

ÍNDICE DE VULNERABILIDADE ÀS PERDAS DE ÁGUA (IVuPA): CONCEPÇÃO E APLICAÇÃO

Cassiano Gonçalves Simões do CARMO

Rodrigo Lilla MANZIONE

RESUMO

A busca pela sustentabilidade está em alta, especialmente no meio acadêmico, que tem produzido conceitos e ferramentas para tal. A água tratada no Brasil está sendo muito perdida nos sistemas de abastecimento de água (SAA). Além da água, perdem-se também todos os insumos utilizados para o seu tratamento. Os sistemas de abastecimento podem se mostrar vulneráveis às suas perdas devido a fatores econômicos, regulatórios, técnicos e sociais. Eles operam constantemente e sua sequência de operação pode ser compreendida por três cadeias fundamentais: a disponibilidade e capacidade para captar água, a capacidade de transformar água bruta em água tratada e distribuí-la, e a capacidade de converter água tratada em recurso financeiro. Para avaliar essa vulnerabilidade de maneira objetiva, foi proposto o Índice de Vulnerabilidade às Perdas de Água (IVuPa), composto por 6 indicadores com pesos diferentes e por informações públicas para avaliar e classificar os municípios do estado de São Paulo. A aplicação do IVuPa classificou 7 municípios como Extremamente vulneráveis; 125 Muito vulneráveis; 128 Consideravelmente vulneráveis; 162 Pouco vulneráveis; 193 Irrisoriamente vulneráveis; e 30 sem informação. A avaliação isolada desses resultados indica um cenário razoável para o estado de São Paulo. No entanto, a distribuição da população residente nos municípios classificados é de 1,18% como Extremamente vulnerável; 62,42% Muito vulnerável; 19,38% Consideravelmente vulnerável; 8,86% Pouco vulnerável; 6,76% Irrisoriamente vulnerável; e 0,71% sem informação. Esses resultados indicam um cenário preocupante para o estado de São Paulo.

Palavras-chave: Perdas de água; Sistemas de abastecimento de água; Índice; Vulnerabilidade.

ABSTRACT

INDEX OF VULNERABILITY TO WATER LOSSES (IVuPa): CONCEPTION AND APPLICATION. The search for sustainability is on the rise, especially in academia, which has been producing concepts and tools for this purpose. In Brazil, treated water is often wasted in supply systems. As well as water, all the inputs used for its treatment are also lost. Supply systems can show themselves vulnerable to their losses due to economic, regulatory, technical, and social factors. They operate constantly, and their sequence of operation can be understood by three fundamental chains: the availability and capacity to collect water, the capacity to transform raw water into treated water and distribute it, and the capacity to convert treated water into a financial resource. To objectively assess this vulnerability, the Water Loss Vulnerability Index (IVuPa) was proposed, composed of 6 indicators with different weights and public information to evaluate and classify the municipalities of the state of São Paulo. The application of IVuPa classified 7 municipalities as Extremely vulnerable, 125 as Very vulnerable, 128 as Considerably vulnerable, 162 as Slightly vulnerable, 193 as Insignificant vulnerable, and 30 as without information. The isolated evaluation of these results indicates a reasonable scenario for the state of São Paulo. However, the distribution of the resident population in the classified municipalities is 1.18% as Extremely vulnerable, 62.42%

as Very vulnerable, 19.38% as Considerably vulnerable, 8.86% as Slightly vulnerable, 6.76% as Insignificant vulnerable, and 0.71% as without information. These results indicate a worrying scenario for the state of São Paulo.

Keywords: Water losses; Water supply systems; Index; Vulnerability.

1 INTRODUÇÃO

A demanda de água se relaciona com a disponibilidade hídrica, e um desequilíbrio nessa relação pode indicar um risco, interpretado como segurança hídrica. Segundo MOSER (1998), vulnerabilidade é a exposição ao risco e a incapacidade de reação e adaptação. A Agência Nacional de Recursos Hídricos e Saneamento Básico (ANA 2015) define segurança hídrica como a condição que visa garantir quantidade e qualidade aceitável de água para abastecimento, alimentação, preservação de ecossistemas e demais usos, associados a um nível aceitável de riscos relacionados com a água para as pessoas, economias e meio ambiente. Todas essas relações são construídas a partir de diversas e complexas relações, que podem ser simplificadas a partir de indicadores.

A Lei nº 14.026/2020 atualizou o marco legal do saneamento básico no Brasil, institucionalizando o uso de indicadores sanitários, epidemiológicos, ambientais e socioeconômicos para diagnósticos no setor (BRASIL 2020). Essa lei também adicionou à Lei nº 11.445/2007 princípios fundamentais voltados para redução e controle de perdas de água na distribuição e fomento à eficiência energética (BRASIL 2007). O novo marco legal exige que os contratos de serviços públicos de saneamento básico incluam metas expressas de redução de perdas na distribuição de água tratada, sob pena de nulidade.

Os indicadores têm o objetivo social de melhorar a comunicação entre políticos e sociedade em discussões de temas complexos e estratégicos, como a política ambiental e o saneamento básico. Eles tornam perceptíveis fenômenos ou circunstâncias que não são imediatamente detectáveis, sob uma perspectiva específica, diferenciando-se de estatísticas e dados primários (PHILIPPI JUNIOR *et al.* 2012).

Segundo o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS 2023a), o índice médio de perdas na distribuição de água no Brasil em 2021 foi de 40,3% enquanto o limite gradual mínimo é de 25% para 2021 e 2022, e de 16,25% para 2034, proposto para condição de alocação de recursos públicos federais, previsto pela Portaria nº 490 de 2021 do Ministério do Desenvolvimento Regional

(MDR) (BRASIL 2021). Além disso, o Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB), revisado em 2018, propõe uma meta de 31% para 2033. Esses dados mostram uma grande disparidade entre a realidade e as metas para os SAA, evidenciando a necessidade de maiores investimentos na gestão de perdas, seja por meio de pesquisas, metodologias ou recursos financeiros (BRASIL 2019).

O SNIS (2023a) destaca que as perdas de água em SAA são altamente relevantes devido à escassez hídrica, altos custos, principalmente de energia elétrica, e seu impacto na saúde financeira dos prestadores de serviços e usuários. As perdas de água têm impactos ambientais e socioeconômicos integrados. O INSTITUTO TRATA BRASIL (2023) relata que as perdas de água afetam diretamente os custos de produção e a demanda hídrica. Quanto maiores as perdas, maior deve ser o volume captado para compensar a vazão efetivamente demandada. Isso resulta em maiores custos com insumos e energia para bombeamento, maior manutenção da rede e equipamentos, uso excessivo da capacidade de produção e distribuição existente, e maior custo por uso de fontes alternativas de abastecimento de menor qualidade ou difícil acesso. As perdas também pressionam as fontes de abastecimento, aumentam o custo de mitigação dos impactos negativos dessa atividade e afetam outros sistemas produtivos dependentes dos recursos hídricos.

Um Sistema de Abastecimento de Água (SAA) com baixas perdas pode ser mais vulnerável se estiver em uma área com baixa disponibilidade hídrica, comparado a um sistema com altas perdas, mas com maior disponibilidade hídrica. Mesmo entregando água tratada aos usuários, os SAA podem ter baixa eficiência na distribuição e altas perdas, causando impactos internos e externos. Muitas vezes, esses impactos são ignorados, resultando em poucos esforços para mitigá-los. Portanto, é importante identificar quais sistemas são mais vulneráveis para direcionar esforços para redução de suas perdas de água. Isso é necessário porque não apenas a água é perdida, bem como outros recursos limitados e não renováveis, além de pressionar outros sistemas produtivos relacionados à produção de água potável e não potável, afastando esses sistemas da sustentabilidade.

Este estudo propõe a criação de uma metodologia para avaliar e classificar de forma objetiva e simplificada a vulnerabilidade dos SAA em relação às suas perdas de água. O objetivo é desenvolver o Índice de Vulnerabilidade às Perdas de Água (IVuPA), composto por indicadores valoráveis e públicos, para avaliar e classificar a vulnerabilidade dos SAA do estado de São Paulo em relação às suas perdas de água.

Para promover a Governança dos Recursos Hídricos, a segurança da água, a prestação universalizada de serviços de saneamento básico e sistemas produtivos mais sustentáveis, foi desenvolvido o IVuPA. Aplicado no estado de São Paulo, este também pode ser usado em outros estados, pois sua metodologia não é restritiva. Seu objetivo é avaliar a vulnerabilidade dos SAA e evidenciar maiores necessidades de esforços para reduzir as perdas de água nos sistemas mais vulneráveis.

Embora todos os SAA devam buscar um nível operacional de perdas inevitáveis para maior sustentabilidade, ou pelo menos para a sustentabilidade institucional do prestador, é necessário dar maior atenção aos SAA com problemas mais latentes decorrentes das perdas de água.

2 SEGURANÇA HÍDRICA, SISTEMAS DE ABASTECIMENTO E VULNERABILIDADE

A evolução do conceito de segurança hídrica tem evoluído paralelamente à necessidade crescente de sua implementação prática. A definição e compreensão do termo podem variar dependendo do contexto em que é aplicado. Surgido na década de 1990, o conceito tem sido constantemente atualizado, complementando e até substituindo conceitos como “gestão sustentável da água” ou “gestão integrada dos recursos hídricos”. No entanto, o conceito ainda está em desenvolvimento e não há consenso sobre quais elementos devem ser incluídos ou excluídos na definição de segurança hídrica (STADDON & SCOTT 2018, TAYLOR 2021).

A segurança hídrica pode ser abordada de maneiras diferentes, dependendo da disciplina acadêmica e das premissas analíticas de cada estudo. Sob a perspectiva mais abrangente possível sobre governança da água, a abordagem da segurança hídrica assume sua maior abrangência conceitual possível, e nessa, o conceito desenvolve diferentes níveis de conceituação, em função do que se entende também como governança da água (COOK & BAKKER 2012, BAKKER & MORINVILLE 2013).

HOEKSTRA *et al.* (2018) destacam que a segurança hídrica pode ter focos específicos sem reduzir sua abrangência. Uma dessas perspectivas é a segurança hídrica urbana, que deve considerar a integração de informações sobre: análise das condições ambientais e das estruturas de engenharia, resiliência e susceptibilidade a eventos extremos, e o uso de sistemas de indicadores para mensurar essa segurança.

A vulnerabilidade, assim como a segurança hídrica, tem uma conceituação e aplicação variada em abordagens acadêmicas e técnicas. ROTAVA (2014) destaca que existem muitos obstáculos para uma definição geral de vulnerabilidade, dada a variedade de formas como o termo foi definido por autores de diferentes áreas que lidam com a vulnerabilidade. ALMEIDA (2012), após uma análise ampla dos usos deste termo, expõe a complexidade por trás do uso e entendimento do termo, devido à sua multidimensionalidade, que impede um consenso.

MARANDOLA JR. & DANTONA (2014) argumentam que a vulnerabilidade, embora subutilizada, tem potencial para ampliar as dimensões de análise da relação sociedade-natureza. Tradicionalmente, é usada nos estudos ambientais, de saúde e sobre pobreza e exclusão social. Ser ou estar vulnerável não se trata apenas de exposição ou incapacidade. A vulnerabilidade é um conceito útil para ampliar a discussão sobre a segurança humana e os riscos, se observada em sentido neutro, incluindo tanto as fragilidades (susceptibilidade ao dano) quanto às capacidades (respostas e enfrentamento) (ADGER 2006).

PLUMMER *et al.* (2012), relacionam o caráter de vulnerabilidade aplicada aos recursos hídricos, de modo a conceituar essa relação, sobre a ótica da susceptibilidade de um sistema (individual, comunitário, local) a danos em função da exposição a forças externas (choques, estresse, perturbações), sensibilidade do sistema, e a capacidade de resposta do sistema (lidar, recuperar, adaptar).

GLEICK (2015) argumenta que a avaliação da vulnerabilidade dos recursos hídricos é limitada pela escolha dos indicadores, qualidade e disponibilidade dos dados, e detalhes específicos da região avaliada. O autor sugere que a melhor abordagem para essa avaliação é o desenvolvimento de definições claras de ferramentas e métricas, com o objetivo de identificar os riscos dos fatores mais latentes e regionais, produzindo estratégias mais eficazes para reduzir esses riscos.

Dentre os principais usuários dos recursos hídricos, pode-se destacar os SAA, inclusive como o usuário de maior interesse na segurança hídrica ur-

bana, que depende majoritariamente de conjuntos resilientes (distantes de um caráter de vulnerabilidade) para se assim se configurar.

Os SAA são compostos por equipamentos, infraestruturas e serviços que atendem ao consumo doméstico, indústria, comércio e serviço público. Eles geralmente incluem: manancial, captação, estação elevatória, adutora, estação de tratamento de água (ETA), reservatório e rede de distribuição. O objetivo principal de um SAA é fornecer água própria para consumo humano em quantidade adequada e com pressão suficiente (HELLER & PÁDUA 2016). O esquema genérico da sequência e composição dos SAA pode ser observado na figura 1.

A água produzida é a quantidade de água medida ou estimada na saída da ETA, fornecida pelo prestador e transportada pela rede de distribuição até o ramal domiciliar, que conecta as redes às unidades consumidoras como casas, prédios residenciais ou comerciais, escolas, hospitais, entre outros. A água consumida é a quantidade consumida pelos usuários, geralmente medida através de hidrômetros ou por volumes estimados, quando não há medição do consumo (PEARSON 2019, SNIS 2023a).

O balanço hídrico, dentro do SAA, corresponde à diferença entre a quantidade de água captada e distribuída. Dentro deste balanço, uma parte representa as perdas de água, geralmente consideradas na componente da rede de distribuição do SAA. Um SAA eficiente tem uma medição contínua para controlar o quanto é produzido e o quanto é perdido. Essa medição ocorre em todas as etapas da operação, desde a captação da água bruta até chegar ao consumidor, e espera-se que apresente um saldo negativo, medindo assim as perdas de água ao longo da prestação do serviço. Para isso, existem as micromedições, realizadas através de hidrômetros localizados entre o ramal de distribuição e o ramal domiciliar, e as macromedições, realizadas por meio de diferentes equipamentos em diferentes pontos na rede de distribuição (PEARSON 2019, SNIS 2023a).

3 PERDAS DE ÁGUA

3.1 Perdas de água e balanço hídrico

A *International Water Association (IWA)* publicou um documento elaborado por LAMBERT & HIRNER (2000), que busca padronizar informações sobre as perdas de água nos SAA. As perdas de água podem ser consideradas para o sistema inteiro ou para sistemas parciais, como adutoras de água bruta, adutoras de água tratada ou sistema de distribuição. As perdas de água são compostas por perdas reais e aparentes. As perdas reais são definidas como perdas físicas, equivalentes ao volume perdido através de todos os tipos de vazamentos, rompimentos e extravasões. As perdas aparentes consistem em consumo não autorizado e todas as imprecisões associadas com macro e micromedição.

O mesmo documento ainda dispõe de um quadro que divide as componentes do balanço hídrico para um sistema de distribuição de água (Tabela 1). O cálculo do balanço hídrico é composto por medições ou estimativas da água produzida, importada, exportada, consumida ou perdida. Este cálculo é o principal modelo para avaliação e controle das perdas de água existentes. A premissa para o desenvolvimento do balanço é a medição precisa da quantidade de água introduzida no sistema, pois essa informação corresponde aos dados primários de qualquer indicador de perda de água.

O balanço hídrico pode ser construído de duas maneiras: pelos métodos de cima para baixo (*top-down*) ou de baixo para cima (*bottom-up*). No *top-down*, as perdas reais são estimadas subtraindo as perdas aparentes das perdas totais. No *bottom-up*, as perdas aparentes são medidas usando o monitoramento contínuo da vazão mínima noturna para determinar as perdas reais, e o balanço é completado subtraindo as perdas reais das perdas totais (MANZI 2020).

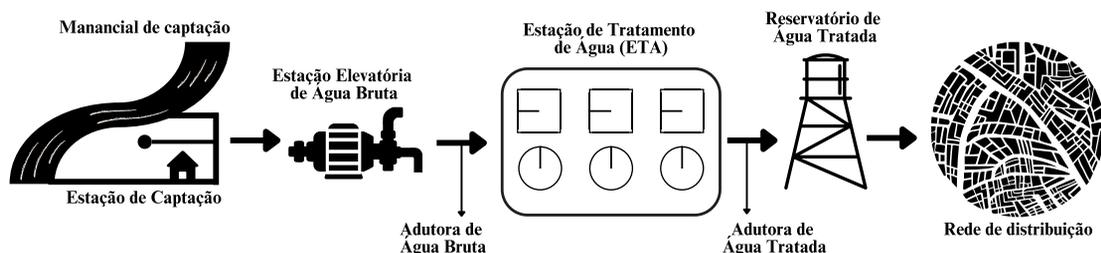


FIGURA 1 – Esquema genérico dos Sistemas de Abastecimento de Água.

FIGURE 1 – Generic scheme of Water Supply Systems.

TABELA 1 – Componentes do balanço hídrico para um Sistema de Adução de Água Tratada ou de um Sistema de Distribuição. Adaptado de LAMBERT & HIRNER (2000).

TABLE 1 – Components of the water balance for a Treated Water Adduction System or a Distribution System. Adapted from LAMBERT & HIRNER (2000).

Volume de entrada no Sistema	Consumo Autorizado	Consumo autorizado faturado	Consumo medido faturado	Água faturada
			Consumo estimado faturado	
	Consumo autorizado não faturado	Consumo medido não faturado	Água não faturada	
		Consumo não medido não faturado		
	Perdas de água	Perdas aparentes		Consumo não autorizado
				Imprecisão de medição
		Perdas reais		Vazamentos e extravasamentos em reservatórios
				Vazamentos em adutoras e redes
				Vazamentos em ramais até o ponto de medição do cliente

As perdas de água nos SAA são consideradas inevitáveis. No entanto, é possível reduzir as perdas aparentes para um valor próximo de 5%, conforme preconizado pela IWA, ao contrário das perdas reais que são inevitáveis e consideravelmente distantes de zero, do ponto de vista sustentável financeiro para o prestador (MANZI 2020). Portanto, é possível avaliar os fatores que causam ambas as perdas de água e como elas podem ser gerenciadas para uma operação mais sustentável possível dos SAA.

As perdas aparentes têm um impacto maior na geração de receitas para o prestador do que as perdas reais, criando dificuldades para a companhia investir na contenção das perdas reais. Um aspecto importante é que, quando as perdas aparentes são subestimadas, isso resulta em uma superestimação das perdas reais durante a auditoria. Além disso, as ações para controlar as perdas aparentes geralmente custam menos, pois não exigem grandes obras, e os benefícios são valorados por tarifas médias. Isso significa que as ações de controle das perdas aparentes geralmente têm um retorno de investimento mais rápido do que as ações para controlar as perdas reais (VICENTINI 2012, COM+ÁGUA 2018).

3.2 Problemática advinda das perdas de água

As perdas de água em um SAA são mais do que um critério de avaliação da eficiência do serviço de abastecimento. Na verdade, é um problema que afeta a todos e afasta as comunidades da sustentabilidade, compensando uma falha evitável – em um nível econômico e viável – com excesso de extração de recursos hídricos, aumento de insu-

mos e consumo de energia elétrica, redução da vida útil da infraestrutura, repasse tarifário, entre outros problemas derivados. Essa compensação gera impactos nas esferas ambiental, econômica e social e afeta todas as componentes dos SAA (ABES 2013, INSTITUTO TRATA BRASIL 2023). O INSTITUTO TRATA BRASIL (2023) fornece relações das principais características associadas à existência das perdas reais e aparentes, apresentadas na tabela 2.

A EUROPEAN COMMISSION (2015) ressalta que as perdas de água não são apenas um problema técnico e econômico, e não se restringem à área de atuação do distribuidor local. As perdas de água envolvem questões mais amplas, com repercussões em diferentes esferas, como:

a) *Políticos*: relaciona-se com entidades, órgãos e agências de governo, atreladas à imagem e gestão destes que envolvem alocação de recursos, muitas vezes.

b) *Econômicos*: custos operacionais, em razão das perdas de água que vão além da atuação do prestador e impactam outras cadeias produtivas que também geram impactos, como a geração de energia elétrica, produtos químicos no processo de potabilização da água, manutenções de estruturas, entre outros. Além dos investimentos para as ações de redução ou manutenção das perdas, fundamentais para a sustentabilidade dos prestadores dos serviços de saneamento.

c) *Sociais*: envolvem o uso racional da água, o pagamento ou não pelos serviços, as questões de saúde pública e a imagem das operadoras perante os usuários.

TABELA 2 – Relação das características das Perdas Reais e Aparentes. Adaptado de INSTITUTO TRATA BRASIL (2023).

TABLE 2 – Relationship of the characteristics of Real and Apparent Losses. Adapted from INSTITUTO TRATA BRASIL (2023).

Relação	Características Principais	
	Perdas Reais	Perdas Aparentes
Tipo de ocorrência mais comum	Vazamento	Erro de medição ou fraudes
Custos associados ao volume de água perdido	Custo de produção	Tarifa e receita operacional
Efeitos no Meio Ambiente	Desperdício do Recurso Hídrico	-
	Necessidades de ampliações de mananciais	-
Efeitos na Saúde Pública	Risco de contaminação	-
Empresarial	Perda de produto	Perda de receita
Consumidor	Imagem negativa (ineficiência e desperdício)	-
Efeitos no Consumidor	Repasse para tarifa	Repasse para tarifa
	Desincentivo ao uso racional	Incitamento a roubos e fraudes

d) *Tecnológicos*: abrangem as interações entre o conhecimento técnico existente e o fomento de tecnologias, ferramentas e metodologias para as atividades típicas do combate às perdas de água.

e) *Legais*: inclui a legislação do setor, licenças e regulação.

f) *Ambientais*: envolvem a utilização e gestão de recursos hídricos, energéticos, insumos, sendo estes renováveis ou não, e impactos das obras de saneamento.

A energia é crucial para o transporte e tratamento de água nos SAA, representando 2% da produção total de energia elétrica no Brasil. O custo de energia pode chegar à metade do orçamento do prestador. As estratégias para reduzir o custo de energia incluem: conhecimento do sistema tarifário, reduzir a potência do equipamento, alterar o sistema operacional, automatizar o SAA e gerar energia própria. A redução das perdas de água contribui para a diminuição da potência requerida dos conjuntos motor-bombas do sistema (ABES 2015).

GUANAIS *et al.* (2017) enfatizam que a produção e transporte de insumos consomem energia, evidenciando como as perdas de água podem afastar a eficiência energética de outros sistemas e, consequentemente, afastá-los ainda mais da sustentabilidade.

A existência de perdas de água intensifica o conflito entre disponibilidade e demanda de água. Embora a Lei 9.433 preveja que o abastecimento público é prioritário, mesmo em sistemas com altas perdas de água em regiões com baixa disponibilidade hídrica, isso pode prejudicar os usuários. Isso ocorre porque a outorga incide sobre a quan-

tidade captada para atender às demandas após as perdas de água (BRASIL 1997). Portanto, o controle de perdas de água pode atenuar conflitos na gestão de recursos hídricos, especialmente em locais com baixa disponibilidade hídrica (CRUZ & SILVEIRA 2007, AMORIM JÚNIOR 2014).

O subdimensionamento, ligado à vida útil do projeto devido ao consumo considerado, pode ser drasticamente reduzido pelas perdas de água que contribuem para o aumento da vazão a ser produzida e, dessa maneira, pressionam a atual infraestrutura existente (FRAUENDORFER & LIEMBERGER 2010, STATE OF GREEN 2021).

3.3 Controle e gestão de perdas de água

Um controle eficaz das perdas de água requer uma gestão e planejamento adequados para implementar medidas de controle e combate. Cada SAA, com suas condições únicas, necessita de estratégias distintas. Por exemplo, as perdas aparentes podem exigir mais esforços do que as reais, dependendo de suas proporções. A ABES (2015) levanta duas questões cruciais: “Até que ponto as perdas devem ser combatidas? Um sistema atinge sua máxima eficiência operacional quando as perdas se aproximam de zero?”. Nesse sentido LAMBERT & HIRNER (2000) definiram dois limites que devem balizar as definições de metas de médio e longo prazo nas companhias de saneamento:

a) *Limite Econômico*: em que os custos para a execução das ações de combate às perdas de água se igualam aos custos de exploração e distribuição da água (ou ao custo marginal para a exploração de um novo sistema produtor de água).

b) *Limite Técnico*: a partir do qual não se consegue reduzir mais as perdas de água, com as metodologias e tecnologias atualmente disponíveis.

Segundo a ABES (2015), o “Nível Econômico de Perdas” é determinado pelas características individuais de cada SAA, incluindo a disponibilidade hídrica, os custos de exploração e distribuição, e os custos das ações operacionais para combater as perdas de água. LAMBERT & HIRNER (2000) afirmam que não existe um nível de perdas de água igual a zero em um SAA. Vale ressaltar que o limite econômico não avalia a disponibilidade hídrica para seus diversos usos, apenas para o abastecimento de água.

O limite relacionado às Perdas Reais Inevitáveis em cada SAA é determinado considerando parâmetros como extensão das redes, número de ramais, dados físicos do ramal e pressão média. A equação empírica foi desenvolvida com coeficientes obtidos de SAA bem operados e excelentes em termos de gestão de perdas de água. No entanto, para as perdas aparentes, não foi estabelecido um limite técnico devido a parâmetros singulares. Em vez disso, foi determinado um equivalente a 5% do volume micromedido do SAA, considerando as origens desse tipo de perda (LAMBERT & HIRNER 2000, ABES 2015). As componentes de controle para as perdas reais e aparentes podem ser observadas na figura 2.

Para a ABES (2015), caso nada seja feito para combater as perdas de água, seus volumes, e consequentemente suas vazões, irão aumentar naturalmente, em função dos seguintes fatores:

a) As tubulações se deterioram, e o número e intensidade dos vazamentos nas redes e nos ramais aumentam gradativamente.

b) Os hidrômetros se desgastam com o tempo e o funcionamento dos mecanismos internos do medidor é prejudicado, aumentando a submedição.

c) Ao fraudar uma ligação, e perceber que isso não suscitou nenhuma reação da operadora de saneamento, o cliente se sente incentivado a sugerir a outros clientes um procedimento semelhante, aumentando as perdas por fraudes.

Rupturas e fraturas nas tubulações, se não contidas, tendem a expandir sua área ao longo do tempo, resultando em maiores volumes de água perdidos. Além disso, os SAA geralmente se expandem devido ao crescimento populacional, aumentando o comprimento da rede de distribuição e o número de pontos potenciais de vazamentos. Áreas urbanas em expansão frequentemente são construídas em terrenos instáveis, o que pode causar deslocamento e ruptura das tubulações, intensificando as perdas de água e sua progressão temporal (FRAUENDORFER & LIEMBERGER 2010, AL-WASHALI *et al.* 2016, GUO *et al.* 2021).

O controle efetivo de perdas de água requer a renovação da infraestrutura das redes de distribuição de água, incluindo o sistema linear, válvulas, equipamentos eletromecânicos e medidores. Essas ações são custosas e exigem um diagnóstico preciso para determinar as prioridades e o orçamento necessário. A renovação pode ser desafiadora em grandes centros urbanos devido aos métodos e tempo necessários para substituir as redes sob o sistema viário. No entanto, a renovação, que

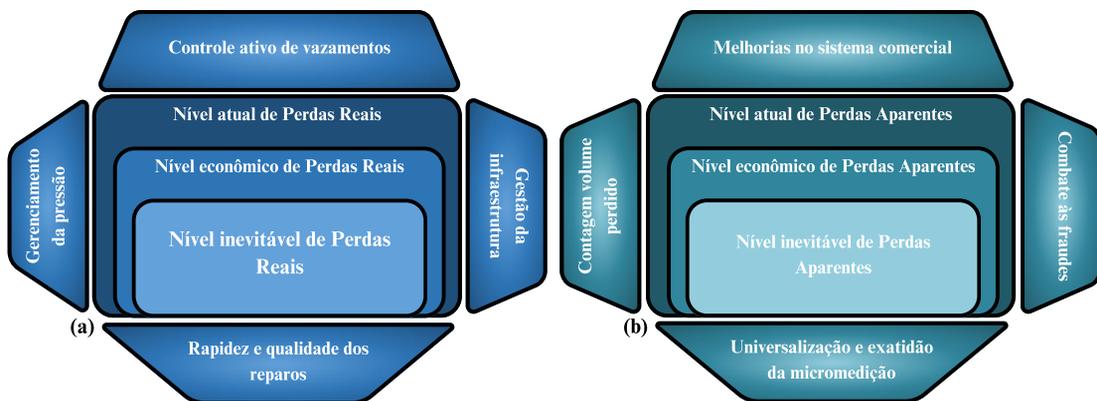


FIGURA 2 – Componentes de controle para gestão de perdas reais (a) e aparentes (b). Adaptado de MANZI (2020).

FIGURE 2 – Control components for real (a) and apparent (b) loss management. Adapted from MANZI (2020).

aborda a principal causa de perdas de água, oferece benefícios duradouros e maiores ganhos a médio e longo prazo. Portanto, deve ser incluída em qualquer programa de gestão de perdas de água, juntamente com a conscientização dos usuários sobre a necessidade e os benefícios do processo de renovação (FRAUENDORFER & LIEMBERGER 2010, ABES 2015, STATE OF GREEN 2021).

HAIDER *et al.* (2014) e STATE OF GREEN (2021) destacam que a redução das perdas de água é um processo contínuo e enfrenta várias barreiras, incluindo: falta de consciência política, dados imprecisos que levam a decisões equivocadas, corrupção, foco no preço da tarifa em vez do custo total de produção de água tratada, medo de uma imagem negativa associada ao prestador e falta de percepção da relação intrínseca entre as perdas de água e a sustentabilidade.

Os fracassos em projetos e programas de controle e redução de perdas de água em um SAA podem ser atribuídos a vários fatores, incluindo: falta de conhecimento sobre a natureza das perdas de água; desvalorização do impacto das perdas de água; elaboração de projetos deficientes; subestimação extrema dos custos; inconsistência de argumentos para obter recursos; e a falta de percepção de que a redução das perdas de água não é apenas um problema técnico isolado, mas requer um compromisso a longo prazo com a gestão e operação global do sistema (FRAUENDORFER & LIEMBERGER 2010, ABES 2015).

FRAUENDORFER & LIEMBERGER (2010) destacam que o controle de vazamentos de água nos sistemas de distribuição é uma ação valiosa para a preservação dos recursos hídricos, especialmente diante da atual escassez hídrica e das mudanças climáticas. Essa medida é essencial para o desenvolvimento urbano sustentável. Além disso, as diversas ações de controle de vazamentos geram oportunidades de emprego, estimulando o crescimento econômico e promovendo interesses sociais.

3.4 Cenário de perdas de água para o Brasil e São Paulo

O PLANSAB, aprovado em 2013, estabeleceu metas para a redução dos índices de perdas de água, com base nos índices apresentados na época e metas futuras para 2014 e 2033. Em 2018, o plano foi revisado pela Secretaria Nacional de Saneamento do Ministério do Desenvolvimento Regional (BRASIL 2019). A meta é uma média dos índices de cada região e do país como um todo, e ainda pode ser considerada alta, distante de um patamar ideal. A tabela

3 apresenta a relação das metas nacional e regionais definidas no PLANSAB para o Índice de Perdas na Distribuição.

TABELA 3 – Metas nacional e regionais definidas no PLANSAB para o Índice de Perdas na Distribuição. Adaptado de BRASIL (2019).

TABLE 3 – National and regional goals defined in PLANSAB for the Distribution Loss Index. Adapted from BRASIL (2019).

Região	Metas	
	Índice de Perdas na Distribuição (%)	
	2023	2033
Norte	41,0	33,0
Nordeste	41,0	33,0
Sudeste	32,0	29,0
Sul	32,0	29,0
Centro-Oeste	31,0	29,0
Brasil	34,0	31,0

Segundo o Relatório de Avaliação Anual 2021 da SECRETARIA NACIONAL DE SANEAMENTO AMBIENTAL (2023), houve um aumento no índice de perdas de água no Brasil nos últimos anos, indicando uma tendência de não cumprimento da meta do PLANSAB para 2023. Em 2021, 40,3% da água produzida (6,8 bilhões de m³ de 16,9 bilhões de m³) não foram contabilizados ou consumidos. Isso representa uma grande perda de recursos hídricos e um desafio para o país. O SNIS apresenta em seus relatórios diagnósticos os índices de perdas de água desde 2010. A figura 3 apresenta o gráfico de evolução do Índice de Perdas de Água no Brasil e para o estado de São Paulo, desde o ano de 2010 até o ano de 2021. A análise dos dados indica que as perdas de água têm aumentado nos últimos anos, contrariando as previsões dos planos políticos.

4 CADEIAS PRIMORDIAIS DE MANUTENÇÃO DE UM SISTEMA DE ABASTECIMENTO

Um SAA tem como objetivo fornecer água tratada para o consumo humano a uma grande comunidade, cuja aglomeração justifica a implementação de tal sistema. Isso envolve a implantação de estruturas robustas para captar água, tratá-la para ser adequada ao consumo humano e distribuí-la. Esses processos envolvem várias transformações e o consumo de insumos que ocorrem diariamente, de acor-

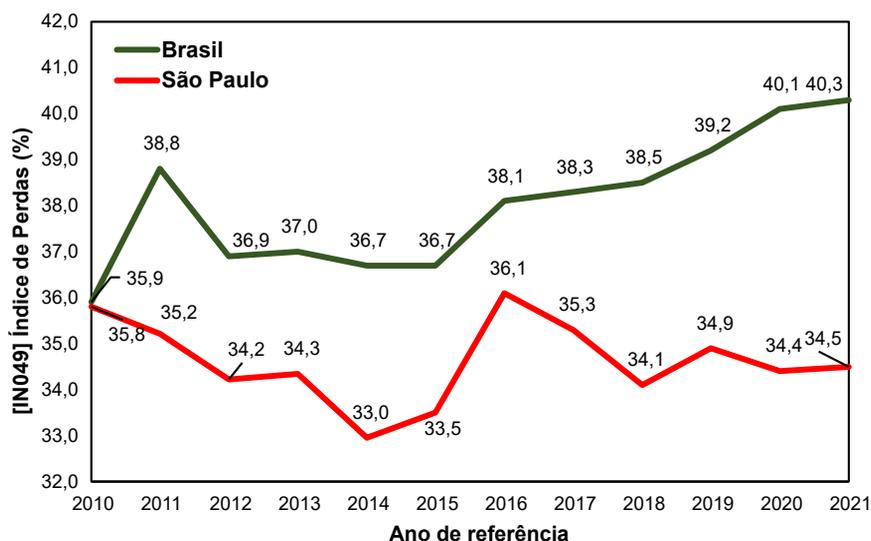


FIGURA 3 – Gráfico de evolução do Índice de Perdas de Água no Brasil e São Paulo. Adaptado de SNIS (2023b).

FIGURE 3 – Graph of the evolution of the Water Loss Index in Brazil and São Paulo. Adapted from SNIS (2023b).

do com a demanda por este recurso. Essa sequência de processos pode ser considerada uma rotina que exige esforços constantes, custeados principalmente pelos usuários regulares que utilizam o produto final: a água tratada.

Um SAA operacional depende principalmente da capacidade de manutenção de seus usuários de maneira sustentável, enquanto a renovação, expansão e modernização podem contar com fontes externas. Embora um SAA possa cumprir sua função de fornecer água tratada para toda a população, ele pode fazê-lo com altos níveis de perdas de água, pressionando excessivamente uma ou mais de suas cadeias de manutenção sistêmica. Se um SAA não atingir pelo menos os níveis econômicos de perdas de água, essas perdas pressionarão pelo menos uma de suas cadeias, exigindo respostas e alterações no estado do sistema que terão impactos dentro e fora do SAA, tornando-o vulnerável às perdas de água e afastando-o do estado de sustentabilidade.

As três cadeias fundamentais dos SAA são: a disponibilidade e capacidade para captar água; a capacidade de transformar água bruta em água tratada e distribuí-la; e a capacidade de converter água tratada em recurso financeiro.

a) *Disponibilidade e capacidade para captar água:* A operação do SAA depende da existência de um manancial que fornece água bruta para ser captada e inserida nas cadeias de produção de água tratada. A maioria dos SAA capta água, seja superficial ou subterrânea, na mesma bacia hidrográfica em que estão instalados. As características da bacia, como

clima, relevo, uso e ocupação do solo, influenciam a disponibilidade e demanda de água para uso agropecuário, industrial, ambiental e urbano. A vulnerabilidade desta cadeia pode surgir quando há baixa disponibilidade de água e alta demanda para os diferentes usos da bacia. Os SAA são vulneráveis às perdas de água quando estas são elevadas e a disponibilidade de água é baixa para atender sua demanda, gerando conflitos com outros usos possíveis. Além disso, a qualidade da água do manancial pode ser severamente degradada por outros usos da água e pelo estado do uso e ocupação do solo, aumentando a pressão sobre a disponibilidade hídrica local.

b) *Capacidade de conversão de água bruta para tratada e distribuição:* A demanda do SAA pela produção de água tratada para consumo humano requer uma série de processos que utilizam ações e insumos. A eficiência e eficácia desta cadeia, que promovem a resiliência e a sustentabilidade, estão diretamente ligadas à vulnerabilidade que os SAA podem apresentar. Esta capacidade está relacionada a fatores como: recursos financeiros disponíveis; limitações geográficas; aspectos legais e regulatórios; e disponibilidade de recursos como energia elétrica, insumos químicos e mão de obra. Existem limitações vinculadas à cadeia anterior, pois mesmo com recursos financeiros disponíveis para expandir a infraestrutura atual, as características locais podem impedir essa expansão. Como as perdas de água ocorrem principalmente no processo de distribuição, esta cadeia é a principal fonte de vulnerabilidade do sistema, exigindo respostas dispendio-

sas e danosas, ao gerar impactos indiretos e diretos para que essa cadeia consiga ao menos atender ao seu objetivo, que é produzir e entregar água tratada aos usuários do sistema.

c) *Capacidade de conversão de água tratada em recurso financeiro*: A manutenção dos SAA é geralmente custeada pelos usuários por meio de tarifas que são fundamentais para que os SAA possam responder às pressões causadas pelas perdas de água. Sem a capacidade de converter a água tratada em recurso financeiro, os SAA tornam-se vulneráveis devido à insuficiência de manutenção, podendo acumular dívidas e deteriorar a qualidade do serviço. Esta questão está diretamente ligada aos níveis de perdas de água e ao valor da tarifa. Os SAA podem enfrentar situações em que a tarifa é elevada para cobrir os custos das perdas de água, mas não gera superávit para investimentos na gestão de perdas de água; no pior caso o SAA pode ter déficit financeiro se as perdas de água superarem a tarifa aplicada; ou, no melhor dos casos, a tarifa cobre os custos de produção e ainda proporciona recursos extras para investimento na gestão de perdas de água.

Essas cadeias são essenciais para a operação dos SAA e estão intimamente ligadas à vulnerabili-

dade em relação às perdas de água. A capacidade individual das cadeias determina o grau de vulnerabilidade. O fluxograma de interação entre as cadeias pode ser observado na figura 4.

5 METODOLOGIA

A metodologia do estudo se baseia em um sequenciamento de ações para construção do Índice de Vulnerabilidade às Perdas de Água (IVuPa), para que os municípios do estado de São Paulo possam ser avaliados e classificados. O fluxograma das ações envolvidas para o desenvolvimento do IVuPA pode ser observado na figura 5.

5.1 Definição de um meio para avaliar a vulnerabilidade com objetividade

Para avaliar a vulnerabilidade que os SAA possam apresentar, foi desenvolvida uma metodologia de análise objetiva, simples e prática, envolvendo as cadeias primordiais que conduzem ao estado de vulnerabilidade. A demanda por tal objetividade, como difundido por PHILIPPI JUNIOR *et al.* (2012), pode se dar com êxito por meio de indi-

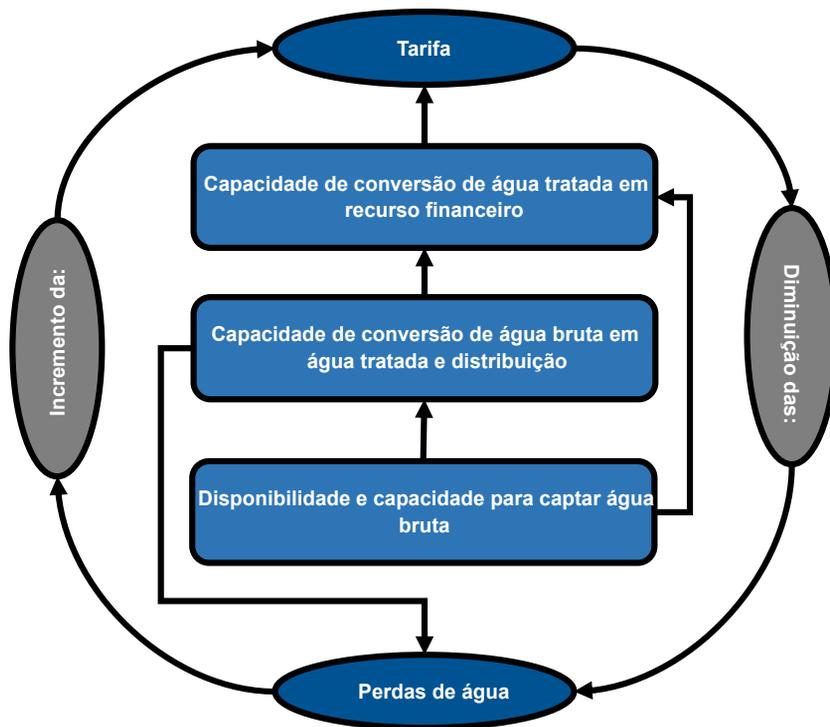


FIGURA 4 – Fluxograma das principais cadeias de operação de um Sistema de Abastecimento de Água.

FIGURE 4 – Flowchart of the main operation chains of a Water Supply System.

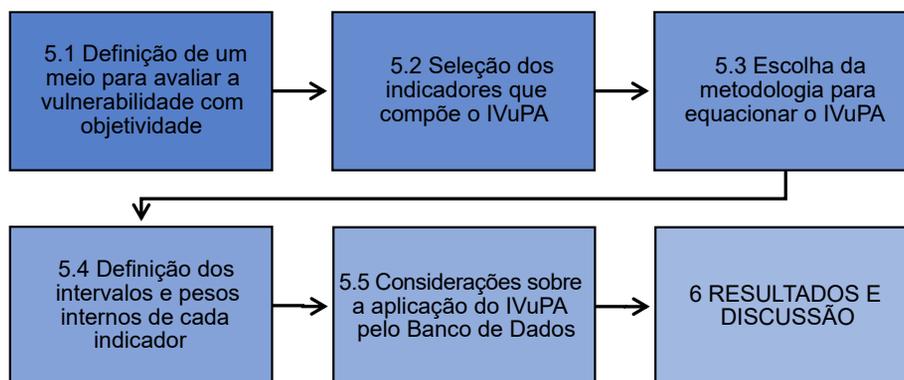


FIGURA 5 – Fluxograma das ações envolvidas para o desenvolvimento do Índice de Vulnerabilidade às Perdas de Água.

FIGURE 5 – Flowchart of the actions involved in the development of the Index of Vulnerability to water losses.

cadores valoráveis que em conjunto possam compor um índice.

5.2 Seleção dos indicadores que compõe o IVuPA

O IVuPA foi desenvolvido para avaliar e classificar os SAA do estado de São Paulo, com base nas características dos SAA e na disponibilidade de informações. Foram selecionados indicadores (Tabela 4) com informações públicas para compor o índice, que contempla as três cadeias dos SAA descritas no item anterior. O índice é considerado válido se contemplar essas cadeias simultaneamente.

A tabela 5 apresenta a relação dos indicadores do IVuPA, fórmula de cálculo, unidades e fonte.

5.3 Escolha da metodologia para equacionar o IVuPA

O IVuPA é composto por indicadores que apresentam diferentes níveis de importância para se determinar a vulnerabilidade de um SAA às perdas de água. Para atribuir esses níveis de importância, foi necessário determinar um critério objetivo. Uma ferramenta que pode ser usada para transformar critérios subjetivos em um método objetivo é o *Analytic Hierarchy Process* (AHP), desenvolvido por SATTY (1980). O AHP é geralmente usado para propor soluções alternativas para um problema, mas sua estruturação matemática pode ser usada para realizar análises além da ponderação de diferentes soluções ou alternativas. O método se baseia em três etapas analíticas: construção de hierarquias, definição de prioridades e consistência lógica, que foram adaptadas para analisar a vulnerabilidade dos SAA. Dessa maneira, os vetores de peso de cada indicador correspondem ao seu peso no IVuPA.

5.4 Definição dos intervalos e pesos internos de cada indicador

Além dos pesos externos (dispostos na Tabela 7, do item 6.1), foi necessário definir os intervalos e os pesos internos de cada indicador para calcular o valor do IVuPA para cada município. Para isso, foram considerados cenários bons, realistas e péssimos para o desempenho de cada indicador, levando em conta a área de aplicação da avaliação (estado de São Paulo) e o contexto temporal (2019) do estado do saneamento no país. A seguir são apresentadas as considerações para definição dos intervalos e pesos internos de cada indicador.

5.4.1 Tipo de manancial

Único indicador que apresenta intervalos não numéricos, pois as opções para o tipo de manancial são limitadas a: superficial, predominantemente superficial, predominantemente subterrânea e subterrânea. O manancial superficial apresenta diferentes potencialidades para uso do recurso hídrico e valor ecológico, tornando a exploração adicional mais problemática em comparação com a fonte subterrânea quando há perdas de água. Dessa maneira, os pesos foram definidos de maneira progressiva, do menor peso, para fonte exclusivamente subterrânea, ao maior peso, para fonte exclusivamente superficial.

5.4.2 Razão da vazão outorgada para o abastecimento pela disponibilidade hídrica

Para este e outros indicadores, diferentemente do indicador Tipo de Manancial, foi necessário definir faixas de intervalo, cujo critério utilizado foi a delimitação de cenários com proporções pro-

TABELA 4 – Relação das cadeias e indicadores que compõe o Índice de Vulnerabilidade às Perdas de Água.

TABLE 4 – Relationship of the chains and indicators that compose the Water Loss Vulnerability Index.

<i>Cadeia</i>	<i>Indicadores</i>
Disponibilidade e capacidade para captar água	Tipo de manancial: Indica o tipo de fonte de água bruta que abastece um SAA, aludindo à qualidade da água e aos usos perdidos. As opções para o tipo de manancial são: superficial, subterrânea ou mista. O tipo de manancial altera os impactos das perdas de água e o sequenciamento estrutural do SAA. A fonte para construção do BD para aplicação do IVuPA foi o Atlas Águas (ANA 2021).
	Razão da vazão outorgada para o abastecimento pela disponibilidade hídrica: Indica a razão entre a água destinada ao consumo humano via abastecimento público e a água disponível no município. Quanto maior essa proporção, mais problemático é possuir perdas de água. Embora se utilize o indicador de Vazão Outorgada para o Abastecimento, seria mais pertinente inserir a Vazão Média de Captação ou, nos casos de captação superficial, a Vazão Média do Manancial Superficial. No entanto, considerar a Vazão Outorgada inclui a gestão dos recursos hídricos. As vazões foram obtidas pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo (DAEE) e ANA e compiladas pela Coordenadoria de Recursos Hídricos (CRHI, 2022) em seu documento Banco de Indicadores para Gestão dos Recursos Hídricos do Estado de São Paulo (2022).
Capacidade de conversão de água bruta para tratada e distribuição	Índice de atendimento urbano de água: Indica a proporção de água tratada que é distribuída para a totalidade dos usuários. O indicador avalia se o sistema atende ao seu objetivo primordial de atendimento universal da população inserida no SAA. Um SAA que não possui atendimento universalizado e apresenta níveis consideráveis de perdas de água se lesa pelo não atendimento das metas e pelo desperdício do recurso hídrico. O SAA deve atender 100% dos usuários existentes para atender completamente ao seu propósito e não desfavorecer a capacidade de conversão de água tratada em recurso financeiro. O Índice de atendimento urbano de água foi extraído da série histórica do SNIS (SNIS 2023b).
	Índice de perdas por ligação: Indica o nível de perdas na distribuição da água tratada para os usuários do SAA. Este pode ser considerado o principal indicador do IVuPA, pois apresenta o estado das perdas de água que são a pressão matriz que configura a existência de vulnerabilidade. O Índice de perdas por ligação foi extraído da série histórica do SNIS (SNIS 2023b).
Capacidade de conversão de água tratada em recurso financeiro	Razão do Consumo médio per capita de água ponderado por UGRHI: Associado à Capacidade de conversão de água tratada em recurso financeiro. Indica o nível ponderado de consumo médio existente, com base na média da Unidade de Gerenciamento de Recurso Hídrico (UGRHI) em que se insere. O comparativo do consumo médio para a UGRHI é pertinente pela configuração da mesma, que possui municípios próximos com quesitos ambientais, sociais e econômicos similares. Esta análise comparativa é pertinente pelos quesitos da gestão dos recursos hídricos e pela tolerabilidade do consumo em função da disponibilidade hídrica existente na Unidade. O Consumo médio per capita de água foi extraído da série histórica do SNIS (SNIS 2023b).
	Razão das despesas totais com os serviços por m ³ faturado pela Tarifa Média aplicada: Este indicador avalia a razão entre o quanto se gasta para produzir o m ³ de água tratada e a Tarifa Média Aplicada, demonstrando a capacidade do prestador dos serviços em converter água bruta em tratada de maneira economicamente sustentável. Quanto maior a diferença entre o quanto se gasta e o quanto se ganha pela produção, maior será o potencial do prestador em produzir respostas para conter e reduzir autonomamente as perdas de água. As Despesas totais com os serviços por m ³ faturado e Tarifa Média aplicada foram extraídas da série histórica do SNIS (SNIS 2023b).

gressivas, até o intervalo superior que não apresenta limitação.

5.4.3 Índice de atendimento urbano de água

Levou-se em consideração as metas de universalização do serviço de abastecimento de água. É o único indicador com a possibilidade de apresentar uma faixa ideal, que é 100% de atendimento. As faixas de intervalo variam de menos de 95% (maior valor de peso interno) a 99,99% de atendimento. Espera-se que os municípios apresentem prestação universalizada, com valor de peso interno de 0 absoluto para os municípios com 100% de atendimento e o maior peso interno de 1 para os municípios com atendimento inferior a 95%.

5.4.4 Índice de perdas por ligação

Este indicador teve seus intervalos e pesos internos norteados pelas considerações apresentadas pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico em seu Relatório de Análise de Impacto Regulatório (ANA 2023), que estipula intervalos que categorizam a eficiência dos SAA com base no seu Índice de perdas por ligação. Não é possível que um SAA apresente perdas inferiores a 0, no entanto não há limite superior para as suas perdas. O Relatório apresenta o intervalo mais comum de 216 a 340 L/lig.dia, portanto a segregação dos intervalos leva em consideração essa faixa e seus extremos, com valores inferiores e superiores a esse intervalo.

TABELA 5 – Apresentação dos indicadores que compõe o Índice de Vulnerabilidade às Perdas de Água.

TABLE 5 – Presentation of the indicators that compose the Index of Vulnerability to Water Losses.

<i>Indicador</i>	<i>Fórmula de Cálculo</i>	<i>Unidade</i>	<i>Fonte</i>	<i>Observação</i>
Tipo de manancial	Não há fórmula de cálculo para este indicador	Superficial, subterrâneo ou misto	ANA (2021)	A determinação do tipo de manancial se dá pela disposição da informação de qual manancial provê água bruta ao SAA. Em SAA que há menos de 10% de contribuição de mais de um tipo de manancial, considera-se apenas o que possui maior contribuição, ao invés de se considerar misto.
Razão da vazão outorgada para o abastecimento pela disponibilidade hídrica	$(\{Q \text{ outorgado para abastecimento [m}^3/\text{s}\} \times \text{seg/ano}\} / \{\text{Pop total} \times \text{Disponibilidade per capita [m}^3/\text{hab.ano}\}) \times 100$	%	CRHI (2022)	Com a finalidade de se ponderar em uma razão, há necessidade de compatibilizar as unidades da vazão e disponibilidade, por isso se introduz a constante de (seg/ano) e população total do município em questão.
Índice de atendimento urbano de água	Fórmula de cálculo é o próprio IN023 (SNIS 2023b)	%	SNIS (2023b)	Diretamente extraído do Banco de Dados da Série Histórica disponível no SNIS. Trata-se do IN023 – Índice de atendimento urbano de água. Não há qualquer alteração dos valores obtidos para fins de cálculo.
Índice de perdas por ligação	Fórmula de cálculo é o próprio IN051 (SNIS 2023b)	l/dia/lig	SNIS (2023b)	Diretamente extraído do Banco de Dados da Série Histórica disponível no SNIS. Trata-se do IN051 – Índice de perdas por ligação. Não há qualquer alteração dos valores obtidos para fins de cálculo.
Razão do Consumo médio per capita de água ponderado por UGRHI	$l/\text{hab.dia} / (\text{média UGRHI } l/\text{hab.dia})$	Adimensional	SNIS (2023b)	Adaptado para que se houvesse uma ponderação e uma base normalizada para comparação do consumo. Optou-se pela comparação da UGRHI em que o município se insere, tendo a média calculada a partir da informação obtida no SNIS. A informação de consumo médio é obtida do IN022 - Consumo médio per capita de água.
Razão das despesas totais com os serviços por m ³ faturado pela Tarifa Média Aplicada	$R\$/\text{m}^3 \text{ despesas} / R\$/\text{m}^3 \text{ tarifa}$	Adimensional	SNIS (2023b)	Adaptado para se auferir a razão entre o quanto se consome de recurso financeiro (R\$) pelo quanto se cobra em média pela tarifa. A razão apresentada leva em consideração os indicadores: IN003 - Despesa total com os serviços por m ³ faturado e IN004 - Tarifa média praticada.

5.4.5 Razão do Consumo médio per capita de água ponderado por UGRHI

Apresenta uma variação muito alta, pois considera a razão entre o consumo médio per capita de água e a média observada para cada UGRHI, especialmente para as Unidades com maior número de municípios inseridos. Foram definidas faixas progressivas para os intervalos, variando de 0 a superiores de 1,5, de modo a contemplar os diferentes cenários, tendo valores acima de 1,0 como preocupantes.

5.4.6 Razão das despesas totais com os serviços por m³ faturado pela Tarifa Média Aplicada

Apresenta uma razão comparativa individual, sem influências tendenciosas externas no processo de análise. Foram definidas faixas progressivas

para os intervalos, variando de 0 a superiores de 2, de modo a contemplar os diferentes cenários, tendo valores acima de 1,0 como preocupantes.

5.5 Aplicação do IVuPA

Para aplicar avaliar os SAA por meio do IVuPA foi necessário construir um Banco de Dados (BD) com informações vinculadas a cada município. Em função das informações apresentadas no SNIS serem autodeclaradas, alguns municípios pertencentes ao estado de São Paulo não apresentaram informações, inviabilizando o cálculo de 4 indicadores. 30 municípios foram classificados como “informações ausentes”, e por isso não foram avaliados, correspondendo a 4,65% dos municípios do estado de São Paulo.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Aplicação da metodologia AHP para construção do IVuPA

A definição dos pesos externos de cada um dos indicadores que compõe o IVuPA se deu por meio do valor do peso do critério, obtido pela aplicação da metodologia AHP. A tabela 6 apresenta a matriz de comparações paritárias com base nas considerações dos autores.

Posteriormente à construção da matriz de comparações paritárias, calculou-se o vetor peso de cada critério (no caso, dos indicadores), dispostos no tabela 7.

A metodologia AHP recomenda uma avaliação da consistência das distribuições do grau de importância para conferir maior validade à distribuição dos pesos, tornando o processo mais objetivo, a partir do cálculo da razão de consistência. A matriz utilizada para obter os pesos para os indicadores selecionados para compor o IVuPA tem ordem 6, portanto seu Índice Randômico Médio é 1,24. Assim, a razão de consistência calculada é de 0,0321 (3%). Esse valor está em conformidade com o que é preconizado pela metodologia AHP, pois deve ser inferior a 10%, validando assim a distribuição de pesos.

TABELA 6 – Matriz de comparações paritárias.

TABLE 6 – Matrix of pairwise comparisons.

	<i>Índice de perdas por ligação</i>	<i>Razão das despesas totais com os serviços por m³ faturado pela Tarifa Média aplicada</i>	<i>Tipo de manancial</i>	<i>Razão da vazão outorgada para o abastecimento pela disponibilidade hídrica</i>	<i>Razão do Consumo médio per capita de água ponderado por UGRHI</i>	<i>Índice de atendimento urbano de água</i>
<i>Índice de perdas por ligação</i>	1	4	5	5	6	7
<i>Razão das despesas totais com os serviços por m³ faturado pela Tarifa Média aplicada</i>	1/4	1	2	2	3	4
<i>Tipo de manancial</i>	1/5	1	1	1	2	3
<i>Razão da vazão outorgada para o abastecimento pela disponibilidade hídrica</i>	1/5	1/2	1	1	2	3
<i>Razão do Consumo médio per capita de água ponderado por UGRHI</i>	1/6	1/3	1/2	1/2	1	2
<i>Índice de atendimento urbano de água</i>	1/7	1/4	1/4	1/3	1/2	1

TABELA 7 – Relação dos pesos obtidos pela aplicação da metodologia AHP, para os diferentes indicadores selecionados para composição do IVuPA.

TABLE 7 – Relationship of the weights obtained by applying the AHP methodology, for the different indicators selected for the composition of IVuPA.

<i>Indicador</i>	<i>Vetor peso</i>
Tipo de manancial	0,112
Razão da vazão outorgada para o abastecimento pela disponibilidade hídrica	0,112
Índice de atendimento urbano de água	0,044
Índice de perdas por ligação	0,483
Razão do Consumo médio <i>per capita</i> de água ponderado por UGRHI	0,068
Razão das despesas totais com os serviços por m ³ faturado pela Tarifa Média aplicada	0,182

6.2 Composição do IVuPA

O resumo geral da composição do IVuPA, com os indicadores e seus pesos externos, bem como os intervalos e seus respectivos pesos internos, está disposto na tabela 8, enquanto as classes de vulnerabilidade, com seus intervalos e cores de representação, na tabela 9. A partir da finalização da construção do IVuPA, tornou-se possível realizar a sua apli-

cação considerando as informações agregadas aos municípios.

6.3 Desempenho dos municípios contemplados pela avaliação dos indicadores

Ressalta-se que os indicadores são baseados em informações de 2019, sendo que algumas têm caráter estacionário, como o tipo de manancial de cap-

TABELA 8 – Resumo dos parâmetros do Índice de Vulnerabilidade às Perdas de Água.

TABLE 8 – Summary of the parameters of the Index of Vulnerability to Water Losses.

<i>Indicador</i>	<i>Peso Externo</i>	<i>Intervalos</i>	<i>Peso Interno</i>
Tipo de manancial	0,112	Superficial	0,80
		Predominantemente superficial	0,60
		Predominantemente subterrânea	0,30
		Subterrânea	0,20
Razão da vazão outorgada para o abastecimento pela disponibilidade hídrica	0,112	> 100 %	1,00
		60,01 a 99,99	0,80
		31,00 a 60,99	0,60
		16,00 a 30,99	0,40
		0 a 15,99	0,20
Índice de atendimento urbano de água	0,044	< 95%	1,00
		95,01% a 97,50%	0,70
		97,51% a 98,99%	0,40
		99,00% a 99,99%	0,20
		100%	0
Índice de perdas por ligação	0,483	> 500	1,00
		340 a 500	0,85
		250 a 340	0,75
		216 a 250	0,50
		160 a 216	0,30
		0 a 160	0,10
Razão do Consumo médio <i>per capita</i> de água ponderado por UGRHI	0,068	> 1,5	1,00
		1,20 a 1,49	0,80
		0,80 a 1,19	0,60
		0,50 a 0,79	0,40
		0 a 0,49	0,20
Razão das despesas totais com os serviços por m ³ faturado pela Tarifa Média aplicada	0,182	> 2,0	1,00
		1,50 a 1,99	0,85
		1,30 a 1,49	0,75
		1,00 a 1,29	0,60
		0,80 a 0,99	0,30
		0,50 a 0,79	0,20
		0 a 0,49	0,10

TABELA 9 – Resumo das Classes de Vulnerabilidade do Índice.

TABLE 9 – Summary of the Vulnerability Classes of the Index.

<i>Intervalo</i>	<i>Classe</i>	<i>Cor</i>	<i>Código HEX</i>
Informações ausentes			#7B7B7B
0 a 0,250	Irrisoriamente vulnerável		#99FF33
0,251 a 0,350	Pouco vulnerável		#1FA808
0,351 a 0,550	Consideravelmente vulnerável		#FFFF00
0,551 a 0,750	Muito vulnerável		#FFC000
0,751 a 1,00	Extremamente vulnerável		#FF0000

tação. Outras informações, como a despesa total com os serviços, tarifa média praticada, consumo médio, índice de atendimento urbano de água e índice de perdas por ligação, têm caráter transitório a curto e médio prazo. Por outro lado, a população apresenta variações consideráveis apenas em longos períodos de tempo. Assim, novas avaliações com parâmetros idênticos em um curto período de tempo podem variar pouco em relação aos resultados avaliados neste estudo. Considera-se que tais avaliações possam se alterar significativamente em prazos superiores a 5 anos, especialmente no atual contexto do desenvolvimento do saneamento no país.

6.3.1 Tipo de Manancial

Em São Paulo, os SAA captam água principalmente de mananciais superficiais no litoral e nas regiões metropolitanas de São Paulo (RMSP) e Campinas (RMC) (Figura 6). No interior do estado, a captação é predominantemente subterrânea. Isso torna os SAA costeiros e metropolitanos potencialmente mais vulneráveis do que os do interior. A figura 7 apresenta o gráfico comparativo dos tipos de mananciais dos municípios avaliados.

Cerca de 51,94% dos municípios de São Paulo utilizam captação subterrânea, enquanto 32,25% optam pela captação superficial. Os sistemas mistos representam 15,81%, sendo 9,92% predominantemente superficiais e 5,89% predominantemente subterrâneos. Assim, mais da metade dos SAA têm o melhor desempenho possível para o indicador, embora quase um terço esteja no pior intervalo. Dentre as fragilida-

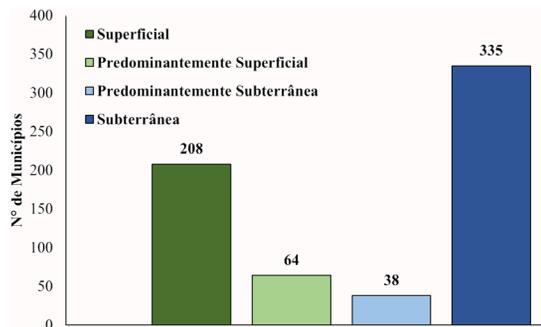


FIGURA 7 – Gráfico comparativo dos tipos de mananciais dos municípios avaliados.

FIGURE 7 – Comparative graph of the types of water sources of the evaluated municipalities.

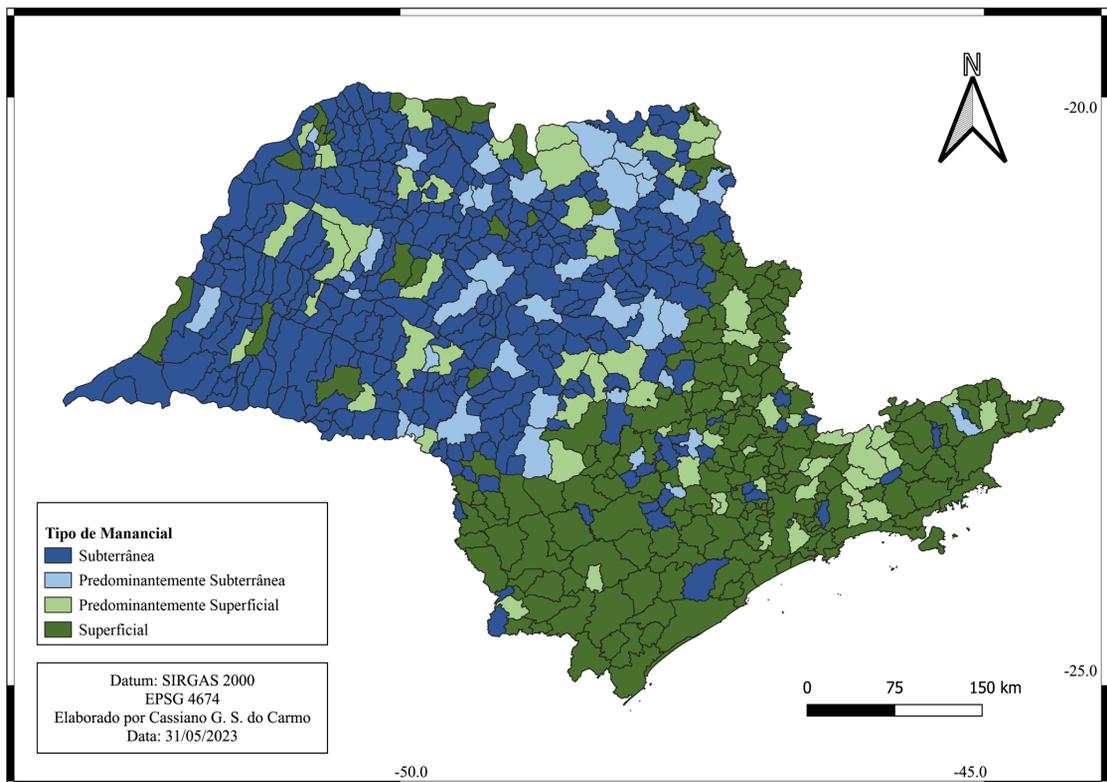


FIGURA 6 – Mapa de distribuição dos tipos de manancial de captação dos municípios do estado de São Paulo.

FIGURE 6 – Map of the distribution of the types of water intake water sources of the municipalities of the state of São Paulo.

des associados ao uso deste indicador, pode-se destacar: a) nos SAA mistos, a captação subterrânea pode ser acionada conforme a necessidade. No entanto, esses detalhes operacionais não são discriminados nos dados, que se baseiam na estrutura existente de cada sistema. A análise seria mais completa se discriminasse os sistemas que operam constantemente de forma mista ou apenas em casos de necessidade. b) esta análise considera os valores da vazão média apresentados para os SAA, conforme o Atlas Águas (ANA 2021), e determina se os SAA mistos possuem mais de 90% de apenas um tipo de fonte de manancial (superficial ou subterrâneo). c) os pesos internos foram definidos subjetivamente, com base nas considerações do autor e nos critérios avaliados durante a avaliação deste indicador.

6.3.2 Relação da vazão outorgada para o abastecimento pela disponibilidade hídrica

Em São Paulo, a maioria dos municípios possui alta disponibilidade hídrica subterrânea. Portanto, ao comparar a disponibilidade com a vazão outorgada para o abastecimento público, na maioria dos casos,

a razão é sempre inferior a 16%, como apresentado no mapa da figura 8.

A grande maioria dos municípios (93,64%) apresentou o melhor desempenho possível para o indicador (Figura 9). Apenas 1,70% se enquadra nos piores intervalos, com uma razão superior a 61,00%, enquanto 4,65% estão nos intervalos interme-

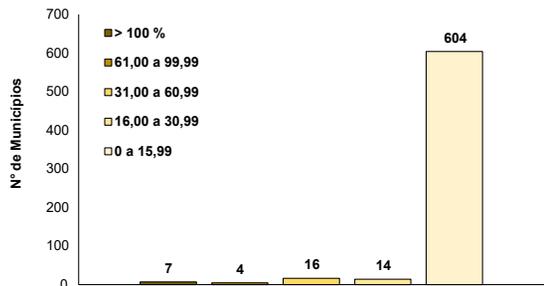


FIGURA 9 – Gráfico comparativo da Relação da vazão outorgada para o abastecimento pela disponibilidade hídrica dos municípios avaliados.

FIGURE 9 – Comparative graph of the Relationship of the granted flow rate for supply by the water availability of the evaluated municipalities.

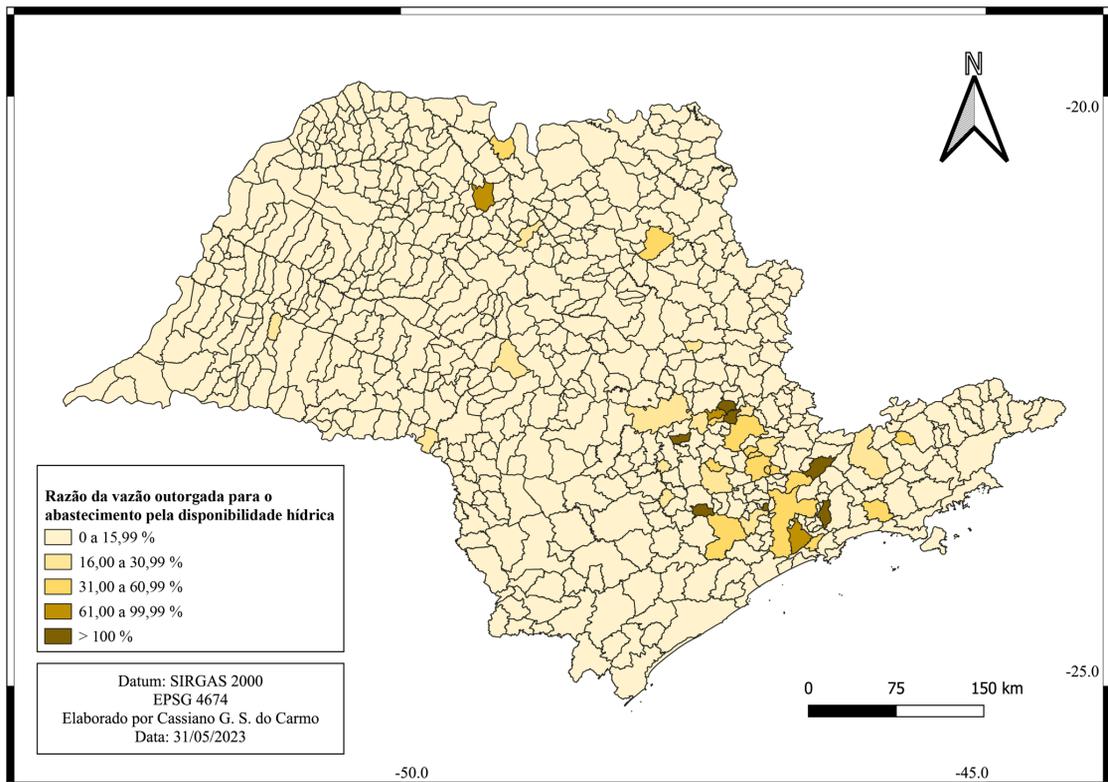


FIGURA 8 – Mapa da relação da vazão outorgada para o abastecimento pela disponibilidade hídrica dos municípios do estado de São Paulo.

FIGURE 8 – Map of the relationship of the granted flow rate for supply by the water availability of the evaluated municipalities of the state of São Paulo.

diários de 16,00% a 60,99%. Se os municípios com captação superficial fossem avaliados apenas pela disponibilidade hídrica do manancial de captação onde a outorga é realizada, a distribuição dessa proporção poderia variar bastante. No entanto, para uma avaliação em escala estadual, não foi possível avaliar a incidência para os mananciais superficiais utilizados apenas para o abastecimento.

Dentre as fragilidades associadas ao uso deste indicador, pode-se destacar: a) este indicador considera informações relacionadas aos municípios, não necessariamente aos sistemas. b) não existe uma base de dados pública que permita a distribuição das informações sobre os sistemas. Além disso, existem casos em que o abastecimento de um município provém de um sistema integrado, e nesses casos, a Vazão Outorgada para o Abastecimento não é contabilizada na base de dados, pois é registrada como parte de um sistema maior. c) a análise ideal consideraria a razão entre a vazão média de captação e a vazão média disponível do manancial de captação. Se o indicador fosse construído dessa maneira, nos casos em que a captação é superficial, as razões tenderiam a ser mais elevadas, indicando maior criticidade. Nos casos em que a captação é subterrânea, os valores seriam os mesmos observados pelos parâmetros atuais utilizados.

6.3.3 Índice de atendimento urbano de água

A maioria dos municípios de São Paulo tem 100% de cobertura de abastecimento de água ou está próxima da universalização, com mais de 95% de cobertura (Figura 10). Em 2019, havia 84 municípios com cobertura abaixo de 95%. Espera-se que até 2030 todos os municípios tenham atendimento universalizado. Isso implicará em uma futura necessidade de adaptação do IVuPA, pois a influência desse indicador seria nula. Na figura 11 verifica-se a existência de padrões regionais definidos para os estratos de atendimento. No interior do estado, a maioria dos municípios tem atendimento superior a 95%, com algumas exceções dispersas. No litoral e no nordeste da RMSP, há uma predominância maior de municípios com atendimento inferior a 95%.

Dos municípios avaliados, 65,65% se apresentaram no melhor intervalo possível para o indicador, com atendimento de 100%; 19,69% entre os intervalos médios, de 95% a 99,99%; e 13,02% no pior intervalo possível, com atendimento inferior a 95%. Dessa maneira, os muni-

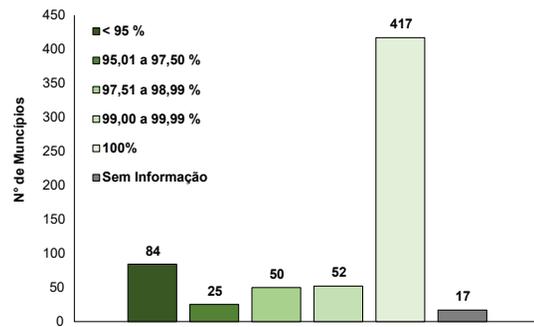


FIGURA 10 – Gráfico comparativo do Índice de atendimento urbano de água dos municípios avaliados.

FIGURE 10 – Comparative graph of the urban water supply index of the evaluated municipalities.

cípios apresentaram bom desempenho para esse indicador e os que não apresentaram possuem potencial de curto prazo, ao longo dos próximos anos, de melhorarem seu desempenho, tornando-se menos vulneráveis às perdas de água.

Dentre as fragilidades associadas ao uso de indicador, pode-se destacar: a) ele considera informações relacionadas aos municípios, não necessariamente aos SAA. b) não existe uma base de dados pública que permita a distribuição das informações sobre os SAA. c) a principal delas é que os valores apresentados na plataforma do SNIS são autodeclarados e podem não refletir a realidade.

6.3.4 Índice de perdas por ligação

A maioria dos municípios de São Paulo apresenta perdas por ligação entre 0 e 160 L/dia/lig (Figura 12). É possível observar que os municípios do noroeste e sudoeste do estado predominam neste intervalo de perdas. Por outro lado, os municípios próximos às regiões metropolitanas RMSP e RMC, bem como os municípios no nordeste do estado, apresentam os maiores estratos de perdas.

Dos municípios avaliados, 54,11% estão no melhor intervalo possível para o indicador, com perdas entre 0 e 160 l/dia/lig (Figura 13). Outros 28,37% estão nos intervalos médios, com perdas entre 160 e 340 l/dia/lig, e 13,18% estão nos dois piores intervalos possíveis, com perdas entre 340 e 500 ou mais de 500 l/dia/lig. Portanto, a maioria dos municípios apresentou bom desempenho para este indicador. Aqueles que não apresentaram têm potencial para melhorar seu desempe-

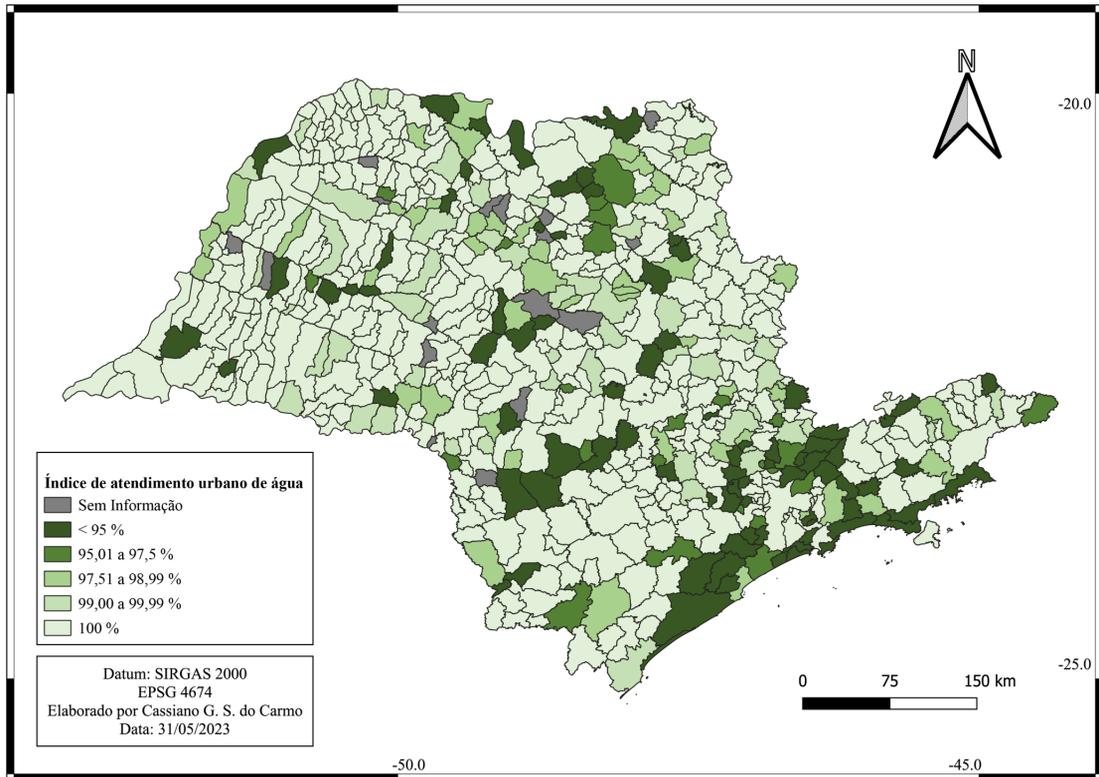


FIGURA 11 – Mapa do Índice de atendimento urbano de água dos municípios do estado de São Paulo.

FIGURE 11 – Map of the urban water supply index of the municipalities of the state of São Paulo.

nho no médio prazo e, assim, reduzir a vulnerabilidade associada às perdas de água.

No entanto, uma fragilidade importante associada a este indicador é que os valores apresentados na plataforma do SNIS são autodeclarados e podem não refletir a realidade.

6.3.5 Razão do Consumo médio per capita de água ponderado por UGRHI

A grande maioria dos municípios apresenta razão de consumo no estrato médio do indicador, que seria entre 0,8 e 1,19 (Figura 14), estando, dessa maneira, próximos à média de consumo da UGRHI em que se inserem. Esse resultado era esperado em função dos parâmetros utilizados para o indicador.

Dos municípios avaliados, 14,57% estão nos melhores intervalos possíveis para o indicador, com uma razão de consumo entre 0 e 0,79 (Figura 15). Outros 69,46% estão no intervalo médio, com uma razão de consumo entre 0,8 e 1,19, e 13,49% estão nos dois piores intervalos

possíveis, com uma razão de consumo entre 1,2 e 1,49 ou superior a 1,5. Portanto, a maioria dos municípios apresentou um desempenho razoável para este indicador. A utilização deste indicador no IVuPA depende da ponderação do peso externo pelos parâmetros utilizados, que tendem a convergir a maioria dos municípios para valores próximos de 1,00. O indicador visa identificar principalmente os municípios que apresentam um consumo muito superior à média da Unidade em que se inserem. Em avaliações futuras, espera-se que o desempenho deste indicador seja muito semelhante ao desta avaliação, tornando necessário reduzir os intervalos considerados e consequentemente expandir o número de classes para o indicador.

No entanto, existem algumas fragilidades associadas ao uso deste indicador: a) ao usar a UGRHI como base comparativa, cria-se uma tendência de comparação entre municípios limítrofes ou regionalizados que se configuram em diferentes níveis de organização regional. Isso pode resultar em valores elevados para muni-

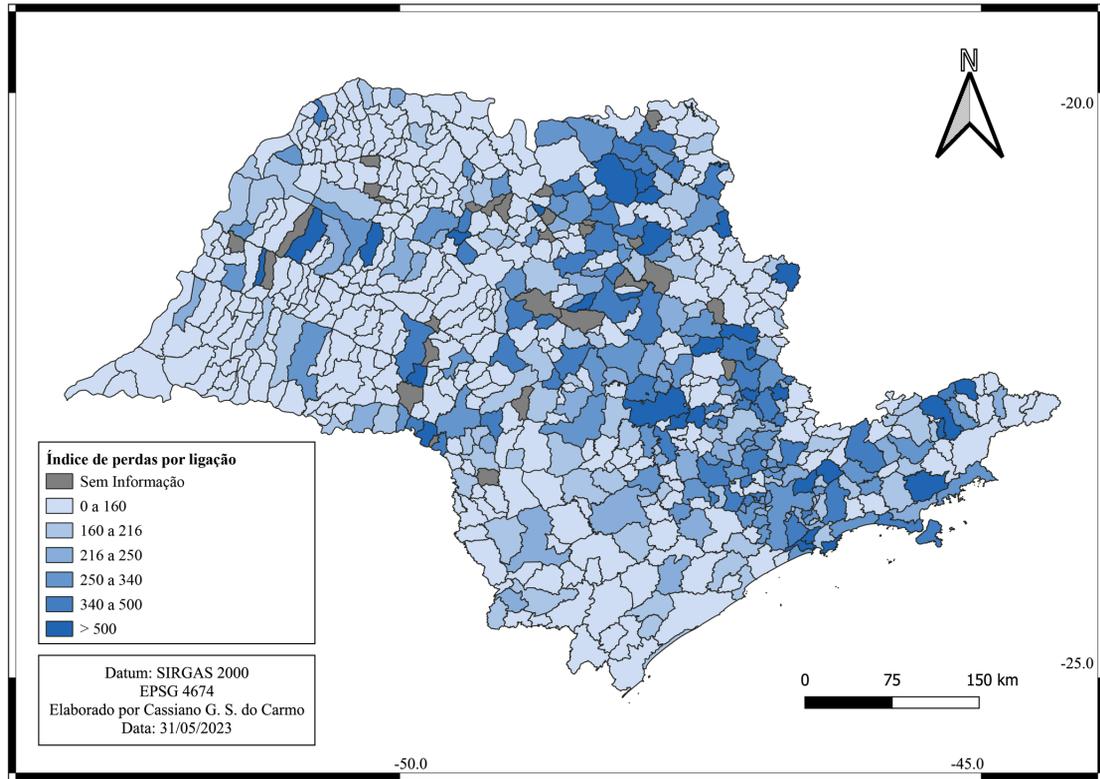


FIGURA 12 – Mapa do Índice de perdas por ligação dos municípios do estado de São Paulo.

FIGURE 12 – Map of the Water Loss Index per service connection of the municipalities of the state of São Paulo.

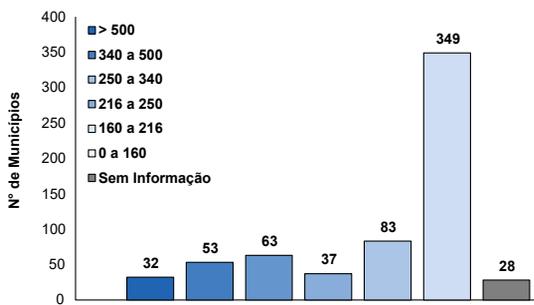


FIGURA 13 – Gráfico comparativo do Índice de perdas por ligação dos municípios avaliados.

FIGURE 13 – Comparative graph of the Water Loss Index per service connection of the evaluated municipalities.

cípios com maiores polos produtivos dentro de suas regiões, o que podem não refletir necessariamente a real situação de vulnerabilidade vinculada ao consumo médio. b) este indicador considera informações relacionadas aos municípios, não necessariamente aos SAA. c) não existe uma base de dados pública que permita a distribuição das informações sobre os SAA. d) a principal

fragilidade associada a este indicador é que os valores apresentados na plataforma do SNIS são autodeclarados e podem não refletir a realidade.

6.3.6 Razão das despesas totais com os serviços por m³ faturado pela Tarifa Média aplicada

Este indicador, entre os que compõem o IVuPA, é o que apresenta a menor distribuição padrão entre os municípios do estado de São Paulo, conforme pode ser observado no mapa da figura 16. Isso ocorre devido aos parâmetros utilizados para o indicador não dependerem necessariamente de fatores regionais, ao contrário dos outros indicadores. A razão calculada por este indicador depende da tarifa e dos custos de produção, que variam muito de acordo com a natureza jurídica do prestador e dos aspectos regulatórios, que a princípio variam muito para cada município. A exceção são os consórcios que formam agências reguladoras regionais, tendendo a estabelecer critérios mais uniformes no processo de regulação. Entre os indicadores valoráveis (com exceção do tipo de manancial) que com-

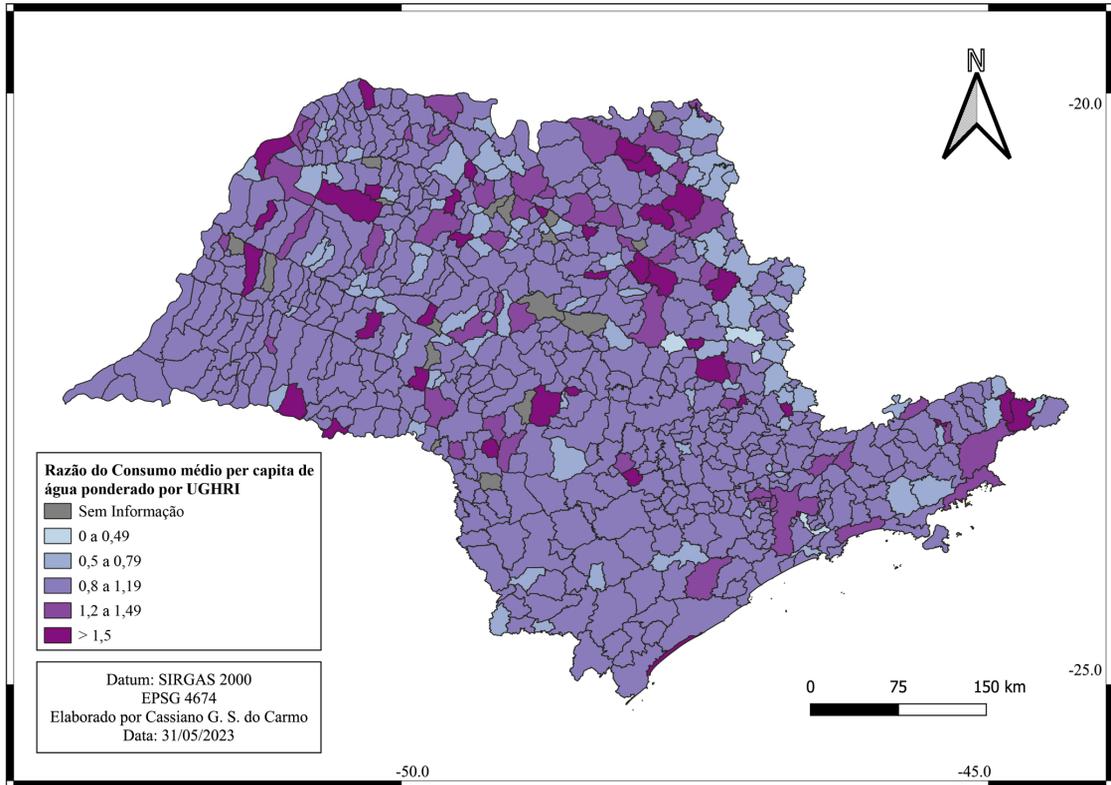


FIGURA 14 – Mapa da Razão do Consumo médio per capita de água ponderado por UGRHI dos municípios do estado de São Paulo.

FIGURE 14 – Map of the Ratio of the average per capita water consumption weighted by UGRHI of the municipalities of the state of São Paulo.

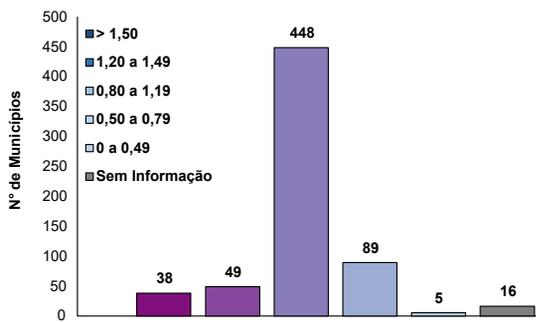


FIGURA 15 – Gráfico comparativo da Razão do Consumo médio *per capita* de água ponderado por UGRHI dos municípios avaliados

FIGURE 15 – Comparative graph of the Ratio of the average per capita water consumption weighted by UGRHI of the evaluated municipalities.

põem o IVuPA, este indicador apresentou a distribuição mais normalizada entre os intervalos propostos. Isso se deve ao número de intervalos propostos e ao cálculo do indicador, que configura uma alta variação entre os resultados para os municípios.

Dos municípios avaliados, 11,78% estão nos melhores intervalos possíveis para o indicador, com uma razão entre 0 e 0,79 (Figura 17). Outros 28,06% estão no intervalo razoável, com uma razão entre 0,8 e 0,99. Além disso, 44,65% estão nos intervalos ruins, com uma razão entre 1,00 e 1,49, e 12,56% estão nos dois piores intervalos possíveis, com uma razão entre 1,5 e 1,99 ou superior a 2,00. Portanto, a maioria dos municípios apresentou um desempenho baixo para este indicador. Mais da metade dos municípios (57,21%) têm uma razão superior a 1,00, indicando custos de produção maiores que a tarifa média praticada. Isso sugere potenciais déficits financeiros que podem estar intimamente vinculados às perdas de água e a outras razões.

No entanto, existem algumas fragilidades associadas ao uso deste indicador: a) a principal é que os valores apresentados na plataforma do SNIS são autodeclarados e podem não refletir a realidade. b) a amplitude dos valores observados neste indicador é extremamente ampla, tornando a definição dos intervalos e dos pesos de cada in-

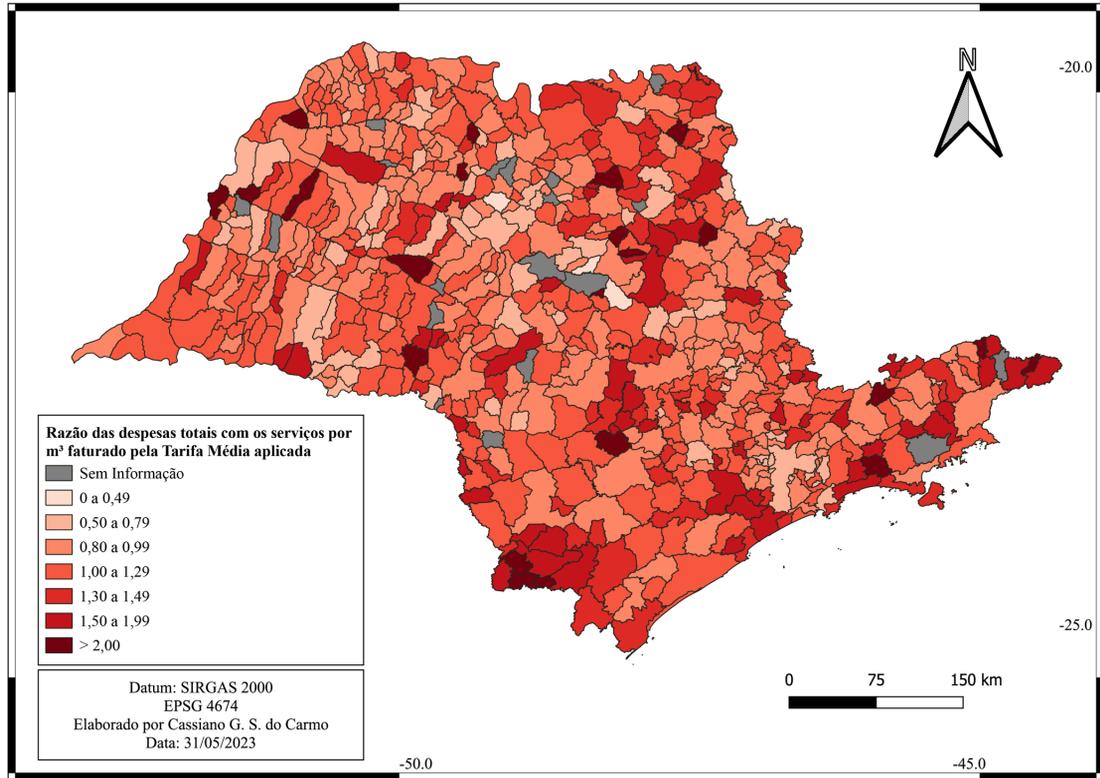


FIGURA 16 – Mapa da Razão das despesas totais com os serviços por m³ faturado pela Tarifa Média aplicada dos municípios do estado de São Paulo.

FIGURE 16 – Map of the Ratio of total expenses with services per m³ invoiced by the Average Tariff applied of the municipalities of the state of São Paulo.

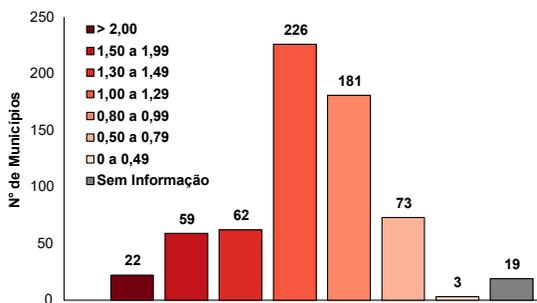


FIGURA 17 – Gráfico comparativo da Razão das despesas totais com os serviços por m³ faturado pela Tarifa Média aplicada dos municípios avaliados

FIGURE 17 – Comparative graph of the Ratio of total expenses with services per m³ invoiced by the Average Tariff applied of the evaluated municipalities.

tervallo mais difícil, podendo não representar o real nível de influência que o intervalo possui para o indicador. c) vale ressaltar que esses cálculos são indicadores da proporção entre a receita obtida e o volume faturado (IN004), ou entre

a despesa do prestador de serviços pelo volume faturado (IN003). Portanto, no caso da tarifa média praticada (IN004), o indicador não é a tarifa efetivamente cobrada pelo prestador de serviço. As tarifas cobradas e a política tarifária são de responsabilidade dos prestadores e da definição das entidades reguladoras (SNIS 2023).

6.4 Desempenho para o IVuPA

A tabela 10 apresenta o resumo da distribuição dos municípios nas classes propostas pela avaliação por meio do IVuPA que os SAA podem apresentar. O gráfico da figura 18 apresenta visualmente a comparação da classificação dos municípios avaliados pelo estudo. Adicionalmente, a figura 19 apresenta o mapa com as classificações do IVuPA, com informações do ano de 2019.

Dos municípios avaliados, 55,00% estão nas melhores classes do IVuPA, com 29,90% em irrisoriamente vulneráveis e 25,10% como pou-

TABELA 10 – Comparação dos resultados obtidos para o Índice de Vulnerabilidade às Perdas de Água para os municípios avaliados.

TABLE 10 – Comparison of the results obtained for the Index of Vulnerability to Water Losses for the evaluated municipalities.

Índice de Vulnerabilidade	Intervalo	Nº de Municípios	Distribuição (%)
Extremamente vulnerável	0,751 a 1,00	7	1,10%
Muito vulnerável	0,551 a 0,750	125	19,40%
Consideravelmente vulnerável	0,351 a 0,550	128	19,80%
Pouco vulnerável	0,251 a 0,350	162	25,10%
Irrisoriamente vulnerável	0 a 0,250	193	29,90%
Sem Informação		30	4,70%

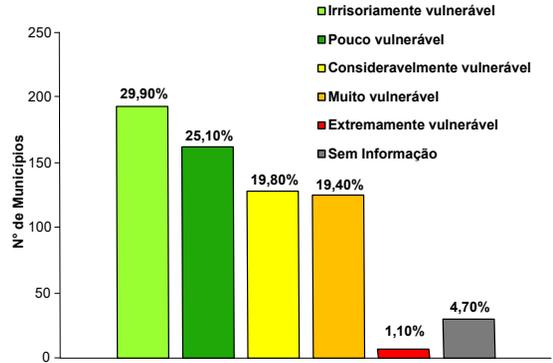


FIGURA 18 – Gráfico comparativo dos resultados obtidos pela classificação do Índice de Vulnerabilidade às Perdas de Água.

FIGURE 18 – Comparative graph of the results obtained by the classification of the Index of Vulnerability to Water Losses.

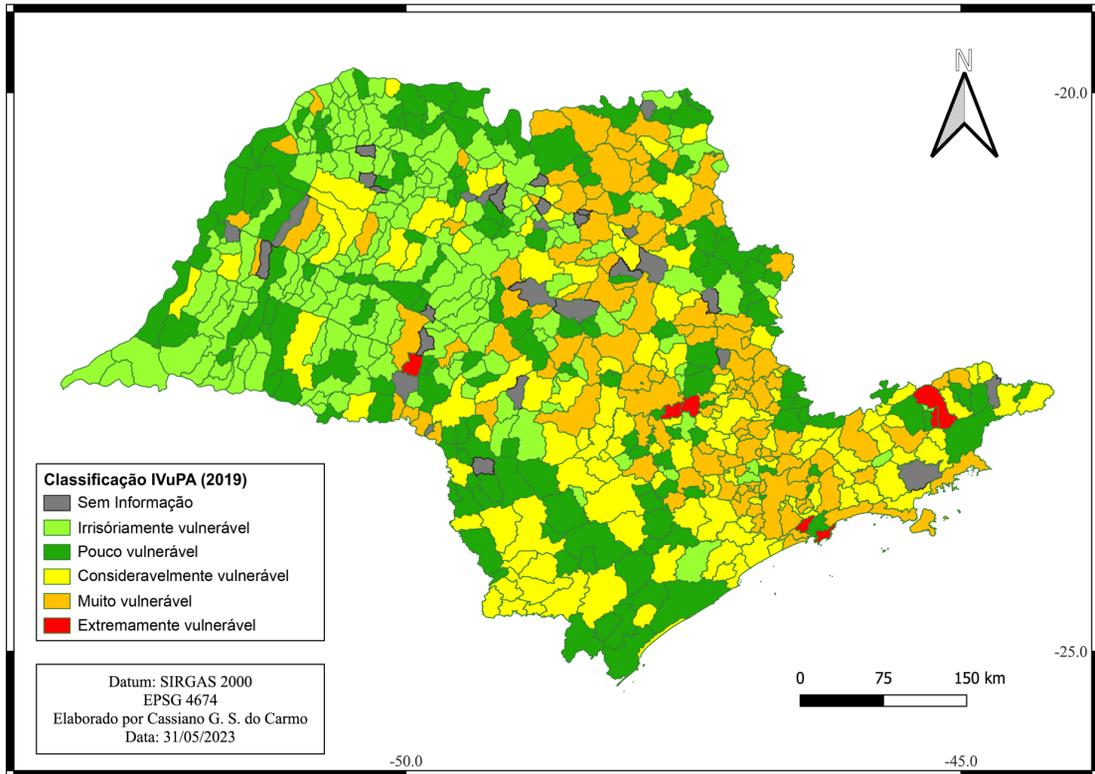


FIGURA 19 – Mapa da classificação do Índice de Vulnerabilidade às Perdas de Água (IVuPA).

FIGURE 19 – Map of the classification of the Index of Vulnerability to Water Losses (IVuPA).

co vulneráveis. Outros 19,80% se encontram na classe intermediária de consideravelmente vulneráveis. Ainda, 20,50% se apresentaram nas piores classes, sendo 19,40% como muito vulneráveis, porém apenas 1,10% se apresentou na classe de extremamente vulnerável. Esses resul-

tados indicam um bom desempenho geral dos municípios avaliados no estudo.

A tabela 11 apresenta o resumo da distribuição da população residente nos municípios classificados pela avaliação por meio do IVuPA, enquanto o gráfico da figura 20 apresen-

TABELA 11 – Comparação dos resultados obtidos para o Índice de Vulnerabilidade às Perdas de Água para população residente nos sistemas.

TABLE 11 – Comparison of the results obtained for the Index of Vulnerability to Water Losses for the population in the residing systems

Índice de Vulnerabilidade	Intervalo	População (hab)	Distribuição (%)
Extremamente vulnerável	0,751 a 1,00	826.294	1,88%
Muito vulnerável	0,551 a 0,750	27.498.417	62,42%
Consideravelmente vulnerável	0,351 a 0,550	8.538.691	19,38%
Pouco vulnerável	0,251 a 0,350	3.901.162	8,86%
Irrisoriamente vulnerável	0 a 0,250	2.976.065	6,76%
Sem Informação		313.043	0,71%

ta visualmente a comparação da classificação dessas populações.

Apesar da análise da distribuição das classes que os municípios apresentam ter indicado bons resultados de maneira geral, faz-se fundamental analisar a distribuição da população do estado nas classes de vulnerabilidade.

Com relação à distribuição da população residente nos municípios classificados, 15,62% estão

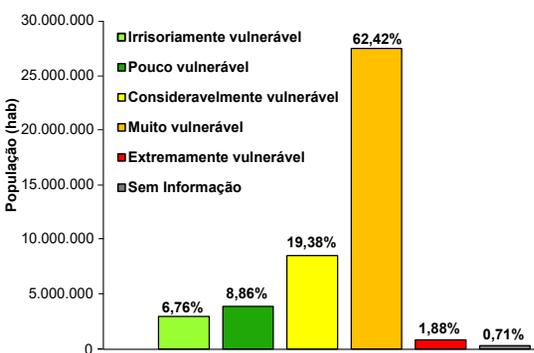


FIGURA 20 – Gráfico comparativo dos resultados obtidos pela classificação do Índice de Vulnerabilidade às Perdas de Água para população residente nos sistemas.

FIGURE 20 – Comparative graph of the results obtained by the classification of the Index of Vulnerability to Water Losses for the population residing in the systems.

nas melhores classes do IVuPA, com 6,76% em irrisoriamente vulneráveis e 8,86% como pouco vulneráveis, tendo uma redução ponderada de 39,38% entre os municípios. 19,38% da população se encontram na classe intermediária de consideravelmente vulneráveis, resultado similar ao observado para os municípios, de 19,80%. Ainda, 64,3% se apresentaram nas piores classes, sendo 62,42% como muito vulneráveis, porém apenas 1,88% se apresentou na classe de extremamente vulnerável. Esses resultados indicam maior criticidade na classificação ponderando a população em comparação com a distribuição dos municípios avaliados e que a considerável maioria da população se concentra em municípios classificados como muito vulneráveis.

7 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir do que se objetivou e foi desenvolvido pelo estudo é possível concluir que:

- O Índice de Vulnerabilidade às Perdas de Água (IVuPA) foi construído a partir de seis indicadores pré-selecionados, compostos por informações públicas. Os pesos dos indicadores foram definidos a partir de uma metodologia objetiva (AHP) e a distribuição dos pesos dos intervalos dos indicadores foi realizada a partir de cenários e desempenho que os municípios apresentaram para os indicadores.

Para a avaliação do desempenho dos municípios para os indicadores que compõem o Índice de Vulnerabilidade às Perdas de Água (IVuPA), têm-se:

- Para o indicador tipo de manancial, a análise revelou que praticamente metade dos municípios do Estado de São Paulo fazem captação subterrânea (51,94%), enquanto a captação superficial corresponde a 32,25% da distribuição. Completando o panorama, os sistemas de abastecimento de água mistos representam uma parcela considerável, sendo que os predominantemente superficiais correspondem a 9,92% e os predominantemente subterrâneos a 5,89%.

- A análise da relação da vazão outorgada para o abastecimento pela disponibilidade hídrica revelou que praticamente todos os municípios apresentaram um desempenho favorável, correspondendo a 93,64%. Por outro lado, apenas 1,70% dos municípios se encontram nos piores intervalos.

- No que se refere ao índice de atendimento urbano de água, os resultados indicaram que a maioria dos municípios apresenta um bom desempenho nesse indicador. Cerca de 65,65% dos municípios

se encontram no melhor intervalo possível, com atendimento de 100% da população urbana. Outros 19,69% dos municípios estão dentro dos intervalos médios, com atendimento variando de 95% a 99,99%. 13,02% dos municípios se encontram no pior intervalo possível, com atendimento urbano inferior a 95%.

- O indicador de perdas por ligação revelou que 54,11% dos municípios avaliados se encontram no melhor intervalo possível, com perdas entre 0 e 160 litros por dia por ligação. Outros 28,37% dos municípios estão nos intervalos médios, com perdas variando de 160 a 340 litros por dia por ligação. 13,18% dos municípios se encontram nos piores intervalos, com perdas superiores a 340 litros por dia por ligação.

- A análise do consumo médio per capita de água ponderado por UGRHI do Estado de São Paulo revelou um desempenho razoável dos municípios. A maioria dos municípios apresenta valores próximos de 1,00, indicando um consumo médio per capita de água condizente com as características hidrográficas da região. 36,47% dos municípios se encontram nos intervalos médios, com consumo médio per capita de água variando de 1,01 a 1,50. 11,34% dos municípios estão nos piores intervalos, com consumo médio per capita de água superior a 1,50.

- A análise do indicador de Razão das despesas totais com os serviços por m³ faturado pela Tarifa Média aplicada revelou que os municípios apresentaram baixo desempenho, de maneira geral, tendo mais da metade dos municípios (369 – 57,21%) razão superior a 1,00. Apenas 11,78% se apresentaram nos melhores intervalos possíveis para o indicador, com razão entre 0 e 0,79.

- A aplicação do Índice de Vulnerabilidade às Perdas de Água (IVuPA) classificou 7 municípios como Extremamente vulnerável; 125, Muito vulnerável; 128, Consideravelmente vulnerável; 162, Pouco vulnerável; 193, Irrisoriamente vulnerável; e 30, sem informação. Esses resultados indicam um bom cenário para o estado de São Paulo.

- A distribuição da população residente nos municípios classificados é de 1,18% como Extremamente vulnerável; 62,42%, Muito vulnerável; 19,38%, Consideravelmente vulnerável; 8,86%, Pouco vulnerável; 6,76%, Irrisoriamente vulnerável; 0,71%, sem informação. Esses resultados indicam um péssimo cenário para o estado de São Paulo.

O Índice de Vulnerabilidade às Perdas de Água (IVuPA), concebido neste trabalho, é uma ferramenta valiosa para avaliar a vulnerabilidade produzida pelas perdas de água. No entanto, é

importante ressaltar que este índice precisa evoluir ao longo do tempo, incorporando novas informações e aprimorando sua metodologia.

Os interessados nos resultados deste índice são diversos, incluindo prestadores de serviços, reguladores, usuários dos sistemas de abastecimento de água, gestores dos recursos hídricos, agentes políticos e outros profissionais vinculados às instituições diretamente associadas à prestação do serviço de abastecimento. Esta ampla gama de interessados demonstra a relevância e a necessidade de uma ferramenta como esta, capaz de auxiliar na tomada de decisões e na busca por soluções sustentáveis para o uso da água.

A aplicação deste índice visou demonstrar tanto seu potencial quanto suas fragilidades. Por meio das suas aplicações e análises empíricas, foi possível identificar os pontos fortes e fracos desta ferramenta, a fim de buscar o seu fortalecimento e aprimoramento contínuo. Por meio desses processos, o IVuPA pode se tornar uma ferramenta ainda mais poderosa e confiável para a avaliação da vulnerabilidade das perdas de água em diferentes contextos.

As perdas de água são um problema latente para os sistemas de abastecimento de água em todo o território nacional. O país ainda precisa universalizar o acesso aos serviços de abastecimento de água e coleta e tratamento de efluentes domésticos em diversas regiões. No entanto, já existem sistemas com prestação universalizada, onde a gestão das perdas de água deve ser o foco atual dos investimentos.

Este trabalho evidencia materialmente essas necessidades, propondo meios para avaliar objetivamente os sistemas que dependem de maiores investimentos na gestão de perdas de água. Destaca-se que, por meio dos sistemas atuais de gestão e regulação dos sistemas de abastecimento de água, há sistemas que não possuem capacidade autônoma para conter suas perdas de água, não atendendo às metas propostas para redução de perdas e outras metas associadas ao desenvolvimento sustentável.

8 AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001. Agradeço também ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - ProfÁgua, Projeto CAPES/ANA AUXPE N° 2717/2015, pelo apoio técnico científico aportado

até o momento. Aos pareceristas da revista pelas sugestões que enriqueceram o manuscrito.

9 REFERÊNCIAS

- ABES – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. 2015. *Controle e redução de perdas nos sistemas públicos de abastecimento de água: Posicionamento e contribuições técnicas da ABES*. Disponível em <http://www.abes-sp.org.br/arquivos/perdas.pdf>. Acessado em 11 jul. 2021.
- ABES – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. 2013. *Perdas em sistemas de abastecimento de água: diagnóstico, potencial de ganhos com sua redução e propostas de medidas para o efetivo combate*. Disponível em https://abes-dn.org.br/pdf/28Cbesa/Perdas_Abes.pdf. Acessado em 11 jul. 2021.
- ADGER, W.N. 2006. Vulnerability. *Global Environmental Change*, 16(3), 268–281. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.02.006>
- ALMEIDA, L.Q. 2012. *Riscos ambientais e vulnerabilidades nas cidades brasileiras: conceitos, metodologias e aplicações*. Cultura Acadêmica, São Paulo, 215 p.
- AL-WASHALI, T.; SHARMA, S.; KENNEDY, M. 2016. Methods of assessment of water losses in water supply systems: A review. *Water Resources Management*, 30(14), 4985–5001. <https://doi.org/10.1007/s11269-016-1503-7>
- AMORIM JÚNIOR, J.C. 2014. *Disponibilidade hídrica para outorga de captação: critérios anual e mensal para definição de vazões mínimas de referência*. Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, Dissertação de Mestrado, 181 p.
- ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. 2015. *Portaria nº 149, de 26 de março de 2015*. Disponível em: <https://www.ana.gov.br/sar-glossario/portaria-no-149-de-26-de-marco-de-2015>. Acesso em: 11 jul. 2021.
- ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. 2019. *Plano Nacional de Segurança Hídrica*. ANA, Brasília, 112 p.
- ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. 2021. *Atlas águas: segurança hídrica do abastecimento urbano*. ANA, Brasília, 332 p.
- ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. 2023. *Relatório de análise de impacto regulatório*. Disponível em https://participacao-social.ana.gov.br/api/files/RAIR_com_folha_de_rosto_dos_anexos-1691785900517-1695329783661.pdf. Acessado em 01 nov. 2023.
- BAKKER, K.; MORINVILLE, C. 2013. The governance dimensions of water security: A review. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 371(2002): 20130116. <https://doi.org/10.1098/rsta.2013.0116>
- BRASIL. 1997. *Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997*. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Diário Oficial da União, seção 1, Brasília, DF, 09 janeiro de 1997. Disponível em https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19433.htm.
- BRASIL. 2007. *Lei nº 11.445, de 05 de janeiro de 2007*. Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico; cria o Comitê Interministerial de Saneamento Básico. Diário Oficial da União, seção 1, Brasília, DF, 08 janeiro de 2007. Disponível em https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/111445.htm.
- BRASIL. 2019. *Plano Nacional de Saneamento Básico*. Disponível em https://www.gov.br/mdr/ptbr/assuntos/saneamento/plansab/Versao_Conselhos_Resolucao_Alta_Capa_Atualizada.pdf. Acessado em 07 jun. 2023.
- BRASIL. 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, para atribuir à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) competência para editar normas de referência sobre o serviço de saneamento, a Lei nº 10.768, de 19 de novembro de 2003, para alterar o nome e as atribuições do cargo de Especialista em

- Recursos Hídricos, a Lei nº 11.107, de 6 de abril de 2005, para vedar a prestação por contrato de programa dos serviços públicos de que trata o art. 175 da Constituição Federal, a Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, para aprimorar as condições estruturais do saneamento básico no País, a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, para tratar dos prazos para a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, a Lei nº 13.089, de 12 de janeiro de 2015 (Estatuto da Metrópole), para estender seu âmbito de aplicação às microrregiões, e a Lei nº 13.529, de 4 de dezembro de 2017, para autorizar a União a participar de fundo com a finalidade exclusiva de financiar serviços técnicos especializados. Diário Oficial da União, seção 1, Brasília, DF, 16 julho de 2020. Disponível em https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/l14026.htm.
- BRASIL. 2021. *Portaria nº 490, de 22 de março de 2021*. Estabelece os procedimentos gerais para o cumprimento do disposto no inciso IV do caput do art. 50 da Lei n. 11.445, de 5 de janeiro de 2007, e no inciso IV do caput do art. 4º do Decreto n. 10.588, de 24 de dezembro de 2020. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 23 março de 2021. Disponível em <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-n-490-de-22-de-marco-de-2021-309988760>.
- COM+ÁGUA. 2018. *Perdas Aparentes*. Disponível em: <http://antigo.snis.gov.br/downloads/publicacoes-acertar/perdas/Vol.4-Perdas-Aparentes.pdf>. Acessado em 12 jun. 2023.
- COOK, C.; BAKKER, K. 2012. Water security: Debating an emerging paradigm. *Global Environmental Change*, 22(1):94–102. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2011.10.011>
- CRHI – COORDENADORIA DE RECURSOS HÍDRICOS. 2022. *Banco de Indicadores para Gestão dos Recursos Hídricos do Estado de São Paulo (2022)*. CRHi, São Paulo.
- CRUZ, J.C.; SILVEIRA, G.L. 2007. Disponibilidade hídrica para outorga (I): avaliação por seção hidrológica de referência. *REGA*, 4(2): 51–64.
- EUROPEAN COMMISSION. 2015. *Reference document good practices on leakage management*. LU: Publications Office. 117 p.
- FRAUENDORFER, R.; LIEMBERGER, R. 2010. *The issues and challenges of reducing non-revenue water*. Metro Manila, Philippines. 51 p.
- GLEICK, P.H. 2015. On methods for assessing water-resource risks and vulnerabilities. *Environmental Research Letters*, 10(11): 111003. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/10/11/111003>
- GUANAIS, A.L.R.; COHIM, E.B.; MEDEIROS, D.L. 2017. Avaliação energética de um sistema integrado de abastecimento de água. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 22(6): 1187–1196. <https://doi.org/10.1590/s1413-41522017146180>
- GUO, G.; LIU, S.; JIA, D.; WANG, S.; WU, X. 2021. Simulation of a leak's growth process in water distribution systems based on growth functions. *Journal of Water Supply: Research and Technology-Aqua*, 70(4): 521–536. <https://doi.org/10.2166/aqua.2021.021>
- HAIDER, H.; SADIQ, R.; TESFAMARIAM, S. 2014. Performance indicators for small and medium-sized water supply systems: A review. *Environmental Reviews*, 22(1), 1–40. <https://doi.org/10.1139/er-2013-0013>
- HELLER, L.; PÁDUA, V. L. 2016. *Abastecimento de água para consumo humano*. Editora UFMG, Belo Horizonte, 870 p.
- HOEKSTRA, A.Y.; BUURMAN, J.; VAN GINKEL, K.C.H. 2018. Urban water security: A review. *Environmental Research Letters*, 13(5): 053002. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aaba52>
- INSTITUTO TRATA BRASIL. 2023. *Perdas de água 2023 (SNIS 2021): desafios para disponibilidade hídrica e avanço da eficiência do saneamento básico*. Disponível em https://tratabrasil.org.br/wp-content/uploads/2023/06/Estudo-de-Perdas-de-Agua_2023.pdf. Acessado em 15 ago. 2023.
- LAMBERT, A.; HIRNER, W. 2000. *Losses from Water Supply Systems: Standard Terminology and Recommended Performance Measures*. Disponível em <https://waterfund.go.ke/watersource/Downloads/001.%20Losses%20from%20water%20supply%20systems.pdf>. Acessado em 13 ago. 2021.

- MANZI, D. 2020. *Hidráulica de Todo Dia no Saneamento*. Appris Editora, Curitiba, 189 p.
- MARANDOLA JR., E.; DANTONA, A.O. 2014. Vulnerabilidade: problematizando e operacionalizando o conceito. In: R. Carmo & N. Valencio (Orgs.). *Segurança humana no contexto dos desastres*. São Carlos, RiMa, p. 45–61.
- MOSER, C.O.N. 1998. The asset vulnerability framework: Reassessing urban poverty reduction strategies. *World Development*, 26(1): 1–19.
- PEARSON, D. 2019. *Standard Definitions for Water Losses*. IWA Publishing, Londres, 78 p.
- PHILIPPI JUNIOR, A.; MALHEIROS, T. D. 2012. *Indicadores de Sustentabilidade e Gestão Ambiental*. Manoele, Barueri, 800 p.
- PLUMMER, R.; DE LOË, R.; ARMITAGE, D. 2012. A systematic review of water vulnerability assessment tools. *Water Resources Management*, 26(15): 4327–4346. <https://doi.org/10.1007/s11269-012-0147-5>
- ROTAVA, J. 2014. *Índices de resiliência hídrica e de perigo para gestão do risco de inundações urbanas*. Escola Politécnica de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, Dissertação de Mestrado, 133 p.
- SAATY, T.L. 1980. *The analytic hierarchy process: planning, priority setting, resource allocation*. McGraw-Hill, New York, 287 p.
- SECRETARIA NACIONAL DE SANEAMENTO AMBIENTAL. 2023. *Plansab: Relatório de Avaliação Anual 2021*. Disponível em <https://www.gov.br/cidades/pt-br/acao-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/plano-nacional-de-saneamento-basico-plan-sab/arquivos/relatriodeavaliaoanualdo-plan-sab2021.pdf>. Acessado em 13 ago. 2023.
- SNIS – SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. 2023a. Ministério das Cidades. *Diagnóstico Temático Serviços de Água e Esgoto*. Disponível em https://arquivos-snis.mdr.gov.br/DIAGNOSTICO_TEMATICO_GESTAO_TECNICA_DE_AGUA_AE_SNIS_MAI_2023.zip. Acessado em 07 jun. 2023.
- SNIS – SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. 2023b. *Série Histórica*. Disponível em <http://app4.mdr.gov.br/serieHistorica/>. Acessado em 07 jun. 2023.
- STADDON, C.; SCOTT, C.A. 2018. Putting water security to work: Addressing global challenges. *Water International*, 43(8), 1017–1025. <https://doi.org/10.1080/02508060.2018.1550353>
- STATE OF GREEN. 2021. *Reducing urban water losses*. Disponível em https://stateofgreen.com/en/wp-content/uploads/2021/03/SoG_WhitePaper_NonRevenueWater_210x297_V11_WEB.pdf. Acessado em 08 jun. 2023.
- TAYLOR, K.S. 2021. Australian water security framings across administrative levels. *Water Security*, 12: 100083. <https://doi.org/10.1016/j.wasec.2020.100083>
- VICENTINI, L.P. 2012. *Componentes do balanço hídrico para avaliação de perdas em sistemas de abastecimento de água*. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo. Dissertação de Mestrado, 196 p.

Endereço dos autores:

Cassiano Gonçalves Simões do Carmo* ( 0000-0002-0511-1856) – PROFÁGUA - Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - Polo UNESP (Campus de Ilha Solteira), Av. Brasil Sul, 56, Centro, CEP 15385-000, Ilha Solteira, SP, Brasil. *E-mail:* cassiano.simoes@unesp.br

Rodrigo Lilla Manzione ( 0000-0002-0754-2641) – Faculdade de Ciências, Tecnologia e Educação, Departamento de Geografia e Planejamento (Campus de Ourinhos), Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Av. Renato da Costa Lima, 451, Ville de France, CEP 19903-302, Ourinhos, SP, Brasil. PROFÁGUA - Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - Polo UNESP (Campus de Ilha Solteira), Av. Brasil Sul, 56, Centro, CEP 15385-000, Ilha Solteira, SP, Brasil. *E-mail:* lilla.manzione@unesp.br

*Autor correspondente

Artigo submetido em 1 de novembro de 2023, aceito em 16 de novembro de 2023.

