO

O saneamento básico é um direito fundamental assegurado pela Constituição Federal de 1988, no artigo 225, que garante a todos um meio ambiente ecologicamente equilibrado, essencial à qualidade de vida. Apesar disso, milhões de brasileiros ainda vivem em situação de vulnerabilidade sanitária, especialmente em áreas rurais, onde a prestação de serviços como abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, manejo de resíduos sólidos e drenagem pluvial ainda é precária ou inexistente. A desigualdade no acesso ao saneamento reflete diretamente em condições de vida, saúde pública e degradação ambiental.

Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2022), cerca de 12,6% da população brasileira vive em zonas rurais, o que corresponde a aproximadamente 25,6 milhões de pessoas. No entanto, apenas 47,2% dessa população possui acesso à água tratada e menos de 15% conta com algum tipo de coleta de esgoto. Ainda mais alarmante é o fato de que, em 2022, 90,9% das moradias rurais não estavam conectadas a qualquer sistema de coleta e tratamento de esgoto, lançando efluentes diretamente no solo ou em corpos d'água sem qualquer tipo de controle ou monitoramento.

A ausência ou ineficiência dos serviços de saneamento básico nas zonas rurais compromete diretamente a qualidade do solo, da água e do ar, além de favorecer a proliferação de doenças de veiculação hídrica, como diarreia infecciosa, hepatite A, esquistossomose, giardíase, amebíase e leptospirose. Tais doenças afetam principalmente crianças, idosos e populações em situação de vulnerabilidade social, agravando indicadores de mortalidade, internações hospitalares e evasão escolar. Por outro lado, do ponto de vista ambiental, observa-se a contaminação de aquíferos, assoreamento de rios, perda de biodiversidade aquática, emissão de gases de efeito estufa (como o metano) e a degradação de ecossistemas inteiros.

Estudos de Almeida et al. (2024), que tiveram como objetivo constatar o aumento das doenças infecciosas e dos gastos públicos decorrentes da falta de saneamento básico, evidenciaram que os níveis de cobertura de saneamento estão diretamente relacionados à ocorrência de doenças infecto-parasitárias, bem como de enfermidades como COVID-19, dengue e hepatites. Tais condições acarretam dispêndios significativos aos cofres públicos. Nesse sentido, os autores concluíram que o investimento em saneamento básico e na melhoria dos serviços de saúde contribui para a redução dos agravos e, conseqüentemente, dos gastos com saúde, favorecendo principalmente populações em

situação de maior vulnerabilidade socioeconômica. Haja vista, a relevância da implementação de políticas públicas efetivas voltadas à expansão e à melhoria do saneamento básico, como medida essencial para a diminuição de agravos preveníveis e da sobrecarga financeira ao sistema público de saúde. As doenças de transmissão hídrica acometem pessoas de diferentes faixas etárias e representam um importante desafio para a saúde pública no Brasil. Segundo Paiva & Souza (2018), em 2015, enfermidades decorrentes do consumo ou contato com água contaminada corresponderam a cerca de 2,35% de todas as internações hospitalares no país, evidenciando a magnitude desse problema. A situação se mostrou ainda mais crítica na Região Nordeste, onde, além da maior concentração de casos, observa-se uma combinação de fatores socioeconômicos que potencializam a vulnerabilidade da população, como a baixa renda média mensal e os índices reduzidos de alfabetização.

Assim, esses elementos estão diretamente associados à precariedade no acesso a serviços de saneamento básico, à falta de infraestrutura adequada para o tratamento e distribuição de água potável e à dificuldade de difusão de informações sobre higiene e prevenção de doenças. Nesse sentido, a ocorrência de enfermidades de veiculação hídrica não se limita a um problema estritamente sanitário, mas revela também desigualdades

sociais e regionais, reforçando a necessidade de políticas públicas que articulem investimentos em saúde, educação e saneamento. De Souza Silva et al (2020), realizou um trabalho na comunidade quilombola de Remanso localizada na Chapada Diamantina, objetivando investigar os fatores que tornam os seus moradores mais susceptíveis a contrair doenças como a contaminação de turistas por esquistossomose, em outros pontos de banho do Rio Santo Antônio reconhecendo a vulnerabilidade social da referida comunidade. Obtiveram resultados por meio de entrevistas semiestruturadas, no qual foi identificado que, para além dos aspectos infraestruturais e de suporte primário à saúde, as questões de ordem cultural são as mais determinantes para o adoecimento da população, indicando a necessidade do investimento em campanhas de sensibilização para o tema.

Assim, torna-se imprescindível a busca por soluções sustentáveis e adaptadas à realidade rural. Tecnologias descentralizadas, de baixo custo e de fácil manutenção, como fossas sépticas biodigestoras, tanques de evapotranspiração, jardins filtrantes, sistemas de compostagem e captação de águas pluviais, vêm se destacando como alternativas eficazes para reduzir os impactos ambientais e melhorar as condições sanitárias dessas comunidades. Além disso, práticas conservacionistas no uso

do solo, educação sanitária e a gestão integrada dos recursos naturais são componentes fundamentais para a construção de um modelo de desenvolvimento rural ambientalmente sustentável.

Este artigo tem como objetivo analisar os principais impactos ambientais decorrentes da ausência de saneamento básico nas áreas rurais brasileiras e apresentar alternativas sustentáveis para mitigação desses efeitos. Para tanto, adotou-se como metodologia uma pesquisa bibliográfica, baseada em dados secundários de fontes oficiais e estudos acadêmicos. A proposta é contribuir para a discussão sobre a universalização do saneamento rural e sua relação com a saúde pública, a proteção ambiental e a promoção da justiça socioambiental no Brasil.

METODOLOGIA

Este estudo caracteriza-se como uma pesquisa de natureza qualitativa, do tipo exploratória, com abordagem bibliográfica. Foram analisadas publicações científicas, documentos institucionais e dados secundários extraídos de fontes oficiais, como o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) e a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). Além disso, foram consultados artigos acadêmicos, relatórios técnicos e legislações pertinentes ao tema do saneamento rural e seus impactos na saúde pública e no meio ambiente.

A seleção dos materiais considerou publicações dos últimos dez anos, priorizando estudos que abordaram a realidade brasileira, especialmente em regiões rurais. O objetivo foi reunir evidências sobre os efeitos da ausência de saneamento básico em comunidades do campo, identificando as consequências ambientais e sanitárias e levantando possíveis soluções sustentáveis para esse contexto.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados analisados demonstram que a precariedade do saneamento rural afeta diretamente a qualidade ambiental e a saúde das populações. A contaminação do solo e das águas superficiais e subterrâneas por esgoto não tratado, o descarte ambientalmente inadequado de resíduos sólidos e a ausência de drenagem adequada favorecem a degradação ambiental e a disseminação de doenças de veiculação hídrica. Estudos indicam que doenças de veiculação hídrica infecciosas, como diarreias, hepatite A, esquistossomose e leptospirose, estão entre as principais enfermidades que afetam

comunidades rurais brasileiras, com impactos significativos na saúde infantil e na produtividade econômica local (De Souza Silva et al, 2020; Santos et al, 2017).

Por outro lado, a literatura aponta diversas alternativas sustentáveis e viáveis para enfrentar esses desafios. Tecnologias como fossas sépticas biodigestoras, tanques de evapotranspiração, jardins filtrantes e sistemas de captação de águas pluviais apresentam baixo custo, simplicidade na instalação e eficácia comprovada no tratamento de esgoto doméstico. Essas soluções, associadas à compostagem, práticas conservacionistas do solo, manejo racional da água e educação sanitária, contribuem para a redução dos impactos negativos e fortalecem a sustentabilidade das comunidades rurais.

Silva e Picanço (2021) tiveram como objetivo analisar e apresentar as principais características das alternativas sustentáveis para o tratamento de esgoto sanitário em áreas rurais. Para isso, foi realizado um levantamento bibliográfico que ressaltou a relevância do saneamento básico, bem como o papel das técnicas e tecnologias sustentáveis voltadas para comunidades rurais ou regiões carentes desse serviço essencial, em especial no que se refere ao tratamento de esgoto doméstico.

O estudo identificou 52 trabalhos científicos que abordavam o tema, constatando que todas as alternativas analisadas mostraram-se eficazes em atender às finalidades propostas. Dentre elas, destacou-se o sistema de zona de raízes (wetlands construídos), que se revelou a tecnologia mais pesquisada, correspondendo a 32,69% dos trabalhos revisados.

Essa alternativa, além de apresentar maior viabilidade econômica, possui vantagens adicionais, como a simplicidade de implantação, baixo custo de manutenção e a capacidade de agregar valor ambiental e social aos bens e serviços locais, contribuindo para a melhoria da qualidade de vida da população rural e a preservação dos recursos naturais. Além dos ganhos ambientais e sanitários, observa-se que a implementação dessas medidas fortalece a autonomia das populações, reduz gastos com saúde e promove a dignidade humana. Tais resultados evidenciam a urgência de políticas públicas específicas para a universalização do saneamento rural, respeitando as peculiaridades locais e valorizando o conhecimento técnico e tradicional das comunidades do campo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A precariedade do saneamento básico nas áreas rurais brasileiras revela-se como um dos principais desafios para a promoção da saúde pública, da sustentabilidade ambiental e da qualidade de vida das populações do campo. A ausência de infraestrutura adequada compromete não apenas o equilíbrio dos ecossistemas, mas também expõe comunidades inteiras a riscos sanitários que poderiam ser evitados com ações de baixo custo e grande efetividade.

Os resultados apresentados neste artigo reforçam a importância de tecnologias descentralizadas e sustentáveis, como fossas sépticas biodigestoras, tanques de evapotranspiração, jardins filtrantes, captação de águas pluviais e compostagem de resíduos. Essas soluções, adaptadas à realidade rural, demonstram ser eficientes, acessíveis e capazes de mitigar impactos ambientais significativos, ao mesmo tempo em que contribuem para a melhoria das condições de saúde e bem-estar das famílias.

Além dos aspectos técnicos, o fortalecimento de políticas públicas voltadas ao saneamento rural, a capacitação comunitária e o incentivo a práticas agroecológicas e conservacionistas são fundamentais para promover mudanças estruturais.

A universalização do saneamento no meio rural deve ser tratada como uma prioridade nacional, alinhada aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), especialmente aqueles voltados à água potável, saúde, meio ambiente e redução das desigualdades.

Portanto, investir em saneamento rural é garantir dignidade, justiça social e proteção ambiental às gerações presentes e futuras.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA BRASIL. *Acesso da população à coleta de lixo e rede de esgoto cresce no país*. 21 jun. 2023. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br>. Acesso em: 28 jun. 2025.

ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. *Diagnóstico Temático: Saneamento Rural*. Brasília: ANA, 2021. Disponível em: <https://www.ana.gov.br>. Acesso em: 28 jun. 2025.

ALMEIDA, SBS; OLIVEIRA, P. de J.; SOUZA, AMN de; SOUZA, ILL de. A relação entre a falta de saneamento básico, o aumento das doenças infecciosas e dos gastos públicos: revisão sistemática de literatura. *Revista Brasileira de Revisão de Saúde*, [S. l.], v. 2, pág. e68014, 2024. DOI: 10.34119/bjhrv7n2-090. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BJHR/article/view/68014>. Acesso em: 25 ago. 2025.

BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil de 1988. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 5 out. 1988.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. *Panorama do Censo Demográfico 2022: População urbana e rural*. Rio de Janeiro: IBGE, 2023. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 28 jun. 2025.

BRASIL. Ministério das Cidades. *Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS: Diagnóstico do Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário 2021*. Brasília: MCID, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/snis>. Acesso em: 28 jun. 2025.

BRASIL 61. *90,9% das moradias rurais não tinham coleta de esgoto até 2022*. 24 abr. 2024. Disponível em: <https://brasil61.com>. Acesso em: 28 jun. 2025.

CORDEIRO, M. C.; et al. *Estudo do impacto das deficiências de saneamento básico sobre a saúde pública no Brasil (2001–2009)*. Ensaios e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde, v. 15, n. 2, p. 9–21, 2011. DOI: 10.17921/1415-6938.2011v15n2p9-21.

DE SOUZA SILVA, A.; LAUDANO LIMA, B.; SPINOLA, C. de A. SANEAMENTO BÁSICO E DOENÇAS DE VEICULAÇÃO HÍDRICA: UM ESTUDO DA COMUNIDADE QUILOMBOLA DE REMANSO, LENÇÓIS-BA. *Revista Baru - Revista Brasileira de Assuntos Regionais e Urbanos*, Goiânia, Brasil, v. 6, n. 1, p. e7987, 2020. DOI: 10.18224/baru.v6i1.7987. Disponível em: <https://seer.pucgoias.edu.br/index.php/baru/article/view/7987>. Acesso em: 25 ago. 2025.

MARQUES, Ana Carla; OLIVEIRA, Janaina Monteiro de; TAVARES, Jorge Luiz Cavalcante. *Doenças relacionadas ao saneamento ambiental inadequado e indicadores socioeconômicos na Amazônia brasileira*. *Revista Saneamento Ambiental*, v. 4, n. 1, p. 45–54, 2019.

Paiva, RFDPS,SouzaMFDP. Associação entre condições socioeconômicas, sanitárias e de atenção básica e a morbidade hospitalar por doenças de veiculação hídrica no Brasil *Cad Saude Publica*. 2018 Feb 5; 34(1): e00017316. Portuguese. doi:10.1590/0102-311X00017316.PMID:29412314.

SANTOS, E. R. R.; LEMOS, S. M.; Ponte, K. M. B; BENEVIDES, K. M. M. ; PACHECO, A. L. O.; PEREIRA, H. S; CÂNDIDO, C. B.; CRUZ, M. A. G. Doenças de veiculação hídrica em comunidades rurais e ribeirinhas de Nova Olinda do Norte –

Amazonas. Anais do 13º Congresso Internacional da Rede Unida v. 4, Suplemento 1 (2018). ISSN 2446-4813: Saúde em Redes

SILVA, L.C. Y PICANÇO, A.P. 2021. Visão geral sobre as tecnologias sustentáveis do saneamento rural no tratamento de esgostos sanitários no Brasil entre 2008 e 2018. Revista AIDIS de ingeniería y ciencias ambientales: Investigación, desarrollo y práctica. 14, 3 (dic. 2021), 1444–1462. DOI:<https://doi.org/10.22201/iingen.0718378xe.2021.14.3.70540>.

TAVARES, Jorge Luiz Cavalcante; OLIVEIRA, Janaina Monteiro de; MARQUES, Ana Carla. *Saneamento rural no Brasil: impacto da fossa séptica biodigestora*. Ensaios e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde, v. 24, n. 4, p. 370–379, 2020. DOI: 10.17921/1415-6938.2020v24n4p370-379.

Capítulo 16



10.37423/260310869

ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL NA INTERFACE BACIA–CIDADE–COSTA: INFRAESTRUTURAS, SUSTENTABILIDADE E DESAFIOS CONTEMPORÂNEOS

Thereza Christina de Almeida Rosso

Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Maria Virgínia Alves Martins

Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Vanessa de Magalhães Ferreira

Universidade do Estado do Rio de Janeiro



RESUMO

A engenharia sanitária e ambiental ocupa posição estratégica na organização dos fluxos de água, sedimentos, energia e materiais que conectam bacias hidrográficas, sistemas urbanos e zonas costeiras. Em um contexto marcado pela intensificação das mudanças climáticas, pela degradação de ecossistemas aquáticos e pela crescente pressão sobre os recursos naturais, torna-se necessário revisar criticamente os fundamentos que orientam o planejamento e a operação de infraestruturas ambientais. Este capítulo discute a necessidade de superação de abordagens setoriais, enfatizando a conectividade entre processos hidrológicos, hidrossedimentológicos e socioambientais. São analisados os efeitos de intervenções como barragens, canalizações, sistemas de saneamento e gestão de resíduos sólidos, evidenciando suas repercussões a jusante, especialmente em estuários e zonas costeiras. Argumenta-se que a sustentabilidade dessas infraestruturas depende da incorporação de uma perspectiva sistêmica, capaz de integrar escalas espaciais e temporais distintas, bem como de reconhecer os efeitos distributivos das decisões técnicas. Ao final, discute-se o papel da formação em engenharia sanitária e ambiental na construção de respostas mais integradas, socialmente comprometidas e ambientalmente responsáveis (UNESCO-IOC, 2021; IPCC, 2022).

Palavras-chave: Engenharia sanitária e ambiental. Recursos hídricos. Zona costeira. Infraestruturas ambientais. Sustentabilidade.

1 INTRODUÇÃO

A engenharia sanitária e ambiental tem, historicamente, desempenhado um papel central na mediação entre sociedade e natureza, especialmente no que se refere à gestão da água, ao saneamento e à organização dos sistemas urbanos. Redes de abastecimento, sistemas de esgotamento sanitário, obras de drenagem, barragens e estruturas de controle hidráulico são exemplos de infraestruturas que materializam decisões técnicas capazes de transformar profundamente os territórios.

Durante grande parte do século XX, essas intervenções foram concebidas sob uma lógica predominantemente setorial, orientada pela resolução de problemas específicos — ampliar a oferta de água, reduzir riscos de inundação, tratar efluentes ou viabilizar a geração de energia. Embora essas ações tenham sido fundamentais para a melhoria das condições de saúde pública e para o desenvolvimento urbano e industrial, seus efeitos cumulativos revelam limites importantes desse modelo de atuação.

Nesse sentido, a fragmentação institucional e disciplinar não representa apenas um problema de gestão, mas um descompasso entre a forma como os sistemas naturais operam e a maneira como são tradicionalmente planejados.

Ao considerar cada sistema de forma isolada, a engenharia frequentemente desconsiderou as conexões entre processos hidrológicos, ecológicos e sociais. A água captada em uma bacia, por exemplo, não é apenas recurso: ela transporta sedimentos, nutrientes, contaminantes e resíduos, conectando territórios distantes e produzindo efeitos que se manifestam ao longo de todo o sistema — do alto curso dos rios até os ambientes costeiros e marinhos.

Essa conectividade torna-se particularmente evidente quando se analisam os impactos de intervenções a montante sobre regiões a jusante. A construção de barragens altera regimes de vazão e retém sedimentos; a canalização de rios urbanos modifica padrões de escoamento e acelera o transporte de poluentes; sistemas de drenagem inadequados ampliam a carga difusa de contaminantes; e a gestão ineficiente de resíduos sólidos contribui para a poluição de corpos hídricos e do ambiente marinho (Syvitski *et al.*, 2009; GESAMP, 2015; GESAMP, 2016).

Nesse contexto, a separação entre gestão de recursos hídricos, saneamento, planejamento urbano e proteção costeira mostra-se cada vez mais artificial. O que se observa, na prática, é um sistema

integrado, no qual decisões tomadas em um ponto do território repercutem em múltiplas escalas espaciais e temporais (Latour, 2005; UNESCO-IOC, 2021).

A intensificação das mudanças climáticas amplia ainda mais a complexidade desse cenário. A alteração dos regimes de precipitação, o aumento da frequência de eventos extremos, a elevação do nível do mar e a degradação de ecossistemas aquáticos impõem novos desafios às infraestruturas existentes, muitas das quais foram projetadas com base em condições históricas que já não se sustentam (IPCC, 2018; IPCC, 2022).

Diante desse quadro, a engenharia sanitária e ambiental é convocada a ampliar seu campo de atuação, incorporando abordagens que reconheçam a interdependência entre sistemas naturais e sociais. Isso implica deslocar o foco de soluções pontuais para estratégias integradas, capazes de articular planejamento de bacias hidrográficas, gestão urbana, proteção costeira e conservação ambiental (UNESCO-IOC, 2021).

Mais do que operar sistemas técnicos, trata-se de compreender os territórios como espaços dinâmicos, atravessados por fluxos materiais e por relações sociais que influenciam — e são influenciadas — pelas decisões de engenharia. Nesse sentido, as infraestruturas deixam de ser apenas soluções técnicas e passam a ser compreendidas como elementos estruturantes de processos socioambientais mais amplos (Latour, 2005).

Este capítulo parte dessa perspectiva para discutir os desafios contemporâneos da engenharia sanitária e ambiental na interface entre bacias hidrográficas, cidades e zonas costeiras. Ao longo do texto, serão analisadas as implicações de diferentes tipos de intervenção — desde barragens e sistemas de saneamento até a gestão de resíduos sólidos e o uso do solo — destacando suas conexões com processos hidrológicos, hidrossedimentológicos e ambientais.

Ao final, busca-se evidenciar que a construção de soluções sustentáveis depende não apenas do aprimoramento técnico, mas também da incorporação de uma visão sistêmica, territorialmente situada e socialmente comprometida, capaz de responder à complexidade dos desafios ambientais contemporâneos (Schlosberg, 2013; UNESCO-IOC, 2021).

2 A ABORDAGEM SISTÊMICA: INTEGRAÇÃO ENTRE BACIAS HIDROGRÁFICAS, SISTEMAS URBANOS

E ZONAS COSTEIRAS

A compreensão contemporânea dos problemas ambientais tem evidenciado a insuficiência de abordagens fragmentadas para lidar com a complexidade dos sistemas naturais e sociais. No campo da engenharia sanitária e ambiental, essa limitação se manifesta de forma particularmente clara na dissociação entre a gestão de bacias hidrográficas, o planejamento urbano e a dinâmica das zonas costeiras (Latour, 2005; UNESCO-IOC, 2021).

Tradicionalmente, esses domínios foram tratados como esferas relativamente independentes, organizadas por diferentes instituições, marcos regulatórios e especializações técnicas. No entanto, essa separação contrasta com o funcionamento real dos sistemas hidrológicos, nos quais fluxos de água, sedimentos, nutrientes e contaminantes atravessam continuamente fronteiras administrativas e disciplinares.

A água que escoar em uma bacia hidrográfica não apenas conecta territórios distintos, mas também integra processos físicos, biológicos e sociais. Ao percorrer seu trajeto desde as áreas de nascente até os estuários e o oceano, ela transporta materiais que refletem as formas de uso e ocupação do solo, as práticas produtivas e as decisões de planejamento adotadas ao longo do percurso.

Nesse sentido, a noção de conectividade torna-se central para a engenharia ambiental. Intervenções realizadas em áreas de montante — como desmatamento, urbanização, construção de barragens ou alterações no uso do solo — produzem efeitos que se propagam ao longo de todo o sistema, influenciando a qualidade da água, o regime hidrológico e a dinâmica sedimentar em regiões a jusante (Syvitski *et al.*, 2009; Tundisi; Tundisi, 2010).

Nos ambientes urbanos, essa conectividade é intensificada por processos de impermeabilização do solo, canalização de cursos d'água e implementação de sistemas de drenagem que aceleram o escoamento superficial. Como consequência, aumenta-se o transporte de poluentes difusos, sedimentos e resíduos sólidos para rios e canais, contribuindo para a degradação de corpos hídricos e, em última instância, das zonas costeiras (GESAMP, 2015; GESAMP, 2016).

As regiões estuarinas e costeiras, por sua vez, funcionam como áreas de convergência desses fluxos. Nelas, interagem processos continentais e marinhos, configurando ambientes altamente dinâmicos e sensíveis a alterações nas condições de aporte hídrico e sedimentar. Mudanças na vazão dos rios, na

carga de sedimentos ou na qualidade da água podem afetar diretamente a morfologia costeira, os ecossistemas e as atividades humanas que dependem desses espaços (Syvitski *et al.*, 2009; IPCC, 2022).

Diante desse cenário, a adoção de uma abordagem sistêmica implica reconhecer que a gestão ambiental não pode ser compartimentalizada. Planejar sistemas de abastecimento, drenagem urbana, saneamento ou proteção costeira requer considerar suas interações e efeitos cumulativos, bem como as incertezas associadas às mudanças climáticas e às transformações socioeconômicas (UNESCO-IOC, 2021; IPCC, 2022).

Para a engenharia sanitária e ambiental, isso representa um deslocamento importante: de uma lógica centrada no controle de variáveis isoladas para uma perspectiva baseada na compreensão de sistemas complexos, interdependentes e em constante transformação. Tal mudança demanda não apenas novos instrumentos técnicos, mas também a articulação entre diferentes áreas do conhecimento e a incorporação de múltiplos atores nos processos decisórios (Latour, 2005).

3 INFRAESTRUTURAS AMBIENTAIS E CONECTIVIDADE HIDROSSEDIMENTOLÓGICA

As infraestruturas ambientais constituem elementos centrais na organização dos fluxos de água e sedimentos em uma bacia hidrográfica. Barragens, canais, sistemas de drenagem, obras de controle de cheias e intervenções em cursos d'água não apenas viabilizam usos econômicos e urbanos da água, mas também reconfiguram profundamente a dinâmica natural dos sistemas hidrológicos.

Entre essas intervenções, as barragens destacam-se por seus efeitos sobre o transporte de sedimentos. Ao reter material particulado nos reservatórios, essas estruturas reduzem significativamente o aporte sedimentar a jusante. Esse processo, muitas vezes invisível no curto prazo, tem implicações relevantes para a estabilidade geomorfológica de rios, estuários e zonas costeiras (Syvitski *et al.*, 2009).

A diminuição da carga sedimentar compromete a reposição natural de sedimentos em praias, deltas e manguezais, ambientes que dependem desse aporte para manter seu equilíbrio dinâmico. Em contextos de elevação do nível do mar e intensificação de eventos extremos, essa redução contribui para o agravamento de processos erosivos e para o aumento da vulnerabilidade costeira (Syvitski *et al.*, 2009; IPCC, 2022).

Além das barragens, intervenções urbanas como a canalização e a retificação de rios alteram padrões de escoamento e reduzem a capacidade de retenção de sedimentos ao longo do sistema. Ao acelerar

a velocidade do fluxo, essas obras intensificam processos erosivos a montante e aumentam o transporte de materiais para jusante, muitas vezes de forma desordenada (Tundisi; Tundisi, 2010).

A conectividade hidrossedimentológica — isto é, a relação entre fluxos de água e sedimentos ao longo de uma bacia — torna-se, portanto, um aspecto fundamental a ser considerado no planejamento de infraestruturas. Ignorá-la pode resultar em soluções que resolvem problemas localizados, mas geram impactos em outras partes do sistema.

Nesse contexto, a engenharia sanitária e ambiental é desafiada a incorporar o balanço sedimentar como variável de projeto e de gestão. Isso implica considerar não apenas volumes de água, mas também a quantidade, a granulometria e o destino dos sedimentos transportados, bem como suas interações com processos ecológicos e geomorfológicos (Syvitski *et al.*, 2009).

A integração entre engenharia e conhecimento geomorfológico, hidrológico e ecológico torna-se, assim, essencial para o desenvolvimento de soluções mais sustentáveis. Em vez de interromper ou simplificar fluxos naturais, passa-se a buscar estratégias que respeitem — e, quando possível, restabeleçam — as dinâmicas do sistema (UNESCO-IOC, 2021).

4 SANEAMENTO, QUALIDADE DA ÁGUA E REPERCUSSÕES A JUSANTE

Os sistemas de saneamento constituem uma das principais interfaces entre sociedade e meio ambiente. Por meio deles, são organizados fluxos de água potável, esgoto sanitário e águas pluviais, com impactos diretos sobre a saúde pública e a qualidade dos ecossistemas.

No entanto, a concepção e a operação desses sistemas frequentemente desconsideram suas repercussões em escalas mais amplas. O lançamento de efluentes tratados ou não tratados em corpos hídricos, por exemplo, não se limita a efeitos locais. Ao longo do tempo e do espaço, esses lançamentos contribuem para a alteração da qualidade da água em rios, estuários e zonas costeiras (Tundisi; Tundisi, 2010).

A presença de nutrientes em excesso, decorrente de esgotos domésticos e efluentes urbanos, pode desencadear processos de eutrofização, caracterizados pelo crescimento excessivo de algas e pela redução da concentração de oxigênio dissolvido. Esses fenômenos afetam a biodiversidade aquática, comprometem usos múltiplos da água e impactam atividades econômicas como a pesca e o turismo (Tundisi; Tundisi, 2010).

Além disso, contaminantes químicos, metais pesados e micropoluentes presentes em efluentes urbanos e industriais podem se acumular nos sedimentos e nos organismos aquáticos, gerando efeitos de longo prazo ainda não completamente compreendidos.

Nos sistemas urbanos, a drenagem pluvial desempenha papel crucial na mobilização de poluentes difusos. Durante eventos de chuva, resíduos acumulados nas superfícies impermeáveis — como óleos, metais, partículas e lixo — são transportados para redes de drenagem e, posteriormente, para corpos hídricos. Esse processo contribui para a degradação da qualidade da água e para o aumento da carga de poluentes que alcançam as zonas costeiras (GESAMP, 2015; IPCC, 2022).

A integração entre saneamento e gestão de recursos hídricos torna-se, portanto, essencial. Projetos de esgotamento sanitário, drenagem urbana e controle de poluição devem considerar não apenas o atendimento a padrões locais de qualidade, mas também os efeitos cumulativos ao longo da bacia (Tundisi; Tundisi, 2010).

Nesse contexto, abordagens baseadas em soluções descentralizadas, infraestrutura verde e restauração de ecossistemas aquáticos ganham relevância. A incorporação de zonas de infiltração, áreas úmidas construídas e sistemas naturais de tratamento pode contribuir para a melhoria da qualidade da água e para a redução de cargas poluentes, ao mesmo tempo em que reforça a resiliência dos sistemas urbanos frente às mudanças climáticas (IPCC, 2022).

5 RESÍDUOS SÓLIDOS E POLUIÇÃO MARINHA: CONEXÕES ENTRE CIDADE E OCEANO

A presença crescente de resíduos sólidos no ambiente aquático, especialmente plásticos, tornou-se um dos sinais mais visíveis da dissociação entre padrões de produção, consumo e responsabilidade ambiental. Embora frequentemente percebida como um problema marinho, a poluição por resíduos tem, em sua maior parte, origem terrestre, estando diretamente associada à forma como cidades e sistemas urbanos organizam seus fluxos materiais (Jambeck *et al.*, 2015; GESAMP, 2015).

Nos ambientes urbanos, a geração de resíduos está vinculada a modelos de consumo intensivos e à ampla utilização de materiais descartáveis. Quando os sistemas de coleta, transporte e destinação final não são capazes de acompanhar essa dinâmica, parte significativa desses resíduos passa a circular de forma descontrolada no território.

A drenagem urbana desempenha papel central nesse processo. Durante eventos de precipitação, resíduos depositados em vias públicas, encostas e áreas informais são mobilizados e transportados para galerias pluviais, rios e canais. Esse fluxo conecta diretamente os espaços urbanos ao ambiente aquático, estabelecendo uma via contínua de transferência de materiais até estuários e zonas costeiras (Jambeck *et al.*, 2015).

No caso dos plásticos, a persistência no ambiente e a fragmentação em microplásticos ampliam a complexidade do problema. Esses materiais passam a integrar a coluna d'água, os sedimentos e as cadeias alimentares, com potenciais efeitos sobre organismos aquáticos e, indiretamente, sobre a saúde humana (GESAMP, 2015; GESAMP, 2016).

Do ponto de vista da engenharia sanitária e ambiental, esse cenário evidencia os limites de soluções baseadas exclusivamente na ampliação da coleta ou na melhoria de tecnologias de tratamento. Ainda que fundamentais, essas medidas não são suficientes para enfrentar um problema estrutural, relacionado ao próprio modelo de produção e consumo.

A transição para estratégias mais sustentáveis exige a incorporação de princípios de redução na fonte, reutilização, redesign de materiais e economia circular, bem como a integração entre políticas de resíduos sólidos, planejamento urbano e gestão de recursos hídricos. Nesse sentido, a engenharia ambiental é chamada a atuar não apenas na operação de sistemas, mas também na proposição de soluções que reduzam a geração de resíduos e sua dispersão no território (GESAMP, 2016).

6 VEGETAÇÃO CILIAR, USO DO SOLO E REGULAÇÃO AMBIENTAL

A vegetação ciliar desempenha papel fundamental na manutenção do equilíbrio hidrológico e ecológico das bacias hidrográficas. Localizadas ao longo das margens de rios e cursos d'água, essas formações vegetais atuam como zonas de transição entre os sistemas terrestres e aquáticos, exercendo funções essenciais para a regulação ambiental (Tundisi; Tundisi, 2010).

Entre essas funções, destacam-se a estabilização das margens, a redução da erosão, a retenção de sedimentos e a filtragem de nutrientes e contaminantes provenientes das áreas adjacentes. Ao atuar como barreira natural, a vegetação ciliar contribui para a melhoria da qualidade da água e para a modulação dos fluxos de materiais ao longo da bacia (Tundisi; Tundisi, 2010).

A supressão dessas áreas, frequentemente associada à expansão urbana, atividades agrícolas ou ocupações irregulares, compromete essas funções e intensifica processos de degradação ambiental. A ausência de cobertura vegetal favorece o escoamento superficial, aumenta a erosão do solo e amplia o transporte desordenado de sedimentos e poluentes para os corpos hídricos.

Em sistemas já impactados por barragens e outras intervenções hidráulicas, observa-se uma combinação de processos que agravam os desequilíbrios. Enquanto a retenção de sedimentos a montante reduz o aporte a jusante, a degradação das margens pode aumentar a carga sedimentar local de forma não controlada, alterando a dinâmica dos rios e de seus ambientes associados (Syvitski *et al.*, 2009).

Nesse contexto, a restauração de matas ciliares deve ser compreendida como uma estratégia integrada de gestão ambiental, com benefícios que se estendem ao longo de todo o sistema hidrológico. Ao recuperar funções ecológicas essenciais, essas intervenções contribuem não apenas para a qualidade da água, mas também para a resiliência de estuários e zonas costeiras (Tundisi; Tundisi, 2010; IPCC, 2022).

Para a engenharia sanitária e ambiental, o desafio consiste em articular essas ações com políticas de uso e ocupação do solo, planejamento urbano e gestão de recursos hídricos, superando abordagens isoladas e promovendo soluções que considerem a complexidade dos sistemas naturais.

7 MUDANÇAS CLIMÁTICAS E VULNERABILIDADE DE SISTEMAS COSTEIROS

As mudanças climáticas configuram um dos principais vetores de transformação dos sistemas hidrológicos e costeiros no século XXI. Diferentemente de pressões ambientais localizadas, elas afetam simultaneamente variáveis físicas, ecológicas e sociais, ampliando riscos e incertezas para o planejamento e a gestão ambiental (IPCC, 2018; IPCC, 2022).

Entre os processos mais relevantes destacam-se o aumento da temperatura média dos oceanos, a elevação do nível do mar, a acidificação oceânica, a alteração dos regimes de precipitação e a intensificação de eventos extremos, como chuvas intensas, secas prolongadas e tempestades costeiras (IPCC, 2018; IPCC, 2022). Esses fenômenos não ocorrem de forma isolada; ao contrário, interagem entre si e produzem efeitos cumulativos sobre bacias hidrográficas, cidades costeiras e ecossistemas marinhos.

A elevação do nível médio do mar constitui uma das manifestações mais diretas dessas mudanças. Associada à expansão térmica da água do mar e ao derretimento de geleiras e calotas polares, ela compromete a estabilidade de linhas de costa, favorece a erosão e amplia a recorrência de inundações em áreas urbanizadas. Em contextos onde há déficit sedimentar, frequentemente agravado por barragens e alterações hidrológicas a montante, a vulnerabilidade costeira torna-se ainda mais acentuada (Syvitski *et al.*, 2009; IPCC, 2022).

A intensificação de eventos extremos representa outro desafio substantivo. Sistemas de drenagem urbana, obras hidráulicas e infraestruturas de saneamento projetados com base em séries históricas passam a operar fora das condições para as quais foram concebidos. Chuvas mais concentradas em períodos curtos podem provocar sobrecarga de redes, extravasamentos, mobilização ampliada de resíduos sólidos e transporte intensificado de poluentes até corpos hídricos, estuários e zonas costeiras (IPCC, 2022).

Nos ambientes costeiros, esses processos se articulam com marés, ondas e correntes, potencializando riscos. A ocorrência simultânea de precipitação intensa, maré elevada e ocupação urbana precária pode agravar alagamentos, comprometer a drenagem e ampliar danos sociais e materiais. Isso demonstra que a vulnerabilidade costeira não decorre apenas de processos naturais, mas também da forma como os territórios são ocupados, infraestruturados e governados (Schlosberg, 2013; IPCC, 2022).

Outro aspecto relevante refere-se à intrusão salina em aquíferos e estuários. A elevação do nível do mar, combinada à redução de vazões fluviais e à sobre-exploração de águas subterrâneas, favorece a salinização de reservas de água doce, comprometendo sistemas de abastecimento, atividades agrícolas e condições ecológicas locais (IPCC, 2022).

Do ponto de vista da engenharia sanitária e ambiental, esse quadro exige uma mudança de paradigma. Já não basta projetar com base em estabilidade climática presumida. Torna-se necessário incorporar cenários, variabilidade, incerteza e capacidade adaptativa como elementos centrais do planejamento. Isso implica rever critérios de dimensionamento, ampliar margens de segurança, integrar monitoramento e gestão adaptativa e considerar a interação entre processos terrestres e marinhos (IPCC, 2018; IPCC, 2022).

Nesse contexto, soluções baseadas na natureza ganham destaque. A restauração de manguezais, zonas úmidas, planícies de inundação e vegetação ciliar pode contribuir para a dissipação de energia das ondas, retenção de sedimentos, regulação hídrica, melhoria da qualidade da água e sequestro de carbono. Tais estratégias não substituem integralmente as infraestruturas convencionais, mas ampliam a resiliência territorial e oferecem co-benefícios ecológicos e sociais (IPCC, 2022).

Por fim, é necessário reconhecer que os impactos climáticos não se distribuem de forma homogênea. Populações residentes em áreas costeiras vulneráveis, comunidades tradicionais, pescadores artesanais e grupos socialmente marginalizados tendem a enfrentar maior exposição a riscos e menor capacidade de resposta. Nesse sentido, a engenharia sanitária e ambiental é chamada a incorporar explicitamente critérios de justiça climática e equidade territorial em seus processos decisórios, reconhecendo que escolhas técnicas podem tanto reduzir quanto aprofundar desigualdades (SCHLOSBERG, 2013).

8 RIO DE JANEIRO: TENSÕES ENTRE URBANIZAÇÃO, ÁGUA E INTEGRAÇÃO HIDROSSISTÊMICA

A cidade do Rio de Janeiro constitui um exemplo emblemático das tensões entre disponibilidade hídrica, crescimento urbano e organização de infraestruturas ambientais. Sua formação histórica revela uma relação complexa com a água, marcada por limitações naturais, intervenções técnicas e desigualdades territoriais.

As primeiras formas de abastecimento estiveram associadas a cursos d'água locais, como o rio Carioca, cuja utilização direta refletia uma escala urbana ainda compatível com a capacidade das bacias de encosta. Com a expansão da cidade e a intensificação das atividades urbanas, esses sistemas tornaram-se insuficientes, tanto em quantidade quanto em qualidade.

A degradação dos rios urbanos, associada à ocupação desordenada e à ausência de saneamento adequado, levou à progressiva invisibilização desses cursos d'água, muitos dos quais foram canalizados ou incorporados à infraestrutura subterrânea. Esse processo evidencia uma abordagem centrada no controle e na ocultação dos problemas, em vez de sua resolução estrutural.

A consolidação de sistemas de transposição e captação em bacias externas, como o sistema associado ao rio Guandu, representou uma solução para o aumento da demanda hídrica. No entanto, essa

estratégia deslocou impactos para outros territórios, evidenciando conflitos relacionados à alocação de recursos, à qualidade da água e à segurança hídrica.

Além disso, a reorganização dos fluxos hídricos e sedimentares em escala regional produz efeitos que se estendem até os ambientes costeiros. Alterações na vazão dos rios, na qualidade da água e na dinâmica dos sedimentos influenciam estuários e zonas costeiras, reforçando a necessidade de uma abordagem integrada (Syvitski *et al.*, 2009; IPCC, 2022).

O caso do Rio de Janeiro ilustra, portanto, como soluções técnicas podem resolver problemas imediatos, mas também gerar novas complexidades. Ele evidencia a importância de considerar a conectividade entre sistemas e de incorporar critérios de equidade e sustentabilidade nas decisões de engenharia.

9 FORMAÇÃO EM ENGENHARIA E COMPROMISSO PÚBLICO

A complexidade dos desafios ambientais contemporâneos exige uma revisão dos processos formativos na engenharia sanitária e ambiental. A ênfase exclusiva em conteúdos técnicos, dissociados de contextos sociais e territoriais, limita a capacidade de atuação dos profissionais frente a problemas que envolvem múltiplas dimensões.

A formação em engenharia precisa incorporar uma visão integrada, capaz de articular conhecimentos técnicos com compreensão crítica dos territórios e dos processos socioambientais. Isso implica desenvolver competências relacionadas à análise sistêmica, à comunicação, à leitura de conflitos e à mediação entre diferentes atores sociais.

Nesse contexto, as universidades públicas desempenham papel estratégico, especialmente por meio da articulação entre ensino, pesquisa e extensão. A extensão universitária, ao promover o contato direto com realidades concretas, possibilita a compreensão de problemas ambientais em sua complexidade, aproximando o conhecimento técnico das demandas sociais e do compromisso público da profissão (Freire, 1987).

Experiências em campo, estudos de caso, projetos territoriais e interação com comunidades contribuem para a formação de profissionais mais sensíveis às desigualdades e mais preparados para atuar de forma responsável, ética e socialmente implicada (Freire, 1987).

10 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os desafios enfrentados pela engenharia sanitária e ambiental no contexto contemporâneo evidenciam a necessidade de superar abordagens fragmentadas e de adotar perspectivas integradas, capazes de considerar a conectividade entre bacias hidrográficas, sistemas urbanos e zonas costeiras (UNESCO-IOC, 2021).

As infraestruturas ambientais, ao organizarem fluxos de água, sedimentos e materiais, desempenham papel central na configuração dos territórios e na distribuição de riscos e benefícios ambientais. Suas implicações ultrapassam os limites locais, manifestando-se em diferentes escalas espaciais e temporais (Syvitski *et al.*, 2009).

Diante da intensificação das mudanças climáticas e da degradação dos ecossistemas, torna-se imprescindível incorporar critérios de sustentabilidade, adaptação e equidade no planejamento e na gestão desses sistemas. Isso exige não apenas avanços técnicos, mas também uma compreensão ampliada do papel da engenharia na sociedade (IPCC, 2022; Schlosberg, 2013).

Este capítulo parte dessa perspectiva para discutir os desafios contemporâneos da engenharia sanitária e ambiental na interface entre bacias hidrográficas, cidades e zonas costeiras. Mais do que descrever impactos ou apresentar soluções técnicas isoladas, propõe-se compreender a engenharia como prática territorial integrada, cujas decisões reorganizam fluxos, produzem efeitos distributivos e influenciam a resiliência socioambiental em múltiplas escalas. Ao longo do texto, são analisadas diferentes intervenções — desde barragens e sistemas de saneamento até a gestão de resíduos sólidos e o uso do solo — destacando suas conexões com processos hidrológicos, hidrossedimentológicos e sociais.

REFERÊNCIAS

FREIRE, P. Extensão ou comunicação? Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1987.

GESAMP. Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: a global assessment. London: IMO, 2015.

GESAMP. Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: part two of a global assessment. Rep. Stud. GESAMP, n. 93. London: IMO, 2016.

IPCC. Global warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. Geneva: IPCC, 2018.

IPCC. Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2022.

JAMBECK, J. R. et al. Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science*, v. 347, n. 6223, p. 768–771, 2015.

LATOUR, B. Reassembling the social: an introduction to actor-network-theory. Oxford: Oxford University Press, 2005.

SCHLOSBERG, D. Theorising environmental justice: the expanding sphere of a discourse. *Environmental Politics*, v. 22, n. 1, p. 37–55, 2013.

SYVITSKI, J. P. M. et al. Sinking deltas due to human activities. *Nature Geoscience*, v. 2, p. 681–686, 2009.

TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. M. *Limnologia*. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

UNESCO-IOC. The United Nations Decade of Ocean Science for Sustainable Development (2021–2030) Implementation Plan. Paris: UNESCO, 2021.

Capítulo 17



10.37423/260310890

A ATUAÇÃO DO MUNICÍPIO DE BELO HORIZONTE NA LOGÍSTICA REVERSA DE EMBALAGENS EM GERAL

Bárbara Barros Paulino

Consultora jurídica

Pedro Assis Neto

Consultor

Matheus Leste Pinheiro

Consultor

Rafael de Quevedo Giraldi Costa

Consultor

Henrique Ferreira Ribeiros

Consultor

Cristiane Ferreira Pimenta

Consultora



RESUMO

O presente artigo analisa a atuação do Município de Belo Horizonte no SLR de embalagens em geral, à luz da legislação federal, estadual e municipal vigente. A Política Nacional de Resíduos Sólidos determina que os SLR devem ser estruturados e implementados por fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes, de forma independente dos serviços públicos de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos. Entretanto, observou-se, no contexto municipal, uma participação efetiva da SLU, autarquia responsável pela gestão dos resíduos sólidos na capital mineira. A pesquisa evidencia que, em BH, a coleta seletiva pública é realizada por meio de contratos com associações de catadores de materiais recicláveis e reutilizáveis, mediante contraprestação. Referidas Organizações de Catadores operam, ainda, sem remuneração direta, a triagem do resíduo coletado, mas obtêm receita com a comercialização de materiais recicláveis e a geração de certificados de reciclagem. Tais certificados são utilizados pelos responsáveis legais pela logística reversa (LR) para comprovação do cumprimento de metas estabelecidas para recuperação pelo SLR. Identificaram-se, ainda, três entidades gestoras com forte atuação no Município. A análise revelou que, apesar da previsão legal de independência entre SLR e os serviços públicos, a massa de embalagens recuperada pelos programas de LR em BH é, em grande parte, oriunda do serviço público de coleta seletiva. Assim, conclui-se que a SLU atua, de fato, como operadora da LR. Diante disso, discute-se a possibilidade de remuneração da SLU, conforme previsto no §7º do art. 33 da Lei federal nº 12.305/2010, respeitando-se a autonomia financeira das Organizações de Catadores. Este estudo contribui para o entendimento do papel dos entes públicos locais na efetivação da LR de embalagens, especialmente em contextos urbanos com coleta seletiva estruturada, e sugere a necessidade de mecanismos regulatórios e financeiros que reconheçam e valorizem a contribuição dos municípios e das Organizações de Catadores na cadeia da reciclagem.

Palavras-chave: Logística reversa, Belo Horizonte, serviço público de coleta seletiva, Minas Gerais.

INTRODUÇÃO

A crescente geração de resíduos sólidos urbanos, impulsionada pelo consumo em massa e pelo modelo linear de produção, tem demandado soluções sustentáveis para o gerenciamento adequado desses resíduos, em especial no que se refere às embalagens pós-consumo. Nesse cenário, a logística reversa emerge como um dos instrumentos centrais da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei federal nº 12.305/2010, com o objetivo de assegurar o retorno dos produtos e embalagens ao ciclo produtivo ou sua destinação final ambientalmente adequada.

A legislação brasileira atribui aos fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes (FIDC) a responsabilidade pela implementação dos sistemas de logística reversa, de forma independente do serviço público de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos. Ainda assim, a realidade observada em alguns municípios do país aponta para a integração prática desses serviços com o sistema de logística reversa, especialmente por meio da coleta seletiva e da atuação de cooperativas e associações de catadores de materiais recicláveis (Organizações de Catadores).

No Município de Belo Horizonte, a Superintendência de Limpeza Urbana (SLU) desempenha papel central na execução da coleta seletiva pública, estabelecendo contrato com as Organizações de Catadores para a coleta desses resíduos. Foi recentemente publicado, ainda, que a SLU está adotando as medidas necessárias para a contratação das Organizações de Catadores, também, para os serviços de triagem dos materiais reciclados. Atualmente as Organizações de Catadores cadastradas no Programa Municipal de Coleta Seletiva recebem os resíduos da coleta seletiva e realizam a triagem, sem a devida remuneração. A partir dessa atuação, observa-se que os materiais coletados e triados pelas cooperativas são utilizados como base para a geração de certificados de reciclagem, os quais são adquiridos por entidades gestoras para fins de comprovação de metas da logística reversa pelos FIDC.

Diante desse contexto, o presente artigo tem como objetivo analisar a participação do Município de Belo Horizonte no sistema de logística reversa de embalagens em geral, considerando os dispositivos legais aplicáveis e os arranjos institucionais estabelecidos. Pretende-se, com isso, compreender em que medida o ente público municipal, ainda que não titular da obrigação legal de estruturar a logística reversa, atua como operador relevante nesse sistema, e discutir a viabilidade de sua eventual remuneração por tal participação, conforme previsto na legislação federal.

A relevância da pesquisa está associada à necessidade de aprimoramento dos instrumentos normativos e operacionais que regulamentam a logística reversa no Brasil, reconhecendo o papel dos

entes públicos na efetivação das metas de recuperação de embalagens pelo SLR, previstas, em especial, no Acordo Setorial de 2015, no Plano Nacional de Resíduos Sólidos (Planares), aprovado por meio do Decreto federal nº 11.043, de 13 de abril de 2022 (BRASIL, 2022a) e, em âmbito local, na Deliberação Normativa COPAM nº 249/2024 e no Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos (PMGIRS) de Belo Horizonte. Além disso, contribui para o debate sobre os desafios da implementação da PNRS nos âmbitos local e regional, especialmente no que se refere à articulação entre os setores público e privado.

OBJETIVOS

O presente artigo tem como objetivo analisar a atuação do Município de Belo Horizonte no sistema de logística reversa (SLR) de embalagens em geral, à luz da legislação vigente, com ênfase na interface entre o serviço público de coleta seletiva, operado pela Superintendência de Limpeza Urbana (SLU) por meio de contratos firmados com as Organizações de Catadores, e a responsabilidade de estruturação do SLR pelo setor empresarial. Busca-se compreender em que medida o Município, ainda que não sendo o titular da obrigação legal de implementar a logística reversa, contribui de forma efetiva para a recuperação das embalagens pós-consumo e para o cumprimento das metas legais pelos responsáveis, avaliando, ainda, a possibilidade de sua remuneração por tais atividades, nos termos do §7º do art. 33 da Lei federal nº 12.305/2010.

METODOLOGIA UTILIZADA

A metodologia adotada neste artigo caracteriza-se por uma abordagem qualitativa, de cunho exploratório, voltada à compreensão da atuação do Município de Belo Horizonte no sistema de logística reversa de

Embalagens em geral, à luz do ordenamento jurídico brasileiro. Para tanto, utilizou-se a pesquisa legislativa como método principal de investigação, com base na análise crítica de normas federais, estaduais e municipais, bem como de decretos, deliberações e acordos setoriais que regulamentam a matéria.

A pesquisa legislativa consistiu na identificação, seleção e interpretação das normas aplicáveis à logística reversa e à gestão de resíduos sólidos, com especial atenção ao disposto na Lei federal nº 12.305/2010, na Lei federal nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, e nos regulamentos estaduais e locais,

como a Deliberação Normativa COPAM nº 249/2024 e a Lei municipal nº 10.534, de 10 de setembro de 2012.

Além da análise legislativa, a pesquisa também incluiu o levantamento de dados empíricos obtidos por meio da consulta a fontes públicas e institucionais. Foram analisadas informações disponíveis nos sítios eletrônicos da Superintendência de Limpeza Urbana de Belo Horizonte (SLU), do Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos (SINIR+), das entidades gestoras dos sistemas de logística reversa, bem como em plataformas de transparência e relatórios técnicos divulgados por instituições. Esse levantamento permitiu a identificação da inserção das Organizações de Catadores nos programas estruturantes de logística reversa, a sistematização de dados sobre a recuperação de massa de materiais recicláveis e a compreensão dos fluxos operacionais entre os entes públicos, privados e as Organizações de Catadores envolvidas. A utilização dessas fontes teve como objetivo complementar a análise normativa com dados atualizados e práticos sobre a efetivação da logística reversa no contexto local.

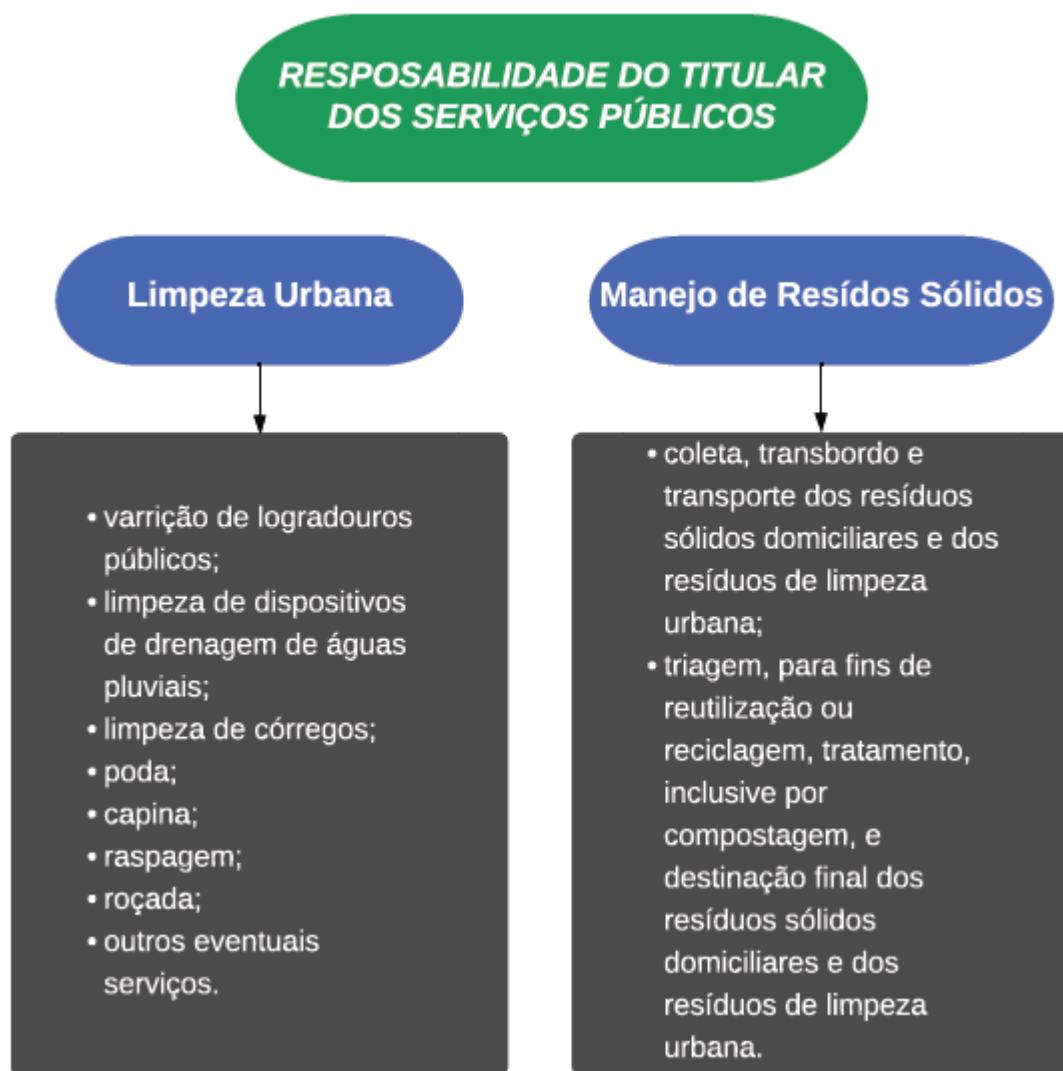
Para garantir a coerência e a clareza na exposição dos dados e argumentos apresentados, foi empregada a técnica de coesão textual, enquanto mecanismo estruturante do texto. Essa técnica permitiu a interligação lógica e harmônica entre os diferentes tópicos abordados, assegurando a fluidez da leitura e uma adequada compreensão por parte do leitor. A redação do artigo foi construída de forma a refletir a articulação entre os aspectos legais, institucionais e operacionais do sistema de logística reversa no contexto municipal analisado.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nos termos da Lei federal nº 12.305/2010, o titular dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos é responsável pela organização e prestação direta ou indireta desses serviços. Os Municípios e o Distrito Federal exercem referida titularidade, no caso de interesse local. Já no caso de interesse comum, a titularidade deve ser exercida de forma compartilhada, pelo Estado e pelo conjunto dos Municípios que compartilham efetivamente as instalações operacionais integrantes de regiões metropolitanas, aglomerações urbanas e microrregiões. A titularidade poderá ser exercida, ainda, por gestão associada, mediante consórcio público ou convênio de cooperação.

As disposições acerca da titularidade constam de forma expressa da Lei federal nº 11.445/2007. A **Figura 1** retrata as atividades que compreendem os serviços públicos de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos.

Figura 1 – Responsabilidade do titular dos serviços públicos.



Fonte: OS AUTORES, 2025.

Acrescenta-se que o Município pode, ainda, equiparar os resíduos não perigosos gerados por estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços (excetuados os referidos nas alíneas “b”, “e”, “g”, “h” e “j” do inciso I do art. 13 da Lei federal nº 12.305/2010) a resíduos sólidos domiciliares.

Em Belo Horizonte a equiparação consta da legislação municipal (Lei municipal nº 10.534/2012), de modo que a parcela de resíduos gerados em estabelecimentos comerciais, industriais, de prestação de serviços ou imóveis não residenciais, com características de resíduos domiciliares, até o limite de 120

(cento e vinte) litros ou 60 (sessenta) quilos, por período de 24 (vinte e quatro) horas, por contribuinte, é equiparada a resíduo sólido domiciliar.

Não obstante a responsabilidade do titular dos serviços públicos de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos, a legislação federal estabelece também a responsabilidade de outros agentes.

Cita-se a responsabilidade dos geradores de resíduos sólidos especiais¹, os quais são responsáveis pela implementação e operacionalização integral do plano de gerenciamento de resíduos sólidos. A legislação do Município de Belo Horizonte, inclusive, permite a prestação do serviço especial de coleta, transporte e destinação final adequada, pela SLU, de determinados resíduos sólidos especiais, mediante contratação e pagamento de preço público.

Ainda, é prevista a responsabilidade de estruturação e implantação de sistemas de logística reversa dos fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes dos produtos constantes do art. 33 da Lei federal nº 12.305/2010².

Referidos agentes deverão, assim, garantir o retorno dos produtos tratados no artigo, após o uso pelo consumidor, para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente adequada, de forma independente do serviço público de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos.

Especificamente acerca do sistema de logística reversa de embalagens em geral, devem ser observadas as disposições dos §§ 1º e 2º do art. 33 citado. Assim, na forma do disposto em regulamento ou em acordos setoriais e termos de compromisso firmados entre o poder público e o setor empresarial, o sistema de logística reversa será estendido a produtos comercializados em embalagens plásticas, metálicas ou de vidro, e aos demais produtos e embalagens.

Em relação ao titular do serviço público de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos, o §7º do art. 33 citado prevê a possibilidade deste realizar de atividades originalmente de responsabilidade dos fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes nos sistemas de logística reversa dos produtos e embalagens, por acordo setorial ou termo de compromisso, mediante remuneração.

Nesse sentido, importa destacarmos que foi regulamentado pela União o sistema de logística reversa de embalagens de vidro (Decreto federal nº 11.300, de 21 de dezembro de 2022).

O regramento prevê a possibilidade de participação dos titulares dos serviços públicos de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos no sistema de logística reversa de embalagens de vidro, e estabelece como condicionante, a existência de acordo prévio entre as partes e a remuneração das ações. Determina que os titulares ou as concessionárias dos serviços poderão ser remunerados por meio de Recicla+, nos termos do disposto no Decreto federal nº 11.044, de 13 de abril de 2022.

Muito embora o Decreto federal nº 11.044/2022 tenha sido revogado pelo Decreto federal nº 11.413, de 13 de fevereiro de 2023, ambos prevêem os titulares dos serviços públicos de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos dentre os possíveis operadores da logística reversa.

Acrescenta-se que a regulamentação dos sistemas de logística reversa de embalagens de plástico, papel, papelão e metal, ainda não foi finalizada, embora as Consultas Públicas acerca das minutas de decreto tenham sido publicadas em 2022.

Especificamente em Minas Gerais, a regulamentação do SLR consta, atualmente, da Deliberação Normativa COPAM nº 249/2024, a qual deve ser observada por todos fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes dos seguintes produtos e embalagens pós-consumo colocados no mercado mineiro:

- Produtos eletroeletrônicos de uso doméstico, seus componentes e suas embalagens;
- Pilhas e baterias portáteis;
- Baterias chumbo-ácido automotivas, industriais e de motocicletas;
- Lâmpadas fluorescentes, de vapor de sódio, de vapor de mercúrio e de luz mista;
- Embalagens de óleos lubrificantes;
- Embalagens em geral de plástico, papel, papelão, metais e vidro;
- Medicamentos domiciliares de uso humano, vencidos ou em desuso, e suas embalagens;
- Pneus.

Destaca-se que, nos termos da Lei federal nº 12.305/2000, o Acordo Setorial é um ato de natureza contratual firmado entre o poder público e fabricantes, importadores, distribuidores ou comerciantes, tendo em vista a implantação da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida do produto (BRASIL, 2010). Referida lei termina ainda:

Art. 33 – [...]

§ 7º - Se o titular do serviço público de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos, por acordo setorial ou termo de compromisso firmado com o setor empresarial, encarregar-se de atividades de responsabilidade dos fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes nos sistemas de logística reversa dos produtos e embalagens a que se refere este artigo, as ações do poder público serão devidamente remuneradas, na forma previamente acordada entre as partes. (BRASIL, 2010).

Em relação ao Acordo Setorial, firmado em 2015 entre empresas, representadas por entidades setoriais, e a União, destaca-se, quanto à participação dos titulares dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos, que foi previsto que as operações realizadas por esses, relativas à logística reversa objeto deste acordo setorial, poderiam ser devidamente remuneradas, nos termos do art. 33, §7º, da Lei federal nº 12.305/2010, na forma acordada entre as partes.

Importa salientar, ainda, que tanto a legislação federal e quanto a DN COPAM nº 249/2024 definem a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos.

Entende-se por responsabilidade compartilhada o conjunto de atribuições individualizadas e encadeadas dos fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes, dos consumidores e dos titulares dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo dos resíduos sólidos, para minimizar o volume de resíduos sólidos e rejeitos gerados, bem como para reduzir os impactos causados à saúde humana e à qualidade ambiental decorrentes do ciclo de vida dos produtos.

Ao contrário da responsabilidade estendida do produtor, amplamente utilizada na Europa, na qual os produtores se responsabilizam por todo o ciclo de vida dos seus produtos, na responsabilidade compartilhada as ações dos fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes devem ser individualizadas e encadeadas.

Esclarecida essa questão, importa destacar que a responsabilidade do titular dos serviços públicos de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos, no âmbito da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, inclusive no que se refere à coleta seletiva de resíduos, não exclui a responsabilidade dos FIDC de produtos em relação aos quais é exigida a implantação da LR.

De fato, o dispositivo que trata acerca das ações do titular dos serviços públicos no que se refere à responsabilidade compartilhada³, prevê expressamente que as atividades realizadas conforme acordo setorial ou termo de compromisso devem ser remuneradas pelo setor empresarial.

Ocorre que, quando da ocorrência de evento lesivo ao meio ambiente ou à saúde pública relacionado ao gerenciamento de resíduos sólidos, o poder público deve atuar, subsidiariamente, para minimizar ou cessar dano, logo que tome conhecimento do ocorrido.

Assim, caso os responsáveis pela implementação da logística reversa não adotem as providências necessárias para o retorno dos produtos e embalagens, o que geraria flagrante dano ao meio ambiente, nos termos da lei, o poder público não pode se negar a realizar a coleta desses produtos dispostos para coleta pelo serviço público, com a adequada destinação final.

Salienta-se, entretanto, que, também nesta hipótese, é previsto o ressarcimento do poder público pelos gastos decorrentes das ações para cessar o dano⁴.

Especificamente em relação ao Município de Belo Horizonte, a coleta seletiva pública é realizada por associações de catadores de materiais recicláveis e reutilizáveis, mediante contrato firmado com a Superintendência de Limpeza Urbana - SLU, com a devida contraprestação.

Os resíduos sólidos coletados são destinados às associações de catadores de materiais recicláveis e reutilizáveis previamente cadastradas, as quais realizam a triagem dos resíduos sem serem remuneradas pelo poder público. Destaca-se que foi publicada matéria em julho de 2024, pelo Município, informando que a parceria do Município com mencionadas associações seriam ampliadas com a remuneração por triagem de material coletado (BELO HORIZONTE, 2024). Não obstante a informação, até o momento a remuneração das associações não foi formalizada e efetivada.

As associações, após a venda do material triado, realizam a comercialização das notas fiscais desses materiais para emissão de certificados. Tais certificados podem ser utilizados pelos responsáveis pela implantação da logística reversa para comprovação de atendimento das metas estabelecidas para recuperação de embalagens em geral pelo SLR. Referido procedimento é tratado no art. 20 do Decreto federal nº 11.413/2023.

Esclarece-se que a recuperação das embalagens pode ser realizada de duas formas: por meio de sistemas próprios de coleta, que utilizam Pontos de Entrega Voluntária (PEV) para captação das embalagens; ou a partir da compra de certificados de logística reversa, que, referenciados por notas fiscais, possibilita a comprovação do cumprimento de metas pelos fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes, obrigados legalmente a implementarem o retorno de embalagens em geral à cadeia industrial.

Essa transação é realizada pelas entidades gestoras que, por meio de programas/sistemas de logística reversa, realizam tal interface entre a indústria e os operadores. No caso do Município de Belo Horizonte, constata-se, portanto, prevalência da compensação via certificados, com base no material recolhido pelo Programa Municipal de Coleta Seletiva.

Como exibido na Tabela 1, com base nos dados de 2023, as Organizações de Catadores atuantes no Município se inseriram em quatro programas distintos de Logística Reversa, sendo:

- Programa Reciclar pelo Brasil, representado pela Associação Nacional dos Catadores e Catadoras de Materiais Recicláveis - ANCAT.
- Programa Mãos Pro Futuro, representado pela Associação Brasileira da Indústria de Higiene Pessoal - ABIHPEC;
- Programa ECOGESTO, representado pela Associação Brasileira de Bebidas - ABRABE; e
- Programa Três, implementado pela empresa de café Três Corações.

Tabela 1 – Inserção das Organizações de Catadores nos Programas de Logística Reversa.

ORGANIZAÇÕES CADASTRADAS	PROGRAMA DE LOGÍSTICA REVERSA / ENTIDADE GESTORA			
	PROGRAMA RECICLAR PELO BRASIL	PROGRAMA MÃOS PRO FUTURO	PROGRAMA ECOGESTO	TRÊS
	ANCAT	ABIHPEC	ABRABE	CAFÉ TRÊS CORAÇÕES
Rede Cataunidos	X			
Asmare I e II	X			
Coopersol Leste	X			X
Coopersoli	X			
RedeSol			X	
Associrecycle		X		
Coopemar			X	
Coomarp		X		

Os Programas Reciclar pelo Brasil (representado pela ANCAT) e Mãos pro Futuro (representado pela ABIHPEC) são os dois principais programas de logística reversa de embalagens com atuação em Belo Horizonte na interface com as Organizações de Catadores e estão relacionados a uma grande gama de setores ou grupo de industriais.

Além desses dois programas principais, foi possível identificar a adesão das Organizações de Catadores a SLR conectados diretamente com a indústria. A Coopersol Leste, além de compor o Reciclar pelo Brasil, participa do programa Três, que visa a recuperação de embalagens de cápsula de café expresso da Três Corações, com pagamento de Crédito de Reciclagem diretamente para a Organização de Catadores. Já a Redesol, realiza a venda conjunta do vidro recebido pelas Organizações de Catadores da rede por meio do programa Ecogesto da Associação Brasileira de Bebidas (ABRABE). Pontualmente, a Coopemar também negocia a emissão de créditos de outros materiais além do vidro com a ABRARE.

Importante frisar que é possível distinguir os sistemas de logística reversa de embalagens, fundamentalmente, em dois modelos, são eles:

- Os sistemas estruturantes, que compreendem um conjunto de medidas voltadas à qualificação, capacitação, adequação e melhoria da infraestrutura de recuperação de embalagens, notadamente em parceria com cooperativas e associações de catadoras e catadores de materiais recicláveis, resultando na compensação via Certificado de Estruturação e Reciclagem de Embalagens em Geral - CERE; e
- Os sistemas com base em Certificado de Crédito de Reciclagem de Logística Reversa - CCRLR, enquanto documento emitido pela entidade gestora para demonstrar a destinação da massa de embalagens, sendo os resultados majoritariamente oriundos de operadores privados.

Os programas identificados na pesquisa são essencialmente estruturantes e apresentam diferentes formas de atuação, sendo necessário verificar como suas aplicações impactam na dinâmica de cada organização. Ressalta-se que diante da recente regulamentação da logística reversa em Minas Gerais, o estado não possui um sistema que permita acesso aos dados de nível local, de forma que não foi possível identificar quais entidades gestoras estão atuando em Belo Horizonte no comércio atacadista de reciclagem.

A seguir são apresentados os escopos gerais de cada programa e o impacto dos resultados para as Organizações de Catadores de Belo Horizonte.

PROGRAMA RECICLAR PELO BRASIL

O programa Reciclar pelo Brasil é uma iniciativa estruturante que busca fortalecer as cooperativas e associações de catadores de materiais recicláveis em todo o país.

A metodologia do programa é fundamentada em um assessoramento técnico contínuo, onde cada Organização de Catadores é acompanhada por um especialista. Por meio do assessoramento técnico,

é realizado um diagnóstico abrangente, avaliando aspectos como regularização jurídica, gestão administrativa e financeira, infraestrutura e equipamentos (RECICLAR PELO BRASIL, 2024).

A partir dessa análise inicial, são elaborados planos de ação personalizados que visam atender às necessidades específicas de cada organização. Essas ações incluem desde a obtenção de licenças de operação até melhorias na infraestrutura física, como a reforma de galpões e a aquisição de equipamentos essenciais para o aumento da produtividade.

O programa apresenta a peculiaridade de ter como entidade gestora a Associação Nacional de Catadores – ANCAT, o que confere certa representatividade para as Organizações de Catadores aderentes, além de desempenhar um importante papel de articulação com as empresas participantes.

De acordo ainda com dados informados na plataforma, o Reciclar pelo Brasil possui os seguintes objetivos:

- Aumentar a Reciclagem: Incrementar a quantidade de resíduos reciclados por meio do fortalecimento das cooperativas.
- Ampliar a Receita das Cooperativas: Proporcionar maior retorno financeiro às organizações participantes.
- Melhorar a Renda dos Catadores: Elevar os ganhos dos catadores integrados ao programa.

A operacionalização do programa ocorre por meio da remuneração dos certificados estruturantes segundo uma escala de produtividade, conforme detalhado na Tabela 2.

Tabela 2 – Valores pagos pelo programa Reciclar pelo Brasil por tonelada de material recuperado.

MÉDIA MENSAL	VALOR DO INVESTIMENTO POR TONELADA
Acima de 90 toneladas	R\$ 105,00
De 65 até 89 toneladas	R\$ 95,00
De 40 até 64 toneladas	R\$ 85,00
De 15 até 39 toneladas	R\$ 75,00

Legenda: Tabela elaborada com dados da Coopesol Leste, 2024.

A aplicação do recurso é condicionada à apresentação da proposta de investimento, uma vez que o programa compensa a massa de material recuperada com o Certificado de Estruturação de Reciclagem de Logística Reversa - CCRLR, o qual, conforme explicitado anteriormente, depende do cumprimento de premissas estruturantes para aplicação.

O programa não possui um sistema de coleta próprio, nem custeia essa operacionalização, de forma que, salvo os casos em que as organizações possuem contratos de prestação de serviços diretamente com empresas particulares, toda a massa recuperada é correspondente ao material recebido pelas Organizações de Catadores por intermédio do Programa Municipal de Coleta Seletiva.

PROGRAMA MÃOS PRO FUTURO

O Programa Mãos Pro Futuro é um programa estruturante de logística reversa, focado na inclusão socioeconômica de catadores de materiais recicláveis e no fortalecimento de cooperativas e associações. Criado em parceria entre empresas privadas e entidades representativas do setor, como a Associação Brasileira da Indústria de Higiene Pessoal, Perfumaria e Cosméticos – ABIHPEC, o programa busca implementar soluções sustentáveis para a gestão de resíduos sólidos no Brasil, alinhando-se às diretrizes da PNRS.

Atualmente, além da ABIHPEC, também participam do programa a Associação Brasileira das Indústrias de Biscoitos, Massa Alimentícias e Pães & Bolos Industrializados (ABIMAPI) e a Associação Brasileira da Indústria de Produtos de Higiene, Limpeza e Saneantes (ABIPLA), o que confere ampla representatividade em termos de setores de consumo e empresas envolvidas.

O programa contempla um somatório de aproximadamente 191 empresas e atua em três frentes principais:

- O aumento da reciclagem de embalagens pós-consumo;
- Apoio técnico e financeiro às cooperativas de catadores; e
- Promoção de campanhas de conscientização para a população.

A metodologia do Mãos Pro Futuro é centrada no suporte às Organizações de Catadores, oferecendo recursos para infraestrutura, aquisição de equipamentos e capacitação dos trabalhadores. A **Figura 2** mostra as fases de implementação do programa após diagnóstico inicial realizado pelos técnicos de suporte.

Figura 2 – Metodologia de estruturação do programa Mãos Pro Futuro.



Fonte: MÃOS PRO FUTURO, 2025.

Em síntese, as fases 1 e 2 são dedicadas à estruturação da organização, de forma que o recurso gerado pela emissão do Certificado Estruturante seja aplicado prioritariamente na aquisição e manutenção de máquinas e equipamentos.

Já na terceira fase, espera-se que a organização tenha alcançado a infraestrutura adequada, passando o modelo para o Pagamento por Tonelada Processada (PPT), com maior autonomia da organização para a aplicação dos recursos, inclusive como incremento de remuneração para os catadores. A Tabela 3 apresenta os valores atualmente praticados pelo programa, de acordo com dados informados pela Coomarp.

Tabela 3 – Valores pagos pelo programa Mãos Pro Futuro por tonelada de material recuperado.

TIPO DE MATERIAL	VALOR DO INVESTIMENTO POR TONELADA
Papel/papelão	R\$ 90,00
Metal	R\$ 90,00
Plástico	R\$ 150,00
Vidro	R\$ 130,00

Legenda: Tabela elaborada com dados da Coomarp, 2024.

O programa também não possui um sistema de coleta próprio, de forma que, salvo os casos em que as organizações possuem contratos de prestação de serviços diretamente com particulares, toda a

massa recuperada é correspondente ao material recebido pelas Organizações de Catadores pelo Programa Municipal de Coleta Seletiva.

PROGRAMA EOGCESTO / GLASS IS GOOD

A Associação Brasileira de Bebidas (ABRABE) figura como associação representante dos fabricantes e importadores de bebidas no Brasil. É a entidade que reúne todas as categorias de bebidas alcoólicas: destilados, vinhos, cachaças e cervejas (ABRABE, 2025a). Dentre suas atividades, verifica-se a representação e interlocução do setor junto aos diversos atores institucionais, agentes do Poder Executivo, legisladores, mercado, outras entidades de classe, órgãos reguladores, imprensa e opinião pública. Os programas Ecogesto e Glass is Good são estratégias de responsabilidade social desenvolvidas pela ABRABE para o cumprimento da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), bem como da logística reversa.

Embora não haja registro no relatório nacional de logística reversa de embalagens, por meio do Ecogesto a ABRABE desenvolve programas estruturantes com atuação em duas frentes: apoio às cooperativas e/ou associações de catadores de recicláveis e também contempla a instalação de Ponto de Entrega Voluntária (PEV’s); e ambiental junto à população, de forma a difundir a conscientização e incentivar o descarte consciente de resíduos sólidos (ABRABEa, 2025a).

Nesse sentido, à semelhança do programa Mãos Pro Futuro, o programa Ecogesto também efetua a remuneração pela massa recuperada de acordo com o tipo de material. A Tabela 4 mostra os valores praticados atualmente, de acordo com dados informados pela Coopemar Oeste.

Tabela 4 – valor de venda dos materiais recicláveis

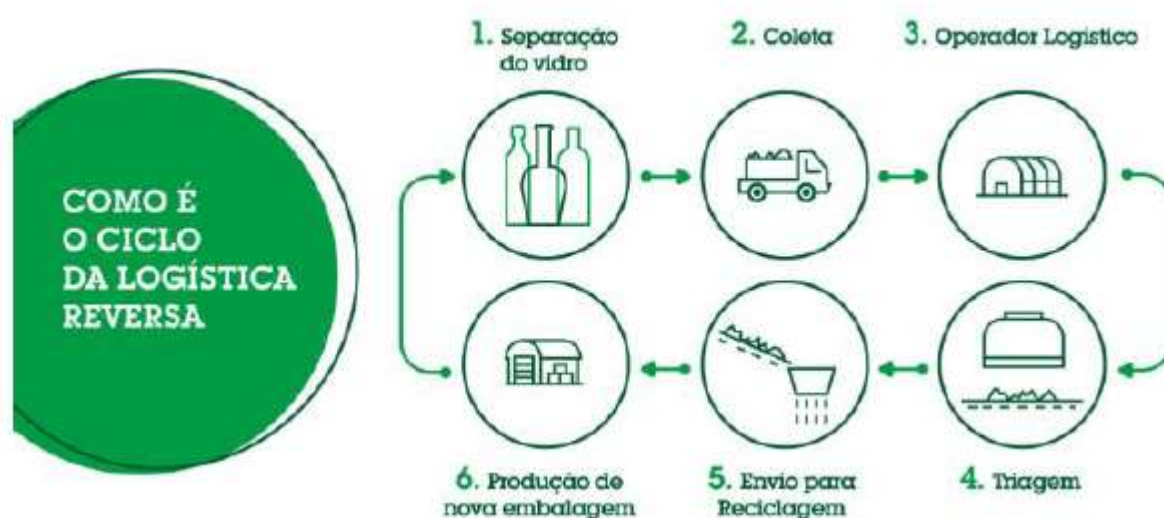
TIPO DE MATERIAL	VALOR DO INVESTIMENTO POR TONELADA
Papel/papelão	R\$ 90,00
Metal	R\$ 105,00
Plástico	R\$ 90,00
Vidro	R\$ 115,00

Legenda: Tabela elaborada com dados da Coopemar Oeste, 2025.

Paralelamente, a ABRABE possui o programa Glass is Good que consiste em um exemplo de sistema de logística para recuperação direta de material, sem que haja intermediação de organização de

catadores ou atacadistas. Com atuação direta em bares, restaurantes, condomínios, empresas e eventos, o programa recupera embalagens de vidro que são destinadas à indústria, conforme fluxo detalhado na Figura 3.

Figura 3 - Fluxo de recuperação de vidro no programa Glass is Good



Como visto, à exceção da logística com bares e restaurantes, o programa Ecogesto também não possui um sistema de coleta próprio em Belo Horizonte, de forma que, salvo os casos em que as Organizações de Catadores possuem contratos de prestação de serviços diretamente com particulares, toda a massa recuperada é correspondente ao material recebido pelas Organizações de Catadores por intermédio do Programa Municipal de Coleta Seletiva.

Dessa forma, como retratado anteriormente e diante da constatação de equiparação das massas recuperadas pelos programas com o desempenho do Programa Municipal de Coleta Seletiva, no âmbito da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, inclusive no que se refere à coleta seletiva de resíduos, o titular dos serviços públicos de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos possui atribuições específicas, figurando como um importante operador da logística reversa.

No entanto, essas atribuições não isentam os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes da obrigação de implantar e operar sistemas de logística reversa de forma independente ou de remunerar o poder público quando este atuar no fluxo da logística reversa. Ou seja, conforme preconizado pela PNRS, em Belo Horizonte faz-se necessário a formalização de um acordo entre FIDC e o Município para regularização da prestação do serviço.

Nesse sentido, a Tabela 5 exibe as quantidades totais de materiais recicláveis comercializados pelas Organizações de Catadores em 2023 após a triagem da coleta seletiva municipal.

Tabela 5 – Recuperação de massa pelos programas de Logística Reversa em Belo Horizonte.

ORGANIZAÇÃO DE CATADORES⁵	RECICLAR PELO BRASIL (t)	MÃOS PRO FUTURO (t)	ABRABE (t)
Asmare	907,13	-	
Coopemar Oeste		-	904,52
Coopersoli Barreiro	868,87	-	
Coopesol Leste	705,82	-	
Associrecycle	-	1.110,11	
Coomarp Pampulha	-	1.148,61	
RedeSol			771,60
Total	2.481,83	2.258,72	1.676,12

Legenda: Tabela elaborada com dados fornecidos pelas Organizações de Catadores citadas, 2023.

Considerando, então, que os programas de logística reversa que atuam junto à Organizações de Catadores possuem sistemas próprios de coleta (com exceção do Ecogesto), é possível concluir que os certificados de logística reversa emitidos no Município podem atingir até 6.416,66 toneladas de resíduos comercializadas. Deste total, 38,68% atrelado ao programa Reciclar pelo Brasil, 35,20% ao programa Mãos pro Futuro e 26,12% referente ao programa ABRABE. Tal quantitativo representa 0,88% das 730.086,78 toneladas de resíduos sólidos urbanos (RSU) gerados em 2023 no Município (SLU, 2024a), posicionando o Município bastante distante da meta estipulada pelo Planares, que para o ano de referência de 2024 era 30%.

Destaca-se que, com base nos dados levantados junto à SLU, em 2023 a coleta seletiva recolheu 6.185,73 toneladas de resíduos. Essa diferença entre a comercialização e o recebimento é explicada, principalmente, pelo fluxo de estocagem e venda realizado pelas Organizações de Catadores (que muitas vezes retém material para venda com melhores preços), além de doações e recebimento de material reciclado da Área de Transbordo e Triagem (ATT) da Central de Tratamento de Resíduos Macaúbas⁶.

A partir dos quantitativos comercializados, a Tabela 6 apresenta a estimativa de incremento no faturamento das Organizações proporcionado pela emissão dos Certificados de Estruturação e

Reciclagem de Embalagens em Geral (CERE), levando em consideração os valores atualmente praticados por cada programa.

Tabela 6 – Valores recebidos pelas Organizações de Catadores pela emissão de CERE.

ORGANIZAÇÃO	RECICLAR PELO BRASIL	MÃOS PRO FUTURO	ABRABE
Associrecycle	-	R\$ 122.584,57	
Asmare	R\$ 84.163,75	-	
Coomarp Pampulha	-	R\$ 125.451,48	
Coopesol Leste	R\$ 130.746,53	-	
Coopersoli Barreiro	R\$ 124.063,28	-	
Coopemar Oeste	-	-	R\$ 133.606,62
RedeSol			R\$ 88.734,00
Sub-Total	R\$ 338.973,55	R\$ 248.036,05	R\$ 222.340,62
Total	R\$ 809.350,21		
Média por programa	R\$ 118.145,04	R\$ 124.018,02	R\$ 111.170,31
Média geral	R\$ 115.621,46		

Os valores recebidos pelas Organizações de Catadores em 2023 totalizaram, potencialmente, R\$809.350,21, com uma média geral de R\$115.621,46 por organização, o equivalente a um incremento de R\$9.635,12 por mês. Na comparação, verifica-se que o programa Mãos pro Futuro proporcionou a maior média remuneratória dentre os programas atuantes no município.

Essa diferença pode estar relacionada à metodologia diferenciada de remuneração aplicada pelo programa Mãos pro Futuro, que trabalha com valores ajustados conforme o tipo de material reciclável coletado e comercializado. Em contrapartida, o programa Reciclar pelo Brasil, embora tenha gerado maior volume total de material recuperado, apresentou uma remuneração proporcionalmente inferior.

Ressalta-se que em virtude da legislação estadual (DN COPAM nº 249/2024) ter sido publicada recentemente e, devido a extensão de prazo concedido para que as entidades gestoras protocolassem os relatórios, não há ferramentas para consulta dos resultados da logística reversa disponíveis que permitam efetuar recortes de nível local. Dessa forma, os valores são referenciados em uma estimativa de recebimento com base no material proveniente do Programa Municipal de Coleta Seletiva (SLU, 2024c).

Dessa forma, até o presente momento, a análise dos resultados da massa recuperada pela logística reversa de embalagens em Belo Horizonte se restringe às projeções de estimativas com base nos materiais recuperados pelas Organizações de Catadores, conforme ilustrado anteriormente.

Insta salientar, ainda, que as embalagens em geral constituem grande fração dos resíduos sólidos da coleta seletiva pública, triados pelas Organizações de Catadores. Considerando as fontes pesquisadas (SILVA, 2020; ABRELPE, 2018; IPEA, 2012), tem-se que os resíduos de embalagem representam entre 12,8% à 31,9% dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) no Brasil.

Não obstante essa informação, entendemos essencial a quantificação deste montante na coleta pública para melhor entendimento da participação do Município no sistema de logística reversa de embalagens em geral.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Percebe-se, portanto, que o serviço público de coleta seletiva contratado pela SLU contribui diretamente para a logística reversa de embalagens em geral no Município, sendo a referida autarquia, de fato, operadora da logística reversa⁷.

Assim, embora a legislação seja clara no que se refere à obrigatoriedade da independência do sistema de logística reversa ao serviço público de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos, a realidade é outra nos municípios que realizam a coleta seletiva e destinam os resíduos para cooperativas e associações de catadores de materiais recicláveis e reutilizáveis.

Cumprе destacar que a legislação prevê essa atuação, destacando que o poder público pode ser operador do sistema e estabelecendo a necessidade de pagamento pelos serviços prestados.

Assim, é essencial que a atuação do Município de Belo Horizonte, por meio da SLU, seja remunerada pelos responsáveis pela implantação do sistema de logística reversa de embalagens em geral, nos termos do art. 33, §7º, da Lei federal nº 12.305/2010.

Por fim, acrescenta-se que a Norma de Referência (NR) nº 7/2024 da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) determina que os custos referentes à logística reversa incluídos em acordos setoriais e termos de compromissos firmados não deverão ser repassados aos usuários do Serviço Público de Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos - SMRSU.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA. Resolução nº 187, de 19 de março de 2024. Aprova a Norma de Referência nº 7/2024 para a regulação dos serviços públicos de saneamento básico, que dispõe sobre as condições gerais para a prestação direta ou mediante concessão dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos urbanos. Norma de Referência nº 7, de 5 de junho de 2024. União: Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/ana>. Acesso em: 15 jan. 2025.

ABRABE (a) - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE BEBIDAS. Glass is Good. Disponível em: <https://www.abrabe.org.br/responsabilidade-social/ecogesto/>. Acesso em: 21 jan. 2025.

ABRABE (b) - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE BEBIDAS. Glass is Good. Disponível em: <https://www.abrabe.org.br/glass-is-good/>. Acesso em: 21 jan. 2025.

BELO HORIZONTE. Lei municipal nº 8.147, de 29 de dezembro de 2000. Altera legislação tributária municipal e dá outras providências. Belo Horizonte: Câmara Municipal, 2000. Disponível em:

<https://www.cmbh.mg.gov.br/atividade-legislativa/pesquisar-legislacao/lei/8147/2000>. Acesso em: 15 jan. 2024.

BELO HORIZONTE. Lei municipal nº 10.534, de 10 de setembro de 2012. Dispõe sobre a limpeza urbana, seus serviços e o manejo de resíduos sólidos urbanos no Município, e dá outras providências. Belo Horizonte: Câmara Municipal, 2012. Disponível em: <https://www.cmbh.mg.gov.br/atividade-legislativa/pesquisar-legislacao/lei/10534/2012>. Acesso em: 25 nov. 2024.

BELO HORIZONTE. Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos. Belo Horizonte: SLU, 2017. Disponível em: <https://prefeitura.pbh.gov.br/slu/plano-municipal-de-residuos-solidos/introducao>. Acesso em: 25 nov. 2024.

BELO HORIZONTE. 2024. Prefeitura de BH avança na parceria com catadores e na coleta seletiva. Belo Horizonte: Poder executivo, 2025. Disponível no endereço eletrônico: <https://prefeitura.pbh.gov.br/noticias/prefeitura-de-bh-avanca-na-parceria-com-catadores-e-na-coleta-seletiva>. Acesso em: 15 jan. 2025.

BRASIL. Acordo Setorial de Embalagens em Geral de 2015. Brasil: Ministério do Meio Ambiente, 2015. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br>. Acesso em: 21 dez. 2024.

BRASIL. Decreto federal nº 11.043, de 13 de abril de 2022. Aprova o Plano Nacional de Resíduos Sólidos - Planares. Brasil: Planalto, 2022. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/decreto/d11043.htm. Acesso em: 01 nov. 2024.

BRASIL. Decreto federal nº 11.044, de 13 de abril de 2022. Institui o Certificado de Crédito de Reciclagem - Recicla+. Brasil: Planalto, 2022. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/decreto/d11044.htm. Acesso em: 01 nov. 2024.

BRASIL. Decreto federal nº 11.300, de 21 de dezembro de 2022. Regulamenta o §2º do art. 32 e o § 1º do art. 33 da Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, e institui o sistema de logística reversa de embalagens de vidro. Brasil: Planalto, 2022. Disponível em:

https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/decreto/D11300.htm. Acesso em: 01 nov. 2024.

BRASIL. Decreto federal nº 11.413, de 13 de fevereiro de 2023. Institui o Certificado de Crédito de Reciclagem de Logística Reversa, o Certificado de Estruturação e Reciclagem de Embalagens em Geral e o Certificado de Crédito de Massa Futura, no âmbito dos sistemas de logística reversa de que trata o art. 33 da Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Brasil: Planalto, 2023. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2023/decreto/D11413.htm. Acesso em: 01 nov. 2024.

BRASIL. Lei federal nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico; cria o Comitê Interministerial de Saneamento Básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.666, de 21 de junho de 1993, e 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; e revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978. Brasil: Planalto, 2007. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm. Acesso em: 20 dez. 2024.

BRASIL. Lei federal nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasil: Planalto, 2010. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acesso em: 20 dez. 2024.

BRASIL. Portaria nº 259, de 5 de outubro de 2022. Brasil: Ministério do Meio Ambiente, 2022. Consulta pública de Logística Reversa de Embalagens de Plástico. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-gm/mma-n-259-de-5-de-outubro-de-2022-434409963>. Acesso em: 25 nov. 2024.

BRASIL. Portaria nº 268, de 31 de outubro de 2022. Consulta pública de Logística Reversa de Embalagens de Papel e Papelão. Brasil: Ministério do Meio Ambiente, 2022. Disponível em: <https://in.gov.br/web/dou/-/portaria-gm/mma-n-268-de-31-de-outubro-de-2022-441027184>. Acesso em: 25 nov. 2024.

BRASIL. Portaria nº 269, de 31 de outubro de 2022. Consulta pública de Logística Reversa de Embalagens de Metal. Brasil: Ministério do Meio Ambiente, 2022. Disponível em: <https://in.gov.br/web/dou/-/portaria-gm/mma-n-269-de-31-de-outubro-de-2022-441015953>. Acesso em: 25 nov. 2024.

BRASIL. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. Brasil: Ministério do Meio Ambiente. Disponível em: <https://sinir.gov.br>. Acesso em: 15 jan. 2025.

COPAM. Deliberação Normativa nº 249, de 30 de janeiro de 2024. Define as diretrizes para implementação, operacionalização e monitoramento dos sistemas de logística reversa no estado de Minas Gerais, e altera a Deliberação Normativa Copam nº 217, de 06 de dezembro de 2017. Estado: Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável, COPAM, 2024. Disponível em: https://meioambiente.mg.gov.br/busca?p_p_id=com_liferay_portal_search_web_search_results_portlet_SearchResultsPortlet_INSTANCE_rinn&p_p_lifecycle=0&p_p_state=maximized&p_p_mode=view&_com_liferay_portal_search_web_search_results_portlet_SearchResultsPortlet_INSTANCE_rinn_mv_cPath=%2Fview_content.jsp&_com_liferay_portal_search_web_search_results_portlet_SearchResultsPortlet_INSTANCE_rinn_redirect=%2Fbusca%3Fq%3Ddelibera%25C3%25A7%25C3%25A3o%2Bnorm

ativa%2B249&_com_liferay_portal_search_web_search_results_portlet_SearchResultsPortlet_INSTANCE_rinn_assetEntryId=6815785&_com_liferay_portal_search_web_search_results_portlet_SearchResultsPortlet_INSTANCE_rinn_type=content&p_l_back_url=%2Fbusca%3Fq%3Ddelibera%25C3%25A7%25C3%25A3o%2Bnormativa%2B249. Acesso em: 20 dez. 2024.

COPAM. Deliberação Normativa nº 256, de 26 de dezembro de 2024. Altera a Deliberação Normativa Copam nº 249, de 30 de janeiro de 2024. Estado: Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável, COPAM, 2024. Disponível em:

<https://www.jornalminasgerais.mg.gov.br/index.php?dataJornal=2024-12-27>. Acesso em: 29 dez. 2024.

IPEA - INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. 2012. Plano Nacional e Resíduos Sólidos: diagnóstico dos resíduos urbanos, agrosilvopastoris e a questão dos catadores. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=4087>. Acesso em 15 jan. 2025

ORGANIZAÇÕES DE CATADORES. Dados fornecidos pelas Organizações de Catadores. Belo Horizonte, 2024.

RECICLAR PELO BRASIL. 2024. Reciclar pelo Brasil. Disponível em: <https://www.reciclapelobrasil.com.br/>. Acesso em: 21 dez. 2024.

SILVA, Letícia Figueiredo. Logística reversa de embalagens em geral pós-consumo: : panorama atual e análise da implementação dos sistemas no Brasil. 2020. 87f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: <https://www.bdtd.uerj.br:8443/handle/1/17272> Acesso: 10 jan. 2025.

SLU. Contratos de Coleta Seletiva. Belo Horizonte: Superintendência de Limpeza Urbana. Disponíveis em: <https://prefeitura.pbh.gov.br/transparencia/licitacoes-e-contratos/editais-e-contratos/slu-coleta>. Acesso em: 15 jan. 2025.

SLU, 2024a. Superintendência de Limpeza Urbana. Planilha de destinação final de resíduos. Belo Horizonte: [s.n.], 2024. Relatório recebido por e-mail em 3 dez. 2024.

SLU, 2024b. Superintendência de Limpeza Urbana. Planilha de coletas de resíduos. Belo Horizonte: [s.n.], 2024. Relatório recebido por e-mail em 3 dez. 2024.

SLU, 2024c. Superintendência de Limpeza Urbana. Planilha coleta seletiva síntese 2023. Belo Horizonte: [s.n.], 2024. Relatório recebido por e-mail em 8 jan. 2025.

Capítulo 18



10.37423/260310894

DEGRADAÇÃO E AVALIAÇÃO DE TOXICIDADE DOS ANTIBIÓTICOS SULFAMETOXAZOL (SMX) E OXITETRACICLINA (OTC) EM SOLUÇÕES AQUOSAS

Fellipe Chiara Karraz

Universidade Federal do Rio de Janeiro

Juacyara Carbonelli Campos

Universidade Federal do Rio de Janeiro

João Eduardo Rodrigues Ribeiro

Universidade Federal do Rio de Janeiro

Sarah Dario Alves Daflon

Universidade Federal do Rio de Janeiro

Pedro Otávio Nepomuceno de Pontes

Universidade Federal do Rio de Janeiro



RESUMO

O uso de antibióticos para tratar doenças infecciosas data de milhares de anos atrás. Seu uso possibilitou o tratamento de diversas doenças que antes eram tidas como incuráveis, além de possibilitarem diversos procedimentos médicos, como tratamentos contra câncer e transplante de órgãos. Contudo, seu uso demasiado pela população também traz sérios riscos à saúde pública, e tem cada vez mais se tornado palco de discussão no meio acadêmico. Um dos principais problemas relacionados à presença desses compostos no meio ambiente está relacionado ao aparecimento de microrganismo resistentes, capazes de sobreviver aos efeitos tóxicos dos antibióticos. Além disso, estações de tratamento convencionais não são projetadas para remover esses contaminantes, fazendo com que se acumulem no ambiente. Visto isso, fica evidente a necessidade de buscar uma solução mais eficaz para remover esses contaminantes do ambiente. Nesse trabalho, foi dado foco nos processos oxidativos utilizando luz ultravioleta, peróxido de hidrogênio, e uma combinação dos dois. Os antibióticos escolhidos para realizar os testes foram o sulfametoxazol (SMX) e a oxitetraciclina (OTC). Esses antibióticos representam as classes das sulfonamidas e das tetraciclina respectivamente, e foram escolhidos pela sua alta toxicidade e pelo número de publicações que citam sua presença em corpos hídricos ao redor do mundo. Resultados preliminares indicam que houve quebra das moléculas dos contaminantes, porém sem redução da sua toxicidade, que permaneceu igual, ou aumentou.

Palavras-chave: Processos oxidativos, Antibióticos, Degradação, Resistência microbiana.

INTRODUÇÃO

A indústria farmacêutica, cuja origem remonta ao final do século XIX, ocupa um papel central na promoção da saúde mundial através da produção de medicamentos essenciais para a prevenção, tratamento e cura de diversas doenças (Malerba e Orsenigo, 2015). Contudo, o crescimento acelerado desse setor não se restringe ao avanço tecnológico e à inovação terapêutica, mas também acarreta desafios ambientais e sociais de grande relevância, sobretudo no que diz respeito à geração e gerenciamento de efluentes industriais. Esses efluentes, que podem conter uma complexa mistura de compostos bioativos – entre eles antibióticos, substâncias químicas e outros resíduos oriundos dos processos produtivos e do controle de qualidade – são fonte potencial de contaminação de corpos hídricos, aumentando o risco da disseminação de microrganismos resistentes e acarretando sérias consequências para a saúde pública e para os ecossistemas (Milakovic et al., 2019; Wang et al., 2023).

A relevância do tema é intensificada pela necessidade de observar rigorosamente as diretrizes legais que regulamentam o manejo de resíduos sólidos e efluentes. A Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010) e a Política Nacional do Meio Ambiente (Lei nº 6.938/1981), bem como as resoluções e normas da ANVISA e da ABNT, estabelecem parâmetros que, se não cumpridos, podem resultar em severas penalidades para as empresas e, principalmente, em riscos ambientais irreversíveis (Saviano et al., 2022). Essa realidade impõe ao setor farmacêutico a obrigação de buscar não apenas a excelência na produção dos medicamentos, mas também na implementação de práticas sustentáveis que minimizem os impactos adversos decorrentes do descarte inadequado dos efluentes, os quais, além de concentrarem compostos farmacologicamente ativos, evidenciam a complexidade dos desafios relacionados à poluição hídrica.

Os impactos ambientais e epidemiológicos da presença de antibióticos nos efluentes vão além da simples contaminação química da água. Estudos indicam que a presença contínua desses compostos em águas superficiais, subterrâneas e mesmo em água potável pode favorecer a emergência de resistência microbiana – um fenômeno que compromete os tratamentos clínicos e dificulta o controle de infecções (Kummerer, 2003; Sabri et al., 2020). Essa problemática se agrava pelo uso intensivo desses medicamentos não só na medicina humana, mas também na prática veterinária, onde o descarte inadequado e a aplicação de antibióticos na pecuária contribuem para a ampla distribuição desses agentes químicos no meio ambiente. Em razão disso, a presença de resíduos farmacêuticos em diferentes tipos de águas emergiu como um dos principais desafios a serem superados pelo setor

ambiental, exigindo soluções que aliem eficiência técnica, viabilidade econômica e conformidade com as legislações ambientais.

Do ponto de vista tecnológico, a evolução dos métodos de tratamento de efluentes evidencia a necessidade de processos cada vez mais sofisticados e adaptáveis à complexidade dos contaminantes presentes. Enquanto os métodos convencionais, como a sedimentação e o uso de lodos ativados, demonstram limitações quanto à remoção específica de antibióticos, as técnicas avançadas, como os processos oxidativos, mostram potencial para a degradação eficaz desses compostos, mesmo em concentrações que excedem as mínimas inibitórias para diversas bactérias (Crini e Lichtfouse, 2018; Huang et al., 2022). O desenvolvimento e a implementação desses métodos envolvem desafios inerentes à complexidade dos efluentes farmacêuticos, uma vez que a diversidade dos compostos presentes requer estratégias de tratamento múltiplas e integradas, que possam efetivamente reduzir a carga de matéria orgânica, eliminar os resíduos de antibióticos e, ao mesmo tempo, evitar a formação de subprodutos tóxicos ou poluentes secundários.

Além do aspecto tecnológico, é imprescindível considerar os fatores socioeconômicos e políticos que influenciam a aplicação e a eficiência dos tratamentos de efluentes. A intensificação do consumo farmacêutico global, aliada ao envelhecimento da população e ao aumento da demanda por tratamentos médicos, impulsiona a expansão da produção farmacêutica – o que, por sua vez, resulta em um volume maior de efluentes industriais. Esse contexto demanda não só investimentos robustos em infraestrutura de tratamento e desenvolvimento tecnológico, mas também a criação de políticas públicas e mecanismos de fiscalização que garantam a conformidade ambiental e a implementação efetiva de práticas sustentáveis em todos os níveis da cadeia produtiva. A interconexão entre estes fatores evidencia a necessidade de uma abordagem multidisciplinar que considere desde os processos industriais e os avanços tecnológicos até as implicações sociais e ambientais envolvidas.

OBJETIVOS

Realizar um estudo comparativo entre três métodos distintos de degradação de dois antibióticos – sulfametoxazol e oxitetraciclina – utilizando luz ultravioleta e peróxido de hidrogênio, isoladamente e em conjunto, para verificar sua eficácia na remoção desses contaminantes em amostras sintéticas.

METODOLOGIA UTILIZADA

A metodologia adotada neste estudo para a avaliação dos métodos de degradação de antibióticos em efluentes se estruturou em etapas sequenciais que englobam o preparo das soluções padrão, a aplicação de processos de degradação, e a realização de testes analíticos para monitoramento dos parâmetros experimentais. Para a preparação das soluções, foram pesados 50 mg de cada antibiótico em balança analítica, transferidos para balões volumétricos de 1 L e completados com água Milli-Q, resultando em soluções com concentração de 50 mg/L. Devido à relativa insolubilidade dos compostos em água, as soluções foram aquecidas a aproximadamente 35 °C sob agitação constante, garantindo a homogeneização, e posteriormente armazenadas em frascos de vidro âmbar previamente higienizados e refrigerados a 3 °C. Essa padronização permitiu a obtenção de condições reprodutíveis para os experimentos subsequentes.

A etapa seguinte envolveu a fotólise utilizando radiação UV. Os experimentos foram realizados em uma caixa selada com papel alumínio, equipada com duas lâmpadas emissoras de radiação UV, cujo fluxo foi monitorado por um radiômetro, estabilizando-se em 1,20 mW/cm². Em seguida, 2L da solução contaminante foram transferidos para uma bacia de vidro pirex, posicionada sobre uma placa de aquecimento com agitação moderada. Alíquotas de 50 mL foram coletadas em intervalos pré-definidos (0 min, 15 min, 30 min, 1 h e 2 h) para análise posterior.

Para o processo de oxidação com peróxido, procedeu-se primeiramente à padronização da solução de peróxido de hidrogênio (H₂O₂). Esta etapa teve início com a preparação de uma solução de permanganato de potássio (KMnO₄) a partir da pesagem de 3,2 g deste reagente, dissolvidos em 250 mL de água deionizada e submetidos a aquecimento entre 60–70 °C por 2 horas. Após homogeneização e retorno à temperatura ambiente, a solução foi volumetrada em balões de 1 L e, em seguida, padronizada por titulação com uma solução padrão de oxalato de sódio (0,05 M). A quantidade de KMnO₄ consumida permitiu, após o cálculo adequado, a determinação da molaridade da solução de H₂O₂, tornando possível a construção de uma curva padrão a partir de diluições seriadas da solução-mãe. Essa curva serviu para determinar o peróxido residual nas amostras após os tempos reacionais estabelecidos.

Antes do início do processo de degradação com peróxido, calculou-se o carbono orgânico total teórico presente na solução de cada antibiótico, a fim de determinar a quantidade necessária de H₂O₂ que garantisse uma relação estequiométrica 1:1 entre carbono e peróxido. Essa quantidade calculada é

então transferida para um bécher, contendo 500 mL solução de antibiótico, e a reação ocorre sob agitação leve em placa de aquecimento. Ao final de cada tempo reacional, 50 mL do meio é adicionado a um tubo Falcon contendo 500 μ L de catalase para parar a reação de oxidação. Além disso, também são retirados 4 mL para realizar a análise de peróxido residual. A escolha da catalase se deve ao fato de não interferir com os ensaios de toxicidade que seriam realizados em seguida.

O tratamento combinado utilizando peróxido/UV procedeu de forma semelhante aos tratamentos isolados. Primeiramente foi calculado o carbono orgânico total teórico das amostras para determinar a quantidade de H_2O_2 necessária. Posteriormente, essa quantidade de peróxido foi adicionada à amostra de antibiótico em um recipiente de vidro pirex, e o conjunto foi submetido à irradiação UV, seguindo procedimentos similares aos experimentos de fotólise. Coletas de 50 mL para análise de carbono orgânico total e toxicidade foram realizadas em intervalos regulares.

Por fim, os testes analíticos foram efetuados em cada amostra coletada. Inicialmente, as amostras foram analisadas por espectrofotometria, realizando-se varreduras no intervalo de 190 a 600 nm, após a calibração do equipamento com água Milli-Q. Os espectros obtidos foram registrados para posterior processamento e análise estatística dos resultados. Ensaios de carbono orgânico total (Shimadzu) e toxicidade com *Vibrio fischeri* também foram realizados a fim de avaliar a eficiência dos tratamentos aplicados na degradação dos antibióticos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após o processo de degradação dos antibióticos é possível perceber uma mudança de cor das soluções, que são inicialmente transparentes, como pode ser visto na Figura 1:

Figura 1: Esquemática dos experimentos em câmara UV. Na esquerda está presente o OTC, e na direita o SMX.



Após o término dos ensaios que utilizam radiação UV, é possível verificar que as soluções de SMX e de OTC adquirem coloração enegrecida e amarelada, respectivamente (Figura 2). Durante todo o processo que utilizou apenas peróxido como meio de degradação, não foi possível observar mudança de cor das soluções. A mudança de coloração pode ser atribuída a diversos fatores, como a formação de produtos intermediários da reação, ou alguma outra mudança das características da solução, como seu pH.

Figura 2: Coloração adquirida pelas amostras após ensaios utilizando luz UV.



A partir do fluxo de radiação medido pelo radiômetro, é possível calcular a quantidade de radiação absorvida pela amostra durante o tempo reacional, utilizando a Equação 1:

$$D = I * T \text{ Equação} \quad (1)$$

Onde:

D: dose de radiação ultravioleta (W.s/cm²)

I: intensidade da radiação (W/cm²)

T: tempo de exposição ou tempo de contato (s)

No caso do esquema reacional utilizado:

$$I = 1,2 \text{ mW/cm}^2 = 1,2 \times 10^{-3} \text{ W/cm}^2 = 12 \text{ W/m}^2$$

Onde temos, para cada tempo reacional:

$$\text{Dose}_{15\text{min}} = 12 \text{ W/m}^2 \times 900 \text{ s} = 10.800 \text{ W.s/m}^2 = 10.800 \text{ J/m}^2 = 10,8 \text{ kJ/m}^2$$

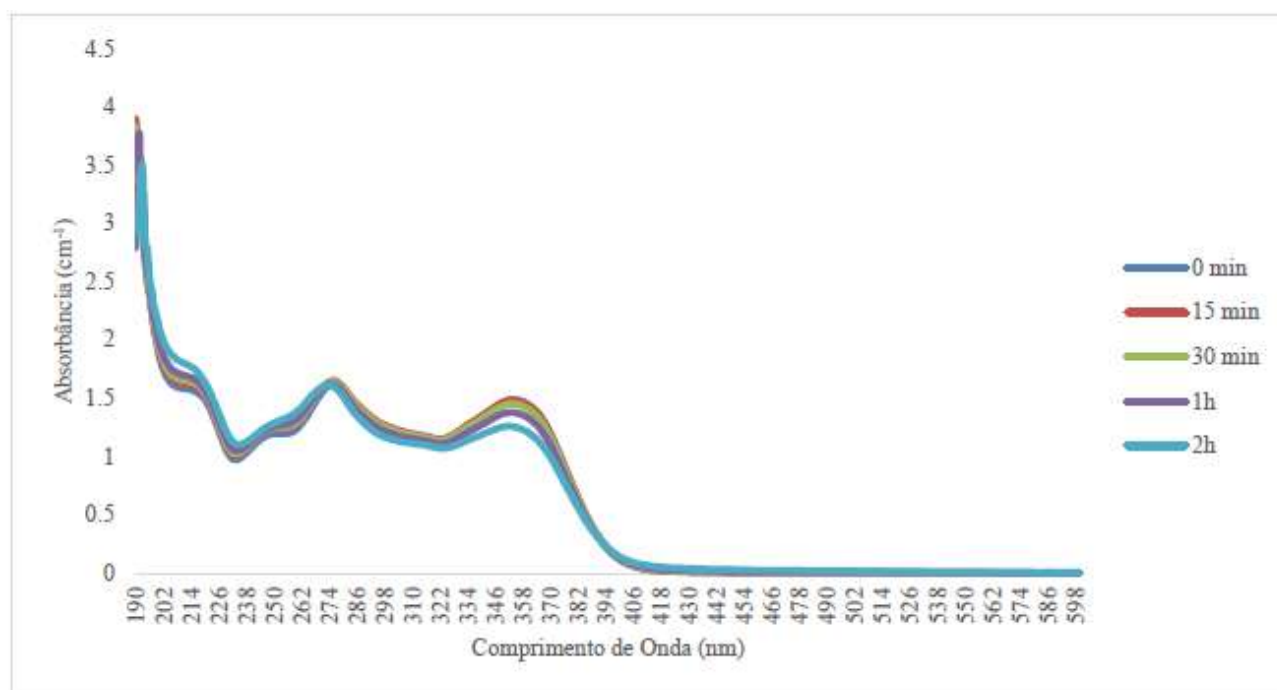
$$\text{Dose}_{30\text{min}} = 12 \text{ W/m}^2 \times 1800 \text{ s} = 21.600 \text{ W.s/m}^2 = 21.600 \text{ J/m}^2 = 21,6 \text{ kJ/m}^2$$

$$\text{Dose}_{60\text{min}} = 12 \text{ W/m}^2 \times 3600 \text{ s} = 43.200 \text{ W.s/m}^2 = 43.200 \text{ J/m}^2 = 43,2 \text{ kJ/m}^2$$

$$\text{Dose}_{120\text{min}} = 12 \text{ W/m}^2 \times 7200 \text{ s} = 86.400 \text{ W.s/m}^2 = 86.400 \text{ J/m}^2 = 86,4 \text{ kJ/m}^2$$

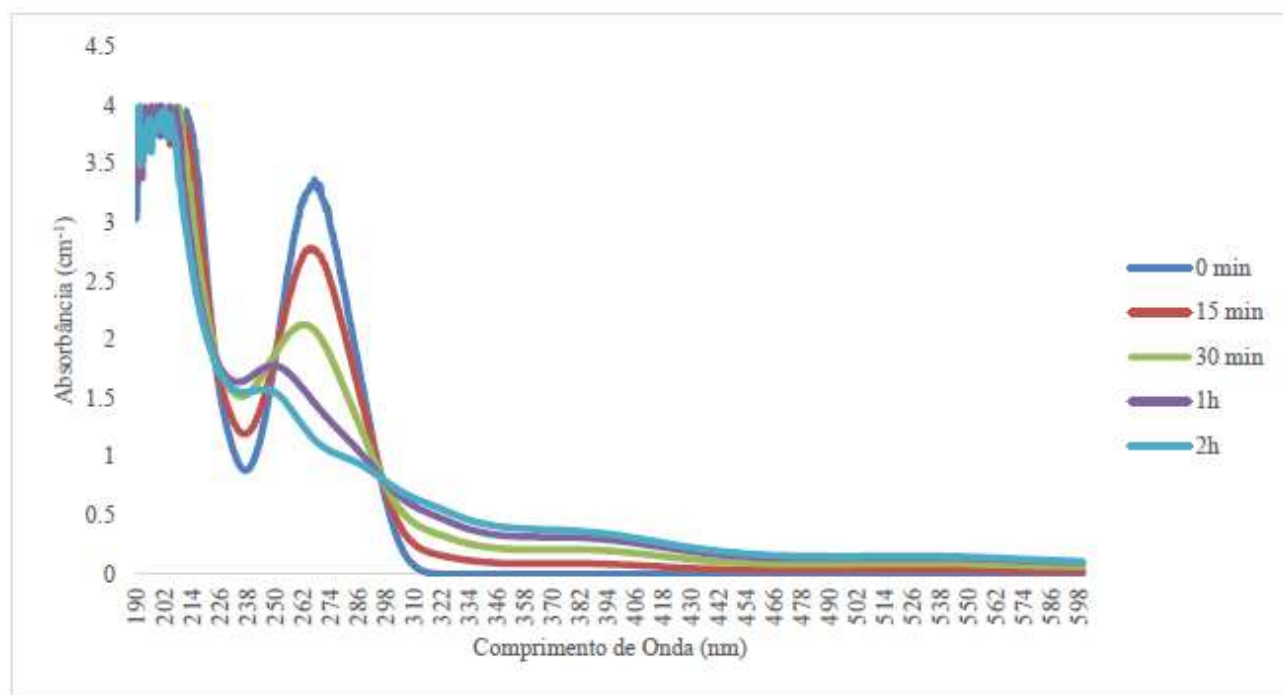
Logo, ao longo de toda a duração do experimento, a dose recebida pelas amostras é de 86,4kJ/m². Ao término do ensaio, fez-se a varredura espectrofotométrica dos compostos na faixa 190-600 nm. Esses resultados podem ser vistos na Figura 3 para o OTC, e na Figura 4 para o SMX:

Figura 3: Resultado da varredura em espectrofotômetro da solução de OTC em todos os tempos reacionais para o tratamento com UV.



É possível verificar, para esse composto, a presença de dois picos de absorção, um por volta de 354 nm, e outro por volta de 276 nm, e que há uma modificação do perfil do gráfico ao longo dos tempos experimentais, ainda que sutil. É possível notar que há uma redução no primeiro pico, indicando modificação na estrutura molecular da oxitetraciclina. No caso do SMX, há uma modificação bem evidente no perfil do gráfico. O único pico presente fica por volta de 267 nm, e sofre uma alteração drástica ao longo do processo.

Figura 4: Resultado da varredura em espectrofotômetro da solução de SMX em todos os tempos reacionais para o tratamento com UV.



Também foram feitos testes de carbono orgânico total (COT) e de toxicidade (EcoTox), para verificar a efetividade do tratamento na degradação da molécula e na redução do efeito tóxico do contaminante. Os resultados podem ser observados na Tabela 1:

Tabela 1: Resultados dos ensaios de COT e EcoTox no tratamento com luz UV.

Antibiótico – tempo reacional	TOC (mg/L)	EcoTox (% inibição)
SMX – 0 min	22,23	61,23
SMX – 15 min	22,01	56,33
SMX – 30 min	21,49	51,93
SMX – 1 h	21,17	60,32
SMX – 2 h	22,20	72,10
OTC – 0 min	24,55	53,76
OTC – 15 min	24,78	51,46
OTC – 30 min	24,70	50,46
OTC – 1 h	24,80	61,46
OTC – 2 h	25,00	57,83

Como forma de comparação, foram calculados os valores de carbono orgânico teórico de cada antibiótico, como representado abaixo:

- Para a OTC:

A fórmula química da oxitetraciclina é $C_{22}H_{24}N_2O_9 \cdot 2H_2O$, e sua massa molar é 496,5 g/mol. Considerando que existem 22 átomos de carbono em sua estrutura, a massa correspondente desses átomos é 264 g/mol. Como a solução tinha uma concentração de 50 mg/L, é possível calcular a concentração de carbono na amostra fazendo:

$$COT_{teórico} = 50 \frac{mg}{L} * \frac{264 \frac{g}{mol}}{496,5 \frac{g}{mol}} = 26,586 \frac{mg}{L} = 0,026586 \frac{g}{L} = 26,586 \frac{mg}{L}$$

- Para o SMX:

A fórmula química do sulfametoxazol é $C_{10}H_{11}N_3O_3S$, e sua massa molar é 253,279 g/mol. Considerando que existem 10 átomos de carbono em sua estrutura, a massa correspondente desses átomos é 120,11 g/mol. Como a solução tinha uma concentração de 50 mg/L, é possível calcular a concentração de carbono na amostra fazendo:

A partir dos resultados dispostos, não é possível afirmar que a quantidade de carbono orgânico nas amostras sofreu alguma alteração em decorrência dos processos de tratamento aplicados. Isso pode ser verificado pelos valores presentes na Tabela 1, que permaneceram muito próximos dos valores teóricos calculados anteriormente. A avaliação de toxicidade também não mostrou melhoras durante o processo, permanecendo praticamente inalterada. Esses resultados indicam que o processo com UV é mais sensível para o SMX do que para o OTC, e foi capaz de alterar as moléculas dos contaminantes, porém não o suficiente para reduzir sua toxicidade.

Para os ensaios com peróxido, primeiro partiu-se para a padronização do mesmo, resultando numa concentração de 439,35g/L. A partir dessa concentração, dos valores de carbono teórico calculados acima, e do volume utilizado nos ensaios, é possível calcular a concentração de peróxido que é necessário adicionar às amostras utilizando a Equação 2:

$$C_1V_1 = C_2V_2 \text{ Equação} \quad (2)$$

- Para a OTC:

$$439,35 \frac{g}{L} * V_1 = 0,026586 \frac{g}{L} * 500 mL$$

$$V_1 = 30,6 \mu L$$

- Para o SMX:

$$439,35 \frac{g}{L} * V_1 = 0,023711 \frac{g}{L} * 500 mL$$

$$V_1 = 27 \mu L$$

A análise dos resultados procedeu da mesma forma que as análises dos ensaios com UV. Contudo, como nos ensaios com peróxido havia a necessidade de encerrar a reação com catalase, é necessário medir a quantidade de carbono presente na amostra devido à sua adição e subtrair do total medido ao final da reação. Para 500 μ L de catalase, a quantidade de carbono orgânico total foi de 227,5 mg/L. Descontando esse valor dos valores medidos para as amostras coletadas, ficamos com os resultados da Tabela 2:

Tabela 2: Resultados dos ensaios de TOC e EcoTox no tratamento com peróxido.

Antibiótico – tempo reacional	COT (mg/L)	EcoTox (% inibição)
SMX – 0 min	22,93	52,14
SMX – 15 min	44,10	61,34
SMX – 30 min	42,30	62,19
SMX – 1 h	46,70	63,94
SMX – 2 h	41,10	66,69
OTC – 0 min	25,75	67,38
OTC – 15 min	89,00	57,32
OTC – 30 min	55,50	57,02
OTC – 1 h	47,80	60,85
OTC – 2 h	63,60	60,37

A partir desses resultados, verifica-se que mesmo descontando a contribuição da catalase para as análises de carbono orgânico total, ainda é possível perceber sua interferência nos resultados. Ao se comparar os resultados de toxicidade, nota-se mais uma vez que o tratamento não teve efeito perceptível sobre seus valores. As varreduras feitas deixam claro a ineficiência desse método de tratamento, quando utilizado isoladamente (Figura 5 e Figura 6):

Figura 5: Resultado da varredura em espectrofotômetro da solução de OTC em todos os tempos reacionais para o tratamento com peróxido.

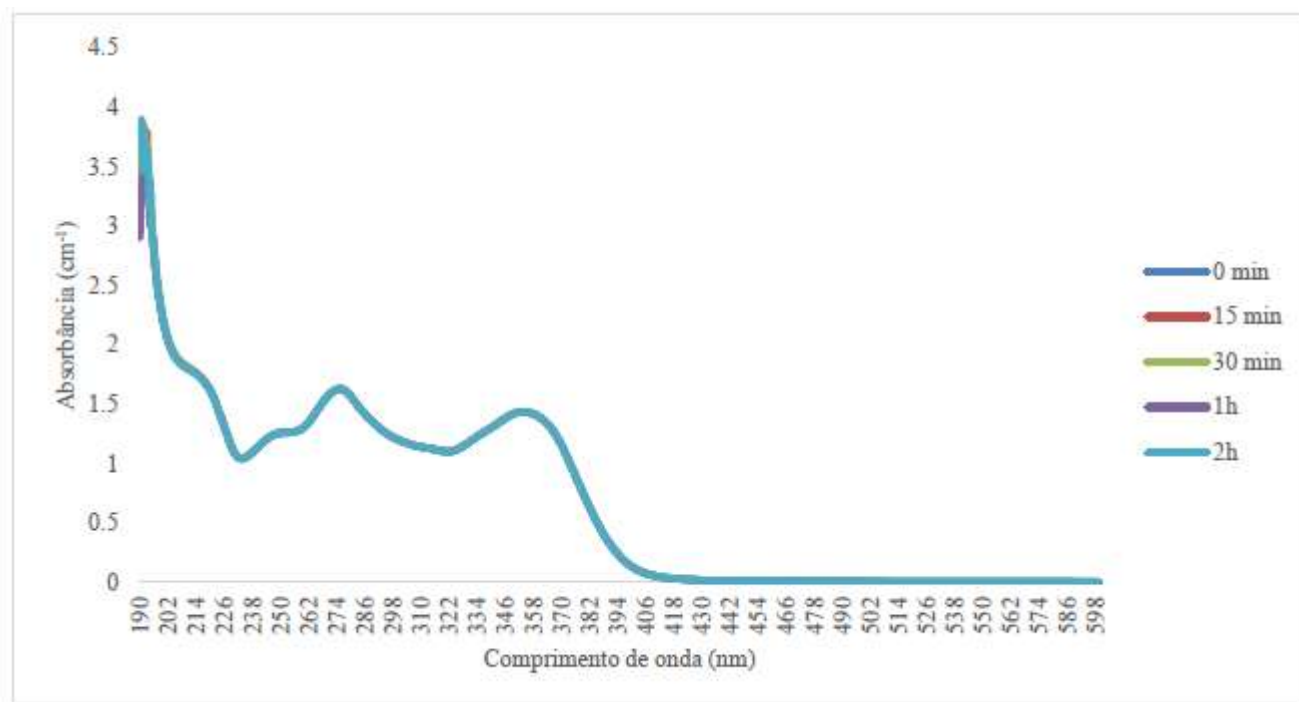
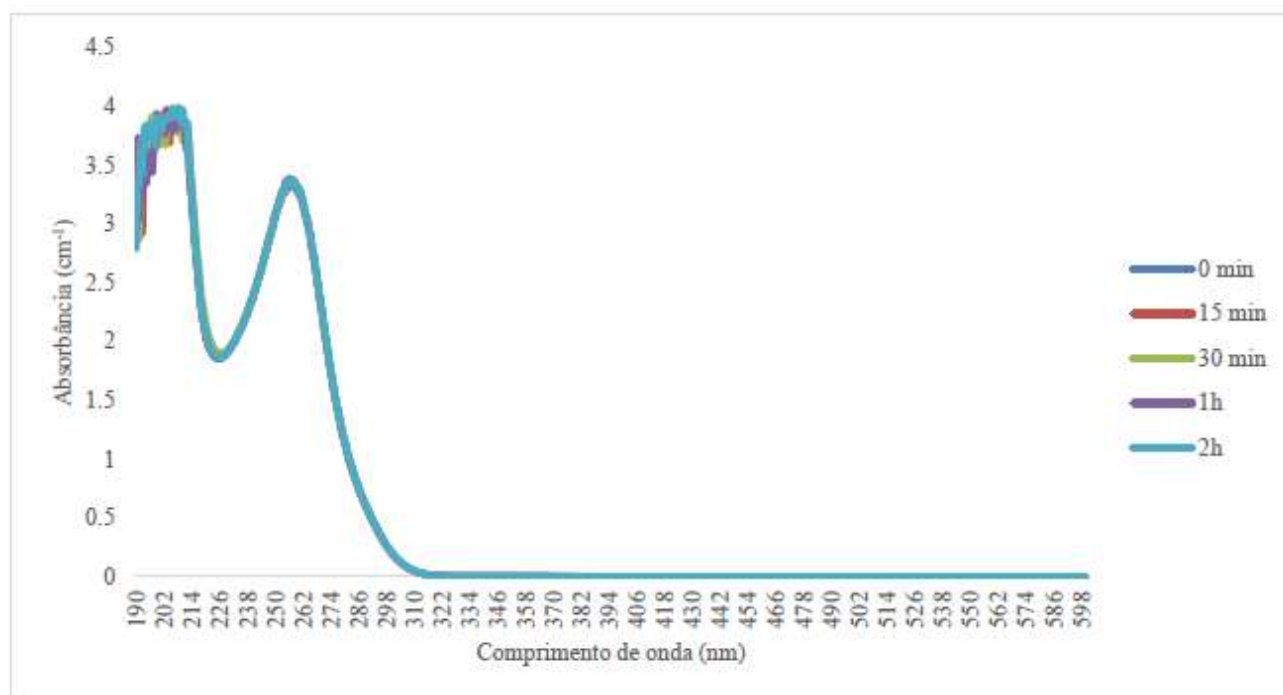


Figura 6: Resultado da varredura em espectrofotômetro da solução de SMX em todos os tempos reacionais para o tratamento com peróxido.



Tendo em vista os gráficos acima, fica evidente que o processo com peróxido isoladamente não é capaz de degradar os antibióticos pois não houve mudança no perfil das curvas de varredura durante todo o tempo reacional.

Por fim, foram realizados testes com uma mistura de peróxido com luz UV. Para calcular a quantidade de peróxido a ser adicionada, prosseguiu-se da mesma forma, utilizando o cálculo das quantidades teóricas de carbono, mas dessa vez com um volume do meio reacional de 2L. O alto volume utilizado nos tratamentos com UV é importante para minimizar efeitos de variação da penetração da radiação no meio ao se coletar as amostras. Com isso, utilizando a Equação 2, temos:

- Para a OTC:

$$439,35 \frac{g}{L} * V_1 = 0,026586 \frac{g}{L} * 2000 mL$$

$$V_1 = 121 \mu L$$

- Para o SMX:

$$439,35 \frac{g}{L} * V_1 = 0,023711 \frac{g}{L} * 2000 mL$$

$$V_1 = 108 \mu L$$

Ao final dos ensaios, os mesmos testes foram realizados. As Figuras 7 e 8 representam os gráficos de varredura em espectrofotômetro de ambos os antibióticos durante o tratamento:

Figura 7: Resultado da varredura em espectrofotômetro da solução de OTC em todos os tempos reacionais para o tratamento com H₂O₂/UV.

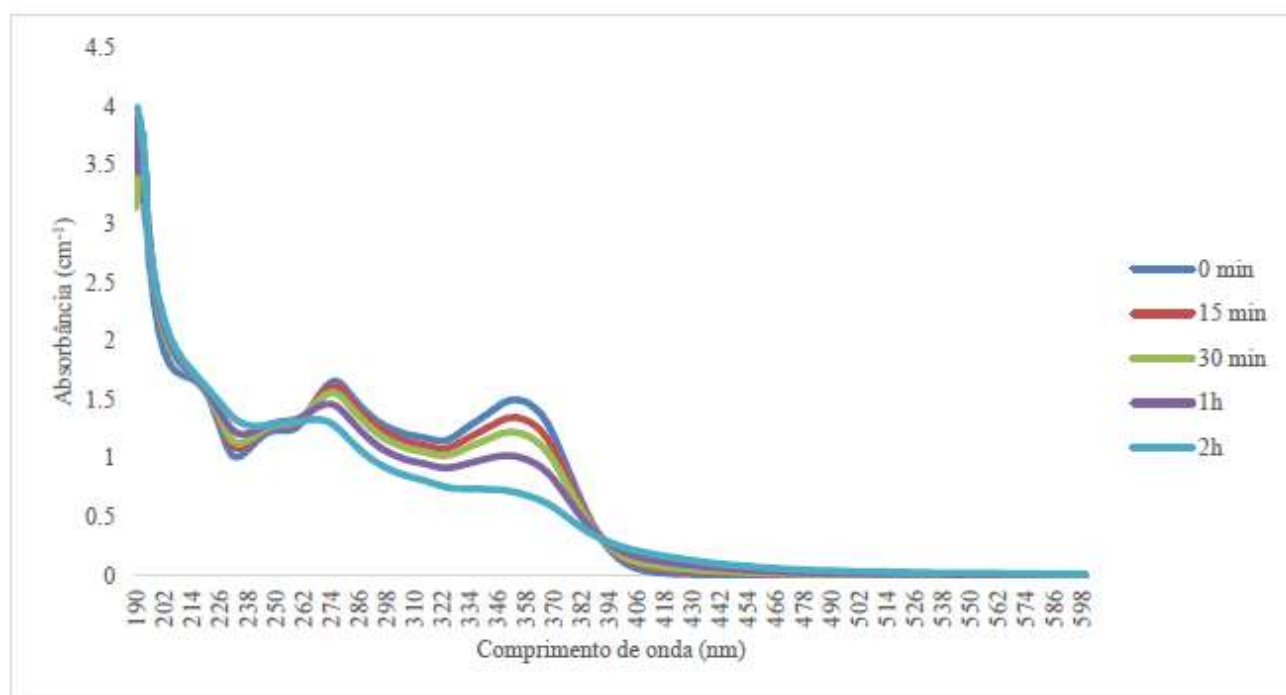
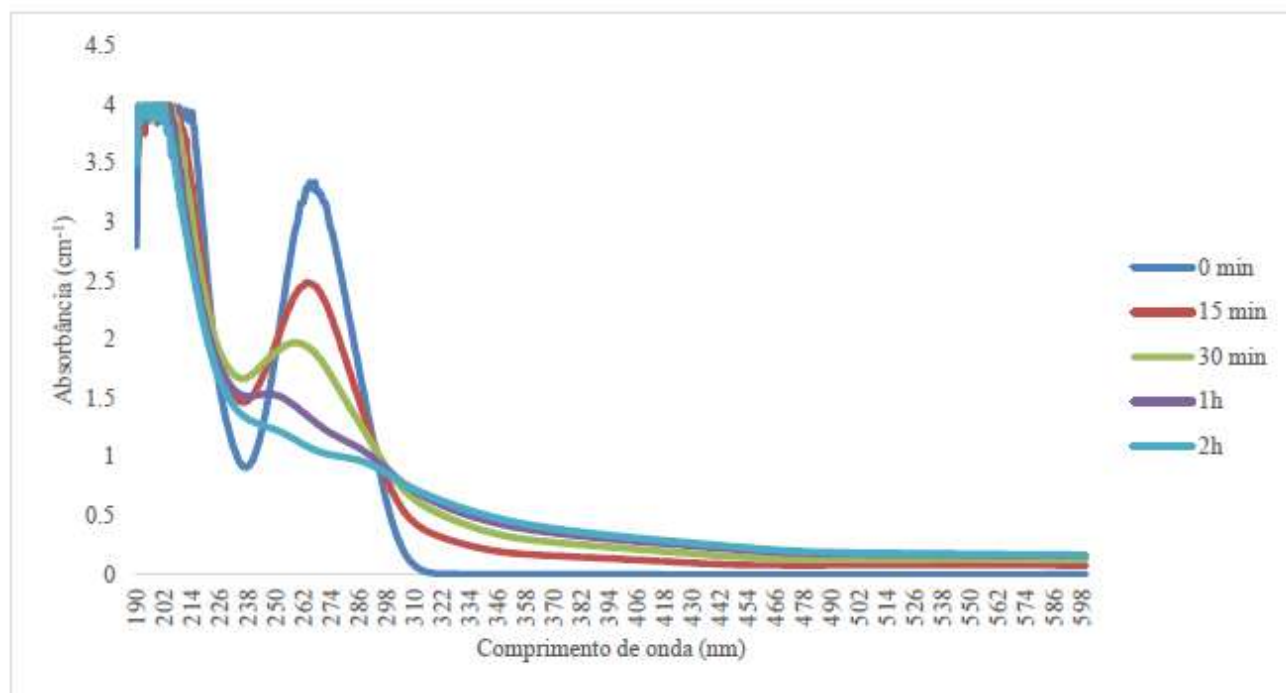


Figura 8: Resultado da varredura em espectrofotômetro da solução de SMX em todos os tempos reacionais para o tratamento com H_2O_2 /UV.



Como pode ser visto nos gráficos acima, houve mudança significativa no perfil dos gráficos ao longo do tratamento. Apesar do tratamento com peróxido isoladamente não ter dado resultados para remoção dos compostos, sua utilização em conjunto com a radiação ultravioleta parece dar resultados melhores do que qualquer um dos processos utilizados separadamente. Isso pode ser atribuído ao fato de que a geração de radicais hidroxila acontece mais rápido na presença de luz UV, acelerando a degradação dos fármacos nessas condições. Os resultados dos análises de COT e EcoTox podem ser encontrados na Tabela 3:

Tabela 3: Resultados dos ensaios de COT e EcoTox no tratamento com UV/peróxido.

Antibiótico – tempo reacional	COT (mg/L)	EcoTox (% inibição)
SMX – 0 min	23,02	64,59
SMX – 15 min	56,30	66,84
SMX – 30 min	47,20	64,28
SMX – 1 h	53,40	67,21
SMX – 2 h	42,30	67,95
OTC – 0 min	32,29	66,49
OTC – 15 min	46,30	73,66
OTC – 30 min	48,90	70,91
OTC – 1 h	80,20	55,25
OTC – 2 h	74,60	68,88

Mais uma vez, percebe-se que houve influência da presença de catalase na análise de carbono orgânico total. A toxicidade por sua vez não apresentou alterações durante todo o processo para os dois antibióticos testados. Isso comprova que os métodos utilizados, apesar de alterarem a estrutura das moléculas de alguma forma, não são capazes de causar sua degradação por completo, e nem de reduzir sua toxicidade. São necessários estudos mais aprofundados a fim de descobrir se as condições utilizadas nesse estudo são muito brandas para tratar esses compostos.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A partir dos resultados obtidos, é possível concluir que a degradação dos antibióticos ocorreu de forma incompleta, resultando em intermediários possivelmente mais tóxicos do que os compostos iniciais. É possível que os métodos utilizados sejam brandos demais para degradar completamente os contaminantes estudados, sendo necessário condições mais severas para reduzir seu efeito tóxico. Além disso, é possível concluir que a utilização de peróxido isoladamente é ineficiente para degradar os compostos durante todo o tempo reacional, mas sua utilização em conjunto com radiação UV trouxe benefícios em relação ao tratamento com luz UV isoladamente, demonstrando que esses processos atuam sinergicamente no processo de degradação. Contudo maiores estudos acerca do tema se fazem necessários, especialmente em relação às formas de degradação das moléculas de OTC e SMX, e seus subprodutos.

Diante dos resultados obtidos neste estudo, recomenda-se:

- Investigar a formação de produtos intermediários durante os processos de degradação;
- Testar métodos mais eficientes que reduzam efetivamente a concentração e toxicidade desses compostos;
- Realizar ensaios com peróxido novamente parando a reação com sulfito para reduzir a influência da catalase.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CRINI, G; LICHTFOUSE, E. Wastewater treatment: an overview. *Green Adsorbents for Pollutant Removal*, [s. l.], 2018. DOI https://doi.org/10.1007/978-3-319-92111-2_1.
- HUANG, S; YU, J; LI, C; ZHU, Q. The Effect Review of Various Biological, Physical and Chemical Methods on the Removal of Antibiotics. *Water*, [s. l.], 2022. DOI 10.3390/w14193138.
- KUMMERER, K. Significance of antibiotics in the environment. *Journal of Antimicrobial Chemotherapy*, [s. l.], v. 52, p. 5-7, jul. 2003. DOI <https://doi.org/10.1093/jac/dkg293>.
- MALERBA, F; ORSENIGO, L. The evolution of the pharmaceutical industry. *Business History*, [s. l.], 2015. DOI <https://doi.org/10.1080/00076791.2014.975119>.
- MILAKOVIC, M.; VESTERGAARD, G; GONZALEZ-PLAZA, J; PETRI, I; SIMATOVIC, A; SENTA, I; KUBLIK, S; SCHLOTER, M; SMALLA, K; UDIKOVIC-KOLIC, N. Pollution from azithromycin-manufacturing promotes macrolide-resistance gene propagation and induces spatial and seasonal bacterial community shifts in receiving river sediments. *Environment International*, [s. l.], v. 123, p. 501-511, fev. 2019. DOI <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.12.050>.
- WANG, L; XU, Y; QIN, T; WU, M; CHEN, Z; ZHANG, Y; LIU, W; XIE, X. Global trends in the research and development of medical/pharmaceutical wastewater treatment over the half-century. *Chemosphere*, [s. l.], v. 331, ago. 2023. DOI <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.138775>.
- SABRI, N.A; VAN HOLST, S; SCHMITT, H; VAN DER ZAAN, B.M; GERRITSEN, H.W; RIJNAARTS, H.H.M; LANGENHOFF, A.A.M. Fate of antibiotics and antibiotic resistance genes during conventional and additional treatment technologies in wastewater treatment plants. *Science of the Total Environment*, [s. l.], v. 741, nov. 2020. DOI <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140199>
- SAVIANO, C; DAHER, M; GIORGETTI, L. Efluentes na indústria farmacêutica: aspectos regulatórios e principais métodos de tratamento. *Research Society and Development*, [s. l.], v. 11, n. 14, out. 2022. DOI <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i14.36192>.

Capítulo 19



10.37423/260310895

DESAFIOS E SOLUÇÕES PARTICIPATIVAS PARA O CONTROLE DE ENCHENTES EM FAVELAS – O CASO DO CANAL DO CORTADO NA FAVELA BEIRA-RIO, RIO DE JANEIRO

Juliana Fernandes Farias

*Pontifícia Universidade Católica do Rio de
Janeiro (PUC-Rio)*



RESUMO

As enchentes urbanas constituem um dos mais graves problemas enfrentados pelas cidades brasileiras, especialmente nas áreas de ocupação informal, onde a precariedade da infraestrutura de drenagem se combina com a impermeabilização do solo, o assoreamento dos corpos hídricos e o descarte inadequado de resíduos sólidos. Este capítulo aborda os desafios da drenagem urbana em favelas a partir do estudo de caso da favela Beira-Rio, localizada às margens do Canal do Cortado, na bacia hidrográfica da Lagoa de Jacarepaguá, Rio de Janeiro. Com base em dados secundários, visitas de campo e um questionário aplicado aos moradores, analisa-se a relação entre a ocupação desordenada, o sistema de microdrenagem insuficiente e a ocorrência de alagamentos recorrentes. Discutem-se as soluções técnicas previstas para a região, como as Captações em Tempo Seco (CTS) e a expansão da rede de esgoto, destacando seus limites diante da necessidade de uma gestão integrada de águas pluviais. Por fim, propõe-se um conjunto de ações participativas que articulam educação ambiental, infraestrutura verde e mobilização comunitária como elementos essenciais para a resiliência urbana e o alcance dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 6 e 11 da Agenda 2030.

Palavras-chave: Drenagem urbana; enchentes; favelas; participação social; infraestrutura verde; CTS.

1 INTRODUÇÃO

As cidades brasileiras vêm assistindo, nas últimas décadas, a um aumento na frequência e na intensidade das enchentes urbanas, fenômeno agravado pela impermeabilização do solo, pela ocupação de áreas de risco, pela insuficiência dos sistemas de drenagem e pelos efeitos das mudanças climáticas. No município do Rio de Janeiro, as chuvas torrenciais frequentemente provocam alagamentos, deslizamentos e transtornos generalizados, afetando de forma mais severa as populações residentes em favelas e áreas periurbanas, onde a infraestrutura é precária e a vulnerabilidade socioambiental é maior.

A bacia hidrográfica da Lagoa de Jacarepaguá, na zona oeste da cidade, constitui um exemplo emblemático desse processo. Caracterizada por um rápido crescimento urbano a partir da década de 1980, a região passou por uma transformação radical na cobertura e uso do solo, com a substituição de áreas de restinga e vegetação nativa por loteamentos residenciais, condomínios de alto padrão, shopping centers e, paralelamente, por ocupações informais em áreas de preservação permanente. O sistema de drenagem original – composto por canais, rios e lagoas – foi gradativamente alterado, perdendo sua capacidade de amortecimento e escoamento.

A favela Beira-Rio, situada no bairro do Recreio dos Bandeirantes, margeia o Canal do Cortado, um dos principais tributários do Rio Marinho, que deságua na Lagoa de Jacarepaguá. Sua localização próxima ao canal, aliada à falta de infraestrutura de drenagem e à poluição por resíduos sólidos e esgoto, torna a comunidade especialmente vulnerável a enchentes. Durante períodos de chuva intensa, o canal transborda, invadindo ruas e residências, causando prejuízos materiais e riscos à saúde.

Este capítulo tem como objetivo analisar os desafios da drenagem urbana em favelas a partir do estudo de caso da Beira-Rio, propondo uma reflexão sobre as soluções técnicas e participativas necessárias para o controle de enchentes. A discussão articula conceitos de drenagem sustentável, infraestrutura verde e participação social, à luz das metas dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 6 (água e saneamento) e 11 (cidades sustentáveis) da Agenda 2030 da ONU.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA: DRENAGEM URBANA E GESTÃO DE ÁGUAS PLUVIAIS

2.1 *O Ciclo Hidrológico Urbano e seus Impactos*

A urbanização altera profundamente o ciclo hidrológico natural. A substituição de superfícies permeáveis (solo, vegetação) por áreas impermeáveis (asfalto, concreto, telhados) reduz a infiltração da água no solo e aumenta o escoamento superficial. Em condições naturais, parte da água da chuva evapotranspira, parte infiltra e apenas uma fração escoam superficialmente. Em áreas urbanizadas, o escoamento superficial pode atingir até 80% do volume precipitado, dependendo do grau de impermeabilização e da eficiência do sistema de drenagem (TUCCI, 2005).

Esse aumento no escoamento superficial gera diversos problemas: (i) maior frequência e magnitude das enchentes, (ii) sobrecarga dos sistemas de drenagem,

(iii) erosão dos leitos dos canais, (iv) transporte de poluentes (sedimentos, óleos, metais pesados, resíduos sólidos) para os corpos hídricos, e (v) redução da recarga dos aquíferos.

No Brasil, os sistemas de drenagem urbana foram historicamente concebidos com base no paradigma higienista, que privilegiava a rápida remoção das águas pluviais por meio de condutos subterrâneos e canais retificados. Esse modelo, conhecido como "drenagem convencional", mostrou-se insuficiente e, em muitos casos, contraproducente, pois transfere o problema para jusante, aumentando a vazão nos trechos a jusante e agravando as enchentes em áreas mais baixas.

2.2 *Drenagem Sustentável e Infraestrutura Verde*

Nas últimas décadas, novas abordagens têm sido desenvolvidas para o manejo das águas pluviais, inspiradas nos princípios do desenvolvimento sustentável e na necessidade de restaurar as funções hidrológicas dos ecossistemas. Entre essas abordagens destacam-se:

- **BMPs (Best Management Practices):** conjunto de práticas estruturais e não estruturais que visam controlar o escoamento superficial e melhorar a qualidade da água, como bacias de retenção, poços de infiltração e faixas filtrantes (URBONAS; STAHR, 1993).

- **LID (Low Impact Development):** filosofia de planejamento urbano que busca imitar o ciclo hidrológico natural por meio de intervenções descentralizadas, como pavimentos permeáveis, telhados verdes, jardins de chuva e biovaletas (UNIVERSITY OF ARKANSAS, 2010).
- **SbN (Soluções Baseadas na Natureza):** conceito mais amplo, promovido pela Comissão Europeia, que inclui intervenções inspiradas e apoiadas pela natureza para enfrentar desafios sociais, como enchentes, poluição e ilhas de calor, gerando benefícios ambientais, econômicos e sociais.

Essas abordagens compartilham a ideia de que a drenagem urbana deve ser integrada ao planejamento do uso do solo, com foco na infiltração, no armazenamento temporário e no tratamento das águas pluviais na fonte, antes que elas atinjam os canais e corpos d'água.

2.3 Enchentes em Favelas: Vulnerabilidade e Risco

Nas favelas, os problemas de drenagem são agravados por uma série de fatores específicos. A ocupação desordenada, frequentemente em áreas de preservação permanente (APPs) e em encostas íngremes, compromete a estabilidade do terreno e a capacidade de infiltração. A ausência de redes de esgoto sanitário leva ao lançamento de esgoto in natura nas galerias de águas pluviais, contribuindo para a poluição dos corpos hídricos e para a proliferação de vetores de doenças. O descarte inadequado de resíduos sólidos obstrui bueiros, sarjetas e canais, reduzindo sua capacidade de escoamento e provocando alagamentos localizados.

A vulnerabilidade das favelas às enchentes não é apenas física, mas também social. Populações de baixa renda, com acesso precário a serviços públicos e pouca capacidade de mobilização política, têm menor capacidade de se adaptar aos eventos extremos e de se recuperar dos danos causados pelas enchentes. A perda de bens materiais, a interrupção das atividades econômicas e o aumento da exposição a doenças como leptospirose e hepatite A são consequências recorrentes.

3 O CONTEXTO DA BACIA DA LAGOA DE JACAREPAGUÁ E O CANAL DO CORTADO

3.1 *Caracterização da Bacia*

A bacia hidrográfica da Lagoa de Jacarepaguá, situada na Área de Planejamento 4 (AP-4) do município do Rio de Janeiro, abrange os bairros da Barra da Tijuca, Jacarepaguá, Recreio dos Bandeirantes, Vargens e parte de outros bairros da zona oeste. É uma bacia de drenagem com cerca de 290 km², composta por um sistema lagunar que inclui as lagoas de Jacarepaguá, Tijuca, Camorim, Marapendi e outras, interligadas por canais artificiais.

A ocupação urbana na bacia intensificou-se a partir da década de 1970, com a abertura da Avenida das Américas e a expansão do vetor imobiliário para o oeste. Nas décadas seguintes, a região passou por um acelerado processo de verticalização e adensamento, especialmente nos bairros da Barra e Recreio, acompanhado pelo crescimento de favelas e loteamentos irregulares em áreas de baixada e margens de rios.

3.2 *O Canal do Cortado*

O Canal do Cortado é um dos principais canais artificiais da bacia, aberto na porção oeste de Jacarepaguá para auxiliar na drenagem e na circulação de água entre a Lagoa de Jacarepaguá e o mar. Ele se conecta ao Canal do Urubu para formar o Rio Marinho, que deságua na Lagoa de Jacarepaguá. O canal, que tem cerca de 3 km de extensão, recebe contribuições de diversas sub-bacias, incluindo a área onde se localiza a favela Beira-Rio.

O sistema de drenagem do Canal do Cortado é do tipo unitário, ou seja, conduz tanto as águas pluviais quanto os esgotos sanitários, em virtude da falta de redes separadoras na região. Isso significa que, durante os períodos de estiagem, o canal transporta predominantemente esgoto doméstico, e durante as chuvas, uma mistura de águas pluviais e esgoto.

3.3 *A Favela Beira-Rio*

A favela Beira-Rio, como o nome sugere, está localizada às margens do Canal do Cortado, em uma área de baixada sujeita a alagamentos. Sua ocupação iniciou-se no início dos anos 1980 e se expandiu rapidamente nas décadas seguintes. Atualmente, a comunidade ocupa uma área de aproximadamente

110.000 m², com cerca de 1.700 domicílios e uma população estimada de 5.800 habitantes (dados de 2018). Projeções indicam que, se mantido o ritmo de crescimento, a área ocupada poderá chegar a 134.000 m² em 2030, e a população a mais de 8.000 habitantes (FARIAS, 2021).

A proximidade com o canal, somada à falta de infraestrutura de drenagem e à ocupação de faixas marginais, torna a comunidade extremamente vulnerável a enchentes. As ruas mais baixas, próximas ao leito do canal, são as primeiras a serem inundadas em eventos de chuva intensa.

4 DIAGNÓSTICO DAS CONDIÇÕES DE DRENAGEM NA BEIRA-RIO

4.1 *O Sistema de Drenagem Existente*

O sistema de drenagem da Beira-Rio é composto por uma rede de galerias de águas pluviais, sarjetas e bocas de lobo que, em tese, deveriam captar o escoamento superficial e conduzi-lo até o Canal do Cortado. No entanto, o sistema apresenta sérias deficiências:

- **Subdimensionamento:** A rede de galerias foi projetada para vazões inferiores às atuais, devido ao aumento da impermeabilização do solo e à expansão da ocupação.
- **Obstruções:** As bocas de lobo e as galerias frequentemente se encontram obstruídas por resíduos sólidos (lixo, entulhos) que são lançados irregularmente nas vias e nas margens do canal.
- **Lançamento de esgoto:** Em muitos trechos, a rede de drenagem é utilizada como destino final para o esgoto doméstico, uma vez que a rede de esgotamento sanitário não cobre toda a comunidade. Isso resulta em uma carga poluente significativa que é transportada pelas galerias até o canal.
- **Inexistência de dispositivos de retenção:** O sistema não conta com bacias de retenção ou outras estruturas que permitam o amortecimento das vazões de pico, concentrando todo o escoamento no canal.

4.2 A Percepção dos Moradores sobre as Enchentes

O questionário aplicado aos moradores da Beira-Rio em 2020/2021 trouxe informações valiosas sobre a percepção da comunidade em relação às enchentes. Quando perguntados sobre o principal responsável pelas enchentes nas ruas, as respostas foram as seguintes:

- 12 entrevistados (63%) apontaram a combinação de três fatores: lixo no entorno do rio, falta de canalização da água de chuva e falta de canalização do esgoto.
- 3 entrevistados (16%) indicaram exclusivamente a falta de canalização do esgoto.
- 3 entrevistados (16%) indicaram exclusivamente o lixo no entorno do rio.
- 1 entrevistado (5%) indicou outros motivos.

Esses resultados mostram que os moradores têm clara consciência da natureza multifatorial das enchentes, associando os problemas de drenagem à poluição por resíduos e à falta de infraestrutura de esgoto. Além disso, quando perguntados sobre a eficiência da rede de drenagem (bueiros, sarjetas) para evitar alagamentos, a maioria atribuiu notas baixas (1 ou 2 em uma escala de 1 a 5), indicando a percepção de que o sistema atual é ineficaz.

4.3 A Relação entre Resíduos Sólidos e Enchentes

Um dos fatores mais críticos para a ocorrência de enchentes na Beira-Rio é o acúmulo de resíduos sólidos nas vias e no canal. As visitas de campo realizadas em 2019 documentaram a presença de lixo doméstico, restos de construção civil (RCC), móveis e eletrodomésticos descartados nas margens do Canal do Cortado e em terrenos baldios da comunidade. Durante as chuvas, esses resíduos são carregados para as bocas de lobo e galerias, causando obstruções e reduzindo a capacidade de escoamento.

A estimativa da geração de resíduos sólidos na Beira-Rio aponta para cerca de 9,1 t/dia em 2018, com projeção de 9,6 t/dia em 2030 (FARIAS, 2021). Apesar de a coleta regular pela Comlurb estar presente, a ausência de varrição comunitária e a insatisfação com o serviço indicam que a gestão dos resíduos ainda é insuficiente para evitar o descarte irregular.

4.4 O Assoreamento do Canal

O assoreamento do Canal do Cortado é outro fator que agrava as enchentes. O acúmulo de sedimentos, provenientes da erosão das margens e do transporte de resíduos, reduz a seção transversal do canal, diminuindo sua capacidade de escoamento. A vegetação aquática (macrófitas), que se desenvolve em condições de eutrofização, também contribui para a obstrução do fluxo.

O processo de assoreamento é retroalimentado pelas próprias enchentes: quando o canal transborda, a água carrega sedimentos e resíduos para as ruas e terrenos adjacentes, que, após a recessão da enchente, são novamente carregados para o canal, aprofundando o problema.

5 SOLUÇÕES TÉCNICAS PARA A DRENAGEM NA REGIÃO

5.1 O Projeto de Despoluição da Lagoa de Jacarepaguá

O governo do estado do Rio de Janeiro, em parceria com a CEDAE e a prefeitura, desenvolveu um programa de despoluição do Complexo Lagunar de Jacarepaguá que incluiu a expansão da rede de esgoto e a implantação de estações de tratamento. O programa contemplou a construção de interceptores, estações elevatórias e a ligação de áreas ainda não atendidas.

No entanto, o programa se concentrou principalmente no esgotamento sanitário, com menos ênfase na gestão das águas pluviais. A drenagem urbana, embora reconhecida como um componente do saneamento básico pela Lei nº 14.026/2020, ainda é tratada de forma secundária nos investimentos.

5.2 Captações em Tempo Seco (CTS)

Uma das soluções propostas para a bacia da AP-4, incluindo a área do Canal do Cortado, é a implantação de **Captações em Tempo Seco (CTS)**. Trata-se de estruturas instaladas nos sistemas de microdrenagem (galerias) e macrodrenagem (canais) que captam as águas que escoam durante os períodos de estiagem – que, na prática, são compostas por esgoto doméstico e águas de infiltração – e as encaminham para a rede de esgoto.

O estudo da UFRJ (2018) analisou a viabilidade de implantação de CTS na AP-4, identificando pontos estratégicos para sua instalação. No caso da Beira-Rio, a CTS seria instalada a montante do canal,

permitindo a captura de uma parcela significativa da carga poluente antes que ela atinja a Lagoa de Jacarepaguá.

As CTS têm o benefício de reduzir a poluição hídrica e, indiretamente, contribuir para o controle de enchentes, pois ao reduzir o volume de esgoto nos canais, diminui-se também o risco de transbordamento em eventos de chuva. No entanto, as CTS não resolvem o problema da drenagem pluvial propriamente dita; elas atuam apenas na componente de esgoto.

5.3 *Expansão da Rede de Esgoto*

A expansão da rede de esgoto sanitário é fundamental para reduzir a carga poluente que é lançada nas galerias pluviais e, conseqüentemente, no canal. O sistema de esgotamento da AP-4 prevê a implantação de coletores tronco e redes secundárias que devem atender a totalidade dos domicílios da região.

Para a Beira-Rio, o coletor RM 1469 está previsto para abranger toda a extensão da comunidade. Quando implantado, permitirá a ligação das residências à rede de esgoto, eliminando a necessidade de lançamento nas galerias de drenagem. Contudo, a eficácia dessa solução depende não apenas da disponibilidade da rede, mas também da adesão dos moradores, que precisarão fazer as ligações prediais e, em muitos casos, arcar com os custos dessa conexão.

5.4 *Soluções Baseadas na Natureza (SbN) para Drenagem*

Para complementar as soluções de infraestrutura cinza (redes de esgoto, galerias, canais), é fundamental incorporar **Soluções Baseadas na Natureza (SbN)** no planejamento da drenagem urbana. Algumas opções viáveis para a Beira-Rio incluem:

- **Jardins de chuva e biovaletas:** São depressões vegetadas que captam a água da chuva de áreas adjacentes (como ruas e telhados), permitem a infiltração e o tratamento por meio de plantas e solo. Podem ser implantadas em espaços públicos e privados.
- **Pavimentos permeáveis:** Substituição de pavimentos convencionais por materiais porosos (concreto permeável, blocos vazados) que permitem a infiltração da água no solo.

- **Telhados verdes:** Coberturas vegetadas que retêm parte da água da chuva, reduzindo o escoamento e contribuindo para o conforto térmico.
- **Recuperação de áreas de preservação permanente (APPs):** A recomposição da vegetação nativa nas margens do Canal do Cortado, especialmente em trechos onde não há ocupação consolidada, pode estabilizar as margens, reduzir o assoreamento e aumentar a infiltração.

A adoção dessas soluções requer uma mudança de paradigma no planejamento urbano, que tradicionalmente privilegia as obras de engenharia de grande porte em detrimento das intervenções descentralizadas e de baixo custo.

6 A IMPORTÂNCIA DA PARTICIPAÇÃO SOCIAL NA GESTÃO DA DRENAGEM

6.1 *Limites das Soluções Técnicas Isoladas*

As soluções técnicas, por mais bem projetadas que sejam, têm limites. Uma rede de drenagem pode ser dimensionada para uma determinada vazão, mas se a população continua jogando lixo nas galerias, se as ligações de esgoto clandestinas persistem, se novas áreas são impermeabilizadas sem controle, os sistemas inevitavelmente entrarão em colapso.

A experiência histórica do Rio de Janeiro mostra que obras de drenagem, por si só, não resolvem o problema das enchentes. Após cada grande evento de chuva, novas intervenções são anunciadas, mas a falta de manutenção e a continuidade das práticas inadequadas pela população fazem com que os problemas se repitam.

6.2 *Educação Ambiental para a Drenagem*

A educação ambiental crítica pode desempenhar um papel fundamental na mudança de hábitos e na construção de uma nova relação da população com a água e o território. No contexto da Beira-Rio, ações de educação ambiental podem abordar:

- A relação entre o descarte de lixo e as enchentes: explicar como o lixo jogado nas ruas e no canal obstrui as bocas de lobo e reduz a capacidade de escoamento.

- A importância da manutenção das redes: orientar os moradores sobre como evitar o entupimento das galerias e como reportar problemas ao poder público.
- O papel das soluções baseadas na natureza: sensibilizar para a importância de jardins de chuva, pavimentos permeáveis e outras intervenções que podem ser implantadas em espaços privados e coletivos.
- A necessidade de participação nos processos decisórios: capacitar a população para acompanhar e fiscalizar as obras de drenagem e as políticas públicas de saneamento.

6.3 Mobilização Social e Controle Social

A participação da população não se limita à mudança de comportamento individual; ela envolve também a organização coletiva para reivindicar direitos e influenciar políticas públicas. Na Beira-Rio, a criação de um fórum comunitário sobre drenagem e saneamento poderia ser um primeiro passo para que os moradores passassem a ser protagonistas na gestão do seu território.

Algumas iniciativas de sucesso em outras comunidades podem servir de inspiração:

- **Comitês de bacia hidrográfica:** Os comitês de bacia, como o Comitê da Baía de Guanabara
- têm assento para a sociedade civil. A participação de representantes da Beira-Rio nesse fórum pode garantir que as demandas da comunidade sejam incluídas nos planos de recursos hídricos.
- **Conselhos municipais:** O Conselho Municipal de Meio Ambiente (CONSEMAC) e o Conselho Municipal de Saneamento são espaços onde a população pode acompanhar e influenciar as políticas públicas.
- **Mapeamento participativo:** Inspirada na experiência do Cocôzap na Maré, a comunidade poderia desenvolver um mapeamento dos pontos críticos de drenagem, identificando bocas de lobo obstruídas, galerias danificadas e trechos de canal assoreados. Esse mapeamento, compartilhado com a prefeitura e a concessionária, seria um instrumento poderoso de cobrança.

6.4 A Participação da População nas Obras de Drenagem

Além do controle social, a população pode participar ativamente das obras de drenagem, seja por meio de mutirões de limpeza, seja pela implantação de soluções descentralizadas em seus próprios quintais. A horta comunitária, que obteve grande adesão no questionário, poderia ser combinada com um jardim de chuva que contribui para a infiltração. A captação de água da chuva para usos não potáveis, também mencionada pelos moradores, reduz o volume de escoamento e alivia o sistema de drenagem.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo da drenagem urbana na favela Beira-Rio revela um quadro de vulnerabilidade complexo, que resulta da combinação de fatores físicos (impermeabilização, assoreamento), institucionais (falta de investimentos, fragmentação de competências) e sociais (descarte inadequado de resíduos, baixa participação). As enchentes recorrentes não são apenas um problema técnico; são um reflexo da desigualdade socioambiental que caracteriza a cidade do Rio de Janeiro.

As soluções técnicas propostas para a região – expansão da rede de esgoto, implantação de CTS, obras de macrodrenagem – são necessárias, mas insuficientes. Elas precisam ser acompanhadas por uma mudança de paradigma na gestão das águas pluviais, que incorpore princípios de drenagem sustentável, infraestrutura verde e participação social.

A experiência da Beira-Rio mostra que os moradores estão conscientes dos problemas que os afetam e dispostos a se engajar em ações coletivas. Cabe aos gestores públicos, às concessionárias e às organizações da sociedade civil criar os canais e os mecanismos para que essa disposição se transforme em participação efetiva. A criação de um fórum comunitário de drenagem, o mapeamento participativo dos pontos críticos e a implementação de projetos de educação ambiental e infraestrutura verde são passos concretos nessa direção.

Ao final, a resiliência da Beira-Rio às enchentes não dependerá apenas do tamanho dos canais ou da capacidade das bombas, mas da capacidade de sua população de se organizar, de se informar e de se tornar protagonista na construção de um território mais seguro, saudável e sustentável. Esse é o caminho para o cumprimento do ODS 11, que nos convoca a tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA REGULADORA DE ENERGIA E SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO (AGENERSA). Relatório Técnico Bacia Zona dos Canais. Rio de Janeiro, 2019.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos. Brasília, 1997.

BRASIL. Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001. Estatuto da Cidade. Brasília, 2001.

BRASIL. Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico. Brasília, 2007.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Brasília, 2010.

BRASIL. Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. Atualiza o marco legal do saneamento básico. Brasília, 2020.

FARIAS, Juliana Fernandes. Saneamento ambiental em favelas: Caso da favela Beira-Rio, Rio de Janeiro. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana e Ambiental) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Censo Demográfico 2010: Aglomerados subnormais. Rio de Janeiro, 2010.

INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE (INEA). Qualidade das Águas por Região Hidrográfica (RHs). Rio de Janeiro, 2013.

INSTITUTO MUNICIPAL DE URBANISMO PEREIRA PASSOS (IPP). Índice de Desenvolvimento Social (IDS) por favelas. Rio de Janeiro, 2019.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. Nova York, 2015.

PREFEITURA DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO (PC-RJ). Plano Municipal de Saneamento Básico – Drenagem e Manejo de Águas Pluviais Urbanas. Rio de Janeiro, 2015.

TUCCI, Carlos E. M. (coord.). Plano Diretor de Drenagem Urbana: Manual de Drenagem Urbana. Porto Alegre: PMPA/DEP, 2005. v. 4.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO (UFRJ). Análise da Viabilidade Técnica e Econômica da Implantação de Estruturas de Captação de Esgotos Sanitários em Tempo Seco (CTS) e de Tratamento de Deflúvios Poluídos (UTR) no Âmbito da Área de Planejamento-4 da Cidade do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2018.

UNIVERSITY OF ARKANSAS COMMUNITY DESIGN CENTER. LID – Low Impact Development: a design manual for urban areas. Fayetteville: University of Arkansas Press, 2010.

URBONAS, Ben; STAHR, Donald. Stormwater: Best management practices and detention for water quality, drainage and CSO management. New Jersey: Prentice Hall, 1993.



conhecimentolivre.org/home



contato@conhecimentolivre.org



[editoraconhecimentolivre](https://www.instagram.com/editoraconhecimentolivre)

FUNDAMENTOS DA ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

VOLUME VI



EDITORA CONHECIMENTO LIVRE