

**Estudo de Indicadores de Sustentabilidade e de Gestão Hídrica nos
Municípios de Araraquara, Jaú e São Carlos**

*Study of Sustainability and Water Management Indicators in the Municipalities of
Araraquara, Jaú and São Carlos*

*Estudio de Indicadores de Sostenibilidad y Gestión del Agua en los Municipios de
Araraquara, Jaú y São Carlos*

Júlia Ramos Protásio

Doutoranda, UFSCAR, Brasil
eng.juliaprotasio@gmail.br

Katia Sakihama Ventura

Professora Doutora, UFSCAR, Brasil
katiasv@ufscar.br

RESUMO

A compreensão e gestão eficaz da quantidade e qualidade da água em escala regional, especialmente em regiões de bacias, são de suma importância para garantir a resiliência de um município diante das mudanças climáticas. Nesse contexto, o objetivo foi estudar os indicadores de sustentabilidade e de gestão hídrica nos municípios de Araraquara, Jaú e São Carlos, localizados na região central de São Paulo (SP). O método baseou-se na caracterização da área de estudo por meio do levantamento bibliográfico e análise documental de informações e dados secundários, de caráter qualitativo e quantitativo. Em seguida, foram analisados a disponibilidade hídrica (índice de Falkenmark), a segurança da água (Índice de Segurança Hídrica Urbana) e o desenvolvimento sustentável (Índice de Sustentabilidade e Desenvolvimento das Cidades). Os resultados indicaram que a disponibilidade hídrica na bacia apresenta alguns problemas sazonais de suprimento e qualidade de água, com efeitos adversos durante secas severas. No que diz respeito à segurança hídrica, todos os municípios obtiveram índices classificados como 'Alto'. A sustentabilidade observada conferiu uma classificação geral "média" para os três municípios estudados. Concluiu-se que, por meio da análise dos indicadores selecionados quanto à eficácia da aplicação integrada destes na gestão hídrica dos municípios de Araraquara, Jaú e São Carlos, este estudo proporcionou uma compreensão abrangente de cada município. A análise individual dos municípios revelou características distintas e oportunidades de melhorias no setor dos recursos hídricos.

PALAVRAS-CHAVE: Recursos Hídricos, Indicadores de Sustentabilidade, Mudanças Climáticas.

SUMMARY

Understanding and effectively managing the quantity and quality of water on a regional scale, especially in basin regions, is extremely important to ensure the resilience of a municipality in the face of climate change. In this context, the objective was to study sustainability and water management indicators in the municipalities of Araraquara, Jaú and São Carlos, located in the central region of São Paulo (SP). The method was based on the characterization of the study area through bibliographical research and documentary analysis of information and secondary data, of a qualitative and quantitative nature. Next, water availability (Falkenmark index), water security (Urban Water Security Index) and sustainable development (Sustainability and Cities Development Index) were analyzed. The results indicated that water availability in the basin presents some seasonal problems of water supply and quality, with adverse effects during severe droughts. Regarding water security, all municipalities had indexes classified as 'High'. The observed sustainability gave an overall "average" rating for the three municipalities studied. It was concluded that, through the analysis of the selected indicators regarding the effectiveness of their integrated application in water management in the municipalities of Araraquara, Jaú and São Carlos, this study provided a comprehensive understanding of each municipality. The individual analysis of the municipalities revealed distinct characteristics and opportunities for improvements in the water resources sector.

KEYWORDS: Water Resources, Sustainability Indicators, Climate Change.

RESUMEN

Comprender y gestionar eficazmente la cantidad y calidad del agua a escala regional, especialmente en las regiones de cuenca, es extremadamente importante para garantizar la resiliencia de un municipio frente al cambio climático. En este contexto, el objetivo fue estudiar indicadores de sostenibilidad y gestión del agua en los municipios de Araraquara, Jaú y São Carlos, ubicados en la región central de São Paulo (SP). El método se basó en la caracterización del área de estudio mediante investigación bibliográfica y análisis documental de información y datos secundarios, de carácter cualitativo y cuantitativo. A continuación, se analizó la disponibilidad de agua (índice de Falkenmark), la seguridad hídrica (Índice de Seguridad Hídrica Urbana) y el desarrollo sostenible (Índice de Sostenibilidad y Desarrollo de las Ciudades). Los resultados indicaron que la disponibilidad de agua en la cuenca presenta algunos problemas estacionales de suministro y calidad del agua, con efectos adversos durante sequías severas. En cuanto a la seguridad hídrica, todos los municipios tenían índices clasificados como 'Altos'. La sostenibilidad observada dio una calificación general "media" para los tres municipios estudiados. Se concluyó que, a través del análisis de los indicadores seleccionados sobre la efectividad de su aplicación integrada en la gestión del agua en los municipios de Araraquara, Jaú y São Carlos, este estudio proporcionó una comprensión integral de cada municipio. El análisis individual de los municipios reveló distintas características y oportunidades de mejora en el sector de los recursos hídricos.

PALABRAS CLAVE: Recursos Hídricos, Indicadores de Sostenibilidad, Cambio Climático.

1 INTRODUÇÃO

Estudos preveem que, nos próximos anos, os impactos das mudanças climáticas, agravados pelas atividades humanas, terão o potencial de afetar substancialmente diversos setores que dependem direta ou indiretamente dos recursos hídricos (NAITZEL, 2023). Diante da seriedade desta problemática, garantir a disponibilidade hídrica é uma temática que têm ganhado mais relevância nos debates mundiais, no que tange em encontrar soluções estratégicas e ações que garantam a segurança dos recursos hídricos diante das mudanças climáticas.

Estudos indicam que é crucial o avanço do desenvolvimento sustentável para alcançar a segurança hídrica em escala global (MISHRA *et al.*, 2021; POKHREL *et al.*, 2021; RODELL *et al.*, 2018). Para tal objetivo, são necessárias abordagens abrangentes e sustentáveis para lidar com os desafios associados à segurança hídrica, exigindo uma integração multifatorial entre as esferas econômica, social e ambiental (MISHRA *et al.*, 2021; RODELL *et al.*, 2018). Em adição, a singularidade de cada localização geográfica apontou a necessidade de disponibilidade de dados para mensurar a segurança hídrica, propiciando o surgimento de várias ferramentas com variadas definições, incluindo indicadores (OCTAVIANI; STADDON, 2021).

A conscientização sobre o cenário da disponibilidade hídrica constitui o primeiro passo para enfrentar os desafios a ela associados. Essa conscientização propicia mudanças por meio da adoção de medidas mais eficazes na gestão do uso da água, implementação de infraestruturas, alterações nos padrões de vida e na tomada de decisões, bem como a implementação de políticas de gestão hídrica (RODELL *et al.*, 2018).

No contexto voltado para a disponibilidade hídrica, os indicadores desempenham um papel fundamental na criação de uma visão ampla e na comparação dos diferentes níveis identificados, abrangendo desde a escassez até a disponibilidade abundante desses recursos (LAWRENCE; MEIGH; SULLIVAN, 2002).

A disponibilidade hídrica refere-se à quantidade de água disponível para uso pela sociedade sem causar impactos adversos ao meio aquático. Isso envolve atender às necessidades da população enquanto preserva a integridade ambiental do sistema hídrico. Portanto, há limitações tanto em termos de quantidade quanto de qualidade da água para atender às diversas demandas ao longo do tempo e espaço, visando garantir a sustentabilidade ambiental (CRUZ; TUCCI, 2008).

Neste contexto, compreende-se que a utilização de indicadores e dados como ferramentas orientadoras é de grande importância para compreender o cenário dos Recursos Hídricos em uma região ou município. Isso permite uma compreensão do diagnóstico, direcionando o planejamento estratégico para a preservação e/ou restauração dos Recursos Hídricos. Adicionalmente, viabiliza a adaptação do município ou da região frente às mudanças climáticas.

Um indicador pode ser definido como uma variável, seja ela quantitativa ou qualitativa, que oferece uma maneira válida e confiável de quantificar o desempenho, avaliar resultados ou representar mudanças associadas a uma intervenção em relação a cada uma das dimensões principais avaliadas (VAN BEEK; ARRIENS, 2014). Dessa forma, os indicadores servem como instrumentos de apoio à tomada de decisões, facilitando a conexão entre a identificação o

do problema e sua solução, com a capacidade de serem adaptados conforme necessário (VENTURA, 2009).

O Índice de Falkenmark avalia a disponibilidade de água em uma região em relação às necessidades de água para diversos usos, incluindo abastecimento humano, agricultura, indústria, entre outros. Este índice expressa a relação entre a quantidade de água retirada de fontes hídricas em uma determinada área e a quantidade disponível per capita (FALKENMARK; WIDSTRAND, 1992).

Por outro lado, o Índice Segurança Hídrica Urbana (ISH-U), apresenta as seguintes dimensões da segurança hídrica: Humana, Econômica, Ecológica e de Resiliência. Estas dimensões foram consideradas e combinadas para constituir o Índice de Segurança Hídrica (ANA, 2023). A necessidade de abordagens holísticas para enfrentar os desafios associados à segurança hídrica torna-se imperativa, demandando a inclusão das dimensões sociais, econômicas e ambientais em diversas escalas. Essas abordagens podem desempenhar um papel catalisador no progresso de diversos setores, como saúde pública, segurança energética, resiliência climática, redução da pobreza, ao mesmo tempo em que aceleram o alcance dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) (MISHRA *et al.*, 2021).

O Índice de Sustentabilidade e Desenvolvimento das Cidades (ISDC) é uma métrica utilizada para avaliar o nível de sustentabilidade e desenvolvimento em áreas urbanas. Essa ferramenta é crucial para orientar políticas públicas, planejamento urbano e iniciativas que promovam o desenvolvimento sustentável, visando melhorar a qualidade de vida dos habitantes das cidades (ICS, 2023).

Ao englobar uma variedade de indicadores econômicos, sociais, ambientais e de qualidade de vida, o ISDC fornece uma pontuação que permite a comparação relativa entre diferentes áreas urbanas, auxiliando governos, organizações e pesquisadores a entender o desempenho das cidades em diversas áreas relacionadas ao desenvolvimento sustentável (ICS, 2023).

Cada ODS possui metas específicas e indicadores mensuráveis que permitem monitorar o progresso em direção aos objetivos estabelecidos. Os 17 ODS são concebidos como uma abordagem integrada, reconhecendo a interdependência entre questões sociais, econômicas e ambientais. Eles visam garantir que o desenvolvimento seja sustentável, equitativo e inclusivo, promovendo a prosperidade global e a preservação do planeta (Nações Unidas Brasil, 2023).

Considerando a interseção entre a disponibilidade hídrica, os desafios associados às mudanças climáticas e a necessidade de desenvolvimento sustentável, a hipótese central deste estudo é que a aplicação integrada de indicadores, como o Índice de Falkenmark, o ISH-U e o ISDC, oferece uma abordagem eficaz para avaliar e orientar a gestão hídrica em municípios específicos (Araraquara, Jaú e São Carlos). Esses indicadores multifatoriais, ao considerarem dimensões humanas, econômicas, ecológicas e de resiliência, são cruciais para promover a sustentabilidade, enfrentar os desafios climáticos e contribuir para o alcance dos ODS de maneira abrangente e integrada.

A principal questão que orientou esta pesquisa foi: como o uso desses indicadores pode subsidiar a formulação de estratégias eficazes de gestão hídrica, considerando os desafios associados às mudanças climáticas e a necessidade de desenvolvimento sustentável?

2 OBJETIVO

O objetivo foi estudar os indicadores de sustentabilidade e de gestão hídrica nos municípios de Araraquara, Jaú e São Carlos, localizados na região central de São Paulo (SP).

3 METODOLOGIA

3.1 Caracterização Geral dos Municípios

O método utilizado para a caracterização da área de estudo envolveu o levantamento bibliográfico e a análise documental de informações, no qual foram analisadas fontes de estudos acadêmicos e científicos, legislação vigente, relatórios, protocolos, conforme Fonseca (2002) e Gil (2019).

A revisão da literatura abrange fontes secundárias, referindo-se a materiais previamente validados ou examinados de maneira analítica (GIL, 2019), como livros e artigos científicos (FONSECA, 2002). Embora a pesquisa documental compartilhe semelhanças com a pesquisa bibliográfica, ela incorpora fontes mais variadas, sem análise sistemática, incluindo jornais, relatórios, documentos oficiais e relatórios de empresas, entre outras fontes (FONSECA, 2002).

Esta pesquisa possui abordagem qualitativa e quantitativa, visto que, se caracteriza como qualitativa, pois suas informações buscam explicar o porquê das coisas, exprimindo o que convém ser feito e analisando dados não métricos (GERHARDT; SILVEIRA, 2009) em conjunto com a análise e interpretação conjunta de dados métricos da pesquisa quantitativa, cujo dados ilustram um retrato real do cenário alvo da pesquisa (FONSECA, 2002). O uso conjunto das duas abordagens permite ao pesquisador recolher mais informações acerca do objeto de estudo do que se o fizesse separadamente (FONSECA, 2002).

Nessa etapa, o levantamento bibliográfico focou os seguintes aspectos: informações sobre saneamento, informações sobre dados demográficos, recursos hídricos, disponibilidade hídrica, indicadores relacionados aos recursos hídricos. Todos estes aspectos foram pesquisados em associação com informações sobre os municípios de Araraquara (SP), Jaú (SP) e São Carlos (SP).

As bases de dados e informações consultadas foram: Google Acadêmico, Google Books, Prefeitura Municipal de Araraquara, Prefeitura Municipal de Jaú, Prefeitura Municipal de São Carlos, Serviço Autônomo de Água e Esgoto de São Carlos (SAAE São Carlos), Departamento Autônomo de Água e Esgoto (DAAE Araraquara), Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), e Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), plataforma digital Portal Info Águas da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB).

Isso permitiu compreender o cenário da disponibilidade hídrica e do saneamento em Araraquara (SP), Jaú (SP) e São Carlos (SP). Para alcançar esse objetivo, foram consultadas as informações disponíveis digitalmente nas prefeituras dos municípios, bem como em agências governamentais nas esferas estaduais e nacional.

3.2 Elaboração dos mapas

Utilizou-se a ferramenta de mapeamento QGIS, versão 3.28.12, para a elaboração dos mapas utilizados neste trabalho, na escala 1:250000. Os arquivos shapefiles referentes aos municípios estudados foi obtido através da plataforma do IBGE, nas bases de dados datadas em seus anos de 2022 e 2023, de acordo com a disponibilidade da versão mais atualizada.

No Quadro 1 estão identificados os dados utilizados na elaboração dos mapas e suas respectivas fontes e bases.

Quadro 1 – Bases de dados utilizada para a elaboração de mapas

Informação/Dados	Formato	Fonte	Ano de referência
Limites Territoriais municipais, estaduais e nacional	Shapefile	IBGE	2022
Perímetros Urbanos	Shapefile	IBGE	2022
Drenagem superficial dos corpos hídricos do Brasil	Shapefile	IBGE	2022
Limite das UGRHs do estado de São Paulo	Shapefile	Sigrh	2023
Hidrografia das UGRHs do estado de São Paulo	Shapefile	Sigrh	2023

Fonte: Elaboração Própria, 2023.

3.3 Indicadores Relacionados aos Recursos Hídricos

Considerando as perspectivas de crescimento demográfico, aumento do consumo de recursos hídricos e os impactos causados pelas mudanças climáticas, a utilização de indicadores para o monitoramento da situação dos Recursos Hídricos de um município são de suma importância. Neste sentido, foram utilizados o Índice de Falkenmark, o ISH-U e o ISDC, para a caracterização dos municípios estudados.

3.1.1 Índice de Falkenmark

O Índice de Falkenmark é uma ferramenta útil para avaliar a disponibilidade de água e o estresse hídrico em uma região, auxiliando na gestão sustentável dos recursos hídricos e na tomada de decisões relacionadas à água. Os valores do índice podem variar de forma a indicar diferentes graus e classes de escassez de água, conforme expressados no Quadro 2.

Quadro 2 - Classes de situação hídrica segundo o Índice de Falkenmark

Classe Hídrica	Descrição	Água Disponível (m ³ / hab / ano)
Além da "Barreira Hídrica"	Problemas crônicos e em grande escala de suprimento de água, que se tornam catastróficos durante as secas. Limite da capacidade de gerenciamento dos recursos hídricos	< 500
Escassez Crônica de Água	Problemas crônicos de suprimento de água que se tornam piores durante a estação seca; secas severas são frequentes.	500 a 1.000
Tensão Hídrica	Frequentes problemas sazonais de suprimento e de qualidade de água, acentuados por secas ocasionais	1.000 a 1.666
Problemas Moderados	Alguns problemas sazonais de suprimento e de qualidade de água, com alguns efeitos adversos durante secas severas	1.666 a 10.000
Dotação Adequada	Raros problemas de suprimento e qualidade de água, exceto durante condições de secas extremas	> 10.000

Fonte: Adaptado de Falkenmark e Widstrand, 1992.

3.1.2 Índice de Segurança hídrica Urbano (ISH-U)

O ISH-U, desenvolvido como parte integrante do Plano Nacional de Segurança Hídrica (PNSH), elaborado pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), tem o propósito de representar diversas perspectivas da segurança hídrica no território brasileiro (ANA, 2023). Este índice é disponibilizado pela ANA para consulta pública na plataforma "Atlas Águas", que

permite a visualização das informações referentes ao município desejado por meio de uma base de dados sobre águas.

3.1.3 Índice de Sustentabilidade e Desenvolvimento das Cidades

O Índice de Sustentabilidade e Desenvolvimento das Cidades (ISDC) foi elaborado como propósito de avaliar e mensurar o desempenho das cidades em relação à sustentabilidade e ao desenvolvimento. Esse índice varia de 0 a 100, sendo que o maior valor representa o nível mais elevado da sustentabilidade. A classificação do ISDC se baseia na cor e no valor numérico, tais como verde escuro (muito alto - 80 a 100), verde (alto - 60 a 79,99), amarelo (médio - 50 a 59,99), laranja (baixo - 40 a 49,99) e vermelho (muito baixo - 0 a 39,99), indica o quão próximo ou distante um município está de atingir cada um dos ODS. Quanto mais próximo do vermelho, maior a distância em relação à realização do ODS em questão (ICS, 2023).

Dentre os 17 ODS como parte da Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, cinco destes estão diretamente relacionados com este estudo. A justificativa está apresentada no Quadro 3.

Quadro 3 - ODS relacionados aos estudos de Recursos Hídricos.

Objetivo do Desenvolvimento Sustentável	Justificativa do ODS na presente pesquisa
ODS 6 - Água Limpa e Saneamento	Este objetivo tem como meta assegurar a disponibilidade e a gestão sustentável da água e saneamento para todos (ICS BRASIL, 2023). Desta forma, este objetivo é o mais relevante para esta pesquisa.
ODS 3 - Saúde e Bem-Estar	Garantir o acesso a água potável e saneamento adequado contribui para a promoção da saúde e prevenção de doenças (IPCC, 2023; KYPRIANOU, L. et al., 2023). Assim, este objetivo se relaciona a este estudo pela qualidade da água está diretamente ligada à saúde humana.
ODS 11 - Cidades e Comunidades Sustentáveis	O acesso à água limpa e a gestão sustentável dos recursos hídricos são fundamentais para comunidades saudáveis e resilientes (LI <i>et al.</i> , 2023; SITZENFREI; DIAO; BUTLER, 2022; NIKOLOPOULOS <i>et al.</i> , 2019). Desta maneira, a qualidade da água afeta diretamente a sustentabilidade das cidades e comunidades.
ODS 12 - Consumo e Produção Sustentáveis	A pesquisa sobre a qualidade da água também pode estar relacionada ao uso sustentável dos recursos naturais, incluindo a água (SITZENFREI; DIAO; BUTLER, 2022). Reduzir a poluição e melhorar a eficiência no uso da água são aspectos-chave deste objetivo.
ODS 13 - Ação contra a Mudança Global do Clima	Mudanças na qualidade da água podem ser influenciadas pelas mudanças climáticas (IPCC, 2023; SITZENFREI; DIAO; BUTLER, 2022). A pesquisa pode ajudar a entender e enfrentar os impactos da mudança climática na disponibilidade e qualidade da água.
ODS 14 - Vida na Água	Preservar e renovar a qualidade da água em corpos hídricos e oceanos é crucial para a vida aquática (IPCC, 2023). Este objetivo visa conservar e utilizar de forma sustentável os oceanos, mares e recursos marinhos.

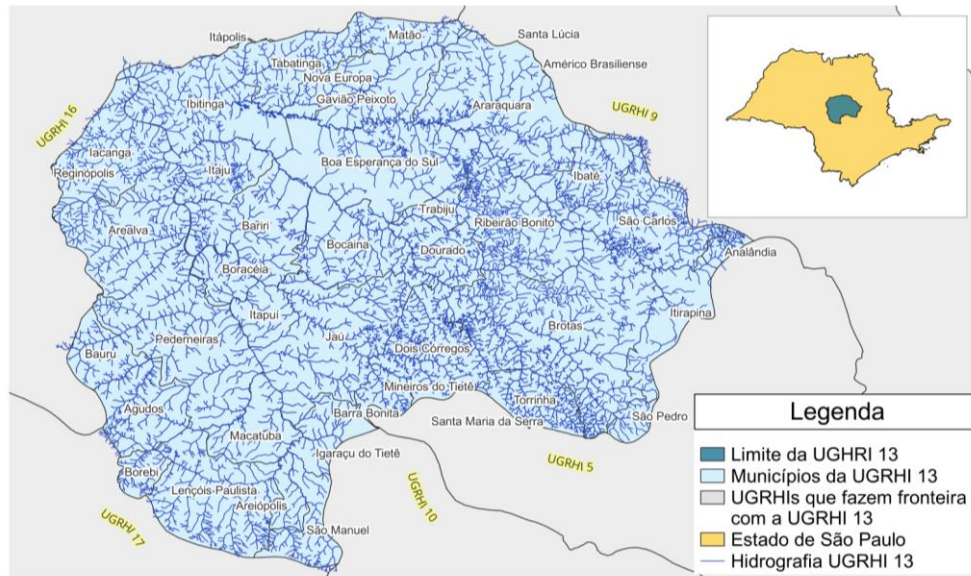
Fonte: Elaboração Própria, 2024.

4 RESULTADOS

4.1 Caracterização dos municípios

A Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI) 13, está localizada na região central do Estado de São Paulo e abrange 34 municípios, representando aproximadamente 3,6% da população paulista (Figura 1). Esta unidade faz fronteira com as UGRHI 5 (Piracicaba/Capivari/Jundiaí), UGRHI 9 (Mogi-Guaçu), UGRHI 10 (Tietê/Sorocaba), UGRHI 16 (Tietê-Batalha) e UGRHI 17 (Médio Paranapanema) (CBHTJ, 2023).

Figura 1 – Mapa da UGRHI 13, com divisão dos municípios.



Sistema de Coordenadas: UTM - Universal Transversa de Mercator, SIRGAS 2000 - Zonas 22S e 23S
Fontes: Limites municipais e Unidades Federativas (IBGE, 2022) e Limite da Bacias do Estado de São Paulo e Hidrografia da UGRHI 13 (SIGRH, 2023).

Fonte: Autoria Própria, 2023.

Com uma área de drenagem abrangendo aproximadamente 11.779 km², essa bacia atende a uma população de 1.462.855 habitantes, e possui base econômica predominante dos municípios inseridos na região relacionadas à agroindústria, que engloba atividades como a produção de açúcar, álcool e processamento de cítricos (SIGRH, 2023).

A região da bacia é delimitada pelos seus principais rios: Tietê, Jacaré-Guaçu e Jacaré-Pepira, e é constituída pelos reservatórios Bariri, Ibitinga e Lobo. Os seus principais mananciais de captação superficial são: Rios Lençóis, Itaquerê, Jacaré-Guaçu, Jacaré-Pepira e Jaú; Ribeirão do Potreiro; Córrego do Borralho (CBHTJ, 2023).

Os estudos de caso utilizados para esta pesquisa incluíram os municípios de Araraquara, Jaú e São Carlos, localizados na UGRHI 13 (Figura 1). Esses municípios foram selecionados, de forma preliminar, pelo conjunto de dados disponíveis, pelo porte populacional da UGRHI-13 e, pela relevância econômica no estado de São Paulo.

Araraquara, Jaú e São Carlos destacam-se como alguns dos maiores municípios na UGRHI-13, desempenhando um papel significativo não apenas na agroindústria, mas também em outros setores, incluindo indústrias de papel, bebidas, calçados e metalmeccânica, além de tecnologias e inovação (SIGRH, 2023). Algumas de suas principais informações demográficas estão apresentadas no Quadro 4.

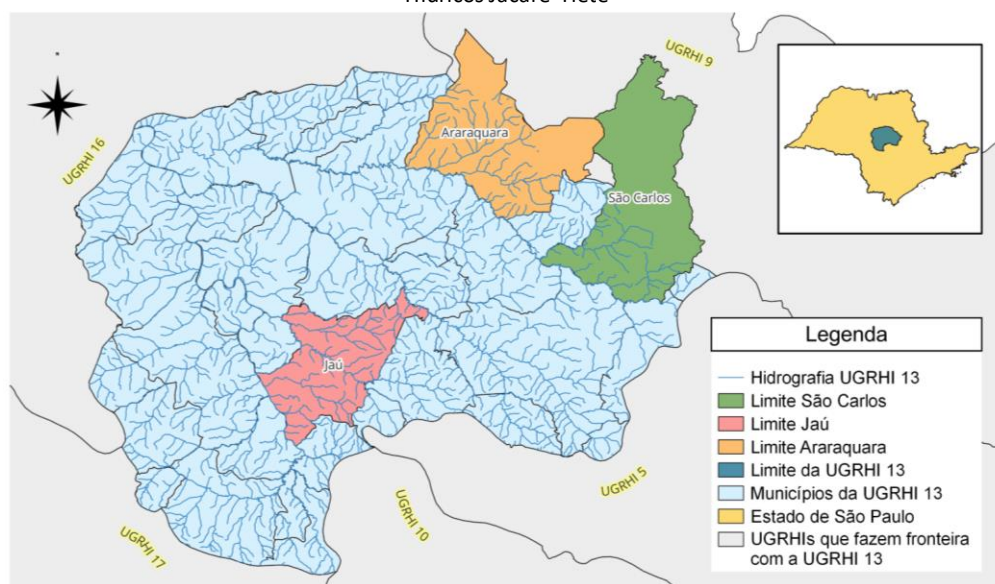
Quadro 4 - Informações demográficas de Araraquara, Jaú e São Carlos.

Informações sobre demografia			
Aspecto	Araraquara	Jaú	São Carlos
População em 2022 (habitantes)	242.228	133.497	254.822
Área territorial (km ²)	1.003,62	687,10	1136,94
Área Urbanizada (km ²)	80,17	34,99	79,87
Densidade Demográfica em 2022 (habitantes por km ²)	241,35	194,29	224,14
Altitude Média (m)	664	541	856
IDHM (2010)	0,815	0,778	0,805

Fonte: Adaptado do IBGE Cidades, 2024.

Jaú abrange integralmente a UGRHI 13 em 100% de seu território, enquanto Araraquara possui 65,1% de sua área na UGRHI 13, e o restante está inserido na UGRHI 9. São Carlos, por sua vez, ocupa 39,9% na UGRHI 13 e a porção restante na UGRHI 9. A disposição geográfica desses municípios pode ser visualizada na Figura 2.

Figura 2 – Localização dos municípios de Araraquara, Jaú e São Carlos na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos Jacaré-Tietê



Sistema de Coordenadas: UTM - Universal Transversa de Mercator, SIRGAS 2000 - Zonas 22S e 23S.
Fontes: Limites Municipais e Unidades Federativas (IBGE, 2022); e Limite de Bacias do Estado de São Paulo e Hidrografia da UGRHI 13 (SIGRH, 2023).

Fonte: Autoria Própria, 2024.

Os serviços de saneamento e tratamento de esgoto em Araraquara são fornecidos pelo DAAE Araraquara, que opera duas Estações de Tratamento de Água: ETA Fonte e ETA Paiol. Estas estações realizam a captação superficial de água a partir de três mananciais distintos: o córrego das Cruzes, o córrego Anhumas e o córrego Paiol. Além disso, o Departamento opera 25 poços de captação de água subterrânea do aquífero Guarani para suprir as necessidades de abastecimento público. O processo de captação de água inclui a utilização de bombas para a adução da água dos mananciais superficiais até as respectivas estações de tratamento (DAAE ARARAQUARA, 2023).

Em Jaú, a prestação de serviços de saneamento e tratamento de esgoto é conduzida por uma empresa privada, a Águas de Jahu S.A (CAJA). Conforme o Plano de Saneamento Básico da localidade, a captação de água superficial é realizada a partir de seis fontes distintas: os córregos Santo Antônio e João da Velha, o córrego São Joaquim, o córrego do Borralho, o Ribeirão Pouso Alegre e o córrego dos Pires. Além destes, são mantidos nove poços tubulares para a captação subterrânea de água. O município abriga três Estações de Tratamento de Água (ETAs), identificadas como ETA I, ETA II e ETA III (JAÚ, 2013). Entretanto, segundo informações da CAJA (2024), atualmente estão em funcionamento somente a ETA I e ETA II.

A prestação de serviços de saneamento e tratamento de esgoto em São Carlos é administrada pelo SAAE São Carlos. A captação de água superficial é efetuada a partir de dois mananciais: o Córrego do Monjolinho e o Ribeirão do Feijão. Em adição, outra parte da captação de água que abastece o município é subterrânea, sendo extraída do Aquífero Guarani e de outros 28 poços profundos. O município abriga duas ETAs, conhecidas como ETA Vila Pureza e ETA CEAT (SAAE SÃO CARLOS, 2023).

Algumas das informações sobre os sistemas de Abastecimento de Água e Tratamento de Esgoto de Araraquara, Jaú e São Carlos estão sintetizadas no Quadro 5.

Quadro 5 – Informações sobre Saneamento de Araraquara, Jaú e São Carlos.

Informações sobre Saneamento				
Sistema	Aspecto	Araraquara	Jaú	São Carlos
Serviços de Abastecimento de Água	Cobertura de atendimento de água (%)	96,98	96,90	100
	Extensão total da rede de distribuição de água (km)	1519,30	952,67	1061,27
	Volume de água consumido (1000 m ³ /ano)	19579,65	9333,49	23895,23
	Consumo Médio per capita (l/hab./dia)	229,14	183,93	261,9
	Índice de perdas calculado (%)	37,14	33,53	41,66
	Atendimento da Portaria 2.914/2011 do Ministério da Saúde sobre a qualidade da água	Atende Integralmente	Atende integralmente	Atende Integralmente
Serviços de Água e Esgoto	Cobertura de coleta de esgoto (%)	97,27	96,97	91,35
	Extensão total da rede de coleta de esgoto (km)	1274,79	789,49	991,09
	Tipo de rede coletora	Separadora Absoluta	Separadora Absoluta	Separadora Absoluta
	Volume de esgoto tratado por dia (1000 m ³ /ano)	27957,64	550,24	21090,84

Fonte: Elaboração própria com base em SNIS (2023), IBGE (2024).

4.2 Análise de Indicadores

Os pontos de captação superficial, foco desta pesquisa, estão inseridos na Bacia Hidrográfica Tietê-Jacaré. Segundo o Relatório de Situação das Bacias da UGRHI-13, publicado em 2023, com base no ano de 2022, a disponibilidade hídrica nesta bacia é de 1.893,09 m³/hab.ano (Comitê da Bacia Hidrográfica Tietê-Jacaré, 2023).

O índice Falkenmark ilustra que a disponibilidade hídrica da bacia está dentro do intervalo de 1.666 a 10.000 m³/hab.ano. Isso sugere a presença de alguns problemas sazonais de suprimento e qualidade de água, com possíveis efeitos adversos durante períodos de secas severas (FALKENMARK; WIDSTRAND, 1992).

A pesquisa conduzida no portal oficial online do ICS, os municípios estudados atingiram os seguintes resultados na avaliação geral no Índice de Desenvolvimento Sustentável das Cidades, apresentados no Quadro 6, de acordo com o estudo realizado pelo Instituto Cidades Sustentáveis, no âmbito do Programa Cidades Sustentáveis.

Quadro 6 – Índice de Desenvolvimento Sustentável das Cidades

	Índice de Desenvolvimento das Cidades		
	Pontuação Geral	Classificação Geral	Nível de Desenvolvimento Sustentável
Araraquara	59,56	71 ^a	Médio
Jaú	59,33	79 ^a	Médio
São Carlos	57,78	198 ^a	Médio

Fonte: Adaptado de ICS, 2024.

A coleta de dados realizada para os ODS de interesse para este estudo, referente aos municípios de Araraquara, Jaú e São Carlos, estão apresentados no Quadro 7.

Quadro 7 – Desempenho por ODS no objeto de estudo em 2023

Objetivo do Desenvolvimento Sustentável	ARARAQUARA		JAÚ		SÃO CARLOS	
	NS	Desempenho por ODS	NS	Desempenho por ODS	NS	Desempenho por ODS
ODS 6 - Água Limpa e Saneamento	Muito Alto	84,87	Muito Alto	88,56	Muito Alto	85,21
ODS 3 - Saúde e Bem-Estar	Alto	67,7	Alto	63,76	Alto	68,44
ODS 11 - Cidades e Comunidades Sustentáveis	Alto	70,23	Alto	75,97	Alto	70,87
ODS 12 - Consumo e Produção Sustentáveis	Alto	68,27	Médio	55,78	Baixo	45,24
ODS 13 - Ação contra a Mudança Global do Clima	Muito Alto	80,93	Muito Alto	80,11	Muito Alto	82,41
ODS 14 - Vida na Água	Muito Alto	98,01	Muito Alto	92,33	Muito Alto	91,00

NS: Nível de Desenvolvimento Sustentável

Fonte: Adaptado de ICS, 2024.

Conforme a análise referente ao ano de 2021, os municípios Araraquara, Jaú e São Carlos possuem seus respectivos índices **ISH-U** classificados como '**Alto**', garantindo segurança hídrica para estes (ATLAS ÁGUAS, 2024). Este resultado indica que a região possui um nível satisfatório de segurança hídrica, ou seja, a disponibilidade de água é considerada adequada para atender às demandas da população e dos setores econômicos, considerando tanto aspectos qualitativos quanto quantitativos da água. Essa classificação sugere uma situação favorável em termos de gestão e uso sustentável dos recursos hídricos nos municípios avaliados.

O indicador de disponibilidade hídrica, conforme destacado pelo **Índice de Falkenmark** para a bacia da UGRHI 13, situa-se no intervalo de 1.666 a 10.000 m³/hab.ano. Esse intervalo sugere a presença de alguns problemas sazonais no fornecimento e na qualidade de água, podendo acarretar efeitos adversos durante períodos de secas severas. Com as mudanças climáticas, acredita-se que a tendência para a ocorrência de problemas com efeitos adversos tende a aumentar. Relacionando-se a essa questão, os municípios estudados demonstram desempenho considerado "**Muito Alto**" nos ODS 6 (Água Limpa e Saneamento), 13 (Ação contra a Mudança Global do Clima) e 14 (Vida na Água), sugerindo que estão potencialmente mais preparados para lidar com adversidades relacionadas à disponibilidade hídrica.

Os municípios estudados obtiveram **classificação média** considerando todos os 17 ODS no **IDSC**. Entretanto, estes ainda obtiveram posições de destaque na classificação geral em relação aos 5.570 municípios do Brasil.

Araraquara se destacou no seu desempenho na avaliação dos IDSC. Dos cinco ODS diretamente relacionados com este estudo, suas classificações foram superiores a "Alto". Para este município, os índices neste estudo apontam com classificações consideradas altas, e dados muito de saneamento muito positivos em comparação a média nacional.

Araraquara e São Carlos possuem oportunidades de melhoria um índice de perdas e no consumo médio per capita, que estão acima da média nacional, sendo 37,8% índice de perdas de água potável não contaminada perdida na distribuição e consumo médio per capita de 148,2 L / hab./dia (SNIS,2023).

O município de Jaú apresentou um cenário positivo na avaliação do IDSC e dos cinco ODS de interesse para este estudo. Segundo o SNIS (2023), Jaú possui um índice de perdas de água potável de 33,53% abaixo da média nacional e possui consumo médio per capita de 183,93 L / hab./dia., que está um pouco acima da média nacional, o que se pode aferir um sistema de gestão eficiente de abastecimento de água.

No entanto, os dados e indicadores levantados neste estudo evidenciam que Jaú apresenta diversas oportunidades de aprimoramento em outras áreas de sua gestão de recursos hídricos. Isto também inclui a necessidade de atualização do Plano Municipal de Saneamento de Jaú (PMSJ), que ocorreu há mais de 11 anos, tempo em que o panorama da gestão de águas no município evoluiu.

Conforme observado nas informações disponibilizadas pela Águas de Jahu, empresa privada responsável pela gestão dos recursos hídricos do município, destaca-se a divergência das mudanças e ressalta a importância da atualização do PMSJ para o planejamento estratégico da gestão dos recursos hídricos nos próximos anos. Adicionalmente, em contraste com os outros dois municípios, a obtenção de informações básicas e a transparência sobre a gestão de águas em Jaú apresentaram grandes desafios, como a falta de clareza sobre os locais de captação de água e seus endereços.

São Carlos apresentou em sua maioria dados positivos em relação ao seus Serviços de Abastecimento de Água e Serviços de Água e Esgoto, além de desempenhos positivos na avaliação geral do IDSC e no ISH-U.

No entanto, na análise individual dos cinco ODS, com a maioria apontando classificação superior a "Alta", o ODS 12 (Consumo e Produção Sustentáveis) se divergiu com uma classificação "Baixa". Implementar ações de melhoria no consumo consciente e otimizar processos produtivos buscando melhorar a eficiência no uso da água podem aumentar a

resiliência do município, aumentando a segurança hídrica (MISHRA *et al.*, 2021; RODELL *et al.*, 2018).

5 CONCLUSÃO

Através da análise dos indicadores selecionados e da interpretação coerente dos resultados, em relação à eficácia da aplicação integrada destes na gestão hídrica dos municípios em estudo, conclui-se que a avaliação deste estudo proporcionou uma compreensão ampla de cada município estudado. Essa compreensão foi obtida ao empregar os indicadores de sustentabilidade e gestão hídrica nos municípios de Araraquara, Jaú e São Carlos, validando, assim, a eficácia da abordagem proposta.

Os resultados obtidos indicam que, apesar dos desafios sazonais na disponibilidade hídrica, conforme evidenciado pela avaliação do Índice de Falkenmark na bacia da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI) 13, os municípios em questão apresentaram um desempenho classificado como "Alto" ou superior nos ODS 6, 13 e 14. Essa constatação sugere uma preparação potencialmente eficaz para lidar com adversidades relacionadas à água, embora ressalte a necessidade de considerar os impactos decorrentes das mudanças climáticas no futuro.

A análise individual dos municípios revelou características distintas. Araraquara, apresentou ótimo desempenho em sua disponibilidade e gestão hídrica, com classificações altas e destaque nos cinco ODS analisados. Este estudo observou oportunidade de melhorias para este município relacionados ao consumo de água, destacando o consumo médio per capita de 54,61% acima da média nacional.

São Carlos, embora demonstre desempenho positivo, revela a necessidade de aprimoramentos na abordagem sustentável de consumo e produção, conforme evidenciado por sua classificação 'Baixa' no ODS 12. Dada sua condição como um significativo polo industrial e tecnológico na região, este indicador aponta para a urgência de medidas mais eficazes voltadas para o aprimoramento do consumo e da produção sustentáveis nesse município. Além disso, o município demonstra oportunidades para melhorias significativas na redução do consumo médio per capita de água e nas perdas de água em sua distribuição

O elevado conforto hídrico evidenciado pelos índices de Falkenmark, ISH-U e ISDC para São Carlos e Araraquara, em conjunto com os resultados desfavoráveis relacionados aos elevados consumos de água e desperdício apontados pelo SNIS, pode indicar a necessidade de os municípios adotarem abordagens estratégicas para uma gestão mais sustentável do uso e consumo da água. É relevante destacar que, apesar da região contar com segurança hídrica, o aumento das mudanças climáticas e a melhoria da gestão, aliados a medidas de educação ambiental sobre recursos hídricos, podem preparar as comunidades para lidar com eventos extremos, como secas e inundações, e fomentar a gestão sustentável da água.

O município de Jaú, embora apresente índices favoráveis em alguns aspectos, revela oportunidades de aprimoramento, especialmente na atualização do PMSJ e na transparência da gestão hídrica. O valor de 55,78 no ODS 12, ligeiramente acima do mínimo para obtenção da classificação "média" para este ODS, indica a necessidade de maior atenção por parte do município para este setor, assim como para o ODS 3, que é direcionado à saúde e bem-estar.

Dada a complexidade e diversidade climática, bem como a variedade de biomas brasileiros, este estudo também identificou a necessidade da disponibilidade de índices e indicadores específicos para o contexto brasileiro relacionados à segurança e disponibilidade hídrica. Esses indicadores, em associação com fatores como mudanças climáticas e vulnerabilidade social, tornam-se cruciais para uma análise de mitigação de impactos e planos de emergência.

Em síntese, a gestão sustentável dos recursos hídricos deve considerar não apenas a sua disponibilidade, mas também aspectos sociais, econômicos e ambientais. A utilização dos ODS como referência desempenhou um papel importante, e os indicadores foram ferramentas valiosas para traduzir esses objetivos em ações práticas. As diferenças entre os municípios ressaltam a imperatividade de abordagens adaptadas às realidades locais, com destaque para a transparência, a atualização de planos de saneamento e a eficiência na gestão hídrica.

Por fim, a gestão sustentável da água deve ser uma prioridade, integrando abordagens multifatoriais e considerando os ODS como diretrizes. O desafio atual reside na implementação de medidas específicas para aprimorar a eficiência, transparência e resiliência hídrica em cada município, promovendo um futuro mais sustentável e equitativo para seus habitantes. Este estudo oferece percepções que podem orientar políticas públicas, práticas de gestão e iniciativas locais para enfrentar os desafios da gestão hídrica no contexto das mudanças climáticas e do desenvolvimento sustentável.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). Catálogo de Metadados da ANA: Índice de Segurança Hídrica - ISH. 2023.

Disponível em:

<https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/c349dc5a-0c01-4f14-9519-e3340fef2c66>. Acesso em: 19 jan. 2024

ATLAS ÁGUA. 2021. **Segurança Hídrica: Araraquara, Jaú e São Carlos**. Disponível em:

<https://portal1.snirh.gov.br/ana/apps/webappviewer/index.html?id=8cb19a1963e940a6818edacef47edc72>. Acesso em 01 dez. 2023.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB) (2023) Sistema Info Águas. Qualidade das Águas Superficiais por Parâmetro. Disponível em: <https://sistemainfoaguas.cetesb.sp.gov.br/>. Acesso em 02 jan. 2024

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA TIÊTE-JACARÉ (CBHTJ). **Relatório De Situação Dos Recursos Hídricos 2023: UGRHI 13 - Bacia Hidrográfica Tietê - Jacaré**. Disponível em:

<https://sigrh.sp.gov.br/public/uploads/documents//CBH-TJ/26110/relatorio-de-situacao-2023.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2024.

CRUZ, Jussara Cabral; TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. Estimativa da disponibilidade hídrica através da curva de permanência. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 13, n. 1, p. 111-124, 2008.

DAAE Araraquara. **Água**. Disponível em: <https://daeararaquara.com.br/tratamento-de-agua-e-esgoto/>. Acesso em 05 jan. 2024.

FALKENMARK, Malin; WIDSTRAND, Carl. Population and water resources: a delicate balance. **Population bulletin**, v. 47, n. 3, p. 1-36, 1992.

FONSECA, J. J. S. **Metodologia da pesquisa científica**. Fortaleza: UEC, 2002. Apostila.

GERHARDT, Tatiana Engel; SILVEIRA, Denise Tolfo. **Métodos de pesquisa**. Plageder, 2009.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2019.

GRUPO ÁGUAS DE JAHU. Qualidade da Água. 2023. Disponível em: <https://www.grupoaguasdobrasil.com.br/aguas-jahu/sustentabilidade/qualidade-da-agua/>. Acesso em 25 dez. 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE) (2022) Cidades e Estados: Araraquara, Jaú e São Carlos. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/panorama>. Acesso em 29 dez. 2023.

INSTITUTO CIDADES SUSTENTÁVEIS (ICS) 2023. Índice de Sustentabilidade e Desenvolvimento das Cidades (ISDC): Araraquara, Jaú e São Carlos. Disponível em: <https://idsc.cidadessustentaveis.org.br/>. Acesso em 05 dez. 2023.

IPCC, AR6 et al. Climate change 2023: longer report. **Contribution of working group I to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change**, v. 1535, 2023.

JAÚ. **Plano de Saneamento Básico de Jaú**. 2013. Disponível em: <https://saemja.jau.sp.gov.br/saneamento/plano-de-saneamento-basico-jahu-final.pdf>. Acesso em 15 dez. 2023.

KYPRIANOU, L. et al. Mitigation and adaptation strategies to offset the impacts of climate change on urban health: A European perspective. *Building and Environment*, p. 110226, 2023.

LAWRENCE, Peter R.; MEIGH, Jeremy; SULLIVAN, Caroline. **The water poverty index: an international comparison**. Keele e Staffordshire Staffordshire: Department of Economics, Keele University, 2002.

LI, Jiada; STRONG, Courtenay, WANG, Jun; BURIAN, Steven. An Event-Based Resilience Index to Assess the Impacts of Land Imperviousness and Climate Changes on Flooding Risks in Urban Drainage Systems. *Water*, v. 15, n. 14, p. 2663, 2023.

NAÇÕES UNIDAS BRASIL. **Objetivos do Desenvolvimento Sustentável**. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em 17 dez. 2023.

NAITZEL, Letícia. **Projeção de Indicadores de Segurança Hídrica em Escala Nacional para Diferentes Cenários de Mudanças Climáticas e Consumo de Água Utilizando Geoprocessamento**. 2023. 122 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Porto Alegre, 2023. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/270468>. Acesso em 10 jan. 2024.

NIKOLOPOULOS, Dionysios; ALPHEN, Henk-Jan V.; VRIES, Dirk; PALMEN, Luc; KOOP, Setf.; THIENEN, Peter. V.; MEDEMA, Gertjan; MAKROPOULOS, Christos. Tackling the “new normal”: A resilience assessment method applied to real-world urban water systems. *Water*, v. 11, n. 2, p. 330, 2019.

OCTAVIANI, Thanti; STADDON, Chad. A review of 80 assessment tools measuring water security. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, v. 8, n. 3, p. e1516, 2021.

POKHREL, Y.; FELFELANI F.; SATOH, Y.; BOULANGE, J.; BUREK, P.; GÄDEKE, A.; GERTEN, D.; GOSLING, S. N.; GRILLAKIS, M.; GUDMUNDSSON, L.; HANASAKI, N.; KIM, H.; KOUTROULIS, A.; LIU, J.; PAPADIMITRIOU, L.; SCHEWE, J.; SCHMIED, H. M.; STACKE, T.; TELTEU, C.; THIERY, W.; VELDKAMP, T.; ZHAO, F.; WADA, Y. Global terrestrial water storage and drought severity under climate change. *Nature Climate Change*, v. 11, n. 3, p. 226-233, 2021.

RODELL, M.; FAMIGLIETTI, J. S.; WIESE, D. N.; REAGER, J. T.; BEAUDOING, H. K.; LANDERER, F. W.; LO, M.-H. . Emerging trends in global freshwater availability. *Nature*, v. 557, n. 7707, p. 651-659, 2018.

SAAE – Serviço Autônomo de Águas e Esgoto de São Carlos. **São Carlos: Água**. Disponível em: <https://www.saaesaocarlos.com.br/saaesc/index.php/agua/e-t-a-s>. Acesso em: 09 set. 2023.

SISTEMA INTEGRADO DE GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DE SÃO PAULO (SIGRH) (2023). Apresentação. Disponível em: <https://sigrh.sp.gov.br/cbhtj/apresentacao>. Acesso em: 25 dez. 2023.

SITZENFREI, Robert; DIAO, Kegong; BUTLER, David. Resilience of interdependent urban water systems. *Water*, v. 14, n. 3, p. 440, 2022.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO (SNIS). Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos 2022 [internet]. Brasília, DF: MDR; 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/cidades/pt-br/acao-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snis/produtos-do-snis/diagnosticos-snis>. Acesso em 25 jan. 2024.

VAN BEEK, E.; ARRIENS, W.L. **Water security: putting the concept into practice**. Stockholm Environment Institute, Technical Committee (TEC), Global Water Partnership, 2014.

VENTURA, K. S. **Modelo de avaliação do gerenciamento de resíduos de serviços de saúde (RSS) com uso de indicadores de desempenho: estudo de caso - Santa Casa de São Carlos-SP**. (Tese de Doutorado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Paulo, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-19072009-120104/en.php>. Acesso em 20 jan. 2024.