



**DESENVOLVIMENTO E APLICAÇÃO DE
UM ÍNDICE DE SUSTENTABILIDADE
PARA O ATENDIMENTO E QUALIDADE
DA ÁGUA NOS MUNICÍPIOS DAS BACIAS
PCJ**

Formação

Walef Pena Guedes  

Doutorando no Programa de Pós-Graduação em Ambiente e Sociedade pelo Núcleo de Estudos e Pesquisas Ambientais (NEPAM/Unicamp).
Contato: walef.pg@puccampinas.edu.br

Denise Helena Lombardo Ferreira  

Doutora em Educação Matemática (Unesp), Professora e pesquisadora do Programa de Pós-Graduação em Sustentabilidade e do Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Infraestrutura Urbana da Pontifícia Universidade Católica de Campinas (PUC Campinas).
Contato: lombardo@puc-campinas.edu.br

Cibele Roberta Sugahara  

Doutora em Ciência da Informação (USP), Professora e pesquisadora do Programa de Pós-Graduação em Sustentabilidade da Pontifícia Universidade Católica de Campinas (PUC Campinas).
Contato: cibelesu@puc-campinas.edu.br

Como citar: GUEDES, W. P.; FERREIRA, D. H. L.; SUGAHARA, C. R. Desenvolvimento e aplicação de um índice de sustentabilidade para o atendimento e qualidade da água nos municípios das bacias PCJ. *Revista Formação (Online)*, v. 31, e024011, 2024.

Recebido: 25/01/2023

Aceito: 16/07/2024

Data de publicação: 09/10/2024

Resumo

Atualmente, a garantia de água em quantidade e qualidade adequadas é uma preocupação urgente, destacando a necessidade de uma gestão sustentável dos recursos hídricos. Nesse processo, a utilização de indicadores abrangentes e o desenvolvimento de novos indicadores desempenham um papel crucial. A presente pesquisa possui como objetivo a proposição de um Índice de Sustentabilidade para o Atendimento e Qualidade da água para todos os municípios inseridos nas Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá. Metodologicamente, recorreu-se à pesquisa exploratória e explicativa, sob abordagem quali-quantitativa e estudo de caso, amparada na análise multivariada. Optou-se pelas Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá como objeto do estudo, tendo em vista a forte influência na região, bem como as expressivas atividades econômicas e demográficas. Os dados foram coletados para os dez indicadores do Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento para o ano de 2021. A partir da consolidação do conjunto de dados dos indicadores selecionados foi possível aplicar a técnica multivariada de análise fatorial, e a partir dos escores fatoriais construir o Índice de Sustentabilidade para o Atendimento e Qualidade da água e o posterior ranqueamento das observações. Como resultados é possível inferir que a região enfrenta desafios complexos com relação ao atendimento e qualidade da água para grande parte dos municípios, no tocante sobretudo aos efeitos do estresse hídrico de determinadas Bacias. Além disso, foi possível identificar que os municípios de Campinas, Piracicaba e Americana se sobressaem dentre os demais com os melhores índices, ao contrário de Corumbataí, Monte Alegre do Sul e Rio das Pedras que apresentam os maiores desafios.

Palavras-chave: Atendimento de água. Qualidade da água. Indicadores de sustentabilidade. Bacias hidrográficas.

DEVELOPMENT AND APPLICATION OF A WATER SERVICE AND QUALITY SUSTAINABILITY INDEX IN THE MUNICIPALITIES OF THE PCJ BASIN

Abstract

Currently, ensuring water in adequate quantity and quality is an urgent concern, highlighting the need for sustainable management of water resources. In this process, the use of comprehensive indicators and the development of new indicators play a crucial role. The present research aims to propose a Sustainability Index for Water Supply and Quality for all municipalities within the Piracicaba, Capivari, and Jundiá River Basins. Methodologically, exploratory and explanatory research was conducted, employing a qualitative-quantitative approach and case study, supported by multivariate analysis. The Piracicaba, Capivari, and Jundiá River Basins were chosen as the study's focus due to their significant influence on the region, as well as their substantial economic and demographic activities. Data were collected for the ten indicators of the National Sanitation Information System for the year 2021. With the consolidation of the dataset for the selected indicators, it was possible to apply the multivariate technique of factor analysis, and from the factor scores, construct the Sustainability Index for Water Supply and Quality, followed by the ranking of the observations. The results suggest that the region faces complex challenges regarding water supply and quality for a large part of the municipalities, especially concerning the effects of water stress in certain basins. Moreover, it was possible to identify that the municipalities of Campinas, Piracicaba, and Americana stand out with the best indices, in contrast to Corumbataí, Monte Alegre do Sul, and Rio das Pedras, which present the greatest challenges.

Keywords: Water service. Water quality. Sustainability indicators. Indicators. PCJ basins.

DESARROLLO Y APLICACIÓN DE UN ÍNDICE DE SOSTENIBILIDAD PARA EL SERVICIO Y LA CALIDAD DEL AGUA EN LOS MUNICIPIOS DE LAS CUENCAS PCJ

Resumen

Actualmente, disponer de agua en cantidad y calidad adecuadas es una preocupación urgente que resalta la necesidad de una gestión sostenible de los recursos hídricos. En este proceso, el uso de indicadores exhaustivos y el desarrollo de otros nuevos desempeñan un papel crucial. La presente investigación tiene como objetivo proponer un Índice de Sostenibilidad del abastecimiento y de la calidad del agua para todos los municipios situados en las cuencas hidrográficas de los Ríos Piracicaba, Capivari y Jundiá. Metodológicamente, se utilizó una investigación exploratoria y explicativa, bajo un enfoque cualitativo-cuantitativo y estudio de caso, apoyada en análisis multivariado. Las cuencas de los Ríos Piracicaba, Capivari y Jundiá fueron elegidas como objeto de estudio, considerando su fuerte influencia en la región, así como sus significativas actividades económicas y demográficas. Se recopilaron datos de diez indicadores del Sistema Nacional de Información sobre Saneamiento para el año 2021. A partir de la consolidación del conjunto de datos de los indicadores seleccionados, fue posible aplicar la técnica

multivariante de análisis factorial y a partir de las puntuaciones factoriales, construir el Índice de Sostenibilidad del Servicio y Calidad del Agua, así como realizar la posterior clasificación de las observaciones. Como resultados, se puede deducir que la región enfrenta desafíos complejos en relación con el abastecimiento y calidad del agua para la mayoría de los municipios, particularmente con los efectos del estrés hídrico en ciertas cuencas. Además, se identificó que los municipios de Campinas, Piracicaba y Americana se destacan entre los demás con los mejores índices, a diferencia de Corumbataí, Monte Alegre do Sul y Rio das Pedras, que presentan los mayores desafíos.

Palabras clave: Suministro de agua. Calidad del agua. Indicadores de sostenibilidad. Indicadores. Cuencas PCJ.

INTRODUÇÃO

O aumento populacional mundial, inclusive no Brasil, tem gerado graves impactos ambientais, particularmente na disponibilidade e qualidade da água para consumo humano. A crescente demanda por água potável, aliada a sistemas de distribuição ineficazes, apresenta desafios significativos para garantir o atendimento e a qualidade da água, especialmente nas regiões menos favorecidas (Carpenter; Stanley; Zanden, 2011).

Em muitas dessas regiões, a oferta de água é inadequada, e os sistemas de tratamento e distribuição são insuficientes para garantir a potabilidade, resultando em desperdícios e poluição dos cursos d'água. Além disso, a urbanização, o desenvolvimento industrial e a expansão agrícola afetam negativamente a disponibilidade e qualidade das águas subterrâneas e superficiais (Eshtawi *et al.*, 2016).

Consoante o Fundo das Nações Unidas para a Infância (UNICEF) aproximadamente 1,8 bilhão de pessoas possuem acesso aos serviços básicos de abastecimento de água potável desde 2000, no entanto, há grandes disparidades no acesso no acesso, disponibilidade e qualidade desses serviços. Pressupõe-se que, 1 em cada 10 pessoas (corresponde a 785 milhões) ainda carecem de serviços básicos de abastecimento, incluindo 1 milhão de pessoas que bebem água não tratada (UNICEF, 2019).

No Brasil, a Política Nacional de Recursos Hídricos, instituída pela Lei nº 9.433/97, e os Comitês de Bacias Hidrográficas (CBHs) desempenham papéis fundamentais na gestão e proteção dos recursos hídricos. Esses Comitês, que incluem membros da sociedade civil, poder público e usuários finais, colaboram na formulação e monitoramento dos planos de recursos hídricos das Bacias Hidrográficas (Brasil, 1997).

Para enfrentar esses desafios, a aplicação de indicadores de sustentabilidade é crucial (Meadows, 1998; Veiga, 2010). Os indicadores são ferramentas essenciais para mensurar e monitorar a qualidade e a oferta de água, permitindo uma análise contínua e consistente das condições do atendimento e qualidade da água. A escolha adequada de indicadores influencia diretamente a formulação de políticas públicas e a gestão eficiente dos recursos hídricos (Branchi, 2022).

Internacionalmente, o mais recente quadro de indicadores de sustentabilidade é a Agenda da Organização das Nações Unidas (ONU) para 2030, que contém 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), 169 metas e cerca de 240 indicadores (Dahl, 2018). A Agenda 2030, em particular o ODS 6, estabelece na meta 6.1 “Até 2030, alcançar o acesso universal e equitativo à água potável e segura para todos”. O ODS 6 credita à água como sendo a interlocutora com o desenvolvimento sustentável, além de apoiar as inter-relações entre recursos hídricos, crescimento econômico, serviços e sustentabilidade através do alcance das metas avaliadas e monitoradas pelos indicadores (ONU, 2015, s/p).

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) embora os indicadores possibilitem acompanhar as dimensões da sustentabilidade ambiental, social, econômica e institucional do modelo de desenvolvimento, essa análise deve ser feita em conjunto, e não individualmente (IBGE, 2015). No caso da qualidade e do acesso à água, esses indicadores possibilitam um monitoramento contínuo e preciso, permitindo estabelecer metas claras para aprimorar os processos e a qualidade do abastecimento. Além disso, eles são fundamentais para relatar o *status* dos resultados, verificar o cumprimento das metas de sustentabilidade e identificar problemas por meio de análises detalhadas (Gallopín, 1997; Meadows, 1998).

Nesta pesquisa, a importância da gestão ambiental é desvelada a partir da inter-relação dos índices com os recursos hídricos, com o objetivo maior de potencializar o nível de sustentabilidade daquela área ou região. A aplicação de indicadores de sustentabilidade, como o *Watershed Sustainability Index* – Índice de Sustentabilidade de Bacias Hidrográficas, permite uma avaliação abrangente e espacial das condições dos recursos hídricos (Silva *et al.*, 2020; Branchi, 2022). Este tipo de abordagem é particularmente relevante para as Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá (Bacias PCJ), onde a gestão eficiente e sustentável da água é crucial devido à crescente demanda e aos desafios ambientais.

A razão para a escolha das Bacias PCJ, deve-se ao fato de serem mais afetadas pelos eventos climáticos extremos, sobretudo as Bacias do Rio Capivari e Piracicaba. O estresse hídrico na região é intensificado por esses eventos, o que provoca uma demanda de água frequentemente superior à disponibilidade. Por isso, é fundamental compreender e entender essas bacias para gerenciar os recursos hídricos de forma adequada e para desenvolver estratégias eficientes de mitigação e adaptação aos desafios climáticos.

Para lidar com a complexidade desses dados, as técnicas de análise multivariada são essenciais, permitindo que conclusões sejam tiradas sobre elas e seus fenômenos. A interpretação de conjuntos de dados amplos requer métodos para sumarização ou redução do tamanho de

maneira interpretável, preservando a maior parte das informações contidas nos dados (Marques, 2010; Jolliffe; Cadima, 2016).

Neste contexto, o objetivo desta pesquisa é propor um Índice de Sustentabilidade para o Atendimento e Qualidade da Água (ISAQ), integrando parâmetros diversos, por meio da análise fatorial. Este índice será aplicado aos municípios localizados nas Bacias PCJ, com o intuito de subsidiar a tomada de decisões relacionadas à gestão sustentável dos recursos hídricos na região.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

As Bacias PCJ estão localizadas próximas a duas importantes regiões urbanas e econômicas do Brasil, as Regiões Metropolitanas de Campinas – RMC e de São Paulo – RMSP. As Bacias PCJ fazem parte da Bacia Hidrográfica do Rio Tietê, a qual pertence à Região Hidrográfica Paraná e contém 76 municípios, com 71 localizados no Estado de São Paulo, e 5 no Estado de Minas Gerais. Nas Bacias PCJ predominam áreas com campo (25,30% - Holambra e Ipeúna), áreas de mata nativa (20,35% - localizadas praticamente em todas as Bacias PCJ), áreas agrícolas dedicadas ao cultivo de cana-de-açúcar, grãos, cereais, raízes, hortaliças, flores e frutas (19,02%) e áreas urbanizadas (12,11% - Campinas, Piracicaba, Jundiaí, Limeira e Bragança Paulista) (Comitês PCJ, 2020).

De acordo com os Comitês PCJ (2020) as Bacias PCJ possuem área total de drenagem superficial de, aproximadamente, 15.377 km², onde estão inseridas três Bacias Hidrográficas: Bacia do Rio Capivari (1.568 km²), Bacia do Rio Jundiaí (1.154 km²) e Bacia do Rio Piracicaba (12.655 km²) (Quadro 1).

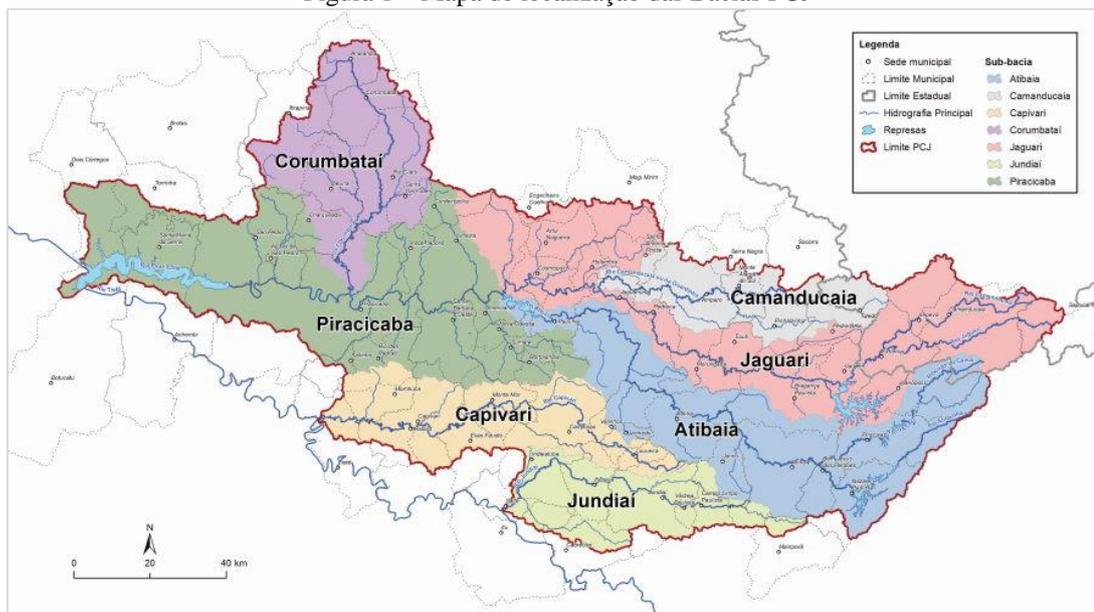
Quadro 1 - Subdivisão das Bacias PCJ em sub-bacias

| Bacia | Sub-bacia | Área (km ²) |
|-------------------------|------------------|-------------------------|
| Capivari | Capivari | 1.568,34 |
| Jundiaí | Jundiaí | 1.154,46 |
| Piracicaba | Atibaia | 2.816,11 |
| | Camanducaia | 1.040,00 |
| | Corumbataí | 1.719,46 |
| | Jaguari | 3.303,96 |
| | Piracicaba | 3.775,48 |
| | Total Piracicaba | 12.655,01 |
| Total Bacias PCJ | | 15.377,81 |

Fonte: Elaborado pelos autores com base em Comitês PCJ (2020).

A Figura 1 ilustra a distribuição das sub-bacias, destacando a localização geográfica das Bacias PCJ e suas divisões internas.

Figura 1 – Mapa de localização das Bacias PCJ



Fonte: Agência das Bacias PCJ (2024, s/p).

No ano de 2021, a população estimada da região das Bacias PCJ foi de 5.743.939 habitantes, sendo 97% urbana e 3% rural. No mesmo ano, a disponibilidade hídrica superficial era cerca de 172 m³/s (vazão média) e a disponibilidade hídrica subterrânea de 19,99 m³/s (Comitês PCJ, 2022).

Diante da situação alarmante das Bacias PCJ em relação à disponibilidade de água, a Lei nº. 7.663/91, definiu o Comitê das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí (CBH-PCJ) (SÃO PAULO, 1991). O CBH-PCJ gerencia os recursos hídricos de uma das áreas mais críticas para qualidade e quantidade de água do estado (Comitês PCJ, 2022). As Bacias PCJ, cujas hidrovias são controladas pela Federação e pelo Estado de Minas Gerais devido às suas características, motivou a criação e instalação de mais duas comissões, a PCJ Federal e o CBH-PJ1 (MG), atuando de forma integrada com o CBH-PCJ, representando as Bacias PCJ (Comitês PCJ, 2020).

Nesta região, as principais atividades econômicas são a agropecuária e a produção industrial. O município de Paulínia destaca-se como Polo petroquímico, já os municípios de Americana, Nova Odessa e Santa Bárbara d'Oeste como parque têxtil. Campinas e Hortolândia como Polo de alta tecnologia; Piracicaba e Rio Claro com indústrias sucroalcooleira; Jundiaí com parque industrial; Limeira com a produção de folheado; e, por fim, Santa Gertrudes e Cordeirópolis, com Polo cerâmico (Comitês PCJ, 2022).

Coleta de dados

Para a coleta de dados utilizou-se as informações fornecidas voluntariamente pelos municípios das Bacias PCJ e divulgadas pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) para identificar e analisar os principais indicadores de sustentabilidade com foco no atendimento e qualidade da água desses municípios.

O SNIS fornece anualmente dados referentes a: (i) abastecimento de água, (ii) esgotamento sanitário, (iii) limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos, e (iv) drenagem e manejo das águas pluviais urbanas. Foram selecionados para análise os 76 municípios das Bacias PCJ.

O *framework* de seleção das variáveis abrange três componentes (econômica, social e ambiental) que se relacionam direta ou indiretamente com o atendimento e qualidade de água. Destaca-se que houve um esforço para selecionar variáveis que tivessem o maior número possível de informações para os municípios das Bacias PCJ disponíveis no SNIS, abordando tanto o atendimento quanto a qualidade da água. Muitos trabalhos consideram apenas a componente de atendimento, no entanto, a água que chega às residências nem sempre possui a qualidade adequada. Por isso, é fundamental tratar o atendimento e a qualidade de forma integrada.

As variáveis (indicadores) selecionadas foram extraídas para o ano de 2021 e aplicadas a todos os municípios inseridos nas Bacias PCJ (Quadro 2).

Quadro 2 - Conjunto das variáveis selecionadas

| Variável | Descrição | Unidade de medida | Componente | Código no SNIS | Metas ODS 6 |
|---------------------------|--|---------------------------|-------------|----------------|------------------|
| Dimensão Econômica | | | | | |
| V1 | Volume de água produzido | 1.000 m ³ /ano | Atendimento | AG006 | 6.1 e 6.2 |
| V2 | Volume de água consumido | 1.000 m ³ /ano | Atendimento | AG010 | 6.1 e 6.2 |
| V6 | Índice de perdas na distribuição | percentual | Atendimento | IN049 | 6.4 |
| Dimensão Social | | | | | |
| V4 | Quantidade de ligações totais de água | Ligações | Atendimento | AG021 | 6.4 |
| V5 | Consumo médio <i>per capita</i> de água | l/hab./dia | Atendimento | IN022 | 6.1 |
| Dimensão Ambiental | | | | | |
| V3 | Volume de água tratada por simples desinfecção | 1.000 m ³ /ano | Qualidade | AG015 | 6.3 |
| V7 | Índice de fluoretação de água | percentual | Qualidade | IN057 | 6.3 |
| V8 | Índice de conformidade da quantidade de amostras - cloro residual | percentual | Qualidade | IN079 | 6.3 |
| V9 | Índice de conformidade da quantidade de amostras - turbidez | percentual | Qualidade | IN080 | 6.3 |
| V10 | Índice de conformidade da quantidade de amostras - coliformes totais | percentual | Qualidade | IN085 | 6.3 |

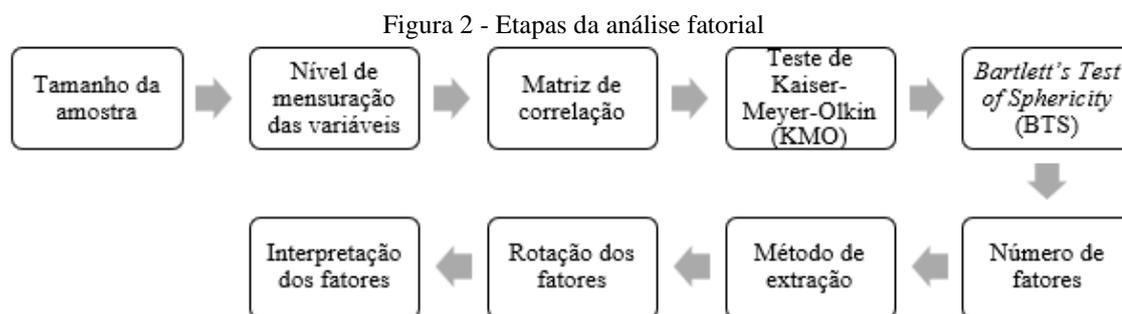
Nota: Os indicadores AG06, AG010, AG015 e AG021 foram divididos pela população total do município (Indicador: POP_TOT). Fonte: Elaborado pelos autores a partir de SNIS (2021).

É possível observar no Quadro 2 os indicadores selecionados, suas respectivas unidades de medida, assim como a relação que cada indicador estabelece com as metas do ODS 6.

Análise multivariada

Esta pesquisa tem por finalidade utilizar a técnica de análise fatorial para obter um *ranking* dos municípios inseridos nas Bacias PCJ quanto ao desempenho em sustentabilidade, atendimento e qualidade da água. O estudo foi amparado nos trabalhos de Nirazawa e Oliveira (2018), Guedes *et al.* (2023, 2024), que também aplicaram métodos similares em suas análises.

Optou-se pela aplicação da análise fatorial por ser um método de pesquisa que possibilita entender o comportamento dos dados e selecionar as variáveis mais representativas. A análise fatorial é uma técnica estatística baseada no pressuposto de que uma série de variáveis identificadas, observadas e medidas podem ser explicadas por um número menor de variáveis hipotéticas não observadas, conhecidas como fatores (Pasquali, 2000; Jolliffe; Cadima, 2016). A Figura 2 apresenta as etapas da análise realizada.



Fonte: Elaborada pelos autores.

A amostra deve conter no mínimo cinco observações para cada variável, isto é, a razão de 5:1. O nível de mensuração das variáveis refere-se ao tipo de correlação, nesse caso, adotou-se a correlação de Pearson. Com relação à matriz de correlação, os mesmos autores aconselham que é importante obter o maior número possível de coeficientes de correlação superiores a 0,3 (Hair *et al.*, 2009; Matos; Rodrigues, 2019).

O teste de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) é utilizado para verificar se a técnica empregada de análise fatorial é adequada para o conjunto de dados definidos na pesquisa. Valores entre 0,5 a 1 indicam que a técnica é oportuna, e para valores inferiores a 0,5 a técnica não é apropriada ao conjunto de dados (Hair *et al.*, 2009; Marques, 2010; Matos; Rodrigues, 2019). A adequabilidade da amostra – KMO é definida pela *Measure of Sample Adequacy* (MSA) representada pela Equação 1 (Marques, 2010).

$$MSA = \frac{\sum_{j \neq k} r_{jk}^2}{\sum_{j \neq k} r_{jk}^2 + \sum_{j \neq k} q_{jk}^2} \quad (1)$$

Em que: “ r_{jk}^2 é o quadrado dos elementos da matriz de correlação original (fora da diagonal); q_{jk}^2 é o quadrado dos elementos fora da diagonal da matriz anti-imagem da correlação” (Marques, 2010, p. 78).

O *Bartlett's Test of Sphericity* (BTS) é empregado para testar a hipótese de que as variáveis não estão correlacionadas entre si, isto é, cada variável está relacionada consigo mesma, e não com as demais variáveis (Hair *et al.*, 2009; Marques, 2010; Matos; Rodrigues, 2019). A estatística do teste é obtida a partir da Equação 2.

$$x^2 = - \left[(n - 1) - \frac{2p+5}{6} \right] \times \ln |R| \quad (2)$$

“que tem uma distribuição qui-quadrado com $v = \frac{p(p-1)}{2}$ grau de liberdade, em que:

n = tamanho da amostra;

p = número de variáveis, e

$|R|$ = determinante da matriz de correlação” (Marques, 2010, p. 78).

Foi escolhido o método de extração por Componentes Principais. Nesse caso, segue-se o critério de Kaiser, no qual se deve extrair apenas os fatores com autovalor (*Eigenvalue*) acima de 1 (Hair *et al.*, 2009; Matos; Rodrigues, 2019). Já o método de rotação refere-se ao método matemático de rotação de um eixo no espaço geométrico, nessa pesquisa, utilizou-se a rotação ortogonal Varimax – fortemente indicado pela fácil interpretação (Kaiser, 1958).

As rotinas computacionais deste estudo foram realizadas utilizando o *software Statistical Package for the Social Sciences* (SPSS, versão 28) da *International Business Machines* (IBM).

Índice de Sustentabilidade para o Atendimento e Qualidade da água (ISAQ)

Ao identificar as variáveis latentes por meio da análise fatorial, o ISAQ foi calculado para os municípios das Bacias PCJ. O ISAQ de cada município foi determinado somando os valores de cada fator extraído ponderado pelo seu respectivo percentual da covariância, isto é, das variâncias compartilhadas (Equação 3).

$$ISAQ = \sum_{j=1}^k v_j F_j' \quad (3)$$

Em que: ISAQ = Índice de Sustentabilidade para o Atendimento e Qualidade da água; F_j = Fator rotacionado (Varimax), com k número de fatores extraídos; v_j = Variância compartilhada pelo fator j; calculada dividindo-se o autovalor de F_j pelo número de variáveis originais.

Adicionalmente, os valores do ISAQ para cada município foram normalizados a partir do cálculo da Equação 4.

$$ISAQ = (ISAQ_i - ISAQ_{\min}) / (ISAQ_{\max} - ISAQ_{\min}) \quad (4)$$

É essencial normalizar o índice: valores próximos de 0 indicam maior necessidade de intervenção, enquanto valores próximos de 1 indicam melhor cobertura. Observações com valor 0 não representam ausência total de cobertura, assim como valor 1 não indica cobertura completa.

APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS

Resultados da análise fatorial para os municípios das Bacias PCJ

Os testes KMO (0,685) e BTS ($\chi^2(45) = 666,642$ e p-valor <0,001) aplicados à matriz de dados revelaram que há correlações suficientes para permitir a continuidade da análise fatorial dos dados. Após a análise dos testes e consolidação da matriz, procedeu-se à análise das estatísticas descritivas das variáveis (Tabela 1).

Tabela 1 - Estatísticas descritivas das variáveis selecionadas para a análise fatorial.

| Variáveis | Média | Mediana | Desvio padrão | Curtose | Assimetria | Coefficiente de variação | Mínimo | Máximo |
|-----------|---------|---------|---------------|---------|------------|--------------------------|--------|---------|
| V1 | 0,087 | 0,083 | 0,034 | 1,749 | 0,912 | 39,080 | 0,018 | 0,196 |
| V2 | 0,057 | 0,055 | 0,022 | 8,309 | 2,068 | 38,596 | 0,009 | 0,164 |
| V3 | 0,013 | 0,001 | 0,024 | 2,543 | 1,979 | 184,615 | 0,000 | 0,090 |
| V4 | 0,352 | 0,348 | 0,075 | 9,038 | 1,326 | 21,307 | 0,135 | 0,742 |
| V5 | 183,946 | 170,950 | 60,453 | 9,284 | 2,441 | 32,865 | 30,700 | 475,800 |
| V6 | 31,524 | 30,070 | 12,262 | 0,638 | 0,436 | 38,897 | 1,290 | 66,880 |
| V7 | 95,552 | 100,000 | 17,075 | 25,983 | -5,061 | 17,870 | 0,000 | 100,000 |
| V8 | 124,438 | 105,830 | 43,905 | 5,461 | 2,051 | 35,283 | 43,000 | 324,800 |
| V9 | 125,179 | 106,005 | 46,923 | 4,772 | 2,015 | 37,485 | 43,000 | 324,720 |
| V10 | 108,811 | 103,585 | 14,986 | 8,609 | 2,176 | 13,773 | 68,290 | 183,330 |

Nota: Contagem 76.

Fonte: Elaborada pelos autores.

Pode-se observar que a maioria das variáveis apresentou valores elevados de coeficiente de variação, sobretudo a variável V3, indicando alta variabilidade durante o ano de coleta. Além disso, não há dados ausentes (n = 76). A partir do coeficiente de variação é possível identificar a precisão do conjunto de dados, classificando-os como: baixos <10%; médios de 10% a 20%, altos de 20% a 30%, e muito altos >30% (Gomes, 1985).

Atendidos tais pressupostos, é possível identificar o número de fatores e, em seguida, definir o método de extração dos fatores por Componentes Principais. Este método é apropriado para dados que não seguem uma distribuição normal, oferecendo uma maneira eficaz de reduzir a dimensionalidade dos dados e identificar padrões subjacentes, o que facilita a análise e interpretação dos resultados. O método de extração em questão indicou três fatores (Tabela 2).

Tabela 2 - Variância total explicada pelos três fatores obtidos.

| Fator | Autovalor | Variância Explicada pelo Fator (%) | Variância Acumulada (%) |
|-------|-----------|------------------------------------|-------------------------|
| 1 | 3,53 | 29,82 | 29,82 |
| 2 | 1,66 | 20,59 | 50,42 |
| 3 | 1,37 | 15,36 | 65,79 |

Nota: Método de extração por Componentes Principais.

Fonte: Elaborada pelos autores.

Cumulativamente, os três fatores extraídos explicam 65,79% da variância total dos dados. Consta-se que o primeiro fator captura o maior percentual de explicação da amostra de dados (29,82%), em seguida, o segundo e o terceiro fator explicam cerca de 20,59% e 15,36%, respectivamente. Na Tabela 3 é possível observar a pontuação dos autovalores para cada fator, além das cargas fatoriais dos fatores rotacionados.

Tabela 3 - Cargas fatoriais dos fatores rotacionados

| Variáveis | Fatores | | |
|--------------------|----------------|----------------|----------------|
| | F ₁ | F ₂ | F ₃ |
| V1 | 0,956 | 0,242 | 0,045 |
| V2 | 0,981 | 0,142 | -0,024 |
| V3 | -0,155 | -0,047 | 0,467 |
| V4 | 0,982 | 0,144 | 0,019 |
| V5 | -0,030 | 0,098 | -0,654 |
| V6 | 0,012 | 0,303 | 0,691 |
| V7 | 0,166 | -0,147 | 0,491 |
| V8 | 0,211 | 0,877 | -0,200 |
| V9 | 0,187 | 0,881 | -0,223 |
| V10 | 0,100 | 0,538 | 0,280 |
| Autovalores | 2,98 | 2,06 | 1,53 |

Nota: Método de rotação Varimax com normalização de Kaiser, e extração por Componentes Principais.

Fonte: Elaborada pelos autores.

A Tabela 3 apresenta os fatores rotacionados pelo método Varimax. A rotação desempenha a função de redistribuição da variância, isto é, as variáveis são agrupadas e distribuídas de forma mais uniforme, facilitando a interpretação. Nesse caso, observa-se as cargas fatoriais — que são as somas dos quadrados — que possuem forte correlação com o fator correspondente (grifados em negrito).

O primeiro fator (29,82%) explica o maior percentual da amostra e está fortemente relacionado com a dimensão econômica e social V1 (0,956), V2 (0,981) e V4 (0,982). Esse fator

está associado exclusivamente ao abastecimento de água, com as variáveis volume de água produzido, consumo e ligações de água. Em estudos anteriores, as variáveis relacionadas ao abastecimento e atendimento de água também integraram o primeiro fator (Nirazawa, Oliveira, 2018; Guedes *et al.*, 2024).

O segundo fator explica 20,59%, sendo composto pelas variáveis da dimensão ambiental V8 (0,877), V9 (0,881) e V10 (0,538), as quais estão positivamente correlacionadas. Esse fator é responsável pelas variáveis de qualidade da água (cloro residual, turbidez e coliformes totais). Figueiredo (2012) também reportou em seu estudo a forte correlação da turbidez com o segundo fator de sua amostra.

Por fim, o terceiro fator, o mais delicado, explica o menor percentual da variância total dos dados (15,36%) e é atribuído às variáveis ambiental V3 (0,467), econômica V6 (0,691), que apresentaram correlação positiva, enquanto a variável social V5 (-0,654) apresentou correlação fortemente negativa. Em outro estudo realizado na RMSP a variável consumo médio *per capita* também apresentou correlação fortemente negativa (Guedes *et al.*, 2023).

A correlação negativa entre essas variáveis indica que, à medida que o consumo médio *per capita* de água aumenta, o índice de perdas na distribuição tende a diminuir, bem como áreas que tratam um volume maior de água por simples desinfecção também tendem a ter um índice de perdas na distribuição maior. Isso pode indicar que a infraestrutura de distribuição de água é mais eficiente em locais onde há um alto consumo de água *per capita*, o que significa que as perdas são menores. Em outras palavras, sistemas de distribuição mais eficientes tendem a ter menos vazamentos e, portanto, menos perdas, permitindo um consumo *per capita* maior.

ISAQ e ranking

Após obter os fatores relacionados à sustentabilidade no atendimento e qualidade da água para os municípios das Bacias PCJ, foi possível calcular os escores fatoriais de cada município em relação ao fator. Como mencionado no método, os escores fatoriais dos municípios e dos fatores foram utilizados para calcular o ISAQ.

Na Tabela 4 é apresentado o resultado do ISAQ para os municípios inseridos nas Bacias PCJ de forma decrescente, assim como o pertencimento em cada uma das três Bacias Hidrográficas Piracicaba, Capivari e Jundiaí.

Tabela 4 - ISAQ e localização dos municípios em função das Bacias PCJ

| <i>Ranking</i> | ISAQ | P | C | J | <i>Ranking</i> | ISAQ | P | C | J |
|----------------------------|-------|---|---|---|---------------------------|-------|---|---|---|
| 1. Campinas | 1,000 | x | x | | 39. Cordeirópolis | 0,262 | x | | |
| 2. Piracicaba | 0,792 | x | | | 40. Mairiporã | 0,262 | | | x |
| 3. Americana | 0,778 | x | | | 41. Artur Nogueira | 0,258 | x | | |
| 4. Jundiá | 0,572 | x | | | 42. Analândia | 0,257 | x | | |
| 5. Santa Bárbara D Oeste | 0,572 | x | | | 43. Itapeva* | 0,256 | x | | |
| 6. Sumaré | 0,519 | x | | | 44. Paulínia | 0,255 | x | | |
| 7. Limeira | 0,511 | x | | | 45. Cosmópolis | 0,253 | x | | |
| 8. Itu | 0,458 | | | x | 46. Engenheiro Coelho | 0,249 | x | | |
| 9. Mogi Mirim | 0,434 | x | | | 47. Charqueada | 0,247 | x | | |
| 10. Nova Odessa | 0,430 | x | | | 48. Elias Fausto | 0,242 | | x | |
| 11. Indaiatuba | 0,426 | | x | x | 49. Bom Jesus dos Perdões | 0,240 | x | | |
| 12. Rio Claro | 0,409 | x | | | 50. Cabreúva | 0,239 | | | x |
| 13. Tietê | 0,372 | | x | | 51. Louveira | 0,234 | x | x | |
| 14. Itirapina | 0,364 | x | | | 52. Morungaba | 0,232 | x | | |
| 15. Valinhos | 0,360 | x | x | | 53. Saltinho | 0,225 | x | | |
| 16. Hortolândia | 0,358 | x | x | | 54. Camanducaia* | 0,219 | x | | |
| 17. Atibaia | 0,354 | | | x | 55. Anhembi | 0,214 | x | | |
| 18. Ipeúna | 0,354 | x | | | 56. Itupeva | 0,213 | | x | x |
| 19. Vinhedo | 0,347 | x | x | | 57. Jarinu | 0,213 | x | | x |
| 20. Amparo | 0,339 | x | | | 58. Mombuca | 0,211 | | x | |
| 21. Santo Antônio de Posse | 0,337 | x | | | 59. Serra Negra | 0,207 | x | | |
| 22. Botucatu | 0,335 | x | | | 60. Pinhalzinho | 0,206 | x | | |
| 23. Jaguariúna | 0,332 | x | | | 61. Piracaia | 0,201 | x | | |
| 24. Dois Córregos | 0,315 | x | | | 62. Vargem | 0,201 | x | | |
| 25. Santa Gertrudes | 0,313 | x | | | 63. Santa Maria da Serra | 0,196 | x | | |
| 26. Pedreira | 0,304 | x | | | 64. Tuiuti | 0,195 | x | | |
| 27. Várzea Paulista | 0,300 | | | x | 65. Socorro | 0,194 | x | | |
| 28. Salto | 0,299 | | | x | 66. Pedra Bela | 0,187 | x | | |
| 29. Toledo* | 0,296 | x | | | 67. Joanópolis | 0,183 | x | | |
| 30. Itatiba | 0,294 | x | | | 68. Nazaré Paulista | 0,164 | x | | |
| 31. Sapucaí-Mirim* | 0,291 | x | | | 69. Holambra | 0,146 | x | | |
| 32. Capivari | 0,279 | x | x | | 70. Iracemápolis | 0,127 | x | | |
| 33. Campo Limpo Paulista | 0,277 | | | x | 71. Rafard | 0,113 | | x | |
| 34. São Pedro | 0,277 | x | | | 72. Águas de São Pedro | 0,109 | x | | |
| 35. Bragança Paulista | 0,270 | x | | | 73. Brotas | 0,104 | x | | |
| 36. Torrinha | 0,270 | x | | | 74. Corumbataí | 0,066 | x | | |
| 37. Extrema* | 0,267 | x | | | 75. Monte Alegre do Sul | 0,056 | x | | |
| 38. Monte Mor | 0,265 | x | x | | 76. Rio das Pedras | 0,000 | x | x | |

Nota 1: P (Piracicaba), C (Capivari), e J (Jundiá).

Nota 2: (*) Municípios situados no estado de Minas Gerais.

Fonte: Elaborada pelos autores.

Constata-se que a média do ISAQ foi de 0,296, com um desvio-padrão de 0,158. Esse cenário merece atenção, visto que mais da metade dos municípios estão abaixo da média do ISAQ final. Os dados revelam que as Bacias PCJ enfrentam desafios significativos em termos de sustentabilidade, especialmente no que diz respeito ao atendimento e à qualidade da água.

Ao analisar o *ranking*, percebe-se que boa parte dos municípios que integram a RMC ocupam boas posições, como é o caso de Campinas (1,000), Americana (0,778), Santa Bárbara

D Oeste (0,572), Sumaré (0,519), Nova Odessa (0,430) e Indaiatuba (0,426). No estudo realizado por Guedes *et al.* (2022) foi possível observar que a RMC é economicamente desenvolvida, e, em geral, boa parte dos municípios apresenta ritmo de atendimento de água crescente. No entanto, ainda existe um contingente de pessoas vivendo em condições de vulnerabilidade hídrica.

A Bacia do Rio Piracicaba é a mais significativa, abrangendo a maior parte dos municípios das Bacias PCJ. A população dessas Bacias é majoritariamente atendida pela Bacia do Rio Piracicaba (66,99%), seguida pelas Bacias dos Rios Jundiá (16,55%) e Capivari (16,45%) (Comitês PCJ, 2020). As sub-bacias menos sustentáveis são Piracicaba e Capivari, devido à alta concentração populacional e consequente alta demanda em relação à disponibilidade hídrica (Bega *et al.*, 2021).

A disponibilidade de água *per capita* refere-se a uma estimativa da quantidade de água superficial disponível para os habitantes das Bacias PCJ. Nessas Bacias, a disponibilidade hídrica *per capita* tem diminuído ano a ano, passando de 980,96 m³/hab.ano em 2017 para 944,33 m³/hab.ano em 2021, um valor considerado crítico, já que a referência da ONU é de 1500 m³/hab.ano. Ressalta-se que a reserva de água explorável passou de 125,5 m³/hab.ano em 2016 para 121 m³/hab.ano em 2020. Nesse contexto, pode-se inferir que essa redução influenciou o consumo *per capita* da população das Bacias PCJ em 2021, visto que a variável V5 apresentou uma contribuição negativa (Comitês PCJ, 2022).

Embora a área se beneficie de água abundante, as Bacias PCJ possuem recursos hídricos limitados. O constante crescimento populacional face ao abastecimento frequente de água, indica a redução contínua do consumo de água *per capita*, o que demonstra o potencial aumento do estresse hídrico. E, apesar da baixa disponibilidade hídrica na região, tem havido um crescimento no abastecimento para diversos usos (Comitês PCJ, 2022).

De acordo com os Comitês PCJ (2022) uma pequena parcela dos municípios das Bacias PCJ são classificados como “Ruim” quanto ao atendimento de água, como Piracaia, Joanópolis e Nazaré Paulista. Na Tabela 4 os valores de ISQA para esses municípios foram: 0,201; 0,183 e 0,164, respectivamente.

No ano de 2021, dez municípios apresentaram índice de perdas superior a 40%; Americana (48,1%); Amparo (45,4%); Analândia (50,6%), Atibaia (45,2%); Pedreira (52,8%); Piracicaba (56,8%); Rio das Pedras (53,8); Santa Bárbara d’Oeste (56%); Santo Antônio de Posse (50,5%) e São Pedro (45,1%) (Comitês PCJ, 2022). Entretanto, o Plano de Bacias estipulou a meta para 2020, perdas de no máximo 25% nos sistemas de distribuição.

A perda de água refere-se a toda água tratada que se desperdiça durante o processo de saneamento, desde a coleta nos mananciais até a distribuição ao consumidor final (Tsutiya, 2006). As perdas de água no sistema de saneamento são os aspectos mais frágeis deste sistema. A diferença entre a disponibilidade de água potável e as medições do hidrômetro é o que caracteriza as perdas nas redes de distribuição de água. No entanto, as perdas não são somente resultantes de vazamentos, mas também de erros nas medições e até mesmo de crimes fraudulentos (Tardelli Filho, 2016).

Vale destacar que o Índice de Qualidade da Água (IQA) para o período de 2021 foi classificado em alguns pontos como “Ruim” e “Péssima” nas sub-bacias dos Rios Atibaia, Jaguari e Piracicaba, consequência de ações antrópicas, e devido à pandemia de Covid-19 poucos pontos foram monitorados pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) (Comitês PCJ, 2022).

Possivelmente a falta de tratamento do esgoto afeta a qualidade da água. Segundo os Comitês PCJ (2022), os municípios das Bacias PCJ classificados como “Ruim” neste quesito no ano de 2021 foram: Capivari; Cordeirópolis; Cosmópolis; Tuiuti; Pedra Bela; Iracemápolis, Rafard; Monte Alegre do Sul e Rio das Pedras. A Tabela 4 mostra que esses municípios apresentaram baixa classificação no ISAQ, com valores variando de 0,000 a 0,279. Embora as Bacias PCJ apresentem uma boa cobertura de coleta de esgoto, alguns municípios se destacam com valores menores do que 50% de cobertura, como ocorre com Bom Jesus dos Perdões (30%), Jarinu (29,7%) e Nazaré Paulista (12,9%).

A gestão dos conflitos hídricos na região tem sido facilitada pela forte estrutura de governança estabelecida por meio da criação dos Comitês PCJ, por meio de emendas específicas negociadas em câmaras de comércio e grupos técnicos, ou por amplos processos de pactuação implementados no planejamento hidrológico. Garantir o abastecimento de água da região está além da capacidade de investimento e gestão dos órgãos coletivos e requer ação e planejamento dos governos municipal, estadual e federal (Navarro, 2022). Além disso, é necessário destacar a importância do planejamento da ocupação, da gestão ambiental e da boa gestão dos recursos naturais nas áreas urbanas, com a participação das comunidades, representantes dos municípios e das unidades gestoras de recursos hídricos (Pirolí; Ávila, 2022).

É importante ressaltar que a Agenda 2030 surge do reconhecimento da necessidade de alcançar ou superar os limites do desenvolvimento sustentável para o planeta, exigindo uma transição rápida e fundamental para o desenvolvimento sustentável. Apesar da Agenda 2030 e seus ODS formarem claramente um todo, ainda há muito a ser feito. Tornar essa integração uma realidade é um desafio que acompanha o programa de indicadores desde o início (Dahl, 2018).

Os indicadores estudados contribuem para analisar a sustentabilidade quanto aos aspectos do atendimento e da qualidade da água nos municípios inseridos nas Bacias PCJ. Essa análise é importante para orientar políticas públicas, conscientizar a população e criar medidas alternativas de consumo de água, visando garantir a disponibilidade de recursos hídricos para as futuras gerações da região.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo principal foi atingido, resultando na construção do ISAQ, que demonstrou ser uma ferramenta eficiente para a gestão sustentável dessas Bacias. O ISAQ conseguiu apontar variáveis e fatores críticos que requerem maior atenção por parte das entidades infranacionais reguladoras de serviços municipais, intermunicipais, distritais ou estaduais.

Os resultados da análise fatorial, corroborados pela proposição do ISAQ, evidenciam a vulnerabilidade de determinados municípios das Bacias PCJ, especialmente Brotas, Corumbataí, Monte Alegre do Sul e Rio das Pedras. Nesses municípios, é indispensável inserir o setor de recursos hídricos na busca por soluções, sobretudo em áreas com maior densidade demográfica. Portanto, o ISAQ não só responde às questões de sustentabilidade hídrica, mas também traz respostas importantes sobre quais áreas necessitam de intervenção prioritária.

Além disso, as Bacias dos Rios Piracicaba e Capivari sofrem significativamente com o estresse hídrico, onde a demanda supera a disponibilidade. Nesse caso, a Bacia do Rio Piracicaba, em particular, necessita de maior atenção e do fortalecimento dos múltiplos atores para aumentar a eficácia das ações dos Comitês PCJ na implementação de políticas públicas, visando a universalização do acesso à água de qualidade.

A elaboração do ISAQ, baseada em indicadores consolidados, apresenta algumas fragilidades típicas, especialmente quanto à disponibilidade e confiabilidade dos dados. No entanto, acredita-se que essa lacuna pode ser suprida com o apoio de relatórios e estudos já realizados nas Bacias PCJ.

Em conclusão, o ISAQ mostra-se uma ferramenta de grande importância para a gestão sustentável das Bacias PCJ, oferecendo respostas claras e práticas para melhorar a sustentabilidade e a qualidade dos serviços de água, reforçando a necessidade de ações coordenadas e informadas por dados sólidos.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 88887.842540/2023-00.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA DAS BACIAS PCJ. Localização, 2024. Disponível em: <<https://agencia.baciaspcj.org.br/bacias-pcj/localizacao/>>. Acesso em: 11 jul. 2024.
- BEGA, J. M. M.; BORGES, A. V.; LAGO, C. A. F.; MENDES, J. P.; AZEVEDO, P. T.; SANTOS, W. J. R.; MARIOSA, D. F. Avaliação da Sustentabilidade dos Indicadores de Saneamento do Plano das Bacias PCJ 2020-2035. **Ambiente & Sociedade**, v. 24, p. 1-19, 2021.
- BRANCHI, B. A. Sustentabilidade de Bacias Hidrográficas e Índices Compostos: Aplicação e Desafios. **Sociedade & Natureza**, v. 34, e63868, 2022.
- BRASIL. **Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989, 1997. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19433.htm>. Acesso em: 28 dez. 2021.
- CARPENTER, S. R.; STANLEY, E. H.; ZANDEN, M. J. V. State of the World's Freshwater Ecosystems: Physical, Chemical, and Biological Changes. **Annual Review Environment Resources**, v. 36, p. 75-99, 2011.
- COMITÊS PCJ. Comitês das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá. **Relatório Síntese: Plano De Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá, 2020 a 2035**. Piracicaba: Consórcio Profill-Rhama PCJ, 2020.
- COMITÊS PCJ. Comitês das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá. **Relatório de Situação dos Recursos Hídricos 2022 (Ano Base 2021)**. Piracicaba: Consórcio Profill-Rhama PCJ, 2022.
- DAHL, A. L. Contributions to the evolving theory and practice of indicators of Sustainability. In: BELL, S.; MORSE, S. (ed.) **Routledge Handbook of Sustainability Indicators**. London e New York: Routledge, 2018. p. 42-59.
- ESHTAWI, T.; EVERS, M.; TISCHBEIN, B.; DIEKKRÜGER, B. Integrated hydrologic modeling as a key for sustainable urban water resources planning. **Water research**, v. 101, p. 411-428, 2016.
- FIGUEIREDO, S. B. **Avaliação da qualidade da água da sub-bacia do Rio Cuiabá-MT aplicando análise multivariada**. 2012. 141p. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos, Universidade Federal de Mato Grosso – UFMT, Cuiabá, 2012.

GALLOPÍN, G. C. Indicators and Their Use: Information for Decision-making. Part One-Introduction. In. MOLDAN, B.; BILHARZ, S. **Sustainability Indicators**. A Report on the Project on Indicators of Sustainable Development. Scope 58: Wiley, Chichester, 1997, p. 13-27.

GOMES, F. P. **Curso de estatística experimental**. 13.ed. São Paulo: ESALQ/USP, 1985.

GUEDES, W. P.; SUGAHARA, C. R.; FERREIRA, D. H. L. BENEDICTO, S. C. Saneamento básico dos municípios da região metropolitana de Campinas, Brasil. **Journal on Innovation and Sustainability**, v. 13, n. 3, p. 92-107, 2022.

GUEDES, W. P.; FERREIRA, D. H. L.; SUGAHARA, C. R. Proposição de um Índice de Desigualdade no Acesso ao Saneamento para a Região Metropolitana de São Paulo. **Ateliê Geográfico**, v. 17, n. 2, p. 159-179, 2023.

GUEDES, W. P.; SUGAHARA, C. R.; FERREIRA, D. H. L.; BRANCHI, B. A. Construção de um índice de saneamento básico: uma proposta de Ranking para os municípios das bacias hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí. **Tecnol. Soc.**, v. 20, n. 59, p. 103-123, 2024.

HAIR, J. F.; BLACK, W. C.; BABIN, B. J.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L. **Análise multivariada de dados**. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009. 682p.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Indicadores de desenvolvimento sustentável**. Rio de Janeiro: IBGE, 2015. E-book. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv94254.pdf>>. Acesso em: 23 dez. 2022.

JOLLIFFE, I. T.; CADIMA, J. Principal component analysis: a review and recent developments. **Philosophical Transactions Royal Society**, v. 374, n. 2065, p. 1-16, 2016.

KAISER, H. F. The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. **Psychometrika**, v. 23, n. 03, p. 187-200, 1958.

MARQUES, A. F. Aplicação da análise multivariada na infraestrutura e no desempenho das escolas públicas do Ensino Fundamental e Médio pertencentes ao Núcleo Regional de Educação de Paranavaí. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 32, n. 1, p. 75-81, 2010.

MATOS, D. A. S.; RODRIGUES, E. C. **Análise Fatorial**. Brasília: Enap, 2019.

MEADOWS, D. H. **Indicators and Information Systems for Sustainable Development**. Hartland: The Sustainability Institute, 1998.

NAVARRO, A. L. S. Desafios e perspectivas sobre segurança hídrica nas Bacias PCJ. **Diálogos Socioambientais**, v. 5, n. 15, p. 23-26, 2022.

NIRAZAWA, A. N.; OLIVEIRA, S. V. W. B. Indicadores de saneamento: uma análise de variáveis para elaboração de indicadores municipais. **Revista de Administração Pública**, v. 52, n. 4, p.753-763, 2018.

ONU. Organização das Nações Unidas. **A Agenda 2030**. 2015. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/pos2015/agenda2030/>>. Acesso em: 21 dez. 2022.

PASQUALI, L. **Análise fatorial para pesquisadores**. Brasília: Lab/PAM, 2000.

PIROLI, E. L.; ÁVILA, A. L. M. A. Análise das mudanças no uso da terra do córrego Santa Fé, município de São Paulo ao longo de quatro décadas e dos impactos sobre suas águas.

Formação (Online), v. 29, n. 54, p. 253-273, 2022.

SÃO PAULO. **Lei nº 7.663, de 30 de dezembro de 1991**. Estabelece normas de orientação à Política Estadual de Recursos Hídricos bem como ao Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos, 1991. Disponível em:

<<https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei/1991/original-lei-7663-30.12.1991.html#:~:text=Assembleia%20Legislativa%20do%20Estado%20de%20S%C3%A3o%20PauloFicha%20informativa,ao%20Sistema%20Integrado%20de%20Gerenciamento%20de%20Recursos%20H%C3%ADricos>>. Acesso em: 11 jan. 2023.

SILVA, J.; FERNANDES, V.; LIMONT, M.; DZIEDZIC, M.; ANDREOLI, C. V.; RAUEN, W. B. Water sustainability assessment from the perspective of sustainable development capitals: Conceptual model and index based on literature review. **Journal of Environmental Management**, n. 254, 109750, 2020.

SNIS. Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento. **Série Histórica**, 2021. Disponível em: <<http://app4.mdr.gov.br/serieHistorica/#>>. Acesso em: 28 dez. 2022.

TARDELLI FILHO, J. Aspectos relevantes do controle de perdas em sistemas públicos de abastecimento de água. **Revista DAE**, v. 64, n. 201, p. 6-20, 2016.

TSUTIYA, M. T. **Abastecimento de Água**. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006. 643p.

UNICEF. Fundo das Nações Unidas para a Infância. **Progress on household drinking water, sanitation and hygiene 2000-2017**. Special focus on inequalities, 2019.

VEIGA, J. E. Indicadores de sustentabilidade. **Estudos Avançados**, v. 24, n. 68, p. 39-52, 2010.