



ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>



Oportunidades para ampliar a segurança hídrica nas bacias hidrográficas de Minas Gerais

Mayara Milaneze Altoé Bastos¹, Roberto César de Almeida Monte-Mor²

¹Mestre em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, Universidade Federal de Itajubá – *Campus* Itabira (UNIFEI). Analista Fiscal e de Regulação da Agência Reguladora de Serviços de Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário do Estado de Minas Gerais (Arsae-MG). mayaramilaneze@hotmail.com, 0000-0002-3303-8123. ²Professor Associado da Universidade Federal de Itajubá – *Campus* Itabira (UNIFEI). Doutor em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). rmontemor@unifei.edu.br, 0000-0003-3158-6967.

Artigo recebido em 25/09/2023 e aceito em 26/05/2024

RESUMO

O cenário de crise hídrica enfrentado por diversas regiões brasileiras nos últimos anos impõe urgência nas ações direcionadas à segurança hídrica, movimento que deve abranger, dentre outros aspectos, a universalização da coleta e do tratamento de esgoto sanitário, bem como a redução de perdas de água nos sistemas de abastecimento. Sabe-se que melhorias concretas no saneamento favorecem diretamente a gestão das águas. Em termos dos serviços de coleta e tratamento de esgoto, reduz-se a proporção da bacia hidrográfica exposta à poluição por esgoto doméstico, já no eixo de abastecimento de água, a gestão de perdas favorece a disponibilidade de água nos mananciais. Diante do exposto, e considerando a abrangência do Estado de Minas Gerais, que acolhe contextos diversos no que se refere à governança dos territórios urbano e rural, este estudo propõe identificar áreas críticas em termos de saneamento e perdas de água no âmbito de bacias hidrográficas, bem como discutir as oportunidades para ampliar a segurança hídrica. Os dados para esta pesquisa referem-se a 2020 e foram coletados no Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) e no Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM). Pela metodologia adotada, observou-se que as Circunscrições Hidrográficas do Rio Paraopeba, Afluentes Mineiros dos Rios Preto e Paraibuna, Entorno da Represa de Três Marias, Rio Urucuia, Santo Antônio, Rio Caratinga e Afluentes Mineiros dos Rios Pompa e Muriaé demandam atenção dos tomadores de decisão, pois foram enquadradas no cenário de alerta em ao menos dois dos três índices calculados no estudo: coleta de esgoto sanitário, tratamento de esgoto coletado e perdas de água.

Palavras-chave: bacia hidrográfica, segurança hídrica, oferta hídrica, indicador.

Opportunities to enhance water security in Minas Gerais's water basins

ABSTRACT

The water crisis scenario faced by several Brazilian regions in recent years imposes the urgency of water security actions, a movement that must include, among other aspects, the universalization of sanitation services and reduction of water losses. Concrete improvements in sanitation directly favor water management, especially sanitary sewage, and water supply. In terms of sewage collection and treatment services, the proportion of the watershed exposed to pollution by domestic sewage is reduced, in relation to water supply, water loss management favors the availability of water in springs. Given that, and considering the Minas Gerais State area of influence, which welcomes different contexts of urban and rural territories governance, this study proposes to identify critical areas in terms of sanitation and water losses in water basins, as well as to discuss opportunities to increase water security. This study data refer to 2020 and were collected at National Sanitation Information System and at Minas Gerais Water Management Institute. According to the methodology adopted, Paraopeba River, Tributaries of Preto and Paraibuna Rivers, Três Marias's Surroundings Dam, Urucuia River, Santo Antônio, Caratinga River, and Tributaries of Pompa and Muriaé Rivers, demands more attention among the Hydrographic Circumscriptions because at least two of three indexes studied were allocated on alert scenario: sanitary sewage collection, treatment of collected sewage, and water losses.

Keywords: water basin, water security, water offer, index.

Introdução

Universalizar o acesso aos serviços de esgotamento sanitário e reduzir as perdas de água nos sistemas de abastecimento são ações que cooperam para ampliar a segurança hídrica nas bacias hidrográficas. Para a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA, 2022), segurança hídrica é a água disponível em quantidade e qualidade suficiente para atendimento das necessidades humanas e econômicas, bem como para a conservação dos ecossistemas aquáticos, considerando um nível aceitável de risco relacionado a secas e cheias.

Conforme exposto pela Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (Unesco, 2022), alcançar a segurança hídrica requer salvaguardar os sistemas hídricos vulneráveis, mitigar os impactos dos perigos relacionados à água, proteger o acesso às funções e serviços hídricos, bem como gerenciar os recursos hídricos de maneira integrada e equitativa.

Mishra *et al.* (2021) indica que à medida que as problemáticas da segurança hídrica aumentam fica evidente a necessidade de adotar ações relacionadas à proteção da água, aprimoramento da legislação e sensibilização do público, de maneira a definir o melhor caminho para gerir, proteger e garantir os usos múltiplos da água. Vörösmarty *et al.* (2021) afirma que proteger as bacias hidrográficas e os ecossistemas aquáticos são medidas efetivas para ampliar a segurança dos recursos hídricos.

Proteger os recursos hídricos no âmbito das bacias hidrográficas envolve universalizar o acesso aos serviços de coleta e tratamento de esgoto sanitário. Octavianti e Staddon (2021) estudaram diversas ferramentas de avaliação da segurança hídrica e identificaram que algumas incluem a cobertura dos serviços de saneamento para avaliar a segurança do ambiente hídrico.

Dentre os princípios fundamentais do saneamento básico preconizados pela Lei Federal nº 14.026/2020, que atualiza o marco legal, consta a sua relevância para a saúde pública, conservação dos recursos naturais e proteção do meio ambiente (Brasil, 2020). Outro princípio destacado pela referida lei é que os eixos abastecimento de água e esgotamento sanitário tenham sua prestação concomitante. Essa prerrogativa pode ser explicada pelo fato de o setor de abastecimento ser o segundo maior usuário de água no Brasil, atrás apenas do setor de irrigação (MDR, 2023). Por outro lado, o lançamento de efluentes domésticos é um dos

grandes poluidores, principalmente quando o esgoto é lançado nos corpos d'água *in natura* ou após tratamento ineficiente.

Segundo dados do SNIS, em 2020 as redes de coleta de esgoto atenderam apenas 55,0% da população total do Brasil – 114,6 milhões de habitantes. Em 2022 essa cobertura alcançou 56%. Adicionalmente, os índices médios de tratamento do esgoto gerado em 2020 e 2022 no país foram, respectivamente, 50,8% e 52,2%, considerando as áreas urbanas e rurais (MDR, 2021a e 2023).

Sob a ótica das bacias hidrográficas do Estado de Minas Gerais, dados da publicação Gestão e Situação das Águas de Minas Gerais, disponibilizada em 2020 pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM), indicam que em 2018 as duas bacias com os piores resultados eram a dos afluentes mineiros do médio São Francisco e a dos afluentes mineiros do rio Pardo, que atendiam menos de 20% da população com o serviço de coleta de esgoto. Já as bacias com melhores resultados eram as do rio Araguari e dos afluentes mineiros dos rios Preto e Paraibuna, que apresentavam mais de 90% da população atendida com coleta. Salienta-se que 20 bacias não alcançaram 80% de atendimento (IGAM, 2020a).

Uma avaliação realizada por Campos e Junior (2022) acerca do índice de cobertura de esgoto no mundo entre os anos de 2000 e 2020, conclui que dentre 23 países que disponibilizaram informações, o Brasil ocupa a 14ª posição em relação aos países com maiores coberturas de esgoto.

No que se refere ao setor de abastecimento de água, além de ser um dos maiores consumidores desse precioso recurso no Brasil, o volume de água perdido nos sistemas são relevantes. Portanto, a gestão de perdas é fator importante quando o assunto é segurança hídrica. De acordo com dados disponibilizados pelo Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional (MDR) por meio do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), as perdas na distribuição no país alcançaram 40,1% em 2020. Em 2022 houve uma redução de 2,9 pontos percentuais no índice, que alcançou 37,8%. Em relação às perdas por ligação de água, o volume perdido em 2020 foi 343,4 litros/ligação/dia e 337,7 L/lig.dia em 2022 (MDR, 2021a e 2023).

Um estudo realizado pelo Instituto TrataBrasil (ITB) em parceria com a GO Associados identificou que o Brasil está em 6º lugar em perdas de água dentre dez países latino-

americanos analisados (ITB e GO Associados, 2023).

De acordo com European Federation of National Associations of Water Services (EurEau, 2021), na Europa e União Europeia as perdas médias no abastecimento variam de menos 5% a mais de 50% – tendo como referência o volume de água captada. A entidade explica que diversos fatores influenciam essa variação, como a idade e a manutenção do sistema, o comprimento da rede, o número de ligações, a topografia, o solo e as condições climáticas, o preço da água, as estratégias de controle de vazamentos, a forma como a água é valorizada pela sociedade.

Diante da realidade de escassez de água em diversas regiões do mundo, desperdiçar água tratada e poluir os corpos d'água com efluentes domésticos não tratados ou tratados de maneira ineficiente não é coerente. A água é um bem precioso, indispensável à vida humana e ao desenvolvimento socioeconômico (Liang *et al.*, 2021; Belmans *et al.*, 2021).

Dados do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD), apontam que 40% da população mundial vivencia a escassez de água e alerta que as mudanças climáticas podem ampliar esse cenário a longo prazo. Para 2050, o prognóstico é que uma em cada quatro pessoas seja afetada pela carência de água (PNUD, 2021). Em paralelo, a demanda pela água aumenta diante dos diversos usos múltiplos, ampliando a pressão nas bacias hidrográficas. Conforme informações da organização Water Resilience Coalition, o estresse hídrico ocorre em âmbito mundial, sendo que mais de 25% da população vive em regiões com escassez de água (WRC, 2021).

Stringer *et al.* (2021) explica que a escassez de água é, em geral, percebida e determinada pela escassez física de água. No entanto, os autores esclarecem que a escassez também pode resultar da falta de infraestruturas (escassez econômica), má qualidade da água (escassez de água limpa) ou manutenção insuficiente de recursos hídricos nos ecossistemas (escassez ambiental de água). Já Young *et al.* (2021) citam alguns fatores impulsionadores da crise hídrica, como o rápido crescimento populacional, o crescimento econômico e a urbanização que, por sua vez, aumentam a procura de água para uso doméstico e para irrigação.

Segundo exposto por Babuna *et al.* (2023), em geral, nas comunidades que vivenciam a desigualdade de acesso à água, a segurança hídrica é deteriorada devido a práticas insustentáveis de

utilização da água que levam à poluição dos recursos hídricos, conflitos e saneamento deficiente.

O nível de deterioração dos corpos d'água e a pressão imposta aos usos de mananciais superficiais e subterrâneos são realidades que evidenciam, de forma concreta, como são desenvolvidas as políticas públicas no território e a situação da população no que se refere ao acesso a um ambiente saudável e sustentável. Aguiar (2023), em seu estudo, destacou a importância da segurança hídrica para a promoção de políticas públicas voltadas à concretização do direito humano de acesso à água e ao saneamento, bem como do sexto Objetivo do Desenvolvimento Sustentável – Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas (ONU).

Diante do exposto, fica claro que as infraestruturas e os serviços públicos de saneamento básico, destaque para os eixos abastecimento de água e esgotamento sanitário, apresentam interação direta com a gestão eficiente dos recursos hídricos, aspecto destacado no inciso XII do artigo 2º da Lei Federal nº 14.026 de 2020 (Brasil, 2020).

Nesse contexto, a articulação entre a gestão das águas e o saneamento básico é imprescindível para enfrentar os desafios consolidados nas áreas de saúde pública e meio ambiente. Ademais, destaca-se que, com a atualização do marco legal do saneamento básico em 2020, a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) ampliou seu escopo de atuação, o que vai ao encontro da necessidade de interlocução entre setores chaves para ampliação e manutenção da disponibilidade e qualidade de água nos mananciais superficiais e subterrâneos.

Conforme destacado pelo Observatórios das Águas (2021), para que a integração entre a gestão das águas e do saneamento básico ocorra, a atuação das instituições que compõem o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH) é fator essencial, incluindo a ANA, os Comitês de Bacias, os Conselhos de Recursos Hídricos e os Órgãos Gestores.

Diante das inúmeras ações necessárias para construção e manutenção da segurança hídrica nas bacias hidrográficas, tem-se como prerrogativa a definição de prioridades. Para isso, torna-se essencial a etapa de diagnóstico, a fim de que se possa ter uma visão das bacias hidrográficas em termos de locais críticos para, em bases seguras, planejar, executar e avaliar os resultados. A estratégia deve considerar, portanto, instrumento

que permita a análise do desempenho, comparação entre diferentes bacias hidrográficas e *benchmarking* – confrontar com padrões e referências de interesse.

Ferramentas de controle são essenciais para se fazer gestão e os indicadores podem auxiliar nesse desafio. Conforme Mitchell (1996), os índices ou indicadores permitem reduzir um conjunto de informações em um formato mais simples, de forma a manter a essência das perguntas que estão sendo feitas aos dados analisados. De acordo com o dicionário brasileiro da língua portuguesa Michaelis (2021), o indicador “orienta sobre qualquer providência a ser tomada.”

Nesse sentido, a partir de uma visão integrada entre recursos hídricos e saneamento básico, é imperativo conhecer realidades pormenorizadas por meio de indicadores que auxiliem no detalhamento de problemáticas e na definição de ações locais, em nível de bacia hidrográfica, conhecida como unidade de planejamento e gestão das águas.

Assim, considerando aspectos da segurança hídrica que tratam de oferta de água, com o intuito de abordar oportunidades para ampliar a qualidade e quantidade de recurso hídrico disponível nos mananciais, este estudo propõe identificar áreas críticas em termos de coleta e tratamento de esgoto, bem como de perdas de água em sistemas de abastecimento, considerando a

realidade de 36 Circunscrições Hidrográficas (CH) de Minas Gerais.

A compreensão dos cenários em cada uma das bacias hidrográficas permite identificar áreas prioritárias para ações por parte, por exemplo, de integrantes do Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos e dos atores envolvidos no setor de saneamento básico, em busca do aumento da segurança hídrica no âmbito de bacias.

Material e Métodos

Com base em dados secundários disponibilizados pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento foram realizadas análises quantitativas de aspectos relacionados ao saneamento básico em nível de bacia hidrográfica, de forma a identificar áreas críticas e discutir a importância da interlocução e cooperação entre os setores de recursos hídricos e saneamento para incrementar a segurança hídrica em Minas Gerais, principalmente no sentido de ampliar a oferta de água em quantidade e qualidade.

A metodologia aplicada neste trabalho seguiu o fluxograma de atividades apresentado na **Erro! Fonte de referência não encontrada..** A descrição de cada uma das cinco etapas metodológicas é detalhada nos tópicos a seguir.

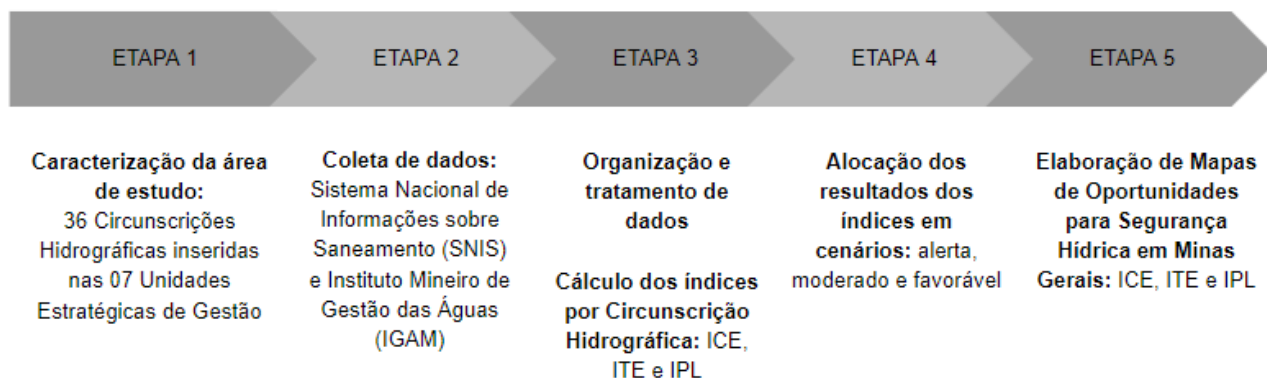


Figura 1. Fluxograma de atividades desta pesquisa.

Legenda: Índice de Coleta de Esgoto (ICE), Índice de Tratamento de Esgoto (ITE) e Índice de Perdas por Ligação (IPL).

indicadores de interesse. Assim, foi possível determinar a aderência municipal ao envio de dados, utilizada como informação complementar para análise dos resultados obtidos para o ICE, ITE e IPL nas Circunscrições Hidrográficas, evidenciando resultados mais robustos à medida que o percentual de aderência fosse maior.

Para além da aderência municipal, no caso do IPL, foi realizado um tratamento de dados, sendo considerados apenas aqueles municípios com macromedição e micromedição simultaneamente iguais ou superiores a 90%, conforme sugerido pela Agência Reguladora de Serviços de Abastecimento de Água e de Esgotamento Sanitário do Estado de Minas Gerais (Arsae-MG, 2021), no Projeto de Regulação por Exposição. Essa condição vai ao encontro da importância das medições de volumes ao longo do sistema de abastecimento de água para fins de cálculo de indicadores de perdas (Lambert e Hirner, 2000).

Na sequência foram calculados os seguintes indicadores para cada uma das Circunscrições Hidrográficas: (i) Índice de Coleta de Esgoto; (ii) Índice de Tratamento de Esgoto; e (iii) Índice de Perdas de Água por Ligação. Os referidos indicadores foram escolhidos, pois possuem relação intrínseca com a segurança hídrica e podem auxiliar a traduzir na prática a interlocução entre a gestão das águas e o saneamento.

As equações apresentadas a seguir consideraram as mesmas informações de cálculo do SNIS – as equações dos indicadores e as informações que compõem os cálculos estão disponíveis nos Glossários disponibilizados pelo SNIS (MDR, 2022b). No entanto, a fim de obter os resultados dos índices por Circunscrição Hidrográfica, houve a inclusão do somatório das informações municipais (n) que compõem a equação para cada indicador de interesse.

As Equações I, II e III apresentam, respectivamente, os cálculos do ICE, ITE e IPL:

$$ICE = \frac{\sum_{k=1}^n (ES005)}{\sum_{k=1}^n (AG010 - AG019)} \times 100\% \text{ (Equação I)}$$

Em que:

ICE: Índice de Coleta de Esgoto em cada CH, variando entre 0 e 100%;

ES005: Volume de esgoto coletado no município k;

AG010: Volume de água consumido no município k;

AG019: Volume de água tratado exportado do município k;

$$ITE = \frac{\sum_{k=1}^n (ES006 + ES014 + ES015)}{\sum_{k=1}^n (ES005 + ES013)} \times 100\% \text{ (Equação II)}$$

Em que:

ITE: Índice de Tratamento de Esgoto em cada CH, variando entre 0 e 100%;

ES005: Volume de esgoto coletado no município k;

ES006: Volume de esgoto tratado no município k;

ES013: Volume de esgoto bruto importado de outros municípios;

ES014: Volume de esgoto importado tratado nas instalações do importador;

ES015: Volume de esgoto bruto exportado e tratado nas instalações do importador.

$$IPL = \frac{\sum_{k=1}^n (AG006 + AG018 - AG010 - AG024)}{\sum_{k=1}^n AG002} \times \frac{1.000.000}{365} \text{ (Equação III)}$$

Em que:

IPL: Índice de Perdas por Ligação em cada CH, em L/lig./dia;

AG002: Quantidade de ligações ativas de água no município k;

AG006: Volume de água produzido no município k;

AG010: Volume de água consumido no município k;

AG018: Volume de água tratada importado de outros municípios;

AG024: Volume de serviços no município k.

Para fins de análises estatísticas, as equações I, II e III também foram aplicadas desconsiderando o somatório, ou seja, calculadas individualmente para cada um dos municípios que compõem as CH.

Elaboração de mapas

A fim de compreender visualmente os cenários de cada Circunscrição Hidrográfica em termos dos resultados dos índices – Índice de Coleta de Esgoto (ICE), Índice de Tratamento de Esgoto (ITE) e Índice de Perdas por Ligação (IPL) – foram elaborados quatro Mapas de Oportunidades para a Segurança Hídrica no Estado

de Minas Gerais para o ano de estudo. Os mapas têm como objetivo traduzir em cores os resultados dos índices, considerando: azul (cenário favorável); amarelo (cenário moderado); laranja (cenário de alerta).

A alocação dos resultados obtidos para o conjunto de municípios que compõem cada Circunscrição Hidrográfica em cada rótulo depende de classificação prévia, etapa que foi realizada neste estudo a partir da determinação de intervalos de valores para cada índice.

Em relação ao ICE e ao ITE, optou-se por ordenar os 36 valores encontrados para cada CH e dividi-los em quartis, classificando-os em: cenário favorável, cenário moderado e cenário de alerta. Assim, os 36 resultados obtidos para cada um dos índices no contexto de cada CH foram ordenado em ordem crescente, sendo que valores encontrados até a mediana foram considerados como cenário de alerta; valores maiores que a mediana, inclusive, até o terceiro quartil foram alocados no cenário moderado; e valores acima do terceiro quartil, inclusive, foram enquadrados no cenário favorável. O Quadro 1 apresenta as classificações adotadas para o ICE e ITE. Sendo assim, quanto maior o resultado obtido melhor o cenário da Circunscrição Hidrográfica em relação à universalização dos serviços de coleta e de tratamento de esgoto sanitário, no que se refere ao ICE e ITE.

Em relação ao IPL, optou-se por considerar uma referência nacional que classifica a

Quadro 1. Classificação do ICE e do ITE.

Indicador	Classificação		
	Cenário de Alerta	Cenário Moderado	Cenário Favorável
ICE (%)	ICE < Mediana	Mediana ≤ ICE < 3º quartil	ICE ≥ 3º quartil
ITE (%)	ITE < Mediana	Mediana ≤ ITE < 3º quartil	ITE ≥ 3º quartil

Tabela 1. Classificação do IPL.

Indicador	Classificação		
	Cenário de Alerta	Cenário Moderado	Cenário Favorável
IPL (L/lig./dia)	IPL ≥ 250	150 ≤ IPL < 250	IPL < 150

Resultados e discussão

Organização, seleção e representatividade da amostra

As informações consolidadas e disponibilizadas pelo SNIS para o ano de 2020

performance do índice. Tardelli Filho (2016) associa as faixas de valores do IPL ao desempenho dos sistemas de abastecimento. Neste estudo, optou-se por aglutinar as classificações consideradas pelo referido autor “muito baixo” e “baixo” para compor o cenário favorável; manter o cenário moderado; e agrupar as denominações “alto” e “muito alto” para constituir o cenário de alerta, conforme exposto na **Erro! Fonte de referência não encontrada..** Percebe-se que quanto menor o resultado do IPL, melhor o cenário da Circunscrição Hidrográfica em termos de desempenho do sistema de abastecimento em termos de gestão de perdas de água. Por fim, três Mapas de Oportunidades para a Segurança Hídrica no Estado de Minas Gerais foram elaborados para o ano de 2020 com a ferramenta QGis, *software* livre que permite visualizar, editar e analisar dados georreferenciados. As seguintes bases cartográficas em formato *shapefile* foram coletadas, em maio de 2022, no sítio eletrônico do IDE–Sisema (2022): Circunscrições Hidrográficas, Unidades Estratégicas de Gestão dos Recursos Hídricos e Sedes Municipais.

Considerando as condições estabelecidas neste trabalho, os resultados observados nas Circunscrições Hidrográficas indicam oportunidades para agir em busca da redução da vulnerabilidade hídrica, principalmente no que se refere à oferta de água.

referem-se aos 853 municípios do Estado de Minas Gerais. A alocação dos dados municipais de água e esgoto nas 36 Circunscrições Hidrográficas para fins de cálculo do Índice de Coleta de Esgoto,

Índice de Tratamento de Esgoto e Índice de Perdas por Ligação, resultou em uma amostra preliminar de 846 municípios. Isso porque, os sete municípios restantes têm sua sede pertencente a bacias não estudadas neste trabalho – a verificação da localização da sede foi realizada com o auxílio do software QGIS. Salienta-se que as bacias denominadas pelo IGAM como BU1, IB1, IN1, IP1, IU1, JU1 e PE1 pertencem à União e, portanto, não são consideradas Circunscrições Hidrográficas em Minas Gerais. Em relação à amostra preliminar, realizou-se uma verificação no que concerne à aderência municipal, a fim de excluir municípios que não enviaram informações essenciais para o cálculo dos índices de interesse. Importante salientar que o SNIS é um banco de dados cujas informações são disponibilizadas pelos próprios prestadores dos serviços de abastecimento de água e de esgotamento sanitário e, por isso, o envio e a confiabilidade dos dados podem variar entre os municípios.

Após considerar a aderência municipal para todos os índices e realizar o tratamento dos dados para o cálculo do Índice de Perdas por Ligação, conforme abordado na metodologia – exclusão dos municípios com macromedição e micromedição simultaneamente menores que 90%, tem-se que a amostra válida selecionada para este estudo corresponde a 70% dos municípios de Minas Gerais para o cálculo do IPL, 98% para o ICE e 81% para o ITE.

A partir da análise dos dados, cumpre informar que em relação ao IPL, 18 municípios foram desconsiderados por não terem enviado as informações para cálculo do indicador. No entanto, após tratamento de dados com os critérios mínimos de macromedição e micromedição, outros 240 municípios foram eliminados da amostra válida.

Figura 3, a **Erro! Fonte de referência não encontrada.** e a **Erro! Fonte de referência não encontrada.** apresentam, respectivamente, para o ICE, ITE e IPL como se distribuem os municípios mineiros considerados neste estudo.

Verifica-se que os municípios das três amostras estão dispersos por todo o território de Minas Gerais, havendo municípios em todas as Unidades Estratégicas de Gestão de Recursos Hídricos, fato que indica a representatividade espacial da amostra. No entanto, observa-se a

No que se refere ao ICE e ITE, foram desconsiderados, respectivamente, 18 e 158 municípios diante da condição de envio de todas as informações para cálculo dos indicadores.

Para Babbie (2007, *apud* Cubula, 2013), uma taxa de resposta de pelo menos 50% é considerada adequada para analisar dados provenientes de pesquisas por amostragem. Van der Stede *et al.* (2005, *apud* Carneiro *et al.* 2015) indicam que, em geral, taxas de respostas abaixo de 20% tendem a não representar a realidade da população avaliada em pesquisas do tipo *survey*.

Diante disso, a análise dos resultados para o IPL merece cautela nas seguintes Circunscrições Hidrográficas, cujas amostras válidas são inferiores a 50%: GD4 (Rio Verde), JQ1 (Afluentes Mineiros do Alto Rio Jequitinhonha), JQ2 (Rio Araçuaí), JQ3 (Afluentes Mineiros do Médio e Baixo Jequitinhonha), MU1 (Afluentes Mineiros do Rio Mucuri), SM1 (Rio São Mateus) e PS1 (Afluentes Mineiros dos Rios Preto e Paraibuna).

Destaque para JQ1, que apresenta menos de 20% de amostra válida. A maior concentração de amostras inferiores a 50% é na UGE5 (Afluentes dos Rios Mucuri, São Mateus, Jequitinhonha e Pardo), onde das 06 Circunscrições Hidrográficas, 05 possuem amostras válidas inferiores a 50% para o IPL, a exceção é a PA1 (Rio Mosquito e demais Afluentes Mineiros do Rio Pardo), com 100% dos municípios válidos na amostra. No caso do ITE, verificou-se essa condição apenas para a SF9 (Afluentes Mineiros do Médio São Francisco), com 47% de amostra válida. Nenhuma Circunscrição Hidrográfica está nessa situação para o ICE. Em relação à representatividade espacial das amostras válidas para cálculo do Índice de Coleta de Esgoto, do Índice de Tratamento de Esgoto e do Índice de Perdas por Ligação, a carência de municípios amostrados que representem a Bacia Hidrográfica dos Afluentes dos Rios Mucuri, São Mateus, Jequitinhonha e Pardo (UEG5) para cálculo do IPL. Esse fato justifica-se, principalmente, pela exclusão de municípios com macromedição e micromedição simultaneamente menores que 90%, o que evidencia a precariedade das medições dos volumes de água produzidos e distribuídos na região por parte dos responsáveis pelos sistemas de abastecimento da região.

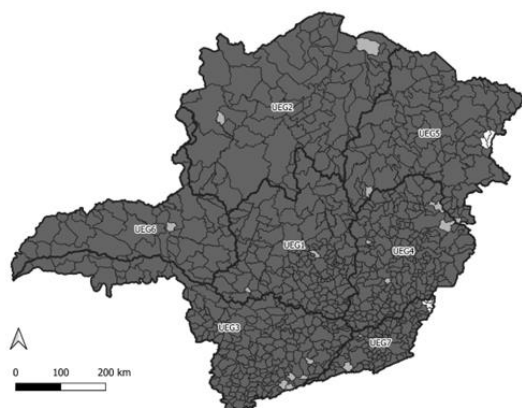


Figura 3. Representatividade espacial da amostra relativa ao Índice de Coleta de Esgoto.

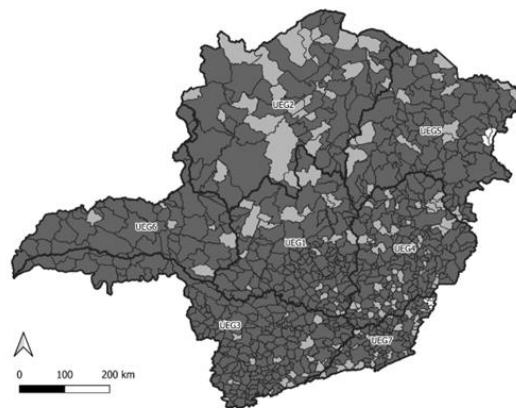


Figura 4. Representatividade espacial da amostra relativa ao Índice de Tratamento de Esgoto.

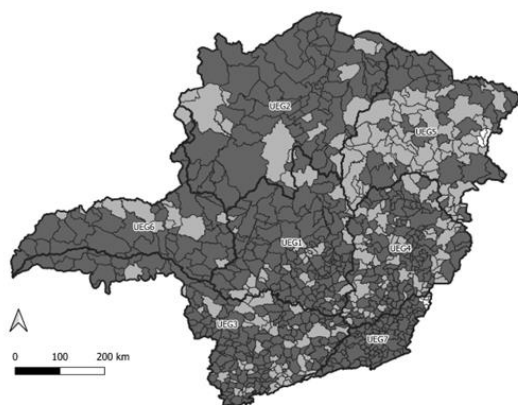


Figura 5. Representatividade espacial da amostra relativa ao Índice de Perdas por Ligação.

Legenda

Rios Mucuri, São Mateus, Jequitinhonha e Pardo, destaque para a SM1 – Rio São Mateus, com pouca dispersão dos resultados entre os municípios. Na UEG6, Afluentes do Rio Paranaíba, essa situação é verificada na PN2 – Rio Araguari.

No que se refere aos valores considerados discrepantes nas amostras, os denominados *outliers*, destaque para a UEG3, Bacia Hidrográfica do Rio Grande. No entanto, esse fato não indica que os referidos dados devem ser desconsiderados. Isso porque, no caso de uma mesma CH, por exemplo a GD4, o Índice de Coleta de Esgoto da maioria dos municípios é mais elevado em comparação com poucas localidades, que apresentaram valores mais baixos, e que, por isso, tiveram o ICE indicado como *outlier*. Sendo assim, os *outliers* não foram excluídos neste estudo.

Índices de Tratamento de Esgoto:

Os ITE calculados para os municípios apresentam significativa dispersão na maioria das Unidades Estratégicas de Gestão, sendo verificado valores entre 0 e 100% em grande parte das Circunscrições Hidrográficas. Os *outliers* verificados nas Circunscrições Hidrográficas das UEG3, UEG4 e UEG7 representam municípios cujos Índices de Tratamento de Esgoto são mais elevados, sendo discrepantes pois estão afastados do valor médio e da dispersão dos dados, que são próximos de 0% ou mesmo iguais a zero. Esses *outliers* são, na verdade, exemplos a serem seguidos pelos demais municípios da mesma CH.

Figura 3, **Erro! Fonte de referência não encontrada.** e **Erro! Fonte de referência não encontrada.**

- Unidade Estratégica de Gestão de Recursos Hídricos
- Municípios não estudados
- Municípios excluídos da amostra
- Amostra válida de municípios

Em relação à análise estatística descritiva realizada, segue um resumo das principais percepções.

Índices de Coleta de Esgoto:

Os ICE calculados para os municípios apresentam significativa dispersão em todas as Unidades Estratégicas de Gestão, sendo verificados valores entre 0 e 100% em grande parte das Circunscrições Hidrográficas, com algumas exceções. Um exemplo é a UEG4, Afluentes do Rio Doce, em que a dispersão de dados é menor na DO2 – Rio Piracicaba. Em relação à UEG5, Afluentes dos

Sendo assim, os *outliers* não foram excluídos neste estudo.

Índices de Perdas por Ligação:

Os IPL calculados para os municípios apresentam, em geral, dispersão, sendo mais significativas nas Circunscrições Hidrográficas: SF3 – Rio Paraopeba; SF5 – Rio das Velhas; GD6 – Afluentes Mineiros dos Rios Mogi-Guaçu e Pardo; DO2 – Rio Piracicaba; MU1 – Afluentes Mineiros do Rio Mucuri; SM1 – Rio São Mateus; e PN3 – Afluentes Mineiros do Baixo Rio Paranaíba. Em relação aos valores considerados discrepantes nas amostras, destaque para a SF2 – Rio Pará localizada na UEG1, Afluentes do Alto Rio São Francisco, e a GD3 – Entorno do Reservatório de Furnas localizada na UEG3, Bacia Hidrográfica do Rio Grande. Para essas CHs, os *outliers* representam municípios cujos índices estão piores em relação às demais localidades da CH, mas não, necessariamente, devem ser desconsiderados. Sendo assim, os *outliers* não foram excluídos neste estudo.

Mapas de oportunidades para segurança hídrica em Minas Gerais

Índice de Coleta de Esgoto

A

, apresenta o Mapa de Oportunidades para Segurança Hídrica em Minas Gerais referente ao ano de 2020 para o Índice de Coleta de Esgoto.

Diante das informações apresentadas na percebe-se que, pela metodologia adotada neste trabalho, foram alocadas no cenário de alerta 17 Circunscrições Hidrográficas, o que representa

47% do total de 36 CHs; no cenário moderado 09 CHs, 25%; e no cenário favorável 10 CHs, 28%.

O cenário de alerta está localizado, principalmente, nas regiões do Vale do Mucuri, Jequitinhonha, Zona da Mata, Norte e Nordeste de Minas Gerais. Na UEG2, Afluentes do Médio Rio São Francisco, todas as Circunscrições Hidrográficas foram alocadas no cenário de alerta. Conforme Tabela 2, os resultados para o Índice de Coleta de Esgoto em 2020 na UEG2 variaram entre 19,85% na SF9 – Afluentes Mineiros do Médio São Francisco e 62,72% na SF7 – Rio Paracatu.

Em relação à UEG5, Afluentes dos Rios Mucuri, São Mateus, Jequitinhonha e Pardo, cinco das seis CHs estão no cenário de alerta. Nas referidas CHs, o ICE variou entre 36,20%, resultado observado na PA1 – Rio Mosquito e Demais Efluentes Mineiro do Rio Pardo a 58,15%, valor referente à MU1 – Afluentes Mineiros do Rio Mucuri. Em relação à UEG7, Afluentes do Rio Paraíba do Sul, o cenário de alerta abrange as duas CHs que a compõem, sendo observado os seguintes resultados para o ICE: 72,10% para a PS2 – Afluentes Mineiros dos Rios Pomba e Muriaé e 72,21% para a PS1 – Afluentes Mineiros dos Rios Preto e Paraibuna.

Na UEG1, Afluentes do Alto Rio São Francisco, na UEG3, Bacia Hidrográfica do Rio Grande, e na UEG4, Afluentes do Rio Doce, que contemplam os três cenários, destacam-se as Circunscrições Hidrográficas dispostas no cenário de alerta e os respectivos resultados para o Índice de Coleta de Esgoto: SF3 – Rio Paraopeba (59,68%); SF4 – Entorno da Represa de Três Marias (51,11%); PJ1 – Rios Piracicaba e Jaguari (57,22%); DO3 – Santo Antônio (60,68); e DO5 – Rio Caratinga (68,14%).

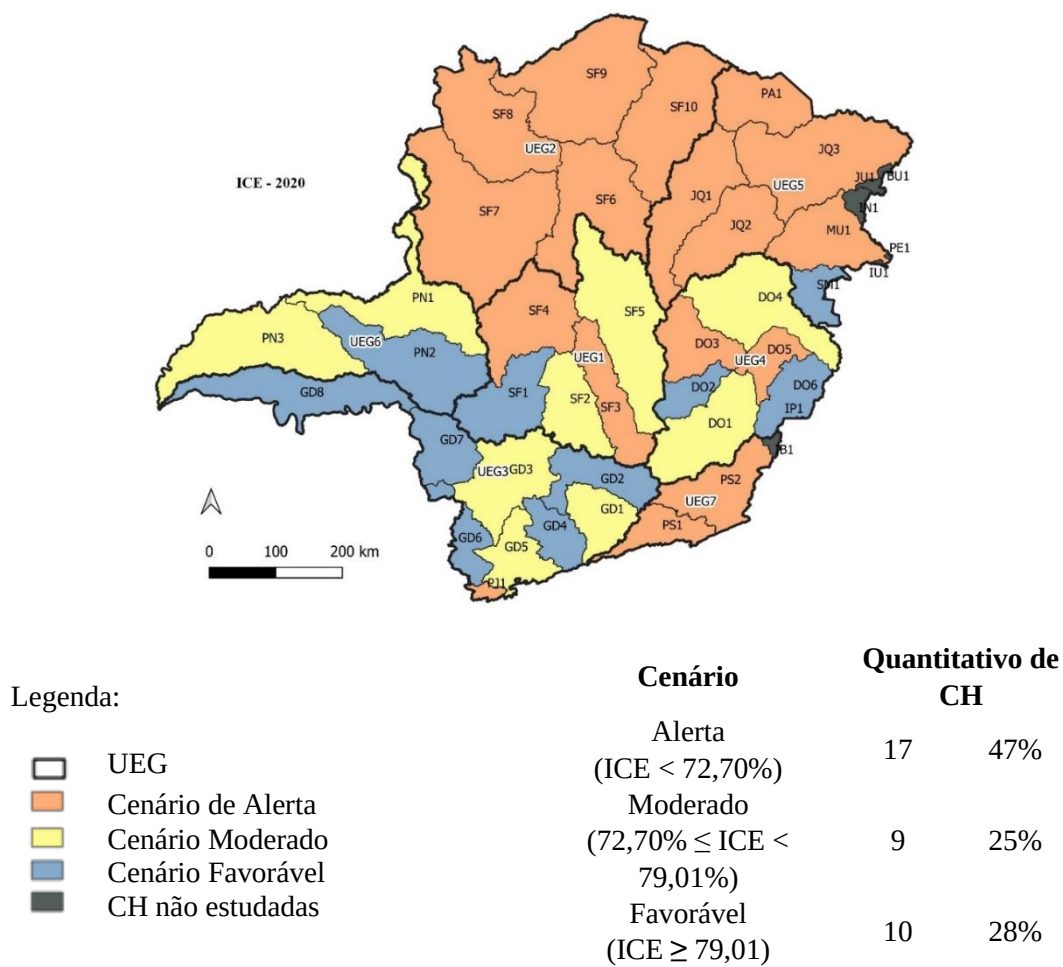


Figura 6. Mapa de Oportunidades para Segurança Hídrica em Minas Gerais: Índice de Coleta de Esgoto – Cenário 2020.

Tabela 2. Circunscrições Hidrográficas no cenário de alerta e Índices de Coleta de Esgoto para 2020.

Cenário de Alerta		
Código	Circunscrição Hidrográfica	ICE (%)
UEG1	SF3 Rio Paraopeba	59,68
	SF4 Entorno da Represa de Três Marias	51,11
	SF6 Rios Jequitai e Pacuí	34,66
	SF7 Rio Paracatu	62,72
UEG2	SF8 Rio Urucuia	47,43
	SF9 Afluentes Mineiros do Médio São Francisco	19,85
	SF10 Rio Verde Grande	55,03
UEG3	PJ1 Rios Piracicaba e Jaguari	57,22
UEG4	DO3 Santo Antônio	60,68
	DO5 Rio Caratinga	68,14
	JQ1 Afluentes Mineiros do Alto Rio Jequitinhonha	51,13
	JQ2 Rio Araçuaí	55,73
UEG5	JQ3 Afluentes Mineiros do Médio e Baixo Jequitinhonha	53,86
	MU1 Afluentes Mineiros do Rio Mucuri	58,15
	PA1 Rio Mosquito e Demais Efluentes Mineiros do Rio Pardo	36,20
UEG7	PS1 Afluentes Mineiros dos Rios Preto e Paraibuna	72,21
	PS2 Afluentes Mineiros dos Rios Pomba e Muriaé	72,10

A Tabela 3 elenca as Circunscrições Hidrográficas alocadas no cenário moderado para o Índice de Coleta de Esgoto em 2020. Conforme pode ser verificado, as CHs SF5 – Rio das Velhas e DO1 – Rio Piranga apresentaram o menor resultado para ICE, 72,70. O maior resultado no cenário moderado para o referido índice, 78,76%, foi observado na GD3 – Entorno do Reservatório de Furnas. A UEG6, Afluentes do Rio Paranaíba, abrange os cenários moderado e favorável, sendo que o Índice de Coleta de Esgoto na Circunscrição

Hidrográfica PN2 – Rio Araguari é favorável, alcançando 83,63% em 2020, conforme pode ser observado na

Tabela 4. A Circunscrição Hidrográfica com melhor resultado para o Índice de Coleta de Esgoto, 90,89%, é a GD8 – Afluentes do Baixo Rio Grande, localizada na UEG3, Bacia Hidrográfica do Rio Grande. Por outro lado, a SM1 – Rio São Mateus apresentou o menor resultado para o cenário, 79,01%.

Tabela 3. Circunscrições Hidrográficas no cenário moderado e Índices de Coleta de Esgoto para 2020.

Cenário Moderado			
Código	Circunscrição Hidrográfica		ICE (%)
UEG1	SF2	Rio Pará	76,95
	SF5	Rio das Velhas	72,70
	GD1	Afluentes Mineiros do Alto Rio Grande	74,31
UEG3	GD3	Entorno do Reservatório de Furnas	78,76
	GD5	Rio Sapucaí	78,20
	DO1	Rio Piranga	72,70
UEG4	DO4	Rio Suaçuí	78,72
	PN1	Afluentes Mineiros do Alto Paranaíba	77,40
UEG6	PN3	Afluentes Mineiros do Baixo Rio Paranaíba	73,27

Tabela 4. Circunscrições Hidrográficas no cenário favorável e Índices de Coleta de Esgoto para 2020.

Cenário Favorável			
Código	Circunscrição Hidrográfica		ICE (%)
UEG1	SF1	Afluentes do Alto Rio São Francisco	82,78
	GD2	Vertentes do Rio Grande	79,79
	GD4	Rio Verde	81,94
UEG3	GD6	Afluentes Mineiros dos Rios Mogi-Guaçu e Pardo	88,52
	GD7	Afluentes do Médio Rio Grande	81,66
	GD8	Afluentes do Baixo Rio Grande	90,89
UEG4	DO2	Rio Piracicaba	84,76
	DO6	Rio Manhuaçu	82,42
UEG5	SM1	Rio São Mateus	79,01
UEG6	PN2	Rio Araguari	83,63

Perante os resultados apresentados para o Índice de Coleta de Esgoto nas Circunscrições Hidrográficas de Minas Gerais para o ano de 2020, é possível verificar que a maioria das CHs está no cenário de alerta (47%). Além disso, para o cenário favorável não consta CH com 100% do esgoto coletado, ou mesmo resultado próximo deste valor, sendo observada apenas uma CH com coleta de

esgoto acima de 90%: GD8 – Afluentes do Baixo Rio Grande, localizada na UEG3. Esse fato evidencia a necessidade urgente de investimento em coleta de esgoto em todo o Estado de Minas, a fim de alcançar a universalização deste serviço. Salienta-se que o artigo 11-B da Lei Federal nº 14.026/2020 preconiza que no mínimo 90% da população de cada município deve dispor de coleta

de esgoto até dezembro de 2033. Cumpre esclarecer, que o indicador apresentado neste estudo considera o volume de esgoto coletado e não a população atendida com o serviço de coleta. Assim, o alcance de 90% do esgoto coletado não garante o atingimento da meta de 90% da população com coleta de esgoto.

Índice de Tratamento de Esgoto

Para além do serviço de coleta de esgoto, tem-se o tratamento do esgoto coletado, serviço que é essencial no que concerne à qualidade dos corpos d'água e que colabora, portanto, para o estabelecimento e a manutenção da segurança hídrica em bacias hidrográficas. O Índice de Tratamento de Esgoto considerado neste estudo

tem como informação de cálculo o volume de esgoto coletado, ou seja, o resultado do referido índice evidencia o percentual de esgoto coletado que é tratado. Assim, a fim de que as conclusões não sejam equivocadas, é importante salientar que as Circunscrições Hidrográficas alocadas em cenário favorável para o Índice de Tratamento de Esgoto devem ser avaliadas considerando os resultados verificados para o Índice de Coleta de Esgoto, apresentados anteriormente.

A Figura 7, apresenta Mapa de Oportunidades para Segurança Hídrica em Minas Gerais referente ao ano de 2020 para o Índice de Tratamento de Esgoto.

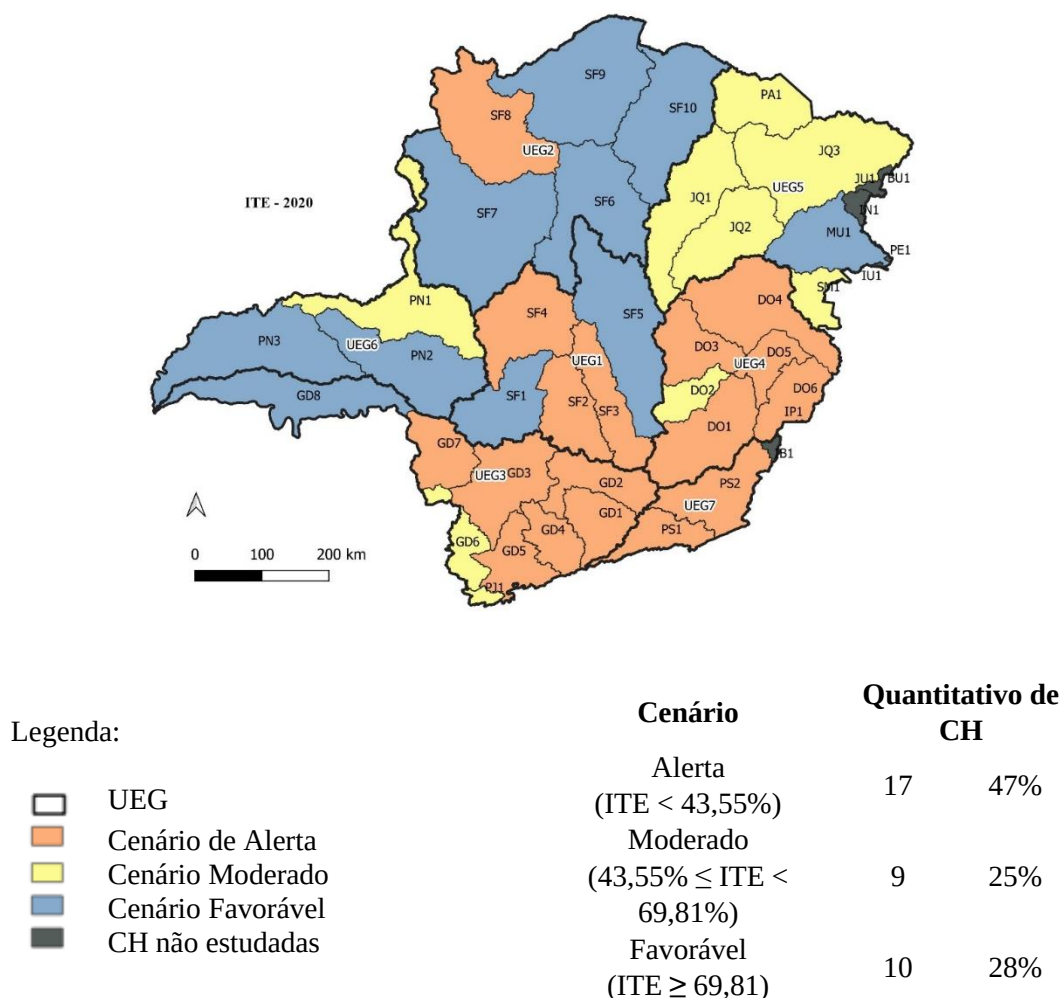


Figura 7. Mapa de Oportunidades para Segurança Hídrica em Minas Gerais: Índice de Tratamento de Esgoto – Cenário 2020.

Pela análise das informações apresentadas na Figura 7 é possível perceber que, pela metodologia adotada neste trabalho, foram alocadas no cenário de alerta 17 Circunscrições Hidrográficas, o que representa 47% do total de 36

CHs; no cenário moderado 09 CHs, 25%; e no cenário favorável 10 CHs, 28%.

O cenário de alerta está localizado, principalmente, nas regiões do Vale do Rio Doce, Zona da Mata, Central, Oeste, Sul e Sudoeste de

Minas Gerais. Conforme pode ser verificado na Tabela 5, os resultados para o Índice de Tratamento de Esgoto nesse cenário variaram entre 4,94% na DO1 – Rio Piranga, localizada na UEG4, Afluentes do Rio Doce, e 41,78% na GD5 – Rio Sapucaí, que compõe a UEG3, Bacia Hidrográfica do Rio Grande. Vale lembrar que ambas as bacias foram enquadradas no cenário moderado no âmbito do Índice de Coleta de Esgoto, sendo os resultados para o referido índice 72,70% para a bacia do Rio Piranga e 78,20% para a do Rio Sapucaí. Ou seja, a bacia do Rio Piranga, apesar de já ter avançado minimamente no serviço de coleta de esgoto, ainda necessita progredir significativamente no serviço de tratamento. A bacia do Rio Sapucaí, em comparação com a do Rio Piranga, evidenciou uma

melhoria no índice de esgoto coletado e que é tratado.

Observa-se, ainda, que na UEG7, Afluentes do Rio Paraíba do Sul, as duas CHs estão alocadas no cenário de alerta, sendo que ambos os resultados não alcançam 10% de tratamento do esgoto coletado. Salienta-se que as referidas CHs também foram enquadradas no cenário de alerta para coleta de esgoto.

O cenário moderado localiza-se, principalmente, nas regiões do Jequitinhonha, Vale do Mucuri e alcança pontualmente o Triângulo Mineiro e o Sudoeste de Minas Gerais. Destaque para a Circunscrição DO2 – Rio Piracicaba, única bacia na UEG4, Afluentes do Rio Doce, que está no cenário moderado, sendo as outras cinco alocadas no cenário de alerta.

Tabela 5. Circunscrições Hidrográficas no cenário de alerta e Índices de Tratamento de Esgoto para 2020.

Cenário de Alerta		
Código	Circunscrição Hidrográfica	ITE (%)
UEG1	SF2 Rio Pará	38,43
	SF3 Rio Paraopeba	32,67
	SF4 Entorno da Represa de Três Marias	29,65
UEG2	SF8 Rio Urucuia	25,97
	GD1 Afluentes Mineiros do Alto Rio Grande	12,98
	GD2 Vertentes do Rio Grande	22,10
UEG3	GD3 Entorno do Reservatório de Furnas	40,96
	GD4 Rio Verde	30,51
	GD5 Rio Sapucaí	41,78
	GD7 Afluentes do Médio Rio Grande	40,99
	DO1 Rio Piranga	4,94
UEG4	DO3 Santo Antônio	15,69
	DO4 Rio Suaçuí	10,44
	DO5 Rio Caratinga	21,46
	DO6 Rio Manhuaçu	11,59
UEG7	PS1 Afluentes Mineiros dos Rios Preto e Paraibuna	5,44
	PS2 Afluentes Mineiros dos Rios Pomba e Muriaé	7,70

Conforme observado na Tabela 6, a bacia do Rio Piracicaba trata 43,55% do esgoto coletado, menor valor encontrado para o referido índice dentre às CHs no cenário moderado. A referida bacia foi enquadrada no cenário favorável para a coleta de esgoto, sendo o ICE igual a 84,76%.

O maior valor encontrado no cenário moderado para o Índice de Tratamento de Esgoto foi 62,72%, na PJ1 – Rios Piracicaba e Jaguari, localizada na UEG3, Bacia Hidrográfica do Rio Grande. Para o Índice de Coleta de Esgoto, a bacia

dos Rios Piracicaba e Jaguari foi alocada no cenário de alerta, pois 57,22% do esgoto gerado na região era coletado.

Em relação ao cenário favorável, a análise deve ser realizada com cautela, pois, conforme explicado anteriormente, o Índice de Tratamento de Esgoto evidencia o volume de esgoto coletado que é tratado. Assim, as Circunscrições Hidrográficas alocadas no cenário favorável avançaram no tratamento de esgoto que é coletado na região, não sendo possível afirmar, portanto, que

alcançaram valores satisfatórios em relação ao tratamento de esgoto gerado. Diante do observado na Figura 7, o cenário favorável localiza-se, principalmente, no Norte, Nordeste de Minas Gerais, Triângulo Mineiro, Região Metropolitana de Belo Horizonte, alcançando pontualmente o Vale do Mucuri e Oeste do Estado.

Em relação aos resultados para o Índice de Tratamento de Esgoto para o cenário favorável, optou-se por apresentá-los juntamente com os valores observados nas respectivas Circunscrições Hidrográficas quando da avaliação do Índice de Coleta de Esgoto, conforme Tabela 7.

Tabela 6. Circunscrições Hidrográficas no cenário moderado e Índices de Tratamento de Esgoto para 2020.

Cenário Moderado			
Código	Circunscrição Hidrográfica		ITE (%)
UEG3	GD6	Afluentes Mineiros dos Rios Mogi–Guaçu e Pardo	46,94
	PJ1	Rios Piracicaba e Jaguari	62,72
UEG4	DO2	Rio Piracicaba	43,55
	JQ1	Afluentes Mineiros do Alto Rio Jequitinhonha	60,32
	JQ2	Rio Araçuaí	61,43
UEG5	JQ3	Afluentes Mineiros do Médio e Baixo Jequitinhonha	60,09
	PA1	Rio Mosquito e Demais Efluentes Mineiro do Rio Pardo	62,32
	SM1	Rio São Mateus	51,96
UEG6	PN1	Afluentes Mineiros do Alto Paranaíba	44,38

Tabela 7. Circunscrições Hidrográficas no cenário favorável e Índices de Tratamento de Esgoto para 2020.

Cenário Favorável				ICE (%)	Cenário
Código	Circunscrição Hidrográfica		ITE (%)		
UEG1	SF1	Afluentes do Alto Rio São Francisco	70,83	82,78	Favorável
	SF5	Rio das Velhas	87,06	72,70	Moderado
	SF6	Rios Jequitai e Pacuí	69,81	34,66	Alerta
	SF7	Rio Paracatu	94,02	62,72	Alerta
UEG2	SF9	Afluentes Mineiros do Médio São Francisco	100,00	19,85	Alerta
	SF10	Rio Verde Grande	99,79	55,03	Alerta
UEG3	GD8	Afluentes do Baixo Rio Grande	82,31	90,89	Favorável
UEG5	MU1	Afluentes Mineiros do Rio Mucuri	82,03	58,15	Alerta
	PN2	Rio Araguari	88,91	83,63	Favorável
UEG6	PN3	Afluentes Mineiros do Baixo Rio Paranaíba	79,45	73,27	Moderado

Verifica-se que os resultados para o Índice de Tratamento de Esgoto variaram entre 69,81%, valor encontrado para a SF6 – Rios Jequitai e Pacuí, e 100% na SF9 – Afluentes Mineiros do Médio São Francisco, ambas localizadas na UEG2, Afluentes do Médio Rio São Francisco. Ressalta-se que na bacia dos Afluentes Mineiros do Médio São Francisco, o Índice de Coleta de Esgoto foi de 19,85% – cenário de alerta. Assim, apesar de todo o esgoto coletado ser tratado na referida bacia, a universalização da coleta ainda é uma realidade distante, visto que 80,15% do esgoto gerado não é

coletado. Cumpre lembrar, que a amostra válida para a SF9 é inferior a 50% e, por isso, a análise dos dados deve ser realizada com cautela.

Diante das informações apresentadas na Tabela 7, percebe-se que além da bacia dos Afluentes Mineiros do Médio São Francisco, também estão na situação de alerta para coleta de esgoto as Circunscrições Hidrográficas SF6 – Rios Jequitai e Pacuí, SF7 – Rio Paracatu, SF10 – Rio Verde Grande e MU1 – Afluentes Mineiros do Rio Mucuri. Sendo assim, apesar das referidas CHs terem avançado no tratamento do esgoto coletado,

ainda é necessário ampliar o volume de esgoto gerado que é coletado.

Por outro lado, as Circunscrições Hidrográficas SF1 – Afluentes do Alto Rio São Francisco, GD8 – Afluentes do Baixo Rio Grande e PN2 – Rio Araguari além de estarem alocados em cenário favorável para tratamento de esgoto, também se encontram em cenário favorável para a coleta de esgoto.

Salienta-se que o artigo 11-B da Lei Federal nº 14.026/2020 preconiza que no mínimo 90% da população de cada município deve dispor de tratamento de esgoto até dezembro de 2033. Cumpre esclarecer, que o indicador apresentado neste estudo é calculado tendo como referência o volume de esgoto coletado que é tratado e não a população atendida pelo serviço de tratamento de esgoto sanitário. Assim, o alcance de 90% do esgoto tratado em relação ao coletado não garante o atingimento da meta de 90% da população com coleta e tratamento de esgoto.

Diante dos resultados aquém do cenário favorável em termos de coleta e tratamento de efluentes domésticos, quais seriam os principais entraves para universalizar os serviços de esgotamento sanitário?

O Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional (MDR, 2021b), no documento Panorama do Saneamento Básico, aborda algumas das possíveis causas para a precariedade dos serviços de esgotamento sanitário, a saber: descontinuidade de políticas públicas quando das mudanças de governo, ausência de planejamento, ineficiência na gestão dos prestadores de serviços, carência de recursos financeiros por parte dos entes federativos, fragilidade da fiscalização, regulação incipiente no setor, ligações factíveis.

Outro desafio são os domicílios localizados em áreas irregulares, fato que dificulta a instalação de redes de esgotos e evidencia uma desarticulação entre as políticas de planejamento urbano e de saneamento básico (MDR, 2021b). O Panorama do Saneamento Básico também aborda sobre o maior foco dado às áreas urbanas em comparação às rurais. Os serviços de esgotamento sanitário na área rural, em geral, referem-se a tecnologias alternativas, como fossa séptica, fossa filtro, círculo de bananeiras.

Cumpre salientar que segundo Junho (2021), a grande maioria da população do Estado de Minas Gerais reside em zona rural. A autora destacou que em cidades menos populosas foram observados casos em que mais da metade da

população reside em zona rural, por outro lado, em cidades mais populosas praticamente não se verificou população residente em zona rural.

Lisboa, Heller e Silveira (2013) identificaram as principais dificuldades no processo de planejamento do saneamento básico a nível municipal, principalmente em municípios de menor porte. A pesquisa teve como base estudo realizado com 15 municípios localizados na Zona da Mata de Minas Gerais. Os autores perceberam que os principais obstáculos ao planejamento são: a escassez de recursos financeiros, a limitação da qualificação profissional e capacidade técnica municipal, desarticulação entre as entidades, falta de vontade política.

Para além dos resultados do presente estudo, cumpre citar o Índice de Avaliação do Sistema de Esgotamento Sanitário Municipal (IESM), elaborado pela Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável do Estado de Minas Gerais. O referido índice é composto pelos indicadores percentual de coleta, percentual de tratamento e regularização ambiental. Este último é composto de três subindicadores: estação de tratamento de esgoto regularizada, monitoramento ambiental e ICMS Ecológico (com critério para o saneamento). Os resultados divulgados evidenciam que em 2020, 563 dos municípios mineiros estavam em situação considerada “alarmante”, 50 estavam em situação “ruim”, 123 foram classificados como “médio” e 112 como “bom” (Minas Gerais, 2022). Os resultados confirmam que é imperativo priorizar investimentos no setor de esgotamento sanitário.

Diante do exposto, destacam-se como ações importantes a serem consideradas pelos responsáveis e envolvidos com políticas públicas relacionadas aos serviços de esgotamento sanitário:

- Qualificar equipes das secretarias municipais e estaduais com o intuito de aprofundar questões de ordens técnicas e políticas.
Responsabilidades: Estado e municípios.
Benefícios: facilitar as discussões com o prestador de serviços, incentivar a inovação no saneamento, reduzir o desperdício de recurso público, fortalecer a continuidade das ações.
- Pesquisar exemplos de sucesso – *benchmarking*. O foco inicial podem ser os municípios do próprio Estado e que já

estão próximos da universalização dos serviços de coleta e tratamento.

Responsabilidades: Estado, municípios e prestadores de serviços.

Benefícios: aplicar boas práticas, fortalecer os processos decisórios, ser exemplo de sucesso.

- Planejar ações de curto e médio prazos, com estabelecimento de metas específicas e mensuráveis aplicadas à realidade municipal, com vistas ao alcance da meta de referente ao ano de 2033, quando, no mínimo, 90% da população de cada município deve dispor de coleta e tratamento de esgoto, conforme preconizado pela legislação federal.

Responsabilidades: prestadores de serviços, municípios e Estado, que pode oferecer treinamento no tema planejamento estratégico aos municípios.

Benefícios: fortalecer os processos decisórios, promover maior confiança e previsibilidade para cumprir a meta prevista para 2033.

- Atuar em áreas de vulnerabilidade social, de maneira a mobilizar e capacitar pontos focais para atuarem como incentivadores do saneamento básico. Moradores de áreas urbanas vulneráveis podem ser contratados pelos prestadores de serviços ou município com o intuito de sensibilizar os demais cidadãos sobre a importância da coleta e do tratamento de esgoto.

Responsabilidades: Estado, municípios, prestadores de serviços, agências reguladoras.

Benefícios: construir senso de pertencimento, valorizar o cidadão, gerar renda.

- Fortalecer a obrigatoriedade, consolidar a regulamentação e fiscalizar a ligação dos usuários à rede coletora de esgoto.

Responsabilidades: municípios, prestadores de serviços e agências reguladoras de saneamento básico.

Benefícios: reduzir o lançamento de efluentes domésticos na rede de drenagem e destinar o esgoto para a tratamento, quando disponível.

Cumprir citar que caso a rede pública de coleta de esgoto esteja disponível para o usuário e a ligação não seja solicitada, o cidadão estará

sujeito ao pagamento de taxas, tarifas e outros preços públicos (Brasil, 2020).

No entanto, existem situações em que instalar sistema de esgotamento dinâmico pode ser inviável economicamente. Segundo Brasil (2019), em áreas onde as residências são mais isoladas, como nas regiões rurais, ou em áreas de baixa densidade habitacional, os custos envolvidos com a instalação de rede coletora de esgoto são elevados, fato que inviabiliza sua implantação. Sendo assim, sugere-se a adoção de sistema de esgotamento sanitário estático, uma solução alternativa que consiste em coletar localmente o esgoto e direcioná-lo à tanque séptico seguido de tratamento complementar e disposição final segura do efluente e dos subprodutos.

Índice de Perdas de Água Ligação

Em primeiro lugar é importante salientar que as perdas de água podem ser reais ou aparentes, sendo que uma parcela é inevitável. Cumpre destacar que não existe perda zero, pois existem limitações técnicas e/ou econômicas para reduzi-las (Bastos, Hamdan e Campos, 2022). Nesse contexto, quando dois ou mais sistemas de abastecimento são comparados, pode ocorrer de um possuir IPL maior, mas ter suas perdas reais próximas a um nível inevitável, por exemplo.

Alguns aspectos devem ser destacados, considerando a multiplicidade de fatores que influenciam as perdas de água em sistemas de abastecimento e que dificultam a comparação entre sistemas: tipo de prestador de serviços, número de habitantes, topografia da região em que o sistema de abastecimento está instalado (Arsae-MG, 2021); operação do sistema (Tardelli, 2016).

A **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, apresenta o Mapa de Oportunidades para Segurança Hídrica em Minas Gerais referente ao ano de 2020 para o Índice de Perdas por Ligação.

Pela análise das informações apresentadas na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** é possível perceber que, pela metodologia adotada neste trabalho, foram alocadas no cenário de alerta 07 Circunscrições Hidrográficas, o que representa 19% do total de 36 CHs; no cenário moderado 12 CHs, 33%; e no cenário favorável 17 CHs, 47%.

Em relação aos cenários observados, o de alerta foi observado na Região Metropolitana de Belo Horizonte e pontualmente no Triângulo Mineiro, Vale do Rio Doce e Zona da Mata, abrangendo as seguintes Circunscrições Hidrográficas: SF3 (Rio Paraopeba), SF5 (Rio das

Velhas), GD8 (Afluentes do Baixo Rio Grande), DO2 (Rio Piracicaba), DO4 (Rio Suaçuí), PN2 (Rio Araguari) e PS1 (Afluentes Mineiros dos Rios Preto e Paraibuna).

Os valores do Índice de Perdas por Ligação para esse cenário variaram entre 263,30 L/lig./dia, PN2 (Rio Araguari), e 441,38 L/lig./dia, SF5 (Rio das Velhas), resultados que podem ser verificados na Tabela 8. A referida tabela também apresenta o intervalo da população municipal residente com abastecimento de água, segundo o IBGE, em cada uma das Circunscrições Hidrográficas.

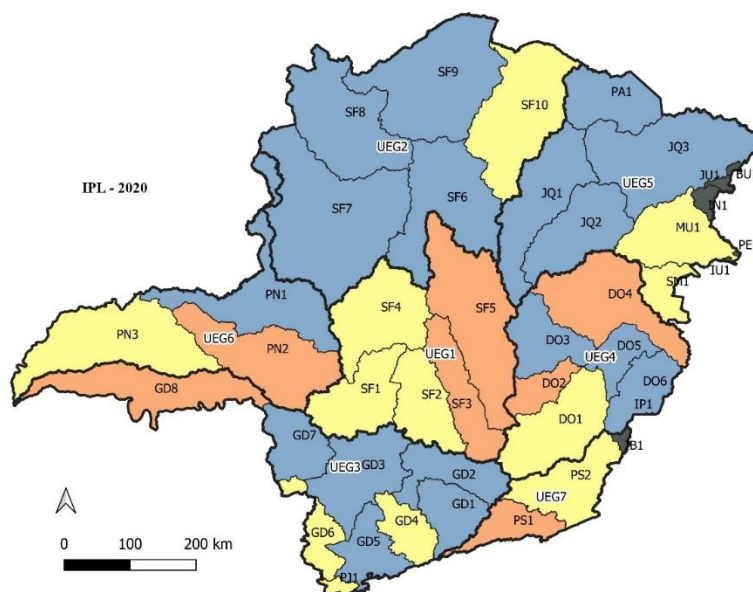
Nas bacias do Rio Paraopeba e Rio das Velhas, inseridas na UEG1, Afluentes do Alto Rio São Francisco, estão localizados municípios da Região Metropolitana de Belo Horizonte, onde o controle de perdas de água em sistemas de abastecimento de água tem gestão mais complexa diante da densidade populacional e outras particularidades da região, como as áreas de vulnerabilidade social, regiões que, em geral, se concentram ligações clandestinas.

Destaque para Belo Horizonte, localizada na bacia do Rio das Velhas, com a maior população dentre as CHs dispostas no cenário de alerta – 2.521.564 habitantes com abastecimento de água, segundo o IBGE, e cujas perdas alcançaram 462,26 L/lig./dia em 2020. O referido município é

composto por zona urbana, possui diversas ocupações irregulares em seu território, seu relevo é declivoso e o serviço de abastecimento de água é realizado por prestador regional. Outros municípios de destaque que compõem a Região Metropolitana são Contagem, Ribeirão das Neves, Sabará, Santa Luzia e Vespasiano, regiões populosas da SF5 onde o nível de perdas de água variou entre 454,59 e 624,55 L/lig./dia em 2020.

Em relação à SF3 – Rio Paraopeba, onde localizam-se, dentre outros municípios, Betim, Conselheiro Lafaiete, Ibirité e Esmeraldas, o nível de perdas de água variou em 2020 entre 194,03 L/lig./dia – Conselheiro Lafaiete – e 414,79 L/lig./dia – Betim.

Vale destacar que para a Circunscrição Hidrográfica PS1 – Afluentes Mineiros dos Rios Preto e Paraibuna, a amostra válida de municípios para cálculo do IPL é inferior a 50%, evidenciando que os índices de macro e micromedição na referida bacia hidrográfica precisam ser ampliados, diante do percentual mínimo de 90% considerado para este estudo. Salienta-se que a interpretação do resultado para a referida bacia deve ser feita com cautela, pois os municípios que compõem a amostra de estudo podem não representar a realidade.



Legenda:		Quantitativo de CH	
	UEG	Cenário	
	Cenário de Alerta	Alerta	
	Cenário Moderado	(IPL $\geq$ 250	7 19%
	Cenário Favorável	L/lig./dia)	
	CH não estudadas	Moderado	
		(150 $\leq$ IPL < 250	
		L/lig./dia)	12 33%
		Favorável	
		(IPL < 150	
		L/lig./dia)	17 47%

Figura 8. Mapa de Oportunidades para Segurança Hídrica em Minas Gerais: Índice de Perdas por Ligação – Cenário 2020.

Outra Circunscrição Hidrográfica que está entre as piores no cenário de alerta é a GD8 – Afluentes do Baixo Rio Grande, bacia que dentre outros municípios abrange Uberaba e Frutal, localidades que estão em situações bem distintas no âmbito de perdas de água, com, respectivamente, 435,56 e 97,60 L/lig./dia. Uberaba tem a maior população abastecida com água na bacia, 337.092 habitantes, sendo o serviço prestado pela administração direta. Frutal possui cerca de 60.000 habitantes e o serviço é de responsabilidade de prestador regional.

Diante do apresentado para o cenário de alerta, percebe-se que existem municípios com níveis maiores e menores de perdas de água, no entanto, pelas condições estabelecidas neste estudo, a situação das Circunscrições Hidrográficas

elencadas é de alerta. Esse fato deve ser considerado pelos responsáveis pelos sistemas de abastecimento e pelo poder público, a fim de que os níveis ótimos de perdas sejam definidos – considerando as capacidades técnica e econômica, e que as ações contínuas para reduzir e controlar perdas de água sejam planejadas e executadas conforme as particularidades de cada sistema de abastecimento que compõe as CHs. Salienta-se que reduzir perdas significa captar menores volumes de água bruta para fins de tratamento e distribuição para atender uma mesma população. Como consequência espera-se um maior volume de recurso hídrico disponível nos mananciais para os usos múltiplos e conservação ambiental.

Tabela 8. Circunscrições Hidrográficas no cenário de alerta e Índices de Perdas por Ligação para 2020.

Cenário de Alerta				
Código	Circunscrição Hidrográfica		IPL (L/lig./dia)	População (habitantes com serviço de água)
UEG1	SF3	Rio Paraopeba	299,78	3.754 – 444.784
	SF5	Rio das Velhas	441,38	2.202 – 2.521.564
UEG3	GD8	Afluentes do Baixo Rio Grande	298,97	1.992 – 337.092
UEG4	DO2	Rio Piracicaba	355,72	6.133 – 265.409
	DO4	Rio Suaçuí	302,20	3.179 – 281.046
UEG6	PN2	Rio Araguari	263,30	3.643 – 699.097
UEG7	PS1	Afluentes Mineiros dos Rios Preto e Paraibuna	284,56	2.987 – 573.285

O cenário moderado foi observado nas regiões Central e Oeste do Estado e pontualmente no Triângulo Mineiro, Norte, Vale do Rio Doce, Zona da Mata e Vale do Mucuri, abrangendo Circunscrições Hidrográficas em todas as

Unidades de Gestão de Recursos Hídricos. Os valores do Índice de Perdas por Ligação para esse cenário variaram entre 151,03 L/lig./dia, SF4 – Entorno da Represa de Três Marias, e 225,06

L/lig./dia, PJ1– Rios Piracicaba e Jaguari, conforme pode ser verificado na Tabela 9.

Em relação à SF4 – Entorno da Represa de Três Marias, o município com maior IPL em 2020 foi Pompéu, com 236,74 L/lig./dia – 32.035 habitantes abastecidos com água, e o menor foi Varjão de Minas, com 23,05 L/lig./dia, município com 7.138 habitantes. Já os municípios com maior e menor população abastecida com água, segundo o IBGE, são, respectivamente, São Gotardo, com 35.782 habitantes e IPL de 159,25 L/lig./dia e Cedro do Abaeté, com 1.157 habitantes e IPL alcançando 62,64 L/lig./dia em 2020. Todas as localidades citadas são atendidas por prestador regional.

O maior IPL foi verificado em Extrema, 283,92 L/lig./dia, cidade com 36.951 habitantes, e o menor, 98,53 L/lig./dia, foi observado em Itapeva, com 9.881 habitantes abastecidos com água em 2020, segundo o IBGE.

Vale destacar que para as Circunscrições Hidrográficas GD4 – Rio Verde, MU1 – Afluentes Mineiros do Rio Mucuri e SM1 – Rio São Mateus, a amostra válida de municípios para cálculo do IPL é inferior a 50%, sendo assim, a interpretação dos resultados para as referidas bacias deve ser feita

com cautela, visto que os municípios que compõem a amostra de estudo podem não representar com veracidade a situação das regiões.

O cenário favorável foi observado na região Norte, Nordeste, Jequitinhonha, Vale do Mucuri, Vale do Rio Doce, Sul, Sudoeste de Minas Gerais e pontualmente no Triângulo Mineiro. Os valores do Índice de Perdas por Ligação para esse cenário variaram entre 77,59 L/lig./dia, DO6 (Rio Manhuaçu), e 147,06 L/lig./dia, GD3 (Entorno do Reservatório de Furnas), como pode ser verificado na Tabela 10.

Vale destacar que para as Circunscrições Hidrográficas JQ1 – Afluentes Mineiros do Alto Rio Jequitinhonha, JQ2 – Rio Araçuaí e JQ3 – Afluentes Mineiros do Médio e Baixo Jequitinhonha, a amostra válida de municípios para cálculo do IPL é inferior a 50%. A interpretação dos resultados para as referidas bacias deve ser realizada com atenção, visto que os municípios que compõem a amostra de estudo podem não representar a realidade das regiões, destaque para a JQ1 com menos de 20% de amostra válida.

Tabela 9. Circunscrições Hidrográficas no cenário moderado e Índices de Perdas por Ligação para 2020.

Cenário Moderado				
	Código	Circunscrição Hidrográfica	IPL (L/lig./dia)	População (habitantes com serviço de água)
UEG1	SF1	Afluentes do Alto Rio São Francisco	151,80	776 – 40.380
	SF2	Rio Pará	167,43	3.152 – 240.408
	SF4	Entorno da Represa de Três Marias	151,03	1.157 – 35.782
UEG2	SF10	Rio Verde Grande	196,28	3.164 – 413.487
	GD4	Rio Verde	178,06	7.120 – 136.602
UEG3	GD6	Afluentes Mineiros dos Rios Mogi–Guaçu e Pardo	219,08	3.492 – 168.641
	PJ1	Rios Piracicaba e Jaguari	225,06	6.297 – 36.951
UEG4	DO1	Rio Piranga	188,22	2.728 – 59.875
UEG5	MU1	Afluentes Mineiros do Rio Mucuri	205,51	8.713 – 140.937
	SM1	Rio São Mateus	193,02	3.573 – 27.647
UEG6	PN3	Afluentes Mineiros do Baixo Rio Paranaíba	173,20	4.284 – 105.255
UEG7	PS2	Afluentes Mineiros dos Rios Pomba e Muriaé	196,87	1.587 – 116.797

Por outro lado, destaque para a Circunscrição Hidrográfica PA1 – Rio Mosquito e demais Afluentes Mineiros do Rio Pardo, com 100% dos municípios válidos na amostra. As localidades com menor e maior IPL nesta

Circunscrição Hidrográfica são, respectivamente, Divisa Alegre, IPL de 56,85 L/lig./dia e 6.868 habitantes abastecidos com água, e Ninheira, com perdas de 166,57 L/lig./dia e 10.326 habitantes. A cidade com maior número de habitantes

abastecidos com água é Taiobeiras, 34.397 habitantes, sendo que o IPL foi 74,45 L/lig./dia em 2020. Berizal, por outro lado, possui a menor população abastecida com água, 4.764 habitantes, e IPL de 63,16 L/lig./dia. Todos os municípios citados são atendidos por prestador regional.

No que se refere à GD3 – Entorno do Reservatório de Furnas, Campo Belo foi o município com maior IPL, 263,38 L/lig./dia, seguido de Três Pontas, com 250,35 L/lig./dia.

Essas localidades possuem número de habitantes semelhantes, respectivamente, 54.186 e 56.940 habitantes e o serviço de abastecimento de água é prestado pela administração direta. Por outro lado, os menores IPL foram observados nos municípios de Carmo do Rio Claro, 59,08 L/lig./dia, com 21.268 habitantes, e Serrania, 62,66 L/lig./dia, com 7.668 habitantes, ambos com prestação regional do serviço de abastecimento.

Tabela 10. Circunscrições Hidrográficas no cenário favorável e Índices de Perdas por Ligação para 2020.

(continua)

Cenário Favorável				
Código		Circunscrição Hidrográfica	IPL (L/lig./dia)	População (habitantes com serviço de água)
UEG2	SF6	Rios Jequitai e Pacuí	85,80	3.824 – 32.405
	SF7	Rio Paracatu	123,37	3.826 – 93.862
	SF8	Rio Urucuia	86,19	9.688 – 17.173
	SF9	Afluentes Mineiros do Médio São Francisco	83,18	4.914 – 67.852
	GD1	Afluentes Mineiros do Alto Rio Grande	95,64	2776 – 12.206
UEG3	GD2	Vertentes do Rio Grande	130,23	3.402 – 104.783
	GD3	Entorno do Reservatório de Furnas	147,06	2.376 – 80.494
	GD5	Rio Sapucaí	136,48	2.548 – 152.549

Tabela 11. Circunscrições Hidrográficas no cenário favorável e Índices de Perdas por Ligação para 2020.

Cenário Favorável				
Código	Circunscrição Hidrográfica	IPL (L/lig./dia)	População (habitantes com serviço de água)	
UEG4	GD7	Afluentes do Médio Rio Grande	125,16	4.244 – 71.445
	DO3	Santo Antônio	137,45	1.633 – 35.369
	DO5	Rio Caratinga	142,70	3.466 – 92.603
	DO6	Rio Manhuaçu	77,59	2.806 – 26.961
	JQ1	Afluentes Mineiros do Alto Rio Jequitinhonha	109,72	5.982
UEG5	JQ2	Rio Araçuaí	102,09	4.105 – 38.057
	JQ3	Afluentes Mineiros do Médio e Baixo Jequitinhonha	82,18	5.217 – 42.143
	PA1	Rio Mosquito e Demais Efluentes Mineiro do Rio Pardo	89,67	4.764 – 34.397
UEG6	PN1	Afluentes Mineiros do Alto Paranaíba	95,82	1.387 – 153.585

(continuação)

Seguem algumas ações práticas que podem ser realizadas para possibilitar que mais água esteja disponível nos mananciais, colaborando para a segurança hídrica:

- Pesquisar exemplos de sucesso – *benchmarking* – em referências nacionais e internacionais, atentando-se para as particularidades dos sistemas de abastecimento.
Responsabilidades: prestadores de serviços e agências reguladoras.
Benefícios: aplicar boas práticas, fortalecer os processos decisórios, ser exemplo de sucesso.
- Planejar ações de curto, médio e longo prazos, com estabelecimento de metas específicas e mensuráveis aplicadas à realidade dos sistemas de abastecimento, com vistas ao atendimento do preconizado pelo Ministério do Desenvolvimento Regional na Portaria nº 490, de 22 de março de 2021 (MDR, 2021c).
Responsabilidades: prestadores de serviços, com apoio das agências reguladoras.
Benefícios: fortalecer os processos decisórios, promover maior confiança e previsibilidade para cumprir as metas previstas, acessar recursos públicos em caso de cumprimento de metas.
- Regular incentivos tarifários relacionados aos índices de perdas de água.
Responsabilidade: agências reguladoras.
Benefícios: incentivar a gestão do controle e redução das perdas nos sistemas de abastecimento de água, gerar economia de custos e mão de obra para tratamento de água de maneira, reduzir as tarifas pagas pelos usuários.

Outras ações envolvem a atuação em linhas de frente no âmbito operacional. Ressalta-se que a redução e o controle de perdas de água perpassam pela ação proativa e priorização do tema pelo responsável prestador de serviços. Cheung *et al.*

(2009, p. 48) apresentam perguntas e estratégias que podem auxiliar no diagnóstico e direcionamento de condutas para fins de gestão de perdas de água:

Quanto de água está sendo perdida?

Estratégias: verificar continuamente os medidores, calibrar os macromedidores, aprimorar os procedimentos de leitura.

Onde a água está sendo perdida?

Estratégias: inspecionar os sistemas de adução e distribuição, investigar histórico dos clientes.

Por que a água está sendo perdida?

Estratégias: investigar histórico de falhas do sistema, verificar se há práticas operacionais deficientes.

Como melhorar o desempenho do sistema?

Estratégias: manter os registros dos sistemas atualizados, adotar a setorização, monitorar vazamentos, identificar caudas de perdas aparentes, elaborar planos de ação de curto, médio e longo prazos.

Como sustentar o desempenho do sistema?

Estratégias: treinar e sensibilizar a equipe, monitorar os planos de ação, envolver a sociedade em programas de conservação de água.

Análise conjunta dos índices

Destacam-se na Tabela 12 as Circunscrições Hidrográficas que estão em cenário de alerta em pelo menos dois indicadores, regiões onde sugere-se maior urgência no planejamento e efetivação de ações tangíveis em busca da melhoria dos índices. As cores laranja, amarelo e azul evidenciam, respectivamente, o cenário de alerta e os cenários moderado e favorável.

Constata-se que as problemáticas comuns às sete Circunscrições Hidrográficas são a precariedade na coleta e no tratamento de esgoto. Observa-se, ainda, que os resultados para ICE, ITE e IPL repercutiram em cenário de alerta para a Circunscrição Hidrográfica Rio Paraopeba e Afluentes Mineiros dos Rios Preto e Paraibuna. Já para o Entorno da Represa de Três Marias, Rio Urucuia, Santo Antônio, Rio Caratinga e Afluentes Mineiros dos Rios Pompa e Muriaé, o ICE e o ITE são índices que merecem mais atenção das entidades envolvidas.

Tabela 12. Circunscrições Hidrográficas classificadas em pelo menos dois cenários de alerta e resultados para ICE, ITE e IPL em 2020.

Código	Circunscrição Hidrográfica		ICE (%)	ITE (%)	IPL (L/lig./dia)
UEG1	SF3	Rio Paraopeba	59,68	32,67	299,78
	SF4	Entorno da Represa de Três Marias	51,11	29,65	151,03
UEG2	SF8	Rio Urucuia	47,43	25,97	86,19
UEG4	DO3	Santo Antônio	60,68	15,69	137,45
	DO5	Rio Caratinga	68,14	21,46	142,70
UEG7	PS1	Afluentes Mineiros dos Rios Preto e Paraibuna	72,21	5,44	284,56
	PS2	Afluentes Mineiros dos Rios Pomba e Muriaé	72,10	7,70	196,87

É importante ressaltar que a precariedade do acesso aos serviços de coleta e tratamento de esgoto sanitário, bem como as perdas de água significativas nos sistemas de abastecimento reduzem a resiliência hídrica. Nesse contexto, cumpre salientar outro aspecto: a mudança climática. Como exposto por Stringer *et al.* (2021), a segurança hídrica abrange aspectos de disponibilidade, acessibilidade, qualidade e estabilidade e as alterações climáticas afetam diretamente todas essas quatro dimensões.

A mudança climática pode alterar a hidrologia das bacias hidrográficas nas próximas décadas, impactando a segurança dos recursos hídricos, afetando a quantidade e qualidade de água disponível para consumo humano e para atender as funções da natureza. As alterações climáticas influenciarão significativamente na problemática da escassez de água (Ballarin *et al.*, 2023; Ricart *et al.*, 2021). De maneira mais detalhada, conforme exposto por Mahato, Upadhyay e Sharma (2022), a mudança climática aumenta a frequência e intensidade de eventos climáticos extremos, como inundações, secas, ciclones, ondas de calor e de frio; altera o ciclo da água; favorece o esgotamento dos recursos hídricos; aumenta a variabilidade de precipitação; favorece a intrusão de água salgada nos aquíferos; amplia a procura de irrigação; e diminui a umidade do solo.

Conclusões

O saneamento básico é parceiro na construção da segurança hídrica nas bacias hidrográficas e os indicadores são ferramentas que podem auxiliar na compreensão dos cenários e na tomada de decisão. Atuar na expansão dos índices de coleta e tratamento de efluentes domésticos – melhoria e manutenção da qualidade da água bruta – e na redução e no controle de perdas de água – incrementa a disponibilidade de água para os usos múltiplos – são caminhos para ampliar a segurança hídrica nos mananciais superficiais e subterrâneos,

principalmente no que concerne ao aspecto da oferta de água.

Os resultados encontrados neste estudo evidenciaram os cenários dos índices de esgotamento sanitário e perdas de água no âmbito das bacias hidrográficas, realidades que devem ser consideradas pelas entidades envolvidas com o saneamento básico para fins de atuação proativa com vistas a ampliar a oferta hídrica. Nesse aspecto, é fundamental considerar as particularidades para planejar e executar ações em busca da melhoria dos índices e redução das vulnerabilidades hídricas.

Em resumo, para o ano de 2020, as principais percepções deste trabalho foram as seguintes:

- Índices de Coleta e de Tratamento de Esgotos: importante verificar as fragilidades de cada CH, a fim de alocar esforços e destinar os recursos financeiros.
- Índice de Perdas por Ligação: necessário avançar nos índices de macro e micromedição, principalmente nos municípios que integram a UGE5 – Afluentes dos Rios Mucuri, São Mateus, Jequitinhonha e Pardo. Dados confiáveis auxiliam a definir com mais eficiência e eficácia as ações para controle e redução de perdas de água nos sistemas de abastecimento.

As Circunscrições Hidrográficas Rio Paraopeba, Afluentes Mineiros dos Rios Preto e Paraibuna, Entorno da Represa de Três Marias, Rio Urucuia, Santo Antônio, Rio Caratinga e Afluentes Mineiros dos Rios Pomba e Muriaé se destacaram, pois se enquadraram em cenário de alerta para ao menos dois indicadores. Nesse contexto, verificou-se que as referidas Circunscrições Hidrográficas

têm um aspecto em comum: a precariedade na coleta e no tratamento de esgoto.

Cumprir pontuar que para minimizar a fragmentação entre a gestão de recursos hídricos e o setor de saneamento básico é fundamental que haja maior aproximação entre os entes federal, estadual e municipal, bem como entre as instituições da sociedade civil organizada. Uma ferramenta interessante pode ser a realização de fóruns de discussão, que poderá incluir definição de metas e ações efetivas.

Desenvolver novos estudos e ferramentas é essencial para melhor compreensão dos cenários de estresse hídrico a nível de bacias hidrográficas, tendo-se como referência os setores de recursos hídricos e saneamento básico, notadamente interrelacionados. Afinal, proteger as fontes produtoras de água é um investimento para a segurança hídrica.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001. Agradecemos também ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos – PROFÁGUA, Projeto CAPES/ANA AUXPE Nº. 2717/2015.

Referências

- Agência Nacional de Águas - ANA. 2022. Plano Nacional de Segurança Hídrica. <https://pnsh.ana.gov.br/seguranca>.
- Agência Reguladora de Serviços de Abastecimento de Água e de Esgotamento Sanitário do Estado de Minas Gerais - Arsae-MG. 2021. ProSun: Regulação por Exposição. Valores de Referência 1º Ciclo de Avaliação. Arsae-MG. <https://sites.google.com/view/prosun/valores-de-refer%C3%Aancia?authuser=0>.
- Aguiar, L. K. 2023. Segurança hídrica e seu tratamento jurídico no o regime de responsabilidade penal pela poluição hídrica no Brasil e na Espanha. Em: Melgarejo Moreno, Joaquín; López Ortiz, M^a Inmaculada; Fernández Aracil, Patricia. Seguridad hídrica. Alacant: Universitat d'Alacant. https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/137428/1/Seguridad-Hidrica_2023_57.pdf.
- Babbie, E. 2007. The Practice of Social Research. 11th ed.

- Babuna, P.; Yang, X.; Tulcan, R. X. S.; Dehui, B.; Takase, M.; Guba, B. Y.; Han, C.; Awudi, D. A.; Li, M. 2023. Modeling water inequality and water security: The role of water governance. Journal of Environmental Management, Volume 326, Part B. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116815>
- Ballarin, A. S.; Uchôa, J. G. S. M.; Santos, M, S. dos, Almagro, A.; Miranda, I. P.; Silva, P. G. C. da; Silva, G. J. da; Júnior M. N. G.; Wendland, E.; Oliveira, P. T. S. 2023. Brazilian Water Security Threatened by Climate Change and Human Behavior. Water Resources Research, Volume59, Issue7. <https://doi.org/10.1029/2023WR034914>.
- Bastos, M. M. A.; Hamdan, O. H. C.; Campos, L. F. A. 2022. Perdas de água e regulação: conceitos, indicadores, planejamento e gestão de ativos. Belo Horizonte. Arsae-MG. 73 p. http://www.arsae.mg.gov.br/wp-content/uploads/2022/02/Publicacao_Perdas_Arsae.pdf.
- Belmans, E.; Borremans, L, Kristensen, L. S.; Suciu, N, A.; Kerselaers, E. 2021. The WaterProtect governance guide: Experiences from seven agricultural and drinking water production catchments across Europe. Science of The Total Environment. Volume 761. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143867>.
- Brasil. 2019. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. Manual de saneamento / Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde. 5.ed. Brasília: Funasa, 545 p. <https://repositorio.funasa.gov.br/handle/123456789/506>.
- _____. 2020. Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000. https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/l14026.htm.
- Campos, V. C; Junior, J, C, Z. 2022. Avaliação do índice de cobertura de esgoto no mundo no período de 2000 a 2020: situação do indicador nos países e importância do monitoramento desta informação. International Journal of Latest Research in Humanities and Social Science (IJLRHSS). Volume 05 - Issue 05. <http://www.ijlrhss.com/paper/volume-5-issue-5/14-HSS-1347.pdf>.
- Carneiro, D. M.; Nagamati, D.; Pereira, S.; Rocha, W. 2015. Avaliação dos procedimentos utilizados em pesquisas tipo survey em publicações de contabilidade gerencial com

- ênfase em custos no Brasil. XIV Congresso Internacional de Custos. II Congresso Colombiano de Custos e Gestión. Medellín, Colombia. <https://intercostos.org/documentos/congreso-14/138.pdf>.
- Cheung, P. B.; Kiperstok, A.; Cohim, E.; Alves, W. C.; Philippi, L. S.; Zanella, L.; Abe, N.; Gomes, H. P.; Silva, B. C.; Pertel, M.; Gonçalves, R. F. 2009. Consumo de Água. In: Gonçalves, R. F. (Org.) Conservação de água e energia em sistemas prediais e públicos de abastecimento de água. Rio de Janeiro: ABES. p. 36-98. https://www.researchgate.net/publication/303984888_Conservacao_de_agua_e_energia_em_sistemas_prediais_e_publicos_de_abastecimento_de_agua.
- Cubula, B. S. 2013. Os erros não amostrais e os fatores da não-resposta em inquéritos por amostragem na cidade de Maputo. Dissertação. Instituto Superior de Estatística e Gestão de Informação Universidade Nova de Lisboa. <https://run.unl.pt/handle/10362/10497>.
- European Federation of National Associations of Water Services. EurEau. 2021. Drinking water supply and leakage management. Briefing note. <https://www.eureau.org/resources/briefing-notes/5735-eureau-briefing-note-on-drinking-water-supply-and-leakage-management/file>.
- Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado de Minas Gerais - IDE-Sisema. 2022. <https://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/webgis>.
- Instituto Mineiro de Gestão das Águas - IGAM. 2022a. Mapas. <http://comites.igam.mg.gov.br/mapa-unidades-de-planejamento>.
- _____. 2022b. Comitês Estaduais - MG. <https://comites.igam.mg.gov.br/comites-estaduais-mg>.
- Instituto Trata Brasil e GO Associados. Perdas de Água 2023 (SNIS 2021): Desafios para Disponibilidade Hídrica e Avanço da Eficiência do Saneamento Básico no Brasil. <https://tratabrasil.org.br/perdas-de-agua-2023/>.
- Junho, A. L. 2021. Os índices de saneamento básico e de desenvolvimento humano para o Estado de Minas Gerais, um panorama frente ao novo marco do saneamento. Universidade Federal de Itajubá Programa de Pós-Graduação em Engenharia Hídrica. Tese de dissertação. https://repositorio.unifei.edu.br/jspui/bitstream/123456789/2478/1/Disserta%20c3%a7%20c3%a3o_2021149.pdf.
- Lambert, A.; Hirner, W. 2000. Losses from Water Supply Systems: Standard Terminology and Recommended Performance Measures. IWA Blue Pages. <https://waterfund.go.ke/watersource/Downloads/001.%20Losses%20from%20water%20supply%20systems.pdf>.
- Liang, Y.; Cai, Y.; Wang, X.; Li, C.; Liu, W. 2021. Water security assessment with the improvement of modifying the boundary consistency between footprint and provision. Science of The Total Environment. Volume 801. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149639>.
- Lisboa, S. S., Heller, L., & Silveira, R. B. 2013. Desafios do planejamento municipal de saneamento básico em municípios de pequeno porte: a percepção dos gestores. Revista Engenharia Sanitária Ambiental. v.18 n.4. <https://www.scielo.br/j/esa/a/994sJtj6TWMPMFgFGRF8Fzk/abstract/?lang=pt>.
- Mahato, A.; Upadhyay, S.; Sharma, D. 2022. Global Water Scarcity due to Climate Change and its Conservation Strategies With Special Reference to India: A Review. Plant Archives Vol. 22, n. 1. <https://doi.org/10.51470/PLANTARCHIVES.2022.v22.no1.009>.
- Michaelis. 2021. Dicionário Brasileiro da Língua Portuguesa. Indicador. <http://michaelis.uol.com.br/busca?id=7mOqY>.
- Minas Gerais. 2021. Instrução Normativa CERH-MG nº 71, de 22 de dezembro de 2021. Altera a Deliberação Normativa CERH-MG nº 66, de 17 de novembro de 2020 que estabelece as Unidades Estratégicas de Gestão do Estado de Minas Gerais. <https://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=55142>.
- Ministério do Desenvolvimento Regional - MDR (Brasil). 2021a. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - SNIS. Diagnóstico Temático. Serviços de Água e Esgoto. Visão Geral (ano de referência 2020). 91 p. <http://antigo.snis.gov.br/diagnostico-anual-agua-e-esgotos>.
- _____. 2021b. Panorama do Saneamento Básico no Brasil 2021 / Secretaria Nacional de Saneamento do Ministério do Desenvolvimento Regional. Brasília/DF, 223p. <https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/saneamento/snis/produtos-do-snis/panorama-do-saneamento-basico-do-brasil>.

- _____. 2021c. Portaria nº 490, de 22 de março de 2021. <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-n-490-de-22-de-marco-de-2021-309988760>.
- _____. 2022a. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - SNIS. Série Histórica. Municípios. Informações e indicadores municipais consolidados. <http://app4.mdr.gov.br/serieHistorica/>.
- _____. 2022b. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - SNIS. Diagnóstico Anual de Água e Esgoto 2021 (ano de referência 2020). Glossário de Informações. Glossário de Indicadores. <http://antigo.snis.gov.br/diagnostico-anual-agua-e-esgotos>.
- _____. 2023. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - SNIS. Diagnóstico Anual de Água e Esgoto 2023 (ano de referência 2022). <https://www.gov.br/cidades/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snis/produtos-do-snis/diagnosticos-snis>.
- Mishra, B. K.; Kumar, P.; Saraswat, C.; Chakraborty, S.; Gautam, A. 2021. Water Security in a Changing Environment: Concept, Challenges and Solutions. *Water*, 13(4), 490. <https://doi.org/10.3390/w13040490>.
- Mitchell, G. 1996. Problems and Fundamentals of sustainable development indicators. *Sustainable Development*. Vol. 4, 1-11. https://www.researchgate.net/publication/227651004_Problems_and_Fundamentals_of_Sustainable_Development_Indicators.
- Observatório das Águas. 2021. Recursos Hídricos e Saneamento no mesmo barco. <https://observatoriodasaguas.org/recursos-hidricos-e-saneamento-no-mesmo-barco/>.
- Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento. PNUD Brasil. 2021. Objetivo 6: Água limpa e saneamento. <https://www.br.undp.org/content/brazil/pt/home/sustainable-development-goals/goal-6-clean-water-and-sanitation.html>.
- Octavianti T., Staddon, C. 2021. A review of 80 assessment tools measuring water security. *Wires Water*, Volume 8, Issue 3. <https://doi.org/10.1002/wat2.1516>.
- Ricart, S.; Villar-Navascués, R. A.; Hernández-Hernández, M.; Rico-Amorós, A. M.; Olcina-Cantos, J.; Moltó-Mantero, E. 2021. Extending Natural Limits to Address Water Scarcity? The Role of Non-Conventional Water Fluxes in Climate Change Adaptation Capacity: A Review. *Sustainability*, 13(5), 2473. <https://doi.org/10.3390/su13052473>.
- Stringer, L. C.; Mirzabaev, A.; Benjaminsen, T. A.; Harris, R. M. B.; Jafari, M.; Lissner, T. K.; Stevens, N.; Tirado-von der Pahlen, C. 2021. Climate change impacts on water security in global drylands. *One Earth* 4. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2021.05.010>.
- Tardelli Filho, J. 2016. Aspectos relevantes do controle de perdas em sistemas públicos de abastecimento de água. *Revista DAE*. jan-abr. 2016. 15 p. http://revistadae.com.br/artigos/artigo_edicao_201_n_1622.pdf.
- United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. Unesco. 2022. Water Security. <https://en.unesco.org/themes/water-security>.
- Vörösmarty, C. J.; Stewart-Koster, B.; Green, P. A.; Boone, E. L.; Flörke, M.; Fischer, G.; Wiberg, D. A.; Bunn, S. E.; Bhaduri, A.; McIntyr, P. B.; Sadoff, C.; Liu, H.; Stifel, D. 2021. A green-gray path to global water security and sustainable infrastructure. *Global Environmental Change*, Volume 70. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2021.102344>.
- Water Resilience Coalition. WRC. 2021. About. Both a Human and Business Problem. <https://ceowatermandate.org/resilience/about/>.
- Young, S. L.; Frongillo, E. A.; Jamaluddine, Z.; Melgar-Quinonez, H.; Pérez-Escamilla, R.; Ringler, C.; Rosinger, A. Y. 2021. Perspective: The Importance of Water Security for Ensuring Food Security, Good Nutrition, and Well-being. *Advances in Nutrition*, Volume 12, Issue 4; <https://doi.org/10.1093/advances/nmab003>.