

PROPOSTA PARA O DESENVOLVIMENTO DE UM ÍNDICE DE SEGURANÇA HÍDRICA

Submetido em: 24/8/2023

Aceito em: 24/11/2023

Publicado em: 25/3/2024

Jakeline Mendes¹; Denise Helena Lombardo Ferreira²
Cibele Sugahara³; Bruna Branchi⁴

PRE-PROOF

(as accepted)

Esta é uma versão preliminar e não editada de um manuscrito que foi aceito para publicação na Revista Desenvolvimento em Questão. Como um serviço aos nossos leitores, estamos disponibilizando esta versão inicial do manuscrito, conforme aceita. O manuscrito ainda passará por revisão, formatação e aprovação pelos autores antes de ser publicado em sua forma final.

<http://dx.doi.org/10.21527/2237-6453.2024.60.15072>

RESUMO

Para alcançar o desenvolvimento sustentável é imprescindível o uso racional dos recursos hídricos. O monitoramento de indicadores e índices de sustentabilidade é relevante para apontar ao tomador de decisão os critérios a serem considerados. Nesse sentido, a presente pesquisa visa analisar um conjunto de indicadores de sustentabilidade para a segurança hídrica, a fim de apresentar um *Ranking* dos municípios das sub-bacias dos Rios Atibaia e Piracicaba. A metodologia caracteriza-se como exploratória e explicativa, com a abordagem qualitativa e

¹ Pontifícia Universidade Católica de Campinas (PUC). Campinas/SP, Brasil.

<https://orcid.org/0000-0002-0659-8424>

² Pontifícia Universidade Católica de Campinas (PUC). Campinas-SP, Brasil.

<https://orcid.org/0000-0002-3138-2406>

³ Pontifícia Universidade Católica de Campinas (PUC). Campinas-SP, Brasil.

<https://orcid.org/0000-0002-3481-8914>

⁴ Pontifícia Universidade Católica de Campinas (PUC). Campinas-SP, Brasil.

<https://orcid.org/0000-0001-5312-286X>

PROPOSTA PARA O DESENVOLVIMENTO DE UM ÍNDICE DE SEGURANÇA HÍDRICA

quantitativa. A análise dos resultados foi realizada a partir da avaliação de um grupo de especialistas em recursos hídricos aos indicadores referentes à segurança hídrica e de dados secundários sobre esses indicadores obtidos do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento referentes ao ano de 2019. Os resultados mostraram que o município Nazaré Paulista, atendido pela sub-bacia do Rio Atibaia, obteve o pior desempenho quanto à segurança hídrica, enquanto Iracemápolis, pertencente à sub-bacia do Rio Piracicaba destacou-se como o município com as melhores condições de segurança hídrica. O Índice de Segurança Hídrica demonstrou ser um instrumento que contribui na formulação de ações para a gestão de recursos hídricos por meio de uma comparação entre municípios com diferentes graus de segurança hídrica.

Palavras-chave: bacias hidrográficas, indicadores, modelo Força Motriz-Estado-Impacto-Resposta

PROPOSAL FOR THE DEVELOPMENT OF A WATER SECURITY INDEX

ABSTRACT: To achieve sustainable development, the rational use of water resources is essential. Monitoring sustainability indicators and indexes is relevant to point out to the decision maker the criteria to be considered. In this context, this research aims to analyze a set of sustainability indicators for water security to present a ranking of municipalities in the sub-basins of the Atibaia and Piracicaba Rivers. The methodology is exploratory and explanatory, using both qualitative and quantitative approaches. The results were analyzed based on evaluations from a group of water resources experts on indicators relating to water security and secondary data over these data from the National Sanitation Information System for the year 2019. The findings revealed that Nazaré Paulista, served by the Atibaia River sub-basin, had the worst performance in terms of water security, while Iracemápolis, in the Piracicaba River sub-basin, stood out as the municipality with the best water security conditions. The Water Security Index proved to be a valuable tool for guiding water resource management actions by comparing municipalities with varying levels of water security.

Keywords: watersheds, indicators, Driver-Pressure-State-Impact-Response model

INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural de que todos necessitam, é considerada fonte de vida, da qual todos dependem para viver (TUNDISI; MATSUMURA-TUNDISI, 2020). De acordo com Porto et al. (2019) apenas 3% da água doce disponível no mundo é apropriada para o consumo humano, e parte dessa água, aproximadamente 69% é de difícil acesso, pois está concentrada nas geleiras.

A preocupação pelo uso da água no território brasileiro, culminou na Lei das Águas ou Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), que ao ser instituída, criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH), regulamentou o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal e alterou 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 (BRASIL, 1997). Conforme a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico ANA (2020), a partir dessa Lei foi possível estabelecer instrumentos para a gestão dos recursos hídricos de domínio federal, ou seja, aqueles que atravessam mais de um estado ou que fazem fronteira.

A PNRH é uma lei que, por meio dos planos de recursos hídricos das bacias hidrográficas, criou condições para identificação de conflitos pelo uso das águas, sobretudo no âmbito administrativo (ANA, 2020). Embora tenha sido um marco importante, considerando a vastidão, diferenças geográficas e peculiaridades territoriais do Brasil, é imprescindível, conforme apontado pelo Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável (CEBDS, 2015), que as decisões relacionadas aos recursos hídricos levem em conta as especificidades de cada região.

Em complemento, Tundisi e Matsumura-Tundisi (2020) enfatizam a importância dos estudos de casos em ecossistemas específicos, como áreas alagadas, bacias hidrográficas ou represas e lagos. Nessas circunstâncias, pode-se notar uma considerável ampliação de informações científicas, criando condições adequadas para experimentações em gestão ambiental.

Sun et al. (2016) assinalam que a gestão sustentável dos recursos hídricos é essencial para a integração de questões sociais, econômicas e ambientais. Em complemento, Tundisi e Matsumura-Tundisi (2020) colocam que planejar e gerenciar, combinando o uso do solo e água, é uma maneira para regulação do funcionamento da governança nas bacias hidrográficas. No Brasil, segundo a Organização das Nações

Unidas do Brasil, programas e ações para a gestão hídrica, são relativamente recentes comparados às discussões ou ações voltadas à gestão do saneamento (ONU-BR, 2020), a exemplo o Plano Nacional de Segurança Hídrica (PNSH) de 2019.

O modelo de avaliação de sustentabilidade FPEIR é comumente conhecido como Sistema de Indicadores de Sustentabilidade Força Motriz-Pressão-Estado-Impacto-Resposta. O modelo FPEIR foi criado por David Rapport e Anthony Friend em 1979, pelo *Statistics Canadá* (RAPPORT; FRIEND, 1979).

Nesse sentido, a presente pesquisa visou analisar um conjunto de indicadores de sustentabilidade para a segurança hídrica, a fim de apresentar um *Ranking* dos municípios das sub-bacias dos Rios Atibaia e Piracicaba, pertencentes às Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí (Bacias PCJ), de acordo com a avaliação dos profissionais especialistas vinculados à Câmara Técnica, Grupo de Trabalho de Indicadores e Monitoramento da Agência das Bacias PCJ.

INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE E SEGURANÇA HÍDRICA

Segundo Veiga (2010) as discussões sobre indicadores de sustentabilidade iniciaram há quase 50 anos, mas foi ao final da década de 90 que passou a ser amplamente disseminado e discutido com as proposições da Agenda 21, das colaborações de Meadows (1998), e dos Princípios de Avaliação e Medição de Sustentabilidade Bellagio – *Bellagio Sustainability Assessment and Measurement Principles*, conhecido como BellagioSTAMP, uma versão anterior do BellagioSTAMP foi publicada em 1996 (IISD, 2000).

O modelo de avaliação da sustentabilidade desenvolvido por Meadows (1998) é reconhecido por estudiosos desse tema. Esse modelo aborda a alavancagem sistêmica, considerando possíveis modificações de fluxo, regras, políticas e interações. No modelo, as pessoas enquanto partes integrantes do sistema, são conscientes de seus objetivos e metas, de forma que as pessoas representam uma das principais alavancas do sistema.

Além da alavancagem sistêmica, os Princípios de Bellagio, conhecido como BellagioSTAMP, são utilizados para avaliar o desenvolvimento sustentável. O BellagioSTAMP, segundo o Instituto Internacional para o Desenvolvimento Sustentável

(IISD), é um conjunto de princípios utilizados para orientação da medição e avaliação das estratégias para a sustentabilidade.

De acordo com o IISD (2000), o uso dos Princípios de Bellagio também é relatado na concepção de avaliações integradas e prospectivas em nível internacional. Esses Princípios têm o intuito de avaliar os efeitos das decisões antecipadas, utilizando os princípios originais como ponto de partida, esses que foram atualizados e formulados a fim de eliminar duplicidades e incluir novos pontos de ênfase (PINTÉR et al., 2012).

O BellagioSTAMP deve ser usado como um conjunto completo, e inclui oito princípios: 1 - Visão orientadora; 2 - Considerações essenciais; 3 - Escopo adequado; 4 - Estrutura e indicadores; 5 - Transparência; 6 - Comunicação eficaz; 7 - Ampla participação; e 8 - Continuidade e capacidade (OLIVEIRA et al., 2018).

Segundo *United Nations Conference on Environment and Development* (UNCED), a Agenda 21 foi criada com o intuito de propor ações a respeito do desenvolvimento sustentável, e colocá-las como uma meta que fosse aceitável globalmente, de forma a abordar os problemas urgentes da década de 90, além de preparar o mundo para os desafios do próximo século. A Agenda 21 reflete um consenso global e um compromisso político no mais alto nível de desenvolvimento e cooperação ambiental (UNCED, 1992).

De acordo com Souza et al. (2020), a Agenda 2021 foi importante para a sistematização da construção e monitoramento de um conjunto de índice e indicadores, fornecendo informações sobre a situação social, econômica, ambiental e institucional de uma região para a tomada de decisão.

Desde então, monitorar e avaliar o progresso do desenvolvimento sustentável tornou-se uma questão de preocupação mundial, inicialmente a cogitação foi a elaboração de uma lista de indicadores comuns para avaliação do progresso global, considerando o seu desenvolvimento (GUIMARÃES et al., 2008). A construção de indicadores de desenvolvimento sustentável foi necessária para o monitoramento e medição dos avanços quanto às metas estipuladas pela Agenda 21.

No Brasil, para medir a sustentabilidade em nível global foi criado um Comitê de Desenvolvimento Sustentável (CDS), que visou abranger as questões econômicas. O principal objetivo da iniciativa foi construir índices de desenvolvimento sustentável para apoiar o processo de tomada de decisão nos países, defini-los, esclarecer métodos e

fornecer treinamento e atividades de capacitação para sua construção (MALHEIROS et al., 2008).

A *European Environmental Area* (EEA) complementa que os indicadores de sustentabilidade têm a “comunicação como principal função, que devem permitir ou promover o intercâmbio de informações sobre o assunto que abordam” (EEA, 1999, p. 5).

Siche et al. (2007) enfatizam a importância dos índices e indicadores aplicados à gestão sustentável das organizações, mas é necessário considerar o real significado e consecução. Além disso, os mesmos autores consideram que independentemente da adoção de índices ou indicadores de sustentabilidade como métrica, são esses os padrões adotados para as tomadas de decisões políticas, estratégicas e empresariais dos países. De acordo com Souza et al. (2020) índices e indicadores servem como guia para tomadas de decisão em vários níveis, permitindo mensurar o progresso dos objetivos do desenvolvimento econômico estabelecidos em ações governamentais.

Para Veiga (2010), avaliar, mensurar e monitorar a sustentabilidade requer o uso de indicadores. De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística IBGE (2015) os indicadores apontam subsídios para monitorar a sustentabilidade ambiental, social, econômica e institucional do modelo de desenvolvimento do Brasil e fornecem um panorama abrangente das informações necessárias para compreender a realidade do País, exercer a cidadania, planejar e formular políticas públicas, e finalmente possibilita a promoção do desenvolvimento sustentável.

A EEA (1999) propõe três principais objetivos para o monitoramento dos indicadores ambientais: 1. fornecimento de informações sobre problemas ambientais para permitir que os formuladores de políticas valorizem a seriedade; 2. apoio no desenvolvimento de políticas, estabelecendo prioridades, identificando os principais fatores que pressionam o meio ambiente; 3. monitoramento dos efeitos das respostas políticas.

Os indicadores apontam o progresso em direção às metas sociais, ambientais e econômicas para o desenvolvimento sustentável. Segundo Van Bellen (2006, p. 48), “a necessidade de indicadores com um certo grau de agregação é imprescindível para o monitoramento da questão da sustentabilidade”. Monitorar e avaliar o progresso do desenvolvimento sustentável é um desafio e compromisso mundial.

Diante deste contexto, é compreensível que todos os instrumentos de avaliação do desenvolvimento sustentável, independentemente do tema, devam utilizar critérios de relevância política, solidez analítica e mensurabilidade, a fim de auxiliar na seleção de indicadores, métodos e apresentação de resultados ao público (OLIVEIRA et al., 2018). Na gestão dos recursos hídricos, os indicadores possibilitam a medição de resultados e um contínuo acompanhamento sistemático (GEO BRASIL, 2007).

No Brasil, um país em desenvolvimento, a quantidade de água utilizada para os diversos setores segue o mesmo padrão mundial, e o principal uso desse recurso é destinado para a irrigação (52%), seguido do abastecimento humano (23,8%) e da indústria (9,1%), onde juntos representam cerca de 85% da retirada total de água do território brasileiro (ANA, 2018).

Constata-se a importância dos indicadores para monitorar a gestão de recursos hídricos, de forma a agregar parâmetros e variáveis para uma análise multidisciplinar, e, por fim, culminar em um índice, capaz de representar numericamente uma situação. Segundo Sachs (2008) deve-se considerar a sustentabilidade ambiental para a orientação de todas as atividades. Nesse sentido, foi escolhida a abordagem FPEIR, Força Motriz-Estado-Impacto-Resposta, para obter um Índice de Segurança Hídrica para os municípios das sub-bacias dos Rios Atibaia e Piracicaba, de acordo com a avaliação dos especialistas.

Modelo Força Motriz-Pressão-Estado-Impacto-Resposta

O Modelo Força Motriz-Pressão-Estado-Impacto-Resposta (FPEIR) (em inglês *Driver-Pressure-State-Impact-Response (DPSIR)*) foi inicialmente criado pela EEA derivado do modelo Pressão-Estado-Resposta (PER) ou em inglês *Pressure-State-Response (PSR)* criado pela *Organisation for Economic Cooperation and Development (OECD)* (EEA, 1999).

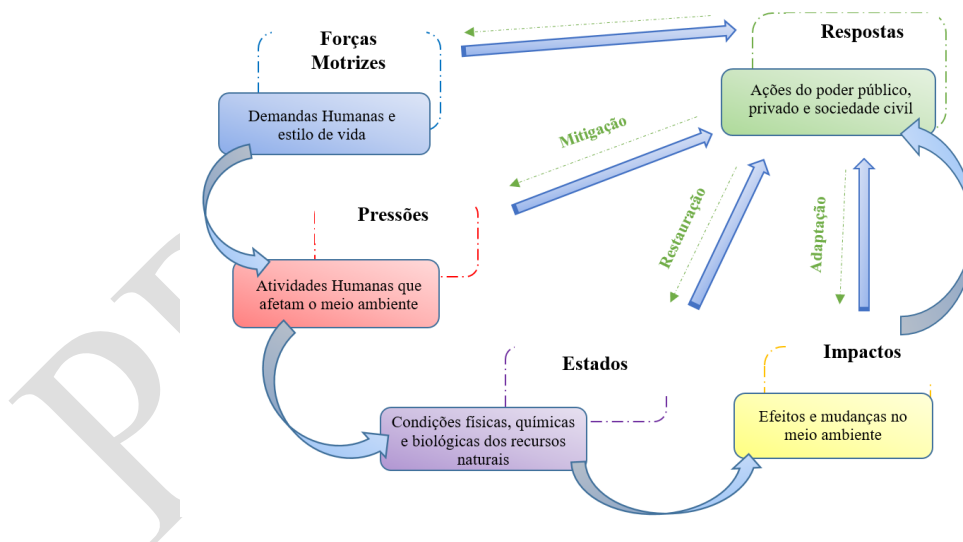
O modelo Estresse-Resposta (ER), em inglês *Stress-Response (SR)*, que tem a utilidade de descrever as relações entre as origens e as consequências dos problemas ambientais (EEA, 1999), deu origem ao modelo PER, que se baseia no conceito de causa, considerando que as atividades humanas exercem Pressões sobre o meio ambiente, o que gera um Estado de mudança na qualidade e quantidade dos recursos naturais e a consequência são as Respostas da sociedade através de políticas ambientais, econômicas

PROPOSTA PARA O DESENVOLVIMENTO DE UM ÍNDICE DE SEGURANÇA HÍDRICA

e setoriais (OCDE, 1993). O modelo Pressão-Estado-Impacto-Resposta (PEIR), em inglês PSIR “é baseado na relação entre causa e efeito, uma vez que as atividades humanas exercem pressão sobre os recursos naturais, alterando o estado do meio ambiente em termos quantitativos e qualitativos” (FELINTO et al., 2019, p. 119). Esses modelos culminaram na evolução do modelo mais completo, o FPEIR, que comumente é aplicado à gestão dos recursos hídricos.

De acordo com a EEA (1999), a estrutura FPEIR é comumente utilizada para descrever as relações entre as origens e as consequências dos problemas ambientais. Para Spangenberg et al. (2015), o modelo é capaz de demonstrar uma visão de análise de sistemas sobre os problemas ambientais e a forma como a sociedade lida com eles. Acostupa et al. (2018) complementam, ao afirmarem que o modelo FPEIR busca entender as pressões socioeconômicas e os impactos ao meio ambiente e recursos naturais. As Forças Motrizes, Pressões, Estados, Impactos, que são os geradores das Respostas para os reconhecimentos das ações a serem estabelecidas e projetadas (Figura 1).

Figura 1 - Esquemática do Modelo Força Motriz-Pressão-Impacto-Resposta (FPEIR)



Fonte: Elaboração própria a partir de EEA (1999; 2003); OECD (1993); PNUMA (2004) e Spangenberg et al. (2015).

A Figura 1 destaca elementos do modelo FPEIR indicando a prevenção das Forças, mitigações das Pressões, restaurações dos Estados e adaptações aos Impactos, que podem auxiliar na construção de Respostas e avaliação dos riscos, custos e benefícios das ações

(EEA, 1999; SPANGENBERG et al., 2015). Por sua vez, a eficácia das Respostas, que ocorrem a partir de leis, decretos e ações sociais, realimentam o processo. A interdependência dos indicadores do modelo FPEIR é evidenciada pela OECD (1993), que reforça não haver indicadores de um para um, pois há importância potencial dos indicadores para cada tipo de uso, histórico, estresse, qualidade ambiental e recursos naturais.

Spangenberg et al. (2015) assinalam que as Forças Motrizes (F), a partir de questões sociais e econômicas, exercem Pressões (P) sobre o meio ambiente e, como consequência, o Estado (E) do meio ambiente se altera, levando a Impactos (I) nos ecossistemas, na saúde humana e na sociedade, que podem acarretar uma Resposta (R), e por consequência retornam às Forças Motrizes, o Estado ou os Impactos.

O modelo FPEIR foi adotado pela *Water Framework Directive* – WFD desde 2000, e buscou-se com essa medida a proteção dos recursos hídricos, sendo possível o desenvolvimento de vários estudos europeus baseados nesse sistema, com intuito de definir, mais assertivamente, ferramentas de suporte às tomadas de decisões para o equilíbrio na utilização e interesses diversos pela água (SOARES et al., 2011). Ademais, Araújo et al. (2019) acreditam que o método FPEIR, quando associado a outros modelos, é capaz de produzir um alicerce para a geração de resultados a fim de apoiar tomadas de decisões, tanto para a gestão dos recursos hídricos, quanto para as demais áreas do conhecimento.

Conforme Felinto et al. (2019), para a gestão dos recursos hídricos há a necessidade de tecnologias para o apoio às tomadas de decisões, que garantirá a limitação ou não do planejamento ou desenvolvimento urbano sustentável. Nesse sentido, as autoras aplicaram o modelo FPEIR para o município de João Pessoa-PB, e concluíram que é uma ferramenta que pode dar suporte na decisão dos gestores, uma vez que permite a obtenção e agregação de informações. Isso possibilita a identificação na área estudada das principais Forças Motrizes e Pressões oriundas das atividades antrópicas; verificação do Estado atual dos recursos hídricos; identificação dos Impactos ao recurso hídrico (nas suas fases, superficial e subterrânea) e constatação das Respostas aos impactos identificados. Além disso, as autoras salientam que o modelo FPEIR pode auxiliar em definir e traçar novas estratégias de Resposta aos problemas da Bacia Hidrográfica em estudo.

METODOLOGIA

A metodologia do presente estudo caracteriza-se como exploratória e explicativa. Os procedimentos técnicos adotados compreendem a pesquisa bibliográfica, documental, de campo e estudos de casos, com uso de dados secundários obtidos do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) referentes ao ano de 2019.

A principal fonte documental é oriunda dos Comitês das Bacias PCJ, que dispõem de alguns documentos de domínio público, instrumentos de gestão das águas utilizados pelos Comitês de Bacias Hidrográficas, que segundo a ANA (2011), são os principais instrumentos de deliberação dos comitês com informações estratégicas para gestão das águas para as respectivas bacias hidrográficas.

Junto ao CBH-PCJ há várias câmaras técnicas, sendo uma delas a Câmara Técnica de Recursos Naturais (CT-RN). Os participantes desta pesquisa fazem parte do CBH-PCJ e estão vinculados à Câmara Técnica, Grupo de Trabalho de Indicadores e Monitoramento da Agência das Bacias PCJ.

A Agência das Bacias PCJ é o principal órgão de gestão das Bacias. Conforme Tundisi e Matsumura-Tundisi (2020), o gerenciamento das regiões urbanas é complexo, sendo necessário medidas de gestão integrada para a promoção de alteração substancial da demanda, diminuição de desperdícios e criação de alternativas para melhor uso dos recursos hídricos, como por exemplo redução do uso doméstico, reúso de água, coleta de águas de chuvas, alteração dos métodos de irrigação na agricultura.

SUB-BACIAS DOS RIOS ATIBAIA E PIRACICABA

As sub-bacias dos Rios Atibaia e Piracicaba foram escolhidas como objeto de estudo, pois possuem um cenário insustentável do balanço hídrico das Bacias PCJ. Conforme a Cobrape (2020), a sub-bacia do rio Atibaia é a que apresenta a maior demanda de água das Bacias PCJ, é a terceira sub-bacia, com maior área de drenagem do rio Piracicaba, além de se destacar negativamente pelo lançamento de esgotos de origem doméstica nas Bacias PCJ.

No ano de 2010, na área urbana dos municípios das Bacias PCJ, aproximadamente 99% dos domicílios possuíam acesso à energia elétrica, mais de 94% possuíam rede de abastecimento de água e 88% rede de esgotamento sanitário. Referente aos domicílios em

PROPOSTA PARA O DESENVOLVIMENTO DE UM ÍNDICE DE SEGURANÇA HÍDRICA

áreas rurais, 99% possuíam acesso à energia elétrica, já o abastecimento de água era predominantemente originário de poços ou nascentes e como esgotamento sanitário utilizam-se de fossas rudimentar e séptica (IBGE, 2010).

A Figura 2 destaca a delimitação e localização das Bacias Hidrográficas PCJ no Estado de São Paulo.

Figura 2 - Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá



Fonte: SIGRH (2020, s/p).

As características das sub-bacias dos Rios Atibaia e Piracicaba encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1 - Caracterização das sub-bacias dos estudos de casos

	Sub-bacia Atibaia	Sub-bacia Piracicaba
Demanda de água	9,78 m ³ /s, equivalente a 27% do total.	8,34 m ³ /s, o equivalente a 23% do total.
Área de drenagem	818,5 km ² , o que corresponde a 22% do total.	3.774,69 km ² , o que corresponde a 30% do total.
Carga Orgânica	A remoção de carga orgânica doméstica é de apenas 16%.	A remoção da carga orgânica é de 60%.
População estimada 2021 (hab.)	3.102.660	3.602.749

Fonte: Elaboração própria a partir de Comitês PCJ (2019); Cobrape (2020) e IBGE (2021).

A sub-bacia do Rio Atibaia atende a 21 municípios e a do Rio Piracicaba 25, sendo que alguns pertencem às duas sub-bacias. A partir dos dados da Tabela 1 evidencia-se um cenário preocupante em relação ao adequado tratamento e destino dos esgotos das sub-bacias estudadas.

COLETA DE DADOS

A coleta de dados da presente pesquisa foi realizada com a aplicação de um questionário a especialistas a fim de identificar a importância de um conjunto de indicadores associados à segurança hídrica.

A aplicação do questionário, aprovado pelo Comitê de Ética com parecer no. 4.424.792, ocorreu ao longo dos meses de março e abril de 2021. No início do questionário, o conceito de segurança hídrica foi contextualizado utilizando as referências da UN-Water (2013) e GWP/OECD (2015).

A pesquisa contou com auxílio da plataforma gratuita do *google forms*, que foi disponibilizada através de um *link*, com fácil acesso pela rede de computadores, *internet*, e disponibilizada no e-mail individual de cada respondente, juntamente anexado ao Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE).

O questionário foi encaminhado na primeira semana do mês de março de 2021, ficando disponível por 15 dias. Uma segunda rodada de envio foi realizada para os que não responderam. A terceira rodada de envio foi realizada na primeira semana do mês de abril para

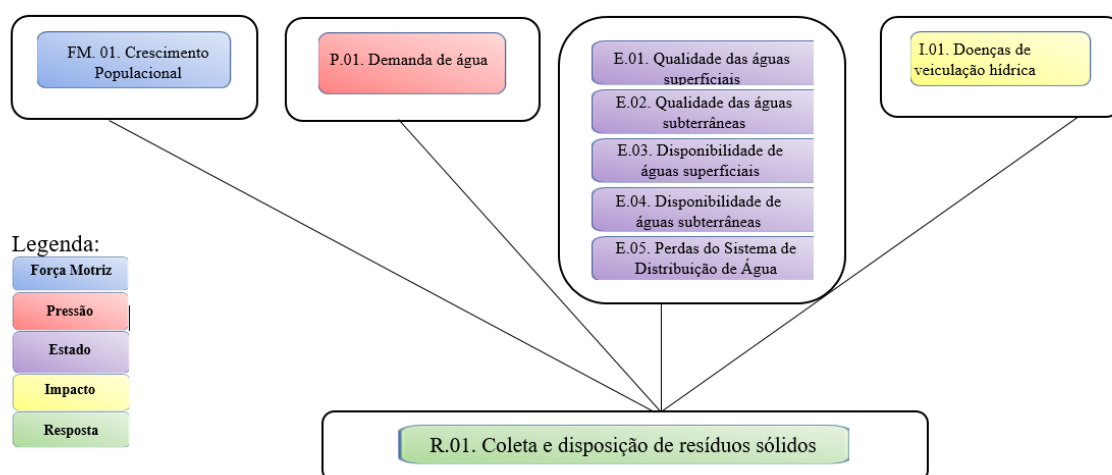
PROPOSTA PARA O DESENVOLVIMENTO DE UM ÍNDICE DE SEGURANÇA HÍDRICA

dois novos respondentes. O questionário foi encaminhado para o total de nove gestores(as) e colaboradores(as) vinculados à Câmara Técnica de Conservação e Proteção dos Recursos Naturais (CT-RN), do Grupo de Trabalho: Indicadores e Monitoramento dos Comitês PCJ e por fim, cinco deles participaram da pesquisa.

Visando conhecer o grau de importância que os entrevistados atribuíam aos indicadores selecionados, foi adotada a escala de *Likert* com 10 níveis, onde 1 representa a menor importância e 10 a maior, relativamente às seguintes variáveis: Demanda de água, Disponibilidade de água, Crescimento populacional, Qualidade da água, Perdas do sistema de distribuição de água, Doenças de veiculação hídrica e Coleta e disposição de resíduos.

Houve uma pré-seleção dos indicadores a partir do Relatório Síntese 2020-2035 dos Comitês PCJ (2019) (Figura 3). Esses relatórios foram elaborados seguindo a metodologia proposta pela Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente de São Paulo, que organiza os indicadores de acordo com a estrutura do modelo FPEIR (COMITÊS PCJ, 2019).

Figura 3 - Pré-seleção de indicadores para segurança hídrica a partir do FPEIR



Fonte: Elaboração própria a partir de Comitês PCJ (2019).

Como resultado, foram selecionados 20 indicadores (Quadro 1).

PROPOSTA PARA O DESENVOLVIMENTO DE UM ÍNDICE DE SEGURANÇA HÍDRICA

Quadro 1 - Descrição dos indicadores associados às variáveis do modelo FPEIR

Indicador	Fonte
Crescimento populacional (Força-Motriz)	
População urbana atendida com esgotamento sanitário	SNIS (2019)
População total atendida com esgotamento sanitário	SNIS (2019)
População urbana atendida com abastecimento de água	SNIS (2019)
População total atendida com abastecimento de água	SNIS (2019)
Taxa de Urbanização	IBGE (2019); Seade (2019)
Densidade demográfica	IBGE (2019); Seade (2019)
Demanda de água (Pressão)	
Índice de atendimento total de água	
Consumo médio per capita de água	SNIS (2019)
Volume de água consumido	SNIS (2019)
Disponibilidade de água superficial/subterrânea (Estado)	
Volume de água faturado	SNIS (2019)
Volume de água produzido	SNIS (2019)
Índice de perdas faturamento	SNIS (2019)
Taxa de cobertura de Pavimentação e Meio-Fio na Área Urbana do Município	SNIS (2019)
Precipitação	CIAGRO (2019); Climate (2019)
Perdas do sistema de distribuição de água (Estado)	
Índice de perdas na distribuição	SNIS (2019)
Índice de perdas por ligação	SNIS (2019)
Qualidade da água (Estado)	
Quantidade de domicílios sujeitos a risco de inundação	SNIS (2019)
Temperatura	CIAGRO (2019); Climate (2019)
Doenças de veiculação hídrica (Impacto)	
Doenças de veiculação hídrica – Internações	Datasus (2019)
Coleta e disposição dos resíduos sólidos (Resposta)	
Índice de coleta de esgoto	SNIS (2019)

Fonte: Elaboração própria.

ÍNDICE DE SEGURANÇA HÍDRICA

Para o cálculo do Índice de Segurança Hídrica (I-SH) dos 42 municípios a partir dos 20 indicadores decidiu-se normalizar os dados brutos obtidos das fontes de informação com intuito de obter uma padronização dos dados. O cálculo da normalização dos dados seguiu a influência positiva ou negativa quanto ao aspecto da segurança hídrica, de acordo com as Equações (1) e (2), respectivamente.

$$X_i \text{ normalizado} = \frac{X_i - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \quad (1)$$

$$X_i \text{ normalizado} = \frac{X_{\max} - X_i}{X_{\max} - X_{\min}} \quad (2)$$

Ressalta-se que os indicadores com influência positiva são: População total atendida com esgotamento sanitário; População urbana atendida com esgotamento sanitário; População total atendida com abastecimento de água; População urbana atendida com abastecimento de água; Volume de água faturado; Volume de água produzido; Índice de atendimento total de água; Índice de coleta de esgoto; Taxa de cobertura de Pavimentação e Meio-Fio na Área Urbana do Município; Precipitação. Os indicadores restantes impactam negativamente na segurança hídrica.

Na sequência, para cada dimensão do modelo FPEIR, foi calculado um índice parcial a partir da média aritmética dos indicadores correspondentes às variáveis. Por fim, o I-SH foi obtido calculando-se a média aritmética ponderada dos índices parciais, com os pesos obtidos a partir das contribuições dos especialistas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nessa seção são apresentados os resultados e a discussão do modelo FPEIR, de acordo com os Comitês PCJ (2019), bem como a análise dos dados obtidos do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento para o ano de 2019 com os pesos segundo a avaliação dos especialistas em recursos hídricos.

APLICAÇÃO DO MODELO FORÇA MOTRIZ-ESTADO-IMPACTO-RESPOSTA

No modelo FPEIR, de acordo com os Comitês PCJ (2019), os indicadores de Força-Motriz estão relacionados com os aspectos sociodemográficos, como: Taxa Geométrica de Crescimento Anual, Densidade Demográfica e Índice Paulista de Responsabilidade Social, entre outros.

O PNUMA (2004) refere-se por Pressão as forças econômicas e sociais, onde por uma perspectiva política, a pressão é o ponto de início para enfrentar os problemas ambientais. Para os Comitês PCJ (2019), a pressão trata do desenvolvimento de atividades que de alguma forma pode afetar a qualidade e/ou quantidade dos recursos hídricos. Como exemplos de indicadores de Pressão pode-se citar: consumo de água, produção de esgoto e produção de resíduos sólidos e áreas contaminadas (COMITÊS PCJ, 2019).

Indicadores de Estado compõem os parâmetros oriundos à quantidade e à qualidade dos recursos hídricos (COMITÊS PCJ, 2019). Para o PNUMA (2004), esses indicadores mostram a condição em que se encontra o meio ambiente, resultante das pressões, como por exemplo o nível de poluição atmosférica, a erosão do solo ou o desmatamento. Exemplos abordados pelos Comitês PCJ (2019) são: Índice de Qualidade da Água Bruta para fins de Abastecimento Público (IAP), Índice de Qualidade das Águas (IQA), Índice de Qualidade das Águas para Proteção da Vida Aquática (IVA), Índice de Estado Trófico (IET) e demanda total em relação ao Q7,10 (vazão mínima de 7 dias de duração e 10 anos de tempo de recorrência).

De acordo com os Comitês PCJ (2019), os indicadores de Impacto são provenientes da situação do Estado dos recursos hídricos, expressam os problemas que decorrem dos indicadores de Estado. Para o PNUMA (2004), entende-se como Impacto os efeitos oriundos do Estado do meio ambiente sobre os aspectos e qualidade de vida, saúde humana, o próprio meio ambiente, o ambiente construído, e a economia urbana. A erosão do solo, que é um Estado, pode produzir várias consequências, como: diminuição da produção de alimentos, e consequente aumento de sua importação, aumento do uso de fertilizantes e desnutrição (PNUMA, 2004). Alguns exemplos de Impacto nos recursos hídricos são: as internações por doenças de veiculação hídrica e os conflitos pelo uso da água (COMITÊS PCJ, 2019).

Entende-se por Resposta as ações coletivas ou individuais que podem atenuar ou prevenir os Impactos ambientais negativos, corrigir danos causados ao meio ambiente, preservar os recursos naturais ou ainda contribuir para a melhoria da qualidade de vida da população local (PNUMA, 2004). Os indicadores de Resposta agrupam as Respostas da sociedade diante dos problemas existentes, e podem apontar os índices de cobertura de rede coletora e de redução da carga orgânica, bem como as condições de disposição final de resíduo sólido domiciliar e de áreas contaminadas (COMITÊS PCJ, 2019). Estes indicadores abrangem ações do governo, de Organizações não Governamentais, de associações e da população (COMITÊS PCJ, 2019). Ainda podem-se incluir nas respostas a opinião pública, as preferências dos consumidores, mudanças nas estratégias de gestão, informações sobre o meio ambiente, além de regulação de custos ambientais ou de pesquisa (PNUMA, 2004).

ANÁLISE DA SEGURANÇA HÍDRICA

A análise da Segurança Hídrica foi realizada tendo em vista as repostas dos especialistas, sendo possível identificar que os indicadores considerados mais importantes para a segurança hídrica das Bacias PCJ em ordem crescente são: Disponibilidade de água e Crescimento populacional/Demanda de água.

Os comentários adicionais sobre a proposição de novos indicadores para a segurança hídrica incluem a Demanda de água (usos e projeções de crescimento populacional) *versus* disponibilidade de água (superficial e subterrânea - quantidade e qualidade); Grau de resiliência dos mananciais de interesse para o abastecimento público *versus* influência na regulação hídrica (qualidade e quantidade); Perdas hídricas no abastecimento *versus* investimento em melhoria dos sistemas de abastecimento público.

Um dos especialistas enfatizou a importância da gestão do indicador Demanda de água para a segurança hídrica, tendo em vista que em um ambiente de estresse hídrico, como as Bacias PCJ, conhecer detalhadamente a quantidade de água utilizada pelos diversos setores/usuários é fundamental para a gestão, o que possibilita o desenvolvimento de políticas de incentivo ao uso racional e otimização da alocação da água.

Outro especialista comentou a necessidade de incluir indicadores correlacionados com comportamento humano em relação à segurança hídrica e o consumo individual; uso e ocupação do território, principalmente áreas críticas de recarga (produção de água) e governança local (município) com relação à gestão dos recursos hídricos (Plano diretor, Plano municipal de recursos hídricos, Conselhos municipais, legislação municipal).

O indicador de crescimento populacional foi considerado por quatro especialistas entre os indicadores mais importantes junto da demanda de água. Em complemento, um dos respondentes acredita que a elaboração de projeções e a atualização de cálculos de oferta e demanda de água em estudos de segurança hídrica são fundamentais para alavancar os estudos inerentes a temática. As informações do crescimento populacional são de fácil obtenção e de impactos previsíveis no contexto da gestão dos recursos hídricos. Para outro especialista, o crescimento populacional afeta diretamente a demanda, e que no caso das Bacias PCJ, o fator agravante é a transposição de água para a Região Metropolitana de São Paulo (Alto Tietê).

O indicador Demanda de água foi considerado com grau máximo de importância por todos os especialistas. Um dos especialistas relata que este indicador está relacionado

com a soma de todos os usos da bacia e da eficiência conforme são gerenciados os recursos hídricos disponíveis. Um outro especialista comentou que a Demanda de água é diretamente proporcional ao crescimento da população, mas os demais usos da água devem também ser considerados, como por exemplo o industrial que aparece como um dos maiores nas Bacias PCJ (segundo maior após o abastecimento público). Outro especialista acredita que em um ambiente de estresse hídrico como apresentado pelas Bacias PCJ, ter um conhecimento detalhado sobre a quantidade de água utilizada pelos diversos setores/usuários é fundamental para a gestão, com vistas ao delineamento de políticas de incentivo ao uso racional e otimização da alocação da água.

O indicador de Qualidade das águas superficiais foi considerado com grau máximo de importância por dois especialistas. De acordo com um dos especialistas há métodos e investimentos capazes de conter e melhorar a qualidade da água bruta captada, em complemento às tecnologias tradicionais de tratamento de água bruta, ou seja, utilizar a infraestrutura natural como elemento mitigador. Outro especialista acredita que o indicador é importante em razão do intenso uso das águas superficiais no contexto das Bacias PCJ. Ademais, é considerado por outro especialista como fator importante por estar diretamente relacionado com a disponibilidade, pois a qualidade pode impedir ou inviabilizar economicamente o seu tratamento. Em geral, água de baixa qualidade não atende à demanda, pois é considerada como não disponível por conta da má qualidade, o que não tem permitido o uso para a dessedentação animal e para o abastecimento urbano.

Da mesma forma, o indicador de Qualidade das águas subterrâneas foi considerado com grau máximo de importância por dois especialistas. Para um dos especialistas a Qualidade das águas subterrâneas é mais importante do que a Qualidade das águas superficiais, porque na gestão integral dos recursos hídricos o seu tratamento é mais complicado e necessita de mais atenção daquela atualmente dada pelos órgãos gestores. Mesmo não concordando completamente com esta opinião, um dos especialistas reconheceu sua crescente importância pelo aumento gradativo do uso de águas subterrâneas nas Bacias PCJ.

O indicador de Disponibilidade das águas superficiais foi assinalado como o mais importante por todos os especialistas. Gerenciar a variação da demanda *versus* disponibilidade das águas superficiais e subterrâneas é fundamental para acompanhar a Disponibilidade de águas das sub-bacias. Isso pode contribuir para definir áreas

prioritárias de políticas e intervenções específicas. Outro especialista considera que a Disponibilidade (superficial ou subterrânea) é fator crucial na discussão sobre segurança hídrica, principalmente para atender as demandas de vazão ecológica (disponibilidade mínima para manutenção da qualidade ecológica).

Da mesma forma o indicador de Disponibilidade das águas subterrâneas foi considerado por quatro especialistas com o grau máximo de importância e ressalta-se a importância de observar o aumento gradativo do uso de águas subterrâneas nas Bacias PCJ. Um dos especialistas acredita que este indicador é pouco considerado na gestão dos recursos hídricos, possivelmente porque a sociedade visualiza a água como um recurso infinito. Na região das Bacias PCJ ainda existe a extração de águas subterrâneas sem controle, o que gera baixos níveis de reserva, perda de qualidade e aumento da insegurança hídrica.

O indicador de Perdas dos sistemas de distribuição de água é considerado por dois especialistas com o grau máximo de importância. Um dos especialistas aponta que este indicador está relacionado com a eficiência do abastecimento público. Outro especialista relata que é desejado que as Perdas dos sistemas de distribuição, de valor médio atual de 40%, sejam reduzidas para valores abaixo de 10%. São perdas de água e de recursos financeiros, mesmo considerando que estas perdas retornam para alimentar as águas subterrâneas.

O indicador de Doenças de veiculação hídrica é considerado por três especialistas como sendo o mais importante. Um dos especialistas atribui menor importância a este indicador comparado ao de Qualidade das águas. Outro especialista acredita que está diretamente relacionada à qualidade da água e ausência de saneamento básico, enfatizando ainda que recursos humanos e financeiros perdidos são muito significativos.

O indicador de Coleta e disposição de resíduos sólidos é considerado o mais importante por dois especialistas. Um deles afirma que esse indicador tem impacto pontual nos recursos hídricos, comparado aos mencionados anteriormente. Um dos especialistas acredita que todo resíduo sólido não coletado ou depositado irregularmente contribui para aumentar as dificuldades e custos do tratamento dos esgotos, bem como acabam contaminando as águas superficiais.

ÍNDICE DOS MUNICÍPIOS DAS SUB-BACIAS DOS RIOS ATIBAIA E PIRACICABA SEGUNDO OS ESPECIALISTAS

Com as respostas dos cinco especialistas, gestores vinculados à Câmara Técnica, Grupo de Trabalho de Indicadores e Monitoramento da Agência das Bacias PCJ obtiveram-se os pesos das variáveis do Índice (Tabela 2).

Tabela 2 – Peso das dimensões do modelo FPEIR

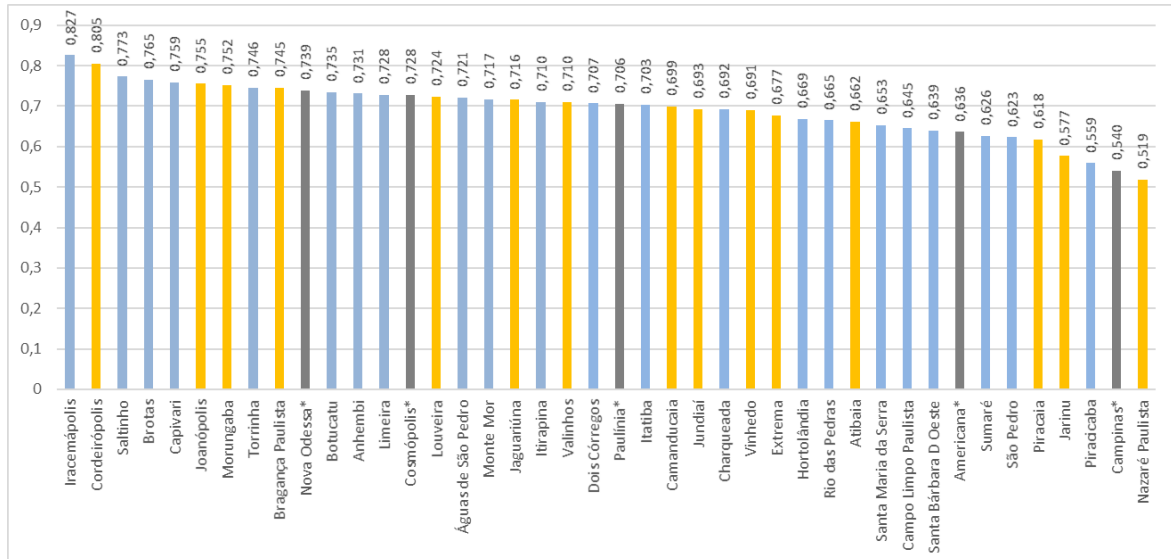
Dimensão	Peso
Crescimento populacional (Força-Motriz)	9,0
Demanda de água (Pressão)	9,0
Disponibilidade de água superficial/subterrânea (Estado)	9,45
Perdas do sistema de distribuição de água (Estado)	8,4
Qualidade da água (Estado)	8,7
Doenças de veiculação hídrica (Impacto)	7,4
Coleta e disposição dos resíduos sólidos (Resposta)	6,8

Fonte: Elaboração própria.

Na Figura 3 observam-se os valores dos I-SH em ordem decrescente, obtidos para os municípios das sub-bacias hidrográficas dos Rios Atibaia e Piracicaba.

PROPOSTA PARA O DESENVOLVIMENTO DE UM ÍNDICE DE SEGURANÇA HÍDRICA

Figura 3 - I-SH dos municípios das sub-bacias dos Rios Atibaia e Piracicaba, segundo os especialistas



Nota: Municípios com cor laranja estão inseridos na sub-bacia hidrográfica do Rio Atibaia, com cor azul na sub-bacia do Rio Piracicaba e os municípios inseridos nas duas sub-bacias estão representados na cor cinza.

Fonte: Elaboração própria.

A partir da Figura 3 pode-se notar que o município Nazaré Paulista, pertencente à sub-bacia do Rio Atibaia, obteve o pior desempenho quanto à segurança hídrica. Enquanto Iracemápolis, pertencente à sub-bacia do Rio Piracicaba destaca-se como o município com as melhores condições de segurança hídrica. Guedes, Sugahara e Ferreira (2023) em um estudo realizado sobre o saneamento básico das Bacias PCJ observaram que o município Nazaré Paulista foi classificado como extremamente baixo no quesito Cobertura de atendimento de água e esgotamento sanitário.

Ao comparar o I-SH dos municípios das duas sub-bacias, é possível observar que há uma proporção relativamente maior de municípios da sub-bacia hidrográfica do Rio Piracicaba nos dois quintis mais elevados (42%), contra 38% dos municípios da sub-bacia do Rio Atibaia. Aproximadamente um terço dos municípios da sub-bacia do Rio Atibaia ocupam o terceiro quintil. Este resultado sugere que uma gestão integrada da segurança hídrica nas duas sub-bacias é uma opção eficiente.

Em relação aos recursos hídricos, Cirilo e Almeida (2022) argumentam que os interesses políticos e econômicos superam o planejamento destinado à proteção e conservação,

isto é, muitas vezes a conservação ambiental ocupa uma posição secundária quanto aos demais problemas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os indicadores de sustentabilidade relacionados à segurança hídrica são importantes para monitorar a situação dos municípios quanto a esse aspecto. Dessa forma, a pesquisa com base em indicadores de segurança hídrica aplicados às sub-bacias dos Rios Atibaia e Piracicaba na perspectiva do modelo FPEIR foi importante tendo em vista os desafios das condições das águas destas sub-bacias evidenciadas nos relatórios dos Comitês PCJ.

A fim de validar algumas informações sobre os indicadores de sustentabilidade para segurança hídrica, pôde-se contar com a contribuição dos especialistas do Comitê das Bacias PCJ, com a realização da aplicação de um questionário aos representantes do CT-RN das Bacias PCJ. Foi possível coletar informações importantes sobre as maiores dificuldades enfrentadas na gestão dos recursos hídricos, a visão da segurança hídrica, bem como as perspectivas futuras para as Bacias PCJ. A pesquisa realizada evidencia a importância da conservação ambiental para a segurança hídrica.

A partir dos dados dos indicadores coletados, pôde-se construir um I-SH com base na avaliação dos especialistas, permitindo visualizar os municípios com maiores desafios para garantir a segurança hídrica. Ressalta-se que o estudo realizado pode ser replicado para outros municípios de bacias hidrográficas, pois os dados utilizados são públicos.

REFERÊNCIAS

ACOSTUPA, Y.; ARÉSTEGUI, D.; CASTRO, E.; CHOQUEVILCA, W.; GUZMÁN, G.; SÁNCHEZ, P. Aplicación de la metodología FPEIR al diagnóstico ambiental Del Humedal Lucre-Huacarpay. *Yachay - Revista Científico Cultural*, v. 6, n. 1, p. 90-114, 2018.

ANA. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. *O Comitê de Bacia Hidrográfica: o que é e o que faz?* Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Cadernos de capacitação em recursos hídricos Brasília: SAG. v. 1, 2011. Disponível em: <https://arquivos.ana.gov.br/institucional/sge/CEDOC/Catalogo/2012/CadernosDeCapacitacao1.pdf>. Acesso em: 15 ago. 2023.

ANA. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. *Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2018: informe anual*. Brasília: Brasil, 2018. Disponível em:

PROPOSTA PARA O DESENVOLVIMENTO DE UM ÍNDICE DE SEGURANÇA HÍDRICA

<https://arquivos.ana.gov.br/portal/publicacao/Conjuntura2018.pdf>. Acesso em: 10 ago. 2023.

ANA. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. *Política Nacional de Recursos Hídricos*. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, Brasília. Águas no Brasil, 2020. Disponível em: <https://www.ana.gov.br/aguas-no-brasil/sistema-de-gerenciamento-de-recursos-hidricos>. Acesso em: 08 jul. 2023.

ARAÚJO, M. D. de; RIBEIRO, M. M. R.; BRAGA, C. F. C. Integrando a modelagem da alocação de água ao sistema de indicadores FPEIR: aplicação ao semiárido do Brasil. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, [s.l.], v. 24, n. 6, p. 1167-1181, 2019.

BRASIL. *Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997*. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, 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. Brasília: Planalto, 1997.

BRASIL DAS ÁGUAS. *A importância da água*. Brasília: Geeks Propaganda e Marketing, 2013. Disponível em: <http://brasildasaguas.com.br>. Acesso em: 08 jul. 2023.

CEBDS. Conselho Empresarial Brasileiro pelo Desenvolvimento Sustentável. *Gerenciamento de Riscos Hídricos no Brasil e o setor empresarial: desafios e oportunidades*. São Paulo: CTÁgua, 2015. Disponível em: <https://cebds.org/publicacoes/gerenciamento-de-riscos-hidricos/#.YKgcELdKjZ4>. Acesso em: 09 nov. 2020.

CIAGRO. Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas. *Portal Agrometeorológico e Hidrológico do Estado de São Paulo*, 2021. Disponível em: <http://www.ciiagro.org.br/diario/cperiodo>. Acesso em: 12 jul. 2023.

CIRILO, B. B.; ALMEIDA, O. T. de. Os limites à gestão de recursos hídricos no estado do Pará: uma análise técnica. *Desenvolvimento em Questão*, v. 20, n. 58, e11542, 2022. <http://dx.doi.org/10.21527/2237-6453.2022.58.11542>

CLIMATE. Dados Climatológicos para São Paulo, 2021. Disponível em: <https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/sao-paulo/sao-paulo-655/>. Acesso em: 06 jul. 2023.

COBRAPE. Companhia Brasileira de Projetos e Empreendimentos. *Relatório Final*. Plano das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiáí 2010-2020. Piracicaba: Cobrape, 2020.

COMITÊS PCJ. Comitês das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiáí. *Relatório de situação dos recursos hídricos 2019: ano base 2018, versão simplificada*. Piracicaba: Fundação Agência das Bacias PCJ, 2019.

DATASUS. Tecnologia da Informação a Serviço do SUS, 2021. Disponível em: <http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/tabcgi.exe?sih/cnv/nrmg.def>. Acesso em: 07 jul. 2023.

EEA. European Environment Agency. *Environmental indicators: Typology and overview*. Luxembourg: Technical report, 25, 1999. Disponível em: <https://www.eea.europa.eu/publications/TEC25>. Acesso em: 15 jun. 2023.

EEA. European Environment Agency. *Environmental indicators: Typology and Use in Reporting*. Luxembourg: EEA internal working paper, 2003. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Peter-Bosch->

PROPOSTA PARA O DESENVOLVIMENTO DE UM ÍNDICE DE SEGURANÇA HÍDRICA

3/publication/237573469_Environmental_Indicators_Typology_and_Use_in_Reporting/links/53e35f9c0cf23a7ff7494402/Environmental-Indicators-Typology-and-Use-in-Reporting.pdf. Acesso em: 11 jun. 2023.

FELINTO, C. M. R.; RIBEIRO, M. M. R.; BRAGA, C. F. C. Aplicação do Modelo Força Motriz-Pressão-Estado-Impacto-Resposta (FPEIR) para Gestão dos Recursos Hídricos em João Pessoa-PB. *Revista DAE*, v. 7, n. 218, p. 118-136, 2019.

GEO BRASIL. *Recursos Hídricos*: resumo executivo. Ministério do Meio Ambiente; Agência Nacional de Águas; Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente. Brasília: MMA; ANA, 2007.

GUEDES, W. P.; SUGAHARA, C. R.; FERREIRA, D. H. L. Retrato do saneamento básico das bacias PCJ: uma proposta de classificação dos municípios. *Nativa*, v. 11, n. 1, p. 10-20, 2023. <https://doi.org/10.31413/nativa.v11i1.14353>

GUIMARÃES, L. T.; MAGRINI, A. A proposal of indicators for sustainable development in the management of river basins. *Water Resour Manage*, v. 22, n. 9, p. 1191-1202, 2008.

GWP/OECD. Global Water Partnership/Organization for Economic Co-operation and Development. *Securing Water, Sustaining Growth*. University of Oxford, 2015. Disponível em: <https://www.gwp.org/globalassets/global/about-gwp/publications/the-global-dialogue/securing-water-sustaining-growth.pdf>. Acesso em: 18 jun. 2023.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Censo 2010*, 2010. Disponível em: <https://censo2010.ibge.gov.br/>. Acesso em: 07 jul. 2023.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Indicadores de desenvolvimento sustentável*. Rio de Janeiro: IBGE. E-book, 2015. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv94254.pdf>. Acesso em: 07 jul. 2023.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Estimativas da População*, 2021. Disponível em: <https://ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9103-estimativas-de-populacao.html?=&t=resultados>. Acesso em: 07 jul. 2023.

IISD. International Institute for Sustainable Development. *Bellagio Principles*: Winnipeg, IISDnet, 2000. Disponível em: <https://www.iisd.org/focus-areas/act-together>. Acesso em: 10 jul. 2023.

MALHEIROS, T. F.; PHILIPPI JR., A.; COUTINHO, S. M. V. Agenda 21 nacional e indicadores de desenvolvimento sustentável: contexto brasileiro. *Saúde e Sociedade*, [s.l.], v. 17, n. 1, p. 7-20, 2008.

MEADOW, D. H. Indicators and Information Systems for Sustainable Development. Hartland: The Sustainability Institute, 1998. Disponível em: <https://donellameadows.org/wp-content/userfiles/IndicatorsInformation.pdf>. Acesso em: 14 jun. 2023.

OECD. Organization for Economic Co-operation and Development. *OECD core set of indicators for environmental performance reviews*. A synthesis report by the Group on the State of the Environment. Environment monographs, 1993. Disponível em: [https://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=OCDE/GD\(93\)179&docLanguage=En](https://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=OCDE/GD(93)179&docLanguage=En). Acesso em: 20 jul. 2023.

OECD. Organization for Economic Co-operation and Development. Environmental Indicators: towards sustainable development. *Environment*, 2001. Disponível em:

<https://www.oecd.org/site/worldforum/33703867.pdf>. Acesso em: 22 jul. 2023.

ONU-BR. Organização das Nações Unidas - Brasil. *Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil*. Nações Unidas Brasil, 2020. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 22 jun. 2023.

OLIVEIRA, G. C. S.; CURI, R. C. Análise de metodologias de avaliação da sustentabilidade hidroambiental segundo BellagioSTAMP. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, [s.l.], v. 9, n. 3, p. 275-288, 2018.

PINTÉR, L.; HARDI, P.; MARTINUZZI, A.; HALL, J. Bellagio STAMP: principles for sustainability assessment and measurement. *Ecological Indicators*, [s.l.], v. 17, p. 20-28, 2012.

PNUMA. Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente. *Metodologia para a elaboração de Relatórios GEO Cidades: Manual de Aplicação, Versão 2*. Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente, Escritório Regional para a América Latina e o Caribe. Brasília: Pnuma, 2004.

PORTO, D. T.; BASSO, L. A.; STROHAECKER, T. M. Diagnóstico Ambiental da Bacia Hidrográfica do rio Mampituba, Região Sul do Brasil, utilizando a matriz FPEIR. *Geosul*, v. 34, n. 72, p. 28-50, 2019.

RAPPORT, D.; FRIEND, A. Towards a comprehensive framework for environmental statistics: a stress-response approach. [s.l.]: *Statistics Canada*, 1979. Disponível em: https://projects.eionet.europa.eu/leac/library/background-papers-and-publications/rapport-friend_stress-response_statcanada_11-5101979.pdf/download/en/1/Rapport-Friend_Stress-Response_StatCanada_11-5101979.pdf?action=view. Acesso em: 05 jun. 2023.

SACHS, I. *Desenvolvimento: incluyente, sustentável e sustentado*. Rio de Janeiro: Garamond, 2008.

SEADE. Fundação SEADE. *Perfil dos municípios paulistas*, 2021. Disponível em: <http://perfil.seade.gov.br/>. Acesso em: 02 jun. 2023.

SICHE, R.; AGOSTINHO, F.; ORTEGA, E.; ROMEIRO, A. Índices versus indicadores: precisões conceituais na discussão da sustentabilidade de países. *Ambiente & Sociedade*, [s.l.], v. 10, n. 2, p. 137-148, 2007.

SIGRH. Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo. CBH-PCJ: Apresentação. São Paulo, Governo do Estado: *Coordenadoria de Recursos Hídricos*, 2020. Disponível em: <http://www.sigrh.sp.gov.br/cbhpcj/apresentacao>. Acesso em: 04 out. 2020.

SNIS. Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento. *Diagnóstico dos serviços de água e esgotos – (ano-base 2019)*, 2019. Disponível em: <http://app4.mdr.gov.br/serieHistorica/>. Acesso em: 02 jun. 2023.

SOARES, A. B.; SILVA FILHO, J. C. L. da; ABREU, M. C. S. de; ASSIS, F. A. Revisando a estruturação do modelo DPSIR como base para um sistema de apoio à decisão para a sustentabilidade de bacias hidrográficas. *Revista em Agronegócios e Meio Ambiente*, v. 4, n. 3, p. 521-545, 2011.

SOUZA, C. F. C. de S.; MASTRODI NETO, J.; SOUZA, C. C. de; FRAINER, D. M. Índice de Desenvolvimento Econômico (IDE): cálculo para municípios da Região Metropolitana de Campinas, SP. *Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional*, [s.l.], v. 16, n. 3, p. 17-30, 2020.

SPANGENBERG, J. H.; DOUGUET, J. M.; SETTELE, J.; HEONG, K. L. Escaping the lock-in of

continuous insecticide spraying in rice: developing an integrated ecological and socio-political DPSIR analysis. *Ecological Modelling*, [s.l.], v. 295, p. 188-195, 2015.

SUN, S.; WANG, Y.; LIU, J.; CAI, H.; WU, P.; GENG, Q.; XU, L. Sustainability assessment of regional water resources under the DPSIR framework. *Journal of Hydrology*, [s.l.], v. 532, p. 140-148, 2016.

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. *A Água*. São Carlos: Scienza, 2020.

UNCED. United Nations Conference on Environment and Development. *Agenda 21*, Rio de Janeiro, Brasil. Rio de Janeiro: United Nations Sustainable Development, UNSD, 1992. Disponível em: <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/Agenda21.pdf>. Acesso em: 08 jul. 2023.

UN-Water. United Nations Water. *What is Water Security?* Infographic. Nova York: UN-Water, 2013. Disponível em: <https://www.unwater.org/publications/water-security-infographic/#:~:text=%E2%80%9CThe%20capacity%20of%20a%20population,ecosystems%20in%20a%20climate%20of>. Acesso em: 20 jul. 2023.

VAN BELLEN, H. M. *Indicadores de Sustentabilidade*. Rio de Janeiro: FGV, 2006.

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

Autora Correspondente:

Denise Helena Lombardo Ferreira

Pontifícia Universidade Católica de Campinas (PUC)

Rua Professor Doutor Euryclides de Jesus Zerbini, 1516, Pq. Rural Fazenda Santa Cândida. CEP: 13087-571 – Campinas/SP, Brasil.

E-mail: lombardo@puc-campinas.edu.br

Este é um artigo de acesso aberto distribuído sob os termos da licença Creative Commons.

