

Avaliação da aplicação de modelos de sustentabilidade nas Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiáí


Evaluation on applying sustainability models in the Piracicaba, Capivari and Jundiáí Rivers watersheds

Evaluación de la aplicación de modelos de sustentabilidad en las cuencas de los ríos Piracicaba, Capivari y Jundiáí

Lucas Antônio Gomes do Carmo

Pontifícia Universidade Católica de Campinas

Rua Professor Dr. Euryclides de Jesus Zerbini, 1516 - Parque das Universidades CEP: 13087-571 - Campinas/SP


 <https://orcid.org/0000-0001-5797-3573>

e-mail: lucasagcarmo@gmail.com

Denise Helena Lombardo Ferreira

Pontifícia Universidade Católica de Campinas

Rua Professor Dr. Euryclides de Jesus Zerbini, 1516 - Parque das Universidades CEP: 13087-571 - Campinas/SP

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

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

Cibele Roberta Sugahara

Pontifícia Universidade Católica de Campinas

Rua Professor Dr. Euryclides de Jesus Zerbini, 1516 - Parque das Universidades CEP: 13087-571 - Campinas/SP

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

e-mail: cibelesu@puc-campinas.edu.br

Resumo: A degradação do meio ambiente e os impactos nos recursos hídricos aumentaram após a Primeira Revolução Industrial, junto a isso a falta de ações para mitigar os efeitos negativos. Neste contexto, em 2015, a Organização das Nações Unidas propõe os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) que compõem a Agenda 2030. Trata-se de uma estratégia global para lidar com os impactos ambientais e equilibrar as três dimensões da sustentabilidade: social, ambiental e econômica. Sendo a água um recurso indispensável à vida, foi fundado em 1993 no Estado de São Paulo, o Comitê das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiáí (Bacias PCJ) e, com um time especializado, tem cada vez mais empregado esforços para atender aos ODS. Deste modo, o objetivo geral deste trabalho foi avaliar modelos de sustentabilidade para as Bacias PCJ. A metodologia deste estudo utiliza dados qualitativos, sendo a pesquisa caracterizada por métodos descritivos e fundamentada na revisão bibliográfica de sustentabilidade sobre Bacias PCJ, modelos e indicadores de sustentabilidade. Os resultados obtidos mostram que os relatórios das Bacias PCJ utilizam o modelo Força-Motriz, Pressão, Estado, Impacto e Resposta (FPEIR). Complementar ao modelo FPEIR, nesta pesquisa o modelo de Gibson é usado para avaliar a sustentabilidade, sendo mais amplo que os tradicionalmente aplicados para esse fim. Conclui-se ser relevante a proposição da articulação do modelo de Gibson associado ao modelo FPEIR e aos indicadores de recursos hídricos, pois apresenta-se como uma relevante ferramenta para aplicação nas avaliações das Bacias PCJ.

Palavras-chave: Sustentabilidade, Recursos Hídricos, Indicadores.

Abstract: *The degradation of the environment and the impacts on water resources increased after the First Industrial Revolution, together with the lack of actions to mitigate the negative effects. In this context, in 2015, the United Nations*

proposed the 17 Sustainable Development Goals (SDG) that make up the 2030 Agenda. It is a global strategy to deal with environmental impacts and balance the three dimensions of sustainability: social, environmental and economic. Since water is an indispensable resource for life, the Piracicaba, Capivari and Jundiá River Basins Committee (PCJ Basins) was founded in 1993 in the State of São Paulo and, with a specialized team, has increasingly employed efforts to meet to the SDG. Thus, the general objective of this work was to evaluate sustainability models for the PCJ Basins. The methodology of this study uses qualitative data, the research being characterized by descriptive methods and based on the bibliographic review of sustainability on PCJ Basins, models and sustainability indicators. The results obtained show that the PCJ Basin reports use the Driving Force, Pressure, State, Impact and Response (DPSIR) model. Complementary to the DPSIR model, in this research the Gibson model is used to assess sustainability, being broader than those traditionally applied for this purpose. It is concluded that the proposition of articulating the Gibson model associated with the DPSIR model and the water resources indicators is relevant, as it presents itself as a relevant tool for application in the assessments of the PCJ Basins.

Keywords: Sustainability, Water Resources, Indicators.

Resumen: *La degradación ambiental y los impactos sobre los recursos hídricos aumentaron después de la Primera Revolución Industrial, junto con la falta de acciones para mitigar los efectos negativos. En este contexto, en 2015 Naciones Unidas propuso los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) que conforman la Agenda 2030. Se trata de una estrategia global para hacer frente a los impactos ambientales y equilibrar las tres dimensiones de la sostenibilidad: social, ambiental y económica. Dado que el agua es un recurso esencial para la vida, el Comité de las Cuencas de los Ríos Piracicaba, Capivari y Jundiá (Cuencas PCJ) fue fundado en 1993 en el Estado de São Paulo y, con un equipo especializado, se ha esforzado cada vez más para cumplir con los ODS. Así, el objetivo general de este trabajo fue evaluar modelos de sostenibilidad para las Cuencas PCJ. La metodología de este estudio utiliza datos cualitativos, caracterizándose la investigación por métodos descriptivos y con base en la revisión bibliográfica de sustentabilidad sobre Cuencas PCJ, modelos e indicadores de sustentabilidad. Los resultados obtenidos muestran que los informes de la Cuenca PCJ utilizan el modelo de Fuerza Impulsora, Presión, Estado, Impacto y Respuesta (FPEIR). Complementario al modelo FPEIR, en esta investigación se utiliza el modelo de Gibson para evaluar la sustentabilidad, siendo más amplio que los tradicionalmente aplicados para este fin. Se concluye que es relevante la propuesta de articular el modelo Gibson asociado al modelo FPEIR y los indicadores de recursos hídricos, pues se presenta como una herramienta relevante para su aplicación en las evaluaciones de las Cuencas PCJ.*

Palabras clave: Sustentabilidad, Recursos Hídricos, Indicadores.

Introdução

Há séculos, a atividade humana afeta o ecossistema e os recursos ambientais, principalmente após a Revolução Industrial na Inglaterra no século XVIII, os impactos ao meio ambiente tornaram-se mais intensos. Atualmente, o cenário ambiental vem sofrendo mudanças, seja pela poluição, desmatamento, escassez de água, acompanhados dos avanços tecnológicos e o crescimento populacional, além da ausência de conscientização da sociedade.

De acordo com Hawken, Lovis e Lovis (2007), o processo de produção do consumo em massa e seus fatores decorrentes, como concentração espacial, industrialização acelerada, modernização agrícola, alterações climáticas, esgotamento de recursos produtivos, exponencial crescimento populacional e crescente urbanização, escassez de água, poluição do solo, água e ar, compõem os principais pontos de atenção de pressão humana sobre a problemática ambiental global.

O uso inadequado dos recursos naturais culminou, em setembro de 2015, no encontro de mais de 150 líderes mundiais em Nova York (USA), na sede da Organização das Nações Unidas (ONU) para propor uma nova agenda no campo da sustentabilidade, a Agenda 2030, que compõe os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) a serem alcançados até o ano 2030, com o propósito de mitigar

e adaptar os diferentes impactos e realidades geográficas. Esses objetivos visam o equilíbrio entre as três dimensões do desenvolvimento sustentável: a social, a econômica e a ambiental. O ODS de número 6 da Agenda 2030 consiste em garantir a disponibilidade e gestão sustentável do saneamento e água para a população (ONU-BR, 2019).

Considerando a água como um recurso essencial para sobrevivência, em 1993 foi inaugurado o Comitê das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá (CBH- PCJ), formado por um time especializado, tem cada vez mais empregado esforços para atender aos ODS. Esse comitê é definido por "um fórum em que um grupo de pessoas se reúne para discutir sobre um interesse comum - o uso d'água na bacia" (Brasil, 2011, p. 11).

Para entender a rede de Bacias Hidrográficas e os impactos às atividades agrícolas, industriais e domésticas, utilizam-se modelos para representar diversos fenômenos que ocorrem no meio ambiente. Assim, pode-se considerar um modelo como uma representação da realidade, auxiliando no entendimento dos processos que envolvem tal realidade.

Dentre os modelos existentes, o Modelo de Gibson observa a sustentabilidade por uma ótica composta por oito pilares, utilizando um conjunto de elementos baseados no ecossistema, remetendo as questões sociais, por exemplo, equidade, justiça e civilidade. O Modelo de Gibson possibilita uma percepção da sustentabilidade que considera, com relevância, as interconexões entre os objetivos, questões, ações, efeitos e resultados (Gibson, 2006).

Nesse contexto, essa pesquisa visa avaliar a aplicação de modelos de sustentabilidade no contexto das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá.

Elementos teóricos da pesquisa

Definição e contexto histórico da sustentabilidade

Os avanços industriais têm ocasionado uma degradação ambiental sem precedentes. Como resposta a esse cenário, a Conferência de Estocolmo de 1972 evidenciou a necessidade de reaprender a forma de convívio no planeta, levando em conta o desenvolvimento socioeconômico e o meio ambiente.

Conforme a Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (CMMAD) com a publicação do Relatório Nosso Futuro Comum, conhecido como Relatório de Brundtland definiu-se o conceito de desenvolvimento sustentável "é aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras atenderem as suas próprias necessidades" (CMMAD, 1988, p. 46). Neste contexto, a sustentabilidade ocorre se as atividades reservarem os recursos naturais para as futuras gerações. Mas numa visão mais rigorosa, segundo Mikhailova (2004), significa que toda e qualquer atividade realizada precisa sofrer uma avaliação profunda, com o intuito de determinar todos os impactos positivos ou negativos no meio ambiente.

Somente 20 anos após a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (Rio-92), é que políticas relacionadas ao desenvolvimento sustentável passaram a representar a questão principal.

Diamond (2005) afirma que tais conceitos são relativamente novos e que se consolidam como uma preocupação social, política, cultural, econômica e institucional, apenas após a percepção dos sinais de mudanças climáticas, de esgotamento de recursos naturais e da alteração dos ritmos das civilizações. Assim, Menezes, Dias e Gomes (2010) postulam que há um distanciamento quanto às práticas de gestão sustentável e responsável, apoiadas por práticas culturais e sociais.

Para ocorrer o desenvolvimento sustentável é necessária a integração de três áreas-chave – ambiental, econômica e social, considerando os fatores propostos por Mikhailova (2004):

Conservação de recursos naturais e do meio ambiente: para a manter a herança dos recursos naturais e ambientais a gerações futuras é preciso soluções economicamente factíveis com o objetivo de reduzir o consumo dos recursos ambientais, conservar os *habitats* naturais e deter a poluição.

Crescimento e equidade econômica: os sistemas econômicos globalizados, atualmente interligados, demandam uma gestão integrada para promover um crescimento responsável de longo prazo, ao mesmo tempo que nenhuma comunidade ou nação seja esquecida e deixada para trás.

Desenvolvimento social: as pessoas possuem necessidades essenciais como água, saneamento, comida, energia, emprego e serviços de saúde. Enquanto se discutem estas necessidades, a sociedade mundial precisa assegurar-se de que direitos trabalhistas, diversidade social e cultural sejam respeitados e, que todas as pessoas estejam preparadas para participar e determinar seus futuros.

Em complemento, Barbosa (2007) reforça a importância de se considerar os seguintes elementos para a promoção do desenvolvimento sustentável: igualdade social, proteção ao meio ambiente e crescimento econômico. Com esses três pilares, Elkington (2004) estabeleceu os preceitos do modelo *Triple Bottom Line* (TBL), que não se concentram apenas no valor econômico, mas também, no valor social e ambiental. Deste modo, para mensurar os índices de sustentabilidade são elencados os indicadores das três dimensões, sendo medidas sociais, ambientais e econômicas, conforme a seguir.

Medidas sociais: renda familiar média; pobreza relativa; taxa de desemprego; taxa de participação feminina na força de trabalho; tempo médio de deslocamento; crimes violentos *per capita*; expectativa de vida e percentual da população com um diploma.

Medidas ambientais: concentração de óxidos de nitrogênio e de dióxido de enxofre; poluentes em geral; nutrientes em excesso; consumo elétrico e de combustível fóssil; gestão de resíduos perigosos e de resíduos sólidos e mudança no uso da terra/cobertura vegetal.

Medidas econômicas: crescimento do emprego; distribuição do emprego por setor; tamanhos de estabelecimentos; renda pessoal; custo do subemprego - rotatividade de estabelecimento - percentual de empresa em cada setor e receita por setor.

A abrangência da sustentabilidade contém desafios, como integrar o tripé da sustentabilidade - social, ambiental e econômica, além de questões institucionais: conscientização; participação social e educação ambiental e o dimensionamento dos impactos das ações no presente e no futuro (Saraiva *et al.*, 2019; Sartori; Latrônico; Campos, 2014).

Indicadores

Waas *et al.* (2014) consideram um indicador como uma representação operacional de um atributo do sistema que pode ser uma variável quantitativa ou qualitativa com um nível de referência comparável. Adicionalmente, Meadows (1998) postula que indicadores são parte do fluxo de informação usados para compreender o mundo, planejar ações e tomar decisões. Desta forma, os indicadores possibilitam monitorar e exercer algum controle nos sistemas complexos que são socialmente relevantes.

De acordo com Jannuzzi (2014, p. 141) a “sensibilidade e especificidade são propriedades que também devem ser avaliadas quando da escolha de indicadores para a elaboração de um sistema de monitoramento e avaliação de programas públicos”.

Os indicadores são aplicados para acompanhar sistemas complexos, são sinais de eventos, são dados que apontam as características ou mostram o que está acontecendo com o sistema, podendo ser uma variável ou uma função de variáveis (Siena, 2002). Essas medidas são aplicadas para acompanhar sistemas complexos, devem possuir relevância para a sociedade, ser mensuráveis, apresentar dados confiáveis, ser de fácil entendimento e de fácil acesso ao público. A seleção correta de indicadores é uma etapa importante para a eficácia de qualquer uso subsequente.

Segundo Slimane (2012) e Sartori, Latrônico e Campos (2014), as propostas de sustentabilidade em escala regional e nacional não são obrigatoriamente iguais, visando os mecanismos de transferência geográfica. Sartori, Latrônico e Campos (2014) afirmam que ao desenvolver e aplicar indicadores de sustentabilidade, eles devem conter as particularidades de uma região, caso contrário estarão sujeitos à ineficácia ou comprometimento do regime de tomada de decisão. Para indicadores ambientais, algumas características são desejáveis (Quadro 1).

Quadro 1 - Características esperadas para indicadores ambientais

Características desejáveis	Descrição
Relevância política e utilidade	Representa as condições ambientais, pressão sobre o ambiente e respostas social associada
	Simple, fácil de interpretar e capaz de refletir tendências temporais
	Reflete mudança ambiental
	Afetada por atividades antrópicas
	Fornecer bases para comparação internacional
	Âmbito nacional
	Âmbito regional com importância nacional
Clareza analítica	Possível determinar níveis de referência para comparação
	Baseado em aspectos teóricos, técnicos e/ou científicos
	Baseado em regras e/ou acordos, possuindo validade internacional
	Conectados a modelos econômicos
Medidas e dados	Conectados a sistemas de previsão e informação
	Disponível com razão custo-benefício adequada
	Documentado com qualidade
	Dados atualizados disponíveis em intervalos regulares
	Dados coletados com procedimento estabelecido

Fonte: Silva *et al.* (2020, p. 7).

A *Organization for Economic Cooperation and Development*, OECD (2008), propõe critérios de seleção de indicadores e destaca que eles devem guiar a tomada de decisão. Um indicador deve ser o mais preciso possível e descrever o fenômeno em análise em termos de entrada, saída ou processo.

De acordo com Meadows (1998), os indicadores de sustentabilidade devem ir além dos indicadores ambientais na capacidade de informar a respeito do futuro e limites do ambiente biofísico. Devido à relevância dos indicadores de desenvolvimento sustentável é necessário evitar vieses que possam falhar na identificação de tendências sistêmicas.

Os tomadores de decisão devem considerar os pontos fortes e fracos dos indicadores para evitar reações superficiais ou extremas no processo de decisão. Segundo Silva *et al.* (2020, p. 7) os exemplos de vieses a serem evitados são:

- i) excessiva agregação de fatores, que podem levar a mensagens ocultas;

- ii) medição, que pode ocorrer quando o foco está mais nos aspectos mensuráveis que nos aspectos importantes;
- iii) base conceitual errada, se o uso do indicador for guiado por um modelo falso;
- iv) falsificação, que é a alteração deliberada de resultados;
- v) alienação, se um indicador desvia a atenção ou altera a condição real;
- vi) confiança excessiva, quando um indicador gera pensamento positivo sobre o que está em estudo, apesar dos problemas existentes;
- vii) incompletude, quando os indicadores não refletem todas as características do sistema.

Meadows (1998) ressalta que a seleção de indicadores é um processo racional de identificação de características para evitar a ocorrência e o efeito de tais vieses. Algumas características dos indicadores são desejáveis, como claros em valor e em conteúdo; convincentes; relevantes politicamente; viáveis; suficientes e democráticos (Silva *et al.*, 2020).

A Organização das Nações Unidas, ONU (2007), fez uso de critérios de seleção para sistemas de indicadores de desenvolvimento sustentável expostos no Quadro 2.

Quadro 2 - Critérios de seleção para sistemas de indicadores de desenvolvimento sustentável

Critérios	Descrição
Contexto	Escala nacional
Relevância	Capaz de avaliar o progresso do desenvolvimento sustentável
Número	Limitado (aberto e adaptável)
Especificidade	Ampla alcance em termos dos aspectos da Agenda 21
	Ampla alcance em termos de aspectos de desenvolvimento sustentável
Compreensível	Claro e inequívoco
Conceito	Possui uma base conceitual
	Capacidade de capturar fenômenos relevantes
	Não distorce os resultados
Consenso	Representa consenso internacional
Capacidade governamental	Permite o monitoramento e coleta, análise, síntese e interpretação de dados
Dados	Custo-efetividade da medição
	Qualidade

Fonte: Silva *et al.* (2020, p. 8).

Segundo Booyesen (2002) e Singh *et al.* (2012), a seleção de indicadores deve ser feita baseada na capacidade de medir um aspecto relevante do problema de forma intertemporal e transversal, seja em termos absolutos ou relativos. Isso pode envolver entradas e saídas de dados, porém deve ser simples e clara em conteúdo, com propósito, com método de aplicação, com capacidade de comparação e com foco.

Conforme Silva *et al.* (2020), a seleção dos indicadores deve seguir alguns critérios - Relevância política; Confiabilidade dos dados; Relevância para gestão e serem disponíveis em uma relação custo-benefício adequada.

Modelos de avaliação da sustentabilidade

A importância de modelos estatísticos e matemáticos na representação de fenômenos naturais é, principalmente, a de auxiliar na tomada de decisões. A seguir são apresentados três modelos de avaliação da sustentabilidade: Gibson, PER e FPEIR.

Modelo de Gibson

O modelo Gibson possui oito critérios, leis ou princípios para avaliar a sustentabilidade, sendo um processo integrado e dinâmico e abrangendo características sistêmicas, além de dimensões ambientais, sociais e econômicas. O modelo de Gibson utiliza um conjunto de elementos baseados no ecossistema a partir de oito critérios para avaliar a sustentabilidade (Gibson, 2006):

1) Integridade do sistema socioecológico: é a construção de relações humano-ecológicas visando à preservação e ao restabelecimento da integridade de longo prazo de sistemas sócio e biofísicos (capacidade suporte). Também zelando as funções de suporte à vida que são insubstituíveis para o bem-estar ecológico e humano.

2) Recursos suficientes para subsistência e acesso a oportunidades: este critério enfatiza ser necessário que todos e todas as comunidades tenham o suficiente para uma vida decente e ter oportunidade de melhorias que não comprometam o futuro da geração atual, bem como das sucessivas gerações.

3) Equidade intrageracional: é a suficiência de escolhas eficazes para suprir as demandas essenciais de todos (educação, saúde, estima e reconhecimento social).

4) Equidade intergeracional: decisões de oportunidades que busquem preservar ou gerar oportunidades às novas gerações de uma vida incluyente, sustentável e digna.

5) Manutenção de recursos naturais e eficiência: consiste em fornecer uma ampla base para garantir os meios de subsistência mais sustentáveis para todos, ao passo em que se diminuem as ameaças à integridade de sistemas socioecológicos no longo prazo, evita-se a geração de resíduos e reduz-se o consumo de matéria e energia.

6) Civilidade socioambiental e governança democrática: esse critério é referente a gerar motivação, propensão e capacidade em indivíduos, comunidades e demais órgãos tomadores de decisões coletivas, a pensar e promover requisitos de sustentabilidade através de um processo decisório aberto e bem informado, mais atento à promoção de uma consciência recíproca e com senso de responsabilidade coletiva, além de práticas mais integradas em decisões administrativas, de mercado, habituais e pessoais.

7) Precaução e adaptação: abrangem as incertezas, evitando-se ações que possuem potenciais riscos que comprometam a sustentabilidade de ecossistemas. Esse princípio visa a diminuir danos graves e irreversíveis aos recursos naturais. Assim, é essencial possuir uma gestão adaptativa e preventiva, fomentando-se o aprendizado contínuo.

8) Integração entre situação atual e a de longo prazo: a questão ambiental apresenta outra abordagem indo além dos aspectos biofísicos, considerando-se também o crescimento e a qualidade de vida.

A avaliação de sustentabilidade, nesta perspectiva, busca mais do que apenas o equilíbrio entre os critérios sociais, ambientais e econômicos. Sugahara *et al.* (2021, p. 303) complementam “a avaliação da sustentabilidade é um processo dinâmico, integrado e abrange aspectos sistêmicos, além das dimensões social, ambiental e econômica”. Os mesmos autores assinalam que ao mitigar os riscos no sentido da precaução e adaptação torna-se possível direcionar as questões de integridade do sistema ecológico (Sugahara *et al.*, 2021).

Método Pressão-Estado-Resposta (PER)

O modelo Pressão-Estado-Resposta (PER) (em inglês, *Pressure, State and Response*) foi elaborado pela *Organization for Economic Cooperation and Development* (OECD, 1993). Esse modelo é usado para indicadores do desenvolvimento sustentável referentes a questões ambientais, como por exemplo, recursos hídricos. O método PER baseia-se no questionamento dos problemas ambientais, de acordo com uma relação de causalidade visando responder as seguintes dúvidas:

- Por que está acontecendo? (Pressão)
- O que acontece com o meio ambiente? (Estado)
- Qual a reação da sociedade? (Resposta)

Após a Conferência ECO-92, ocorrida na cidade do Rio de Janeiro em 1992, a Comissão de Desenvolvimento Sustentável da ONU começou a incentivar a produção e o uso de indicadores de desenvolvimento sustentável.

Segundo a OECD (1993), os indicadores ambientais podem ser esquematizados pelo Modelo PER, que são divididos em três categorias:

Pressão: define as pressões sobre os ecossistemas e podem ser traduzidas por parâmetros de eficiência tecnológica, de emissão de contaminantes, de intervenção no território e de impacto ambiental. Indicadores hídricos utilizados por essa categoria são volume de água produzido; volume de água consumido; usos múltiplos da água; saneamento urbano e rural; erosão e áreas contaminadas.

Estado: apresenta a qualidade do ambiente estudado num dado contexto de espaço e tempo. Nessa categoria os indicadores hídricos são: qualidade das águas superficiais, subterrâneas, litorâneas e para o abastecimento; disponibilidade de águas superficiais e subterrâneas; *déficits* dos sistemas de saneamento e enchentes e estiagem.

Resposta: analisa as respostas da sociedade diante das preocupações e alterações ambientais, também é avaliada a adesão a programas e/ou a medidas benéficas ao meio ambiente. Indicadores hídricos nessa categoria são: melhorias e ampliação dos sistemas de saneamento; remediação de áreas contaminadas; monitoramento e fiscalização dos usos da água e recuperação de áreas degradadas.

Segundo Carvalho e Bracellos (2009), a maior vantagem do método PER é o fato de propiciar uma visão global dos vários componentes de determinados problemas ambientais, ajudando no

diagnóstico de políticas públicas corretas. O modelo PER vai além de constatações das degradações ambientais e revela suas causas e seus impactos no meio ambiente, tornando possível intervenções e planejamento de ações buscando reverter o contexto.

Método Força-Motriz-Pressão-Estado-Impacto-Resposta (FPEIR)

O método Força-Motriz, Pressão, Estado, Impacto e Resposta (FPEIR) ou em inglês, *Driving Forces, Pressure, State, Impact and Response* (DPSIR), é aplicado à gestão das Bacias Hidrográficas. Soares *et al.* (2011) destacam que o modelo de avaliação integrado do meio ambiente define valores para as atividades humanas. Os Indicadores de Força Motriz refletem as influências do homem e das atividades humanas que, quando combinadas com as condições ambientais, provocam mudanças no meio ambiente; de Pressão descrevem as variáveis que diretamente causam (ou podem causar) problemas ambientais; de Estado mostram a qualidade, ou seja, a atual condição do ambiente; de Impacto descrevem os efeitos das mudanças de Estado; e de Resposta descrevem o esforço da sociedade para resolver os problemas, sejam eles na forma de políticas, leis, tecnologias limpas, dentre outros.

Os indicadores de Força-Motriz abrangem aspectos relativos às atividades humanas, como: Taxa Geométrica de Crescimento Anual, Densidade Demográfica e Índice Paulista de Responsabilidade Social.

Os indicadores de Impacto expressam os problemas que decorrem da situação do estado dos recursos hídricos. Os parâmetros considerados são: doenças de veiculação hídrica e restrição de balneabilidade; danos à vida aquática; conflitos na exploração e uso da água e custo de interrupção no fornecimento da água.

Ressalta-se que os Indicadores de Pressão, Estado e Resposta já foram descritos na método PER.

Elementos metodológicos da pesquisa

A presente pesquisa propõe o estudo dos recursos naturais sob o ponto de vista da avaliação. O método utilizado é da pesquisa descritiva e bibliográfica. De acordo com Gil (2010), o objetivo primordial de uma pesquisa descritiva é a descrição de características de determinado fenômeno ou população e o estabelecimento de relações entre as variáveis.

Os procedimentos técnicos aplicados são o da pesquisa bibliográfica e documental. Segundo Gil (2010) a pesquisa é desenvolvida a partir da base material já elaborada, sendo composto principalmente por artigos científicos e livros. Outro procedimento técnico, que é utilizado neste estudo, é a pesquisa documental o qual, de acordo com Gil (2010, p. 45), “vale-se de materiais que não recebem ainda um tratamento analítico, ou que ainda podem ser reelaborados de acordo com os objetivos da pesquisa”.

Para a coleta de dados dessa pesquisa foram obtidas informações procedentes da revisão bibliográfica e da coleta de dados secundários a partir do Relatório Síntese: Plano de Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá, 2020 a 2035 (Comitês PCJ, 2020) e do Comitês das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá - Relatório da Situação

dos Recursos Hídricos 2020 - Ano Base 2019 (Comitês PCJ, 2021).

Estudo de caso - Bacias PCJ

As Bacias Hidrográficas são elementos chave no entendimento e análise do ciclo hidrológico. Elas são definidas por Collischonn e Dornelles (2015) como a área de captação natural dos fluxos de água de origem das chuvas, na qual os afluentes convergem para um ponto singular, nomeado de exutório.

Em 2018, a Agência das Bacias PCJ tornou-se a primeira agência de água a firmar o termo de adesão do Pacto Global da Organização das Nações Unidas (Agência das Bacias Hidrográficas PCJ, 2020). A iniciativa de ser a primeira a assinar o termo de compromisso busca mobilizar a comunidade internacional rumo à adoção de valores básicos e aceitos em diversas áreas dos direitos humanos e ambientais, proporcionando maior visibilidade e eficiência nos próprios trabalhos da agência quanto aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da Agenda 2030 (Brasil, 2019).

Segundo o Plano das Bacias PCJ 2020 a 2035 (Comitês PCJ, 2020), a área estimada das Bacias PCJ é de 15.320 km², sendo Rio Piracicaba (12.655 km²), Rio Capivari (1.568 km²) e Rio Jundiá (1.154 km²), compartilhados em 76 municípios (5 no Estado de Minas Gerais e 71 no Estado de São Paulo).

A Bacia do Rio Piracicaba tem a maior faixa da população, sendo 66,99%; a Bacia do Rio Capivari contém 16,45%, e a Bacia do Rio Jundiá 16,55%, as quais subdividem-se em sete sub-bacias, cinco pertencentes ao Piracicaba (Atibaia, Camanducaia, Corumbataí, Jaguari e Piracicaba), Capivari e Jundiá. As sub-bacias dos Rios Piracicaba e Capivari são as menos sustentáveis, uma vez que possuem os maiores volumes de água captados e a maior faixa de concentração populacional (Comitês PCJ, 2020).

A ocupação do solo das Bacias PCJ acontece da seguinte forma: campo (25,30%), mata nativa (20,35%), agrícolas cana-de-açúcar (19,02%), áreas urbanizadas (12,11%) (Comitês PCJ, 2020).

As Bacias PCJ estão situadas em uma região economicamente importante e que apresenta altos níveis de Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) e Produto Interno Bruto (PIB). As principais atividades econômicas dessa região são: agrícola, industrial, comercial e de serviços, com destaque devido ao crescimento da indústria.

Ressalta-se a relevância da atuação e a presença da Agência das Bacias PCJ ao incrementar a gestão sustentável sob os aspectos econômicos, ambientais e sociais, com a função de mitigar os riscos de possível crise hídrica, que pode prejudicar o desenvolvimento sustentável não somente da região das Bacias PCJ, mas também da Região Metropolitana de São Paulo, tendo em vista a transposição das Bacias PCJ para o Sistema Cantareira (Comitês PCJ, 2020).

Resultados e discussão

Modelos de avaliação de Sustentabilidade - Bacias PCJ

Os estudos que versam sobre a avaliação da sustentabilidade das Bacias Hidrográficas são relevantes para a gestão dos recursos hídricos. Neste sentido, a pesquisa realizada por Sugahara *et al.* (2021) objetivou analisar os Programas de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Plano de Bacias PCJ, à luz do modelo de avaliação dos princípios de Gibson.

Como instrumentos para a avaliação da sustentabilidade das Bacias PCJ são elaborados

anualmente desde 1994 Relatórios de Situação dos Recursos Hídricos. A partir de 2007 esses relatórios passaram a ser publicados de acordo com um conjunto de indicadores organizados na matriz FPEIR (Força-Motriz, Pressão, Estado, Impacto e Resposta) (Comitês PCJ, 2021).

O modelo FPEIR é um dos métodos mais usados para sistematizar problemas ambientais e, historicamente, é utilizado nas Bacias PCJ e também internacionalmente. Por ter alguns benefícios, esse modelo permite a obtenção e agregação de informações para tomada de decisões, além de possuir uma visão mais ampla quando comparado com método PER, pois apresenta mais dimensões de indicadores de sustentabilidade em relação ao modelo PER, já que permite a detecção de problemas em cada uma das categorias separadamente, direcionando estrategicamente as respostas da sociedade nas Bacias Hidrográficas.

É possível afirmar que o método FPEIR apresenta a desvantagem quanto à quantidade inferior de indicadores da categoria Força-Motriz em relação à categoria Estado. Tal fenômeno causa um desequilíbrio no modelo, o que justifica o desenvolvimento de novos indicadores para contemplar as Forças-Motrizes relacionadas com o desafio do uso e gestão sustentável dos recursos hídricos no contexto inserido.

De acordo com o *World Water Assessment Programme*, WWAP (2006), os indicadores de Força-Motriz são de suma importância, uma vez que avaliam os fatores subjacentes e as raízes que afetam o desenvolvimento da economia, da sociedade e das condições ambientais. Desta forma, é recomendado que os desenvolvedores de indicadores busquem produzi-los objetivando o uso e gestão da água com foco nas Forças-Motrizes.

De forma complementar, tem-se o modelo de Gibson para a avaliação da sustentabilidade. Este modelo propõe a utilização de oito critérios para avaliar a sustentabilidade de determinados contextos. A perspectiva desse modelo possui características positivas pois, além de abranger as dimensões tradicionais da sustentabilidade como a ambiental, social e econômica, emprega as dimensões da equidade, civilidade, integração de gerações e justiça (Gibson, 2006) tornando o modelo de Gibson mais amplo aos demais modelos tradicionalmente aplicados para avaliar a sustentabilidade.

Em concordância, Pires *et al.* (2017) apresentam os indicadores de uso e gestão de águas que contemplam os critérios dos recursos hídricos. No entanto, a maioria não leva em conta os critérios de sustentabilidade, sugerindo que boa parte dos indicadores de uso e gestão das águas reflete uma visão convencional limitada de não considerar sua multidimensionalidade.

O Quadro 3 apresenta a associação entre os indicadores do Método FPEIR e os oito critérios do Modelo de Gibson, sendo de grande valia para a gestão das Bacias Hidrográficas e para futuros estudos.

Quadro 3 - Relações entre os critérios de Gibson, o Método FPEIR e os indicadores do Plano de Bacias PCJ

Critérios de Avaliação da Sustentabilidade Propostos por Gibson	Categorias do Método FPEIR	Indicadores
Integridade do sistema socioecológico	Estado	Qualidade das Águas Superficiais
	Estado	Disponibilidade das Águas Superficiais Disponibilidade das Águas Subterrâneas

	Força-Motriz	Taxa de Geométrica de Crescimento Populacional (TGCA) Crescimento Populacional Densidade Demográfica População
	Pressão	Volume de Água Consumido
	Pressão	Áreas Contaminadas
	Impacto	Reclamação de Mortandade de Peixes
Recursos suficientes para subsistência e acesso a oportunidades	Estado	Qualidade das Águas Superficiais
	Estado	Disponibilidade das Águas Superficiais Disponibilidade das Águas Subterrâneas
	Pressão	Volume de Água produzido versus Volume de Água Consumido
	Impacto	Reclamação de Mortandade de Peixes
	Força-Motriz	Índice Paulista de Responsabilidade Social
	Força-Motriz	Taxa de Geométrica de Crescimento Populacional Crescimento Populacional Densidade Demográfica População
Equidade Intrageracional	Força-Motriz	Índice Paulista de Responsabilidade Social
	Estado	Qualidade das Águas Superficiais e Subterrâneas
	Força-Motriz	População Densidade Demográfica
	Estado	Índice de Atendimento Urbano de Água Índice de Perdas por Ligação Índice de Perdas na Distribuição
	Estado	Disponibilidade de Águas Subterrâneas Disponibilidade de Águas Superficiais
Equidade Intergeracional	Impacto	Áreas contaminadas Enxurradas Alagamentos e Inundações
	Impacto	Doenças de Veiculação Hídrica
	Força-Motriz	Índice Paulista de Responsabilidade Social
	Força-Motriz	Taxa de Geométrica de Crescimento Populacional (TGCA) Crescimento Populacional
	Estado	Qualidade das Águas Superficiais
	Estado	Disponibilidade das Águas Superficiais Disponibilidade das Águas Subterrâneas
Manutenção de recursos naturais e eficiência	Resposta	Índice de Atendimento Urbano de Água Índice de Perdas por Ligação Índice de Perdas na Distribuição Índice de Abrangência Espacial do Monitoramento (IAEM) Densidade da Rede de Monitoramento Fluviométrico
	Resposta	Áreas Contaminadas Remediadas
	Resposta	Reservação para Amortecimento e Parques Lineares
Civilidade socioambiental e governança democrática		Não foram pesquisados indicadores para esse critério

Precaução e adaptação	Impacto	Áreas contaminadas Enxurradas Alagamentos e Inundações Doenças de Veiculação Hídrica
	Estado	Qualidade das Águas Superficiais e Subterrâneas
	Estado	Disponibilidade das Águas Superficiais Disponibilidade das Águas Subterrâneas
	Estado	Volume de Água Produzido versus Volume de Água Consumido
	Resposta	Áreas Contaminadas Remediadas
	Impacto	Enxurradas, Alagamentos e Inundações
Integração entre situação atual e de longo prazo		Todos os indicadores pesquisados utilizam em seu conjunto uma ótica atrelada a esse critério

Fonte: Elaboração própria a partir de Chaves *et al.* (2020).

Ao associar o modelo de Gibson e o método FPEIR possibilita uma nova percepção, transversal e multidimensional dos modelos de sustentabilidade, diferente do modelo PER, FPEIR, *Triple Bottom Line* e Gibson se utilizados de forma isolada.

Em concordância, Carvalho, Carvalho e Curi (2011) discorrem que essa integração na avaliação de sustentabilidade das cidades pertencentes a uma sub-bacia, utiliza um modelo de avaliação multicriterial com indicadores que contém as dimensões demográficas, sociais, ambientais e econômicas.

Considerações Finais

Associado ao Modelo FPEIR e aos indicadores de recursos hídricos, propõe-se o uso do Modelo de Gibson, mostrando-se uma ferramenta útil e relevante na aplicação das avaliações das Bacias PCJ. Uma vez que o Modelo Gibson atenta aos critérios de sustentabilidade, contemplando a multidimensionalidade, torna-se uma ferramenta poderosa para avaliar, administrar e aplicar ações que visem a solucionar os problemas reais dos municípios e das bacias. A aplicação do Modelo Gibson possibilita realizar um acompanhamento constante para além dos recursos hídricos e da real situação em que se encontram, propondo uma continuidade não somente na atualidade, mas também para as futuras gerações, através de medidas eficazes, seguras e factíveis.

No momento e no cenário desafiador atual, o modelo de avaliação da sustentabilidade de Gibson destaca-se por apresentar uma avaliação integrada e com a participação da sociedade civil. Além disso, esse modelo é composto por um conjunto de critérios rompendo com as falhas das avaliações triviais de sustentabilidade, pois pondera as dimensões social, ambiental e econômica do tripé da sustentabilidade, de forma integrada e sem sobrepô-las, alcançando uma maior integração dos sistemas ecológico e social.

O modelo de Gibson permite observar e solucionar as lacunas do modelo tradicional FPEIR, como a falta de interconexões do ecossistema estudado e planejamentos a longo prazo com viés sustentável.

Referências

Agência das Bacias Hidrográficas PCJ. (2022). Disponibilidade Hídrica: águas superficiais. Disponível em: <http://www.agenciapcj.org.br/novo/informacoes-das-bacias/disponibilidade-hidrica>. Acesso em: 07 jun. 2022.

Barbosa, P. R. A. (2007). Índice de sustentabilidade empresarial da bolsa de valores de São Paulo (ISE-BOVESPA): exame da adequação como referência para aperfeiçoamento da gestão sustentável das empresas e para formação de carteiras de investimento orientadas por princípios de sustentabilidade corporativa. 2007. Dissertação (Mestrado em Administração) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto COPPEAD de Administração.

Booyesen, F. (2019). An overview and evaluation of composite indices of development. Soc. Indic. Res., 59, 115–151. <https://doi.org/10.1023/A:1016275505152>.

Brasil. (2022). Ministério do Desenvolvimento Regional. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. ODS 6 no Brasil: visão da ANA sobre os indicadores. Brasília: ANA, 2019. Disponível em: www.informacao/institucional/publicacoes/ods6/ods6.pdf. Acesso em: 07 jun. 2022.

Brasil. (2011). Agência Nacional de Águas (ANA). O Comitê de Bacia Hidrográfica: o que é e o que faz? Brasília: SAG.

Carvalho, P. G. M. de, & Barcellos, F. C. (2009). Políticas públicas e sustentabilidade ambiental. Construindo indicadores de sustentabilidade. Indicadores Econômicos FEE, 37(1).

Carvalho, J. R. M., Carvalho, E. K. M. A., & Curi, W. F. (2011). Avaliação da sustentabilidade ambiental de municípios Paraibanos: uma aplicação utilizando o método Promethee II. Gestão & Regionalidade, 27(80), 71-84.

Chaves, H. P., Ferreira, D. H. L., Silva, G. M., Gimenes, M., Carvalho, R. S., & Mariosa, D. F. (2020). Avaliação de sustentabilidade dos indicadores do plano das Bacias Hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí. Anais do II Sustentare.

CMMAD. Comissão mundial sobre meio ambiente e desenvolvimento. (1988). Nosso futuro comum. 2. ed. Rio de Janeiro: FGV.

Collischonn, W., & Dornelles, F. (2015). Hidrologia para Engenharia e Ciência Ambientais. 2. ed. Porto Alegre: ABRH.

Comitês PCJ. (2020). Relatório Síntese: Plano de Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí, 2020 a 2035. Porto Alegre: Consórcio Profill-Rhama PCJ.

Comitês PCJ. (2021). Comitês das Bacias Hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí. Relatório da Situação dos Recursos Hídricos 2020 (Ano Base 2019); versão simplificada. Piracicaba: Agência das Bacias PCJ.

Diamond, J. (2005). Colapso: Como as Sociedades Escolhem o Fracasso ou o Sucesso. Record: Rio de Janeiro.

Elkington, J. (2004). Enter the Triple Bottom Line. Chapter 1 -The triple bottom line: does it all add up, Disponível em: <http://www.johnelkington.com/archive/TBL-elkington-chapter.pdf>. Acesso em: 26 jun. 2022.

Gibson, R. B. (2006). Beyond the pillars: sustainability assessment as a framework for effective integration of social, economic and ecological considerations in significant decision-making. Journal of Environmental Assessment Policy and Management, 8(3), 259–280.

Gil, A. C. (2010). Como elaborar projetos de pesquisa. 5.ed. São Paulo: Atlas.

Hawken, P., Lovins, A., & Lovins, H. (2007). Capitalismo Natural: criando a próxima revolução industrial. São Paulo: Cultrix.

Jannuzzi, P. de M. (2014). Indicadores para diagnóstico, monitoramento e avaliação de programas sociais no Brasil. Revista do Serviço Público, 56(2), 137-160. <https://doi.org/10.21874/rsp.v56i2.222>

Menezes, U. G., Dias, V. V., & Gomes, C. M. (2010). O paradigma sustentável e a formulação de estratégias empresariais para a competitividade. Gestão & Regionalidade, 26(78), 4-17.

Mikhailova, I. (2004). Sustentabilidade: evolução dos conceitos teóricos e os problemas da mensuração prática. Revista Economia e Desenvolvimento, 16, 22-41.

Meadows, D. (1998). Indicators, and information systems for sustainable development: A report to the Ballaton Group. Hartland, VT, USA: The Sustainability Institute.

OECD. Organization for Economic Cooperation and Development. (1993). Environmental Indicators. Paris: OECD.

OECD. Organization for Economic Cooperation and Development. (2003). Environmental Indicators: Development, Measurement and Use. Reference Paper. Disponível em: <http://www.oecd.org/environment/indicators-modelling-outlooks/24993546.pdf>. Acesso em: 04 fev. 2022.

OECD. Organization for Economic Cooperation and Development. (2008). Handbook on constructing composite indicators. Methodology and user guide. Disponível em: <https://www.oecd.org/sdd/42495745.pdf>. Acesso em: 25 ago. 2022.

ONU-BR. (2019). Conheça os novos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/conheca-os-novos-17-objetivos-de-desenvolvimento-sustentavel-da-onu/>. Acesso em: 28 mar. 2022.

ONU. Organização das Nações Unidas. (2007). Indicators of sustainable development: Guidelines and methodologies. New York: UN.

Pires, A., Morato, J., Peixoto, H., Botero, V.; Zuluaga, L., & Figuero, A. (2017). Sustainability Assessment of indicators for integrated water resources management. *Science of the Total Environment*, 578, 139–147.

Romeiro, A. R. (2012). Desenvolvimento sustentável: uma perspectiva econômico-ecológica. *Estudos Avançados*, 26(74), 65-92.

Saraiva, P. et al. (2019). O uso de tecnologias como estratégia na construção de cidades mais inteligentes e sustentáveis. *Gestão & Regionalidade*, 35(105), 184-199.

Sartori, S., Latrônico, F., & Campos, L. M. S. (2014). Sustentabilidade e Desenvolvimento Sustentável: uma taxonomia no campo da literatura. *Ambiente & Sociedade*, 17(1), 1-22.

Siena, O. (2002). Método para avaliar progresso em direção ao desenvolvimento sustentável. Florianópolis. Tese (Doutorado), Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção (PPGEP). Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

Silva, J. da., Fernandes, V., Limont, M., & Rauen, W. B. (2020). Sustainable development assessment from a capitals perspective: Analytical structure and indicator selection criteria. *Journal of Environmental Management*, 260, 110-147.

Singh, R. K., Murty, H. R., Gupta, S. K., & Dikshit, A. K. (2012). An overview of sustainability assessment methodologies. *Ecol. Indic.*, 15, 281–299. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.01.007>.

Slimane, M. (2012). Role and relationship between leadership and sustainable development to release social, human, and cultural dimension. *Social and Behavioral Sciences*, 41.

Soares, A. B. et al. (2011). 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*, 4(3), 521-545.

Sugahara, C. R., Martins, A. M., Jucá, L. B. Q., & Mariosa, D. F. (2021). Avaliação da sustentabilidade do Plano das Bacias dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá 2020-2035: análise dos indicadores de disponibilidade e demandas hídricas. *Gestão & Regionalidade*, 37(112), 301-318. <https://doi.org/10.13037/gr.vol37n112.7505>

WWAP. World Water Assessment Programme. (2006). The United Nations World Water Development Report 2: Water - A Shared Responsibility. Paris: UNESCO, and London: Earthscan.

Waas, T., Hoge, J., Block, T., Wright, T., Capistros-Benites, F., & Verbruggen, A. (2014). Sustainability assessment and indicators: tools in a decision-making strategy for sustainable development. *Sustainability*, 6, 5512–5534. <https://doi.org/10.3390/su6095512>