

## **IGUA – Índice de Gestão Ambiental da Qualidade da Água: proposta de um índice para a avaliação da qualidade da água captada utilizada no abastecimento em Porto Velho**

### **IGUA –Water Quality Environmental Management Index: proposal of an index to evaluate the water quality used in the supply of Porto Velho**

*Kleber Lucio Borges<sup>1</sup>*

---

#### **Resumo**

A água é essencial à vida e a sua gestão impõe um equilíbrio entre os imperativos de sua proteção e as necessidades de ordem econômica, sanitária e social. Para o abastecimento público, quanto melhor a qualidade da água captada, menor será a exigência de tecnologias para o seu tratamento e conseqüentemente, menores os investimentos. A gestão ambiental da bacia hidrográfica influencia na qualidade da sua água. Existem diversos índices utilizados para o cálculo da qualidade da água, no entanto, utilizam a coleta de amostras de água e análise em laboratórios, tornando-se inviável para a grande maioria dos municípios do interior da região Norte, que não possuem disponibilidade desses recursos em suas sedes. Assim, o modelo proposto do IGUA – Índice de Gestão Ambiental da Qualidade da Água relaciona indicadores da gestão ambiental à qualidade da água captada para o abastecimento público, com base na estrutura conceitual FMPEIR, proposta pela Agência Europeia do Ambiente em 1999, utilizando 14 indicadores, diferentemente dos índices de qualidade da água amplamente utilizados na literatura. Porto Velho, capital do estado de Rondônia, localizada na Amazônia brasileira, foi utilizada como estudo de caso para a aplicação da proposta do IGUA. Calculou-se o IGUA atual e projetaram-se três cenários futuros para avaliar a qualidade da água captada para o abastecimento público de Porto Velho. O resultado foi de que, com um cenário tendencial a qualidade da água pioraria, demonstrando que o IGUA pode ser utilizado como ferramenta opcional de gestão ambiental para planejamento e tomada de decisões.

**Palavras-chave:** Gestão ambiental, FMPEIR, qualidade da água, abastecimento público

#### **Abstract**

Water is essential to life and its management imposes a balance between the imperatives of their protection and the necessities of order economic, health and social. For public supply, how much the better the quality of the water collected, the lower the demand for technologies for their treatment and, consequently, lower the investments. The environmental management of the watershed influences the quality of your water. There are several indices used for the calculation of water quality, however, use sample collection of water and analysis in laboratories, making it unfeasible for the great most municipalities in the interior of the North region, which do not have availability of these resources at their headquarters. Thus, the proposed model of the IGUA – Water Quality Environmental Management Index environmental management indicators to the quality of the water collected for the public supply, based on the DPSIR conceptual framework, proposed by the European Environment Agency in 1999, using 14 indicators, unlike the water quality indices widely used in literature. Porto Velho, capital of the state of Rondônia, located in Brazilian Amazon, was used as a case study

---

<sup>1</sup>Engenheiro Civil (UFU, 1997), Mestre em Engenharia Civil (UFU, 2004), Doutor em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente (UNIR, 2019). Doutorando em Engenharia Civil na UFRGS, [klb.borges@yahoo.com.br](mailto:klb.borges@yahoo.com.br).

for the application of the IGUA proposal. The current IGUA was calculated and three projected future scenarios to assess the quality of water abstracted for the public supply of Porto Velho. The result was that, with a trend scenario, water quality would deteriorate, demonstrating that the IGUA can be used as an optional environmental management tool to planning and decision making.

**Keywords:** Environmental management, DPSIR, water quality, public supply

---

## INTRODUÇÃO

A gestão dos recursos hídricos impõe um equilíbrio entre os imperativos de sua proteção e as necessidades de ordem econômica, sanitária e social, conforme relata o artigo 9º da Declaração Universal dos Direitos da Água, emitido pela ONU (1992). Considerando esse aspecto, a principal característica que determina a tecnologia necessária do tratamento da água para o abastecimento público é a qualidade da água captada (CECH, 2013). O chamado tratamento convencional da água (composto por coagulação, floculação, decantação e filtração), mesmo complementado por oxidação, não é capaz de remover satisfatoriamente substâncias como: antimônio, bário, cromo, cianeto, fluoreto, chumbo, mercúrio (inorgânico), níquel, nitrato, nitrito, selênio, tálio, compostos orgânicos sintéticos, pesticidas e herbicidas, rádio, urânio, cloreto, sulfato e zinco (AWWA, 1999). Logo, quanto melhor a qualidade da água captada, menor a tecnologia a ser utilizada para o seu tratamento e distribuição à população e consequentemente, menores os investimentos a serem aplicados.

A Lei Federal 9433 (BRASIL, 1997) que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos estabeleceu como dois de seus princípios que: (1) a gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas e (2) a bacia hidrográfica como a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos. Logo, a gestão ambiental de uma bacia hidrográfica é fundamental para se garantir uma boa qualidade da água e também que a sua quantidade seja suficiente para os diversos usos da água na bacia, incluindo o abastecimento público de água. Para Santos (2004), o planejamento de uma bacia hidrográfica visa definir políticas e decidir entre alternativas, que requer tomada de decisão. Os indicadores são fundamentais para tomadores de decisão e para a sociedade, pois, permitem tanto criar cenários sobre o estado do meio, quanto aferir ou acompanhar os resultados de uma tomada de decisão. Segundo Philipp Júnior (2005), os indicadores fornecem mensagens que não necessitam de maiores interpretações, enquanto os índices representam agregação de indicadores.

Foi observado na literatura o uso de vários índices que servem para mensurar a qualidade da água. Poonam et al (2013) fizeram uma revisão bibliográfica sobre os índices de qualidade da água mais utilizados no mundo, que ao todo foram 28 índices elaborados por especialistas de 1985 a 2013. No Brasil, segundo a Agência Nacional de Águas (ANA, 2015), os seis principais índices utilizados são: (1) IQA – Índice da Qualidade da Água; (2) IAP – Índice da qualidade da água bruta para fins de abastecimento público; (3) IET – Índice de Estado Trófico; (4) ICT – Índice de Contaminação por Tóxicos; (5) IB – Índice de Balneabilidade; (6) IVA – Índice de qualidade da água para a proteção da Vida Aquática. No entanto, para a obtenção desses índices, demanda-se a realização de diversas análises da água. Essas requerem recursos materiais (laboratórios com equipamentos específicos) e mão de obra especializada, o que se torna praticamente inviável na grande maioria dos municípios do interior da Região Norte, obrigando o envio dessas amostras de água para laboratórios de grandes centros a fim de se realizar as análises necessárias.

Este trabalho se propôs a elaborar um índice, denominado IGUA – Índice de Gestão Ambiental da Qualidade da Água, que avalia a qualidade da água captada, sob a ótica da gestão

ambiental, utilizada para o abastecimento de água de uma cidade, sem a necessidade de coletar amostras de água e enviá-las para a realização de análises. O índice proposto utilizou somente informações de gestão ambiental da bacia hidrográfica, que possuem relação com a qualidade da água, gerando 14 indicadores específicos que foram utilizados para calcular o IGUA. Sua aplicação se fez em um estudo de caso do abastecimento de água da cidade de Porto Velho. O objetivo geral foi avaliar a qualidade da água captada para o abastecimento público da cidade de Porto Velho. Para atingi-lo, foram propostos os seguintes objetivos específicos: (1) Definir os indicadores para compor o IGUA; (2) Apresentar o método de cálculo do IGUA; (3) Calcular o IGUA atual e dos cenários futuros. A hipótese em questão foi de que, com o IGUA seria possível avaliar a qualidade da água captada para o abastecimento público de Porto Velho (realizar diagnóstico) e projetar cenários futuros (elaborar prognósticos).

A capital do estado de Rondônia, na Amazônia brasileira, conta com uma população estimada em 548.952 habitantes em 2021, sendo que em 2000 a população era de 334.661 habitantes (IBGE, 2021), um crescimento de 64% em 21 anos. A cidade sempre foi precária no atendimento à população com abastecimento público de água, como demonstra o ranking do saneamento divulgado anualmente pelo Instituto Trata Brasil. Ele é elaborado com base nos dados divulgados dos diagnósticos dos serviços de água e esgotos pelo SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento, considerando os 100 maiores municípios brasileiros em termos de população. No último Ranking do Saneamento 2021, publicado pelo Instituto Trata Brasil (2021), a capital de Rondônia ficou em penúltimo lugar (99ª colocação) e com apenas 37% de atendimento de abastecimento de água. A captação de água para o abastecimento público de Porto Velho é realizada no Rio Madeira. A sua bacia hidrográfica possui uma área total de aproximadamente 1.420.000 km<sup>2</sup> de drenagem e abrange 3 países: Brasil (50% de sua área), Bolívia (40%) e Peru (10%). É formado a partir do encontro dos rios Beni e Mamoré. No Brasil, a bacia hidrográfica do Rio Madeira possui 548.960 km<sup>2</sup>. Em 2012, havia uma demanda de água de 15,20 m<sup>3</sup>/s. A ocupação do solo era: 0,9% de água, 65,1% de floresta, 6,4% de cerrado e 18,3% de uso antrópico. Possui disponibilidade hídrica de 7.881 m<sup>3</sup>/s e uma vazão média de 33.602 m<sup>3</sup>/s. Sendo assim, há várias atividades na bacia do Rio Madeira pela enorme disponibilidade hídrica, como por exemplo: navegação, mineração (garimpo de ouro), atividades agropecuárias, aproveitamentos hidroelétricos, captação de água para irrigação, abastecimento público, entre outras (ANA, 2012).

## **METODOLOGIA**

Inicialmente foi definido qual o modelo de indicadores seria adotado para a construção do IGUA. Com base numa pesquisa bibliográfica sobre o uso de indicadores de gestão ambiental para a qualidade da água, foram identificados 139 indicadores, principalmente de 8 estudos e experiências: PNUD (1998), Lalande et al. (2014), Ioris et al. (2008), Guimarães (2008), Lima (2014), Silva (2012), Cavalcante e Góes (2014), SIGRH (2016).

Aplicou-se o critério SMART (LAWLOR e HORNYAK, 2012; BERTULE et al., 2017) nestes 139 indicadores identificados inicialmente, resultando em 35 indicadores pré-selecionados para a etapa seguinte.

Com base na metodologia Delphi, foi realizada uma pesquisa a diversos especialistas que trabalham com esta temática. Ela consiste, em termos práticos, na recolha de opiniões de especialistas, de forma anônima, mediante questionário, e por rondas, permitindo a análise e exploração dos resultados da informação recebida, de modo a poderem ser reenviados e modificados, no sentido de se alcançarem consensos (FERNANDES, 2014). Desta forma, resultou-se nos 14 indicadores selecionados para compor o IGUA.

Os indicadores foram padronizados com resultados que variam de 0 a 1, utilizando uma equação exponencial. Para estabelecer o modelo matemático do IGUA, foi utilizada a

metodologia de cálculo do Índice de Sustentabilidade proposto pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD, 1998).

Com o modelo matemático elaborado do IGUA, sua aplicação foi realizada num estudo de caso de Porto Velho. Os dados utilizados para o cálculo do IGUA do cenário atual (diagnóstico) foram obtidos em diversas fontes, considerando a sua área de influência, que neste caso, foi a área de contribuição à montante do ponto de captação de água para o abastecimento de Porto Velho da bacia hidrográfica do Rio Madeira. Posteriormente fez-se a projeção de cenários futuros para o cálculo do IGUA correspondente, utilizando como referência o estudo de Demanboro et al. (2013), que fez a projeção de 3 cenários para indicadores de gestão ambiental de bacias hidrográficas.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

### Definição do modelo de indicadores

Philippi Júnior e Malheiros (2012) descreveram que os indicadores têm sido estruturados em modelos, desenvolvidos a partir da década de 1980, que os organizam em eixos que se inter-relacionam, quais sejam: (FM) Força-Motriz, (P) Pressão, (E) Estado, (I) Impacto, (R) Resposta e, de forma menos expressiva (Ef) Efeito. Os cinco modelos mais conhecidos segundo o IPT/PMI (2012), foram apresentados na Quadro 01.

Quadro 1- Modelos de indicadores e seus eixos utilizados

Tipo de indicador	Modelo de matriz de indicadores				
	PER	PEEIR	FMER	FMPEIR	PEIR
Força Motriz (FM)			X	X	
Pressão (P)	X	X		X	X
Estado (E)	X	X	X	X	X
Impacto (I)				X	X
Efeito (Ef)		X			
Resposta (R)	X	X	X	X	X
Fonte	OECD (1993)	USEPA (1995)	UNCSD (1996)	EEA (1999)	PNUMA (2002)

Legenda: OECD – Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico; USEPA Agência Ambiental dos Estados Unidos; UNCSD - Comissão das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável; EEA - Agência Europeia do Ambiente; PNUMA - Programa das Nações Unidas para Meio Ambiente. Fonte: IPT/PMI (2012, p. 79)

Desses modelos, o mais utilizado segundo diversos autores (KRISTENSEN, 2004; OECD, 2003; SOARES et al, 2011; FERNANDES e BARBOSA, 2011; CARR et al, 2007; QIU e FAN, 2013; PHILLIP JÚNIOR e MALHEIROS, 2012) é o modelo FMPEIR proposto pela Agência Europeia do Ambiente (EEA, 1999). Segundo Neto et al (2016), os elementos presentes no modelo FMPEIR, proposto pela EEA em 1999, estão relacionados em uma cadeia de conexões, à medida que as forças motrizes exercem pressões sobre o estado de um ambiente, causando impactos. Então, a sociedade toma consciência do problema e responde com a adoção de políticas em diversas instâncias, o que pode afetar qualquer parte da cadeia entre as forças motrizes e os impactos. Portanto, adotou-se o modelo FMPEIR para a construção do modelo do IGUA.

### Pré-seleção dos indicadores

Com os 139 indicadores de gestão ambiental identificados na pesquisa bibliográfica realizada, aplicou-se o critério SMART (Specific, Measurable, Achievable, Relevant e Time-

bound) para a pré-seleção dos indicadores. Este critério é caracterizado pelas seguintes diretrizes (LARLOW e HORNYAK, 2012; BERTULE et al., 2017):

- Específico: define exatamente o que está sendo buscado. O indicador é definido de maneira precisa e inequívoca, independentemente de quem o esteja usando;
- Mensurável: há um número para acompanhar a conclusão;
- Realizável: a meta pode ser atingida. O indicador pode ser monitorado e os resultados validados de forma independente. O indicador deve fornecer informações que permitem monitorar o progresso ao longo do tempo;
- Relevante: o indicador é relevante para o assunto que se propõe avaliar. O indicador deve representar as principais medidas para o problema ou meta em questão e apresenta as melhores possível informação no cenário dado;
- Oportuno: pode ser concluída em quantidade razoável de tempo.

Após a aplicação deste critério, apenas 35 indicadores foram pré-selecionados para a próxima etapa, conforme o Apêndice 1.

### Seleção dos indicadores

Para a seleção dos indicadores a serem utilizados no IGUA, foi realizada uma pesquisa convidando especialistas a responderem, com base na metodologia Delphi. Estavam disponíveis os 35 indicadores pré-selecionados, separados nos 5 eixos do modelo FMPEIR, sendo eles:

- Força motriz (FM): Área da bacia, Taxa geométrica de crescimento, Densidade demográfica, Taxa de urbanização, Área inundada por reservatórios hidrelétricos, Número total de estabelecimentos industriais, Número total de estabelecimentos agropecuários, Vegetação remanescente;
- Pressão (P): Demanda de água para abastecimento, Geração de resíduos sólidos, Balanço quantitativo, Carga orgânica poluidora, Áreas contaminadas, Atividades de agronegócios;
- Estado (E): Disponibilidade hídrica, Oxigênio dissolvido, Taxa de coleta de esgoto, Índice de atendimento abastecimento de água;
- Impacto (I): Atendimento de derramamento de produtos químicos, Ocorrência de inundações e estiagens, Número de reclamações de mortandade de peixes, Número de desalojados em função de enchentes ou inundações, Área desmatada, Incidência de doença de veiculação hídrica – esquistossomose, Presença de reservatórios, Esgoto remanescente, Erosões, Atividades com alto impacto ambiental;
- Resposta (R): Destinação de resíduos sólidos em aterro adequado, Redução da carga orgânica poluidora, Taxa de tratamento de esgoto, Número de áreas remediadas, Vazão outorgada para abastecimento público, Organização institucional, Instrumentos de planejamento e gestão.

Nessa pesquisa foi realizada apenas uma consulta aos especialistas. A consulta ocorreu no período de 17/10/2018 a 30/10/2018, com o envio de um e-mail explicativo convidando o especialista a responder e selecionar, na sua opinião, dentre as opções de indicadores, quais os mais relevantes para a qualidade da água, podendo inclusive ter sido mais de um indicador em cada eixo. Foram considerados como os mais relevantes os indicadores mais votados (acima de 50%), ou seja, que houve um consenso da maioria que tal indicador possui relação direta com a qualidade da água. Desta forma, foram selecionados 14 indicadores para compor IGUA, conforme a Figura 1.

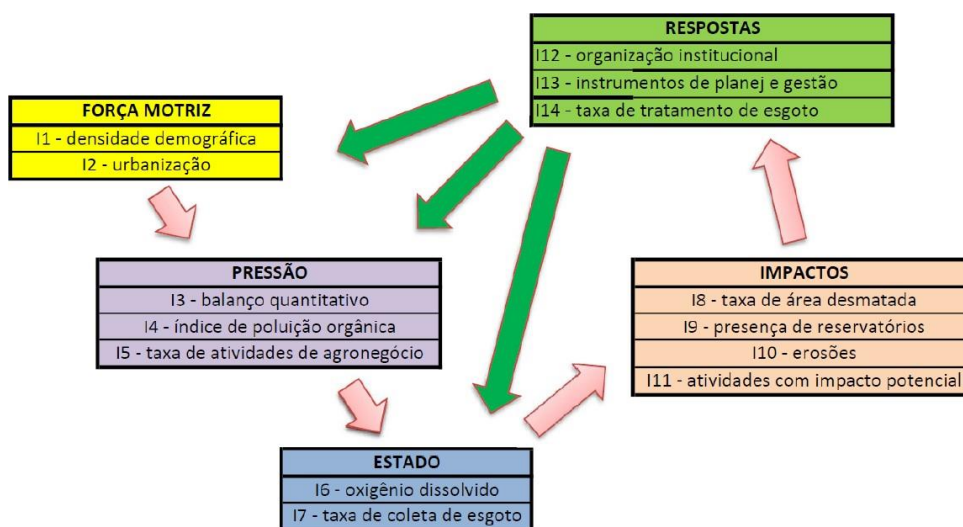


Figura 1 - Indicadores que compõe o IGUA, segundo modelo FMPEIR

### Modelo de cálculo matemático dos indicadores

Com os 14 indicadores definidos para compor o IGUA, foi definido o método de cálculo de cada um deles, visto que, estes indicadores ( $I_w$ ) variam de 0 a 1, sendo que: 0 seria a pior condição e 1 a condição ideal. Para isso, utilizou-se a função exponencial, dada como qualquer função  $f: R \rightarrow R$  por uma lei da forma  $f(x) = a^x$ , em que “a” (base) é um número real dado,  $a > 0$  e  $a \neq 1$  (MACHISI, 2017). Como exemplo de aplicação, uma base positiva ( $0 < a < 1$ ), gera uma equação exponencial decrescente, cujos resultados  $[f(x)]$  variam entre 1 e 0. Para a sua construção, partiu-se de um dado considerado como referência (VR - valor de referência), cujo resultado da função seja igual a:  $f(x) = 0,5$ . Assim, encontra-se o valor da base (a) e utiliza-se a função para o cálculo do respectivo indicador, conforme ilustrado na Figura 2.

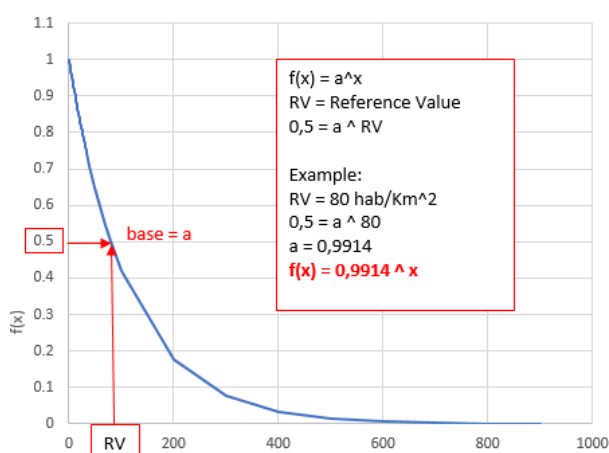


Figura 2- Função exponencial decrescente  
Fonte: Autor (2021)

No Quadro 02 apresentam-se os indicadores de Força Motriz do IGUA: densidade demográfica e urbanização. Tais indicadores refletem a atração e migração da população para a região. Para a equação do indicador I1, considerou-se como  $f(x) = 0,5$  o parâmetro

estabelecido no Projeto de Lei 1327/2011 para alteração do Estatuto das Cidades, onde: a densidade demográfica de 80 hab/km<sup>2</sup> foi considerada o limite para classificação dos municípios como médio porte. Para a equação do indicador I2, considerou-se como  $f(x) = 0,5$  o parâmetro de enquadramento proposto por Moura et al (2018), onde considera-se fortemente urbanizado a taxa de urbanização acima de 50% da área.

Quadro 2 - Indicadores de Força Motriz do IGUA

Indicador	Parâmetro	Cálculo do Indicador (I <sub>w</sub> )
Densidade demográfica (I1)	Densidade demográfica (hab/Km <sup>2</sup> )	$FM1 = Pt / A$ Pt = população da área de influência A = área de influência em Km <sup>2</sup> <b>I<sub>1</sub> = 0,9914</b> <sup>(FM1)</sup>
Urbanização (I2)	Taxa de urbanização (%)	$FM2 = (Pu / Pt) \times 100$ Pu = população urbana da área de influência Pt = população da área de influência <b>I<sub>2</sub> = 0,9862</b> <sup>(FM2)</sup>

No Quadro 3 apresentam-se os indicadores de Pressão do IGUA: balanço quantitativo, índice de poluição orgânica e taxa de atividades de agronegócios. Tais indicadores refletem a pressão exercida na qualidade da água em função das atividades antrópicas desenvolvidas em uma região. Para a equação do indicador I3, considerou-se como  $f(x) = 0,5$  o parâmetro estabelecido pela ANA (2018b) para a classificação do balanço quantitativo, cujo resultado acima de 40% é considerado muito crítico. Para a equação do indicador I4, considerou-se como  $f(x) = 0,5$  o parâmetro utilizado como referência para lançamento de efluentes na Resolução CONAMA 430 (BRASIL, 2011), cujo parâmetro é a remoção mínima de 60% de eficiência, ou seja, um lançamento máximo de 40% entre a relação carga orgânica remanescente e carga orgânica assimilável. Para a equação do indicador I5, considerou-se como  $f(x) = 0,5$  o parâmetro utilizado foi 50,45%, que representa a área definida na Zona 1 destinada ao agronegócio (agropecuária, florestal e agroflorestal) no Zoneamento Ecológico Econômico do Estado de Rondônia – Lei Complementar 233 (GO/RO, 2000).

Quadro 3- Indicadores de Pressão do IGUA

Indicador	Parâmetro	Cálculo do Indicador (I <sub>w</sub> )
Balanço (I3)	Balanço quantitativo (%)	$P1 = (De/Q95) \times 100$ De = demanda superficial total em m <sup>3</sup> /s Q95 = disponibilidade hídrica em m <sup>3</sup> /s <b>I<sub>3</sub> = 0,9828</b> <sup>(P1)</sup>
Poluição orgânica (I4)	Índice de poluição orgânica (%)	$P2 = (R/A) \times 100$ R = carga orgânica remanescente A = carga orgânica assimilável <b>I<sub>4</sub> = 0,9828</b> <sup>(P2)</sup>
Agronegócio (I5)	Taxa de atividades agronegócio (%)	$P3 = (AAG / A) \times 100$ AAG = área total de atividades agronegócio em Km <sup>2</sup> A = área de influência em Km <sup>2</sup> <b>I<sub>5</sub> = 0,9864</b> <sup>(P3)</sup>

No Quadro 4 apresentam-se os indicadores de Estado do IGUA: oxigênio dissolvido e índice de coleta de esgoto. Para a equação do indicador I6, considerou-se como  $f(x) = 0,5$  o parâmetro de 50% entre o número de trechos monitorados com resultado abaixo de 5 mg/L, limite mínimo para rios de Classe 2 - conforme determinado na Resolução CONAMA 357



(BRASIL, 2005), e o número total de trechos monitorados. Para a equação do indicador I7, considerou-se como  $f(x) = 0,5$  o parâmetro de 52%, definido como meta para a região Norte até 2018 no PLANSAB (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2013).

Quadro 4 - Indicadores de Estado do IGUA

Indicador	Parâmetro	Cálculo do Indicador ( $I_w$ )
Qualidade (I6)	Oxigênio dissolvido (%) OD < 5mg/L	$E1 = (N / T) \times 100$ N = número de trechos onde OD < 5mg/L T = número total de trechos monitorados <b><math>I_6 = 0,9862</math></b> (E1)
Taxa de Coleta de esgoto (I7)	Índice de coleta de esgoto (%)	$E2 = 100 - C$ C = índice de coleta de esgoto (%) <b><math>I_7 = 0,9867</math></b> (E2)

No Quadro 5 apresentam-se os indicadores de Impacto do IGUA: taxa de área desmatada, relação da área pela potência instalada de hidrelétricas, potencial natural de erosão e atividades com alto impacto potencial. Estes indicadores refletem o impacto das atividades humanas, relacionadas com a qualidade da água. Para a equação do indicador I8, considerou-se como  $f(x) = 0,5$  o parâmetro de 41% que equivale à área protegida atual do bioma Amazônia Legal, segundo o estudo de Salomão et al. (2019). Para a equação do indicador I9, considerou-se como  $f(x) = 0,5$  o parâmetro da média brasileira de 0,49 km<sup>2</sup>/MW instalado (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2012). Para a equação do indicador I10, considerou-se como  $f(x) = 0,5$  o parâmetro de 50% a relação entre áreas com PNE – Potencial Natural de Erosão > 200 ton /ha x ano) em km<sup>2</sup> (classificado por Correa e Pinto (2012) como PNE alto) e a área total. Para a equação do indicador I11, considerou-se como  $f(x) = 0,5$  o parâmetro de 50%, o equivalente a 3 das 6 atividades consideradas como alto impacto potencial, adaptadas do Anexo I da Resolução CONAMA 237 (BRASIL, 1997) com mais vocação de ocorrer na região de estudo.

Quadro 5 - Indicadores de Impacto do IGUA

Indicador	Parâmetro	Cálculo do Indicador ( $I_w$ )
Desmatamento (I8)	Taxa da área desmatada (%)	$IM1 = (AD / A) \times 100$ AD = área total de desmatamento em Km <sup>2</sup> A = área da bacia em Km <sup>2</sup> <b><math>I_8 = 0,9832</math></b> (IM1)
Presença de reservatórios (I9)	Relação área pela potência instalada (Km <sup>2</sup> /MW)	$IM2 = AR / P$ AR = área total somada dos reservatórios em Km <sup>2</sup> P = Potência instalada total em MW <b><math>I_9 = 0,2430</math></b> (IM2)
Erosões (I10)	PNE - Potencial Natural de Erosão (%)	$IM3 = (APNE / A) \times 100$ APNE = área da bacia com PNE > 200 ton /ha x ano em Km <sup>2</sup> A = área da bacia em Km <sup>2</sup> <b><math>I_{10} = 0,9862</math></b> (IM3)
Atividades com alto impacto potencial (I11)	Presença de atividades com alto impacto potencial	$IM4 = \sum X_i$ X <sub>1</sub> = presença de garimpo; X <sub>2</sub> = presença de curtume; X <sub>3</sub> = presença de laticínio; X <sub>4</sub> = rodovias que cortam a bacia hidrográfica; X <sub>5</sub> = navegação; X <sub>6</sub> = hidrelétricas. Se sim: X <sub>i</sub> = 1 e se não: X <sub>i</sub> = 0. <b><math>I_{11} = 0,7937</math></b> (IM4)



Por fim, no Quadro 6 apresentam-se os indicadores de Resposta do IGUA: organização institucional, instrumentos de planejamento e gestão, e taxa de tratamento de esgoto. Estes indicadores representam a resposta dos órgãos públicos para o controle das atividades e a tentativa de preservação da qualidade da água. Para a equação do indicador I12, considerou-se como  $f(x) = 0,5$  o parâmetro de 50%, o equivalente a 2 dos 4 órgãos considerados na organização institucional, adaptados do estudo de Ioris et al. (2008). Para a equação do indicador I13, considerou-se como  $f(x) = 0,5$  o parâmetro de 50%, o equivalente a 4,5 dos 9 instrumentos de planejamento considerados no planejamento e gestão, adaptados do estudo de Ioris et al. (2008). Para a equação do indicador I14, considerou-se como  $f(x) = 0,5$  o parâmetro de 75%, definido como meta para a região Norte até 2018 no PLANSAB (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2013).

Quadro 6 - Indicadores de Resposta do IGUA

Indicador	Parâmetro	Cálculo do Indicador ( $I_w$ )
Organização institucional (I12)	Sistema estadual de recursos hídricos	$R1 = 4 - \sum X_i$ $X_1 =$ comitê de gerenciamento de bacia; $X_2 =$ órgão gestor de recursos hídricos; $X_3 =$ agência de bacia hidrográfica; $X_4 =$ conselho estadual de recursos hídricos. Se sim: $X_i = 1$ e se não: $X_i = 0$ . $I_{12} = 0,7071$ <sup>(R1)</sup>
Instrumentos de planejamento e gestão (I13)	Implantação de instrumentos de planejamento e gestão	$R2 = 9 - \sum X_i$ $X_1 =$ plano de bacia aprovado; $X_2 =$ enquadramento; $X_3 =$ outorga do uso de recursos hídricos; $X_4 =$ cobrança pelo uso de recursos hídricos; $X_5 =$ sistema de informações de recursos hídricos; $X_6 =$ zoneamento para o uso do solo; $X_7 =$ presença de unidades de conservação; $X_8 =$ plano municipal de saneamento elaborado; $X_9 =$ plano de drenagem urbana elaborado. Se sim: $X_i = 1$ e se não: $X_i = 0$ . $I_{13} = 0,8572$ <sup>(R2)</sup>
Taxa de Tratamento de esgoto (I14)	Índice de tratamento de esgoto (%)	$R3 = 100 - T$ $T =$ índice de tratamento de esgoto (%) $I_7 = 0,9908$ <sup>(R3)</sup>

### Modelo de cálculo do IGUA

O PNUD – Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD, 1998) utilizou a Equação (1), para o cálculo do IS - Índice de Sustentabilidade. Os indicadores (I) são somados, após padronizados com resultados de 0 a 1, e depois divididos pela quantidade de indicadores ( $k$ ), cujo resultado também varia de 0 a 1. O  $IS=0$  indica um desempenho desfavorável e o  $IS=1$ , significa a melhor condição. Classifica-se em cinco classes: excelente ( $1,0 \leq IS \leq 0,800$ ); boa ( $0,799 \leq IS \leq 0,650$ ); média ( $0,649 \leq IS \leq 0,500$ ); ruim ( $0,499 \leq IS \leq 0,300$ ) e crítica ( $0,299 \leq IS \leq 0$ ).

$$IS = \left(\frac{1}{k}\right) \cdot \sum_{w=1}^k I_w \tag{1}$$

Onde:

$IS =$  Índice de Sustentabilidade;

$I_w =$  valor do  $w$ -ésimo indicador;  $w = 1, \dots, k$ ;  $k =$  quantidade de indicadores.

Assim, o cálculo do IGUA seguiu a mesma metodologia de cálculo utilizado no IS - Índice de Sustentabilidade (PNUD, 1998). Com uma diferença, no IGUA os valores variam de 0 a 100. Ele foi calculado por uma média aritmética dos diversos indicadores, neste caso com

pesos iguais, de forma que os indicadores possuem a mesma equivalência no resultado. Logo, o cálculo do IGUA – Índice de Gestão Ambiental da Qualidade da Água foi elaborado utilizando a Equação (2).

$$IGUA = 100 \cdot \left(\frac{1}{k}\right) \cdot \sum_{w=1}^k I_w \quad (2)$$

Considerando que o IGUA possui 14 indicadores, a equação simplificada do modelo ficou conforme a Equação (3) e a sua classificação conforme o Quadro 7, seguindo os mesmos critérios de classificação do Índice de Sustentabilidade proposto pelo PNUD (1998).

$$IGUA = 7,14 \cdot \sum_{w=1}^{14} I_w \quad (3)$$

Quadro 7- Classificação do IGUA

<b>Categoria</b>	<b>Resultado</b>
Excelente	$80 < IGUA \leq 100$
Boa	$65 < IGUA \leq 79$
Média	$50 < IGUA \leq 64$
Ruim	$30 < IGUA \leq 49$
Crítica	$IGUA \leq 29$

### Construção da projeção de cenários

Uma das ferramentas utilizadas para o planejamento ambiental e as tomadas de decisões é a simulação e projeção de cenários. A modelagem de cenários engloba o diagnóstico adequado dos sistemas ambientais em sua estruturação, processos e dinâmica. A modelagem consiste em estabelecer mudanças nos inputs e verificar se o desenrolar dos processos levam à superação ou não dos limiares condizentes com a estabilidade. Nesses procedimentos, os cenários surgem como sendo respostas expressas pelas estruturas representativas dos novos estados do sistema. O julgamento para a escolha dos cenários futuros mais desejáveis reside em ampla base de perspectivas e metas sociais, econômicas e políticas (CHRISTOFOLETTI, 1999). Especificamente para bacias hidrográficas, Schiavetti e Camargo (2008) relatam a importância de se elaborar cenários, com e sem a implementação das medidas de manejo ambiental, denominados de modelos de mudanças (variações), de forma a responder ao questionamento: como a bacia hidrográfica pode ser alterada? Que tipo de ações, onde e como?

Demamboro et al (2013) realizou uma projeção para indicadores de gestão ambiental de bacias hidrográficas, na bacia do Rio Atibaia, estabelecendo três cenários futuros com as seguintes características:

- O cenário tendencial caracteriza-se como uma continuidade dos padrões observados no diagnóstico ambiental, em que não são contempladas medidas significativas voltadas à melhoria da qualidade ambiental e de vida. Ocorre num contexto de crescente degradação dos recursos naturais e crescimento populacional desordenado;
- O cenário manejo foi caracterizado pela preservação dos recursos hídricos e foco na produção de água, por meio do manejo adequado da bacia hidrográfica, da conservação das nascentes e dos corpos d'água como um todo. Para sua elaboração

foram mantidas tendências do cenário anterior a alguns indicadores, enquanto outros foram reavaliados;

- No cenário conservação, as prioridades consideradas são a recuperação e a conservação dos recursos hídricos e naturais. É uma alternativa ao manejo, pois, além de contemplar a recuperação das APPs (Áreas de Preservação Permanente), são viabilizadas as UCs (Unidades de Conservação) como áreas de conservação ambiental, diretamente relacionadas a melhorias nas qualidades ambientais e de vida. Assim, considera-se nulo o desmatamento da cobertura vegetal remanescente, seja sem proteção ou protegida em UCs ou APPs.

### **Estudo de caso: Porto Velho/RO**

Com o modelo e a metodologia de cálculo do IGUA definidos, foi obtido o resultado para o cenário atual (diagnóstico) da qualidade da água bruta utilizada para o abastecimento em Porto Velho, conforme Quadro 8.

Para as projeções dos cenários, com horizonte de 10 anos, foram considerados os seguintes parâmetros, utilizando os conceitos de Demanboro et al (2013):

- Cenário tendencial: Crescimento população: 5,04% ao ano, conforme verificado nos últimos 19 anos; Crescimento da população urbana: 1% ao ano em relação à população rural; Demanda superficial = 23,16 m<sup>3</sup>/s, cenário crítico (ANA, 2012); Crescimento de 50% na carga orgânica remanescente; Crescimento de 10% da área de agronegócio; Crescimento de 50% no número observado de OD<5mg/L; Decréscimo na taxa de coleta de esgoto, em função do aumento da população e da não realização de investimentos; Crescimento de 15% na área desmatada; Construção UHE Tabajara no Rio Machado; Aumento de 30% nas áreas com PNE>200 ha/(ton x ano); Aumento das atividades com alto impacto; Permanência da mesma organização institucional; Permanência dos mesmos instrumentos de planejamento; Decréscimo na taxa de tratamento de esgoto, em função do aumento da população e da não realização de investimentos;
- Cenário de manejo: Crescimento população: 3% ao ano; Crescimento da população urbana: 0,3% ao ano em relação à população rural; Demanda superficial = 21,89 m<sup>3</sup>/s, cenário tendencial (ANA, 2012); Crescimento de 20% na carga orgânica remanescente; Crescimento de 10% da área de agronegócio; Diminuição do número observado de OD<5mg/L em 50%; Aumento de 5% na coleta de esgoto; Crescimento de 15% na área desmatada; Construção UHE Tabajara no Rio Machado; Aumento de 30% nas áreas com PNE>200 ha/(ton x ano); Aumento das atividades com alto impacto; Melhoria na organização institucional; Melhoria nos instrumentos de planejamento; Crescimento de 5% no tratamento de esgoto;
- Cenário de conservação: Crescimento população: 1,5% ao ano; Crescimento da população urbana: 0,2% ao ano em relação à população rural; Demanda superficial = 20,95 m<sup>3</sup>/s, cenário normativo (ANA, 2012); Redução de 80% na carga orgânica remanescente; Crescimento de 10% da área de agronegócio; Diminuição do número observado de OD<5mg/L em 80%; Aumento de 70% na oferta da coleta de esgoto; Paralisação no aumento de área desmatada; Construção UHE Tabajara no Rio Machado; Redução em 50% nas áreas com PNE>200 ha/(ton x ano); Aumento das atividades com alto impacto; Melhoria na organização institucional; Melhoria nos instrumentos de planejamento; Crescimento de 70% na oferta do tratamento de esgoto.

Quadro 8 - Resultado do IGUA atual para Porto Velho

Eixo	Indicadores	Dados secundários	Fonte dos dados	Cálculo auxiliar	Indicador padronizado
FM	I1 - densidade demográfica	Área influência = 984.000 Km <sup>2</sup> - População = 1.940.951 hab	ANA (2012)	FM1 = 1,97 hab/Km <sup>2</sup>	I1 = 0,98
	I2 - urbanização	População = 1.940.951 hab População urbana = 1.145.161 hab	IBGE (2019)	FM2 = 59,0 %	I2 = 0,44
P	I3 - balanço quantitativo	Demanda superficial = 15,20 m <sup>3</sup> /s; Disponibilidade = 7.881 m <sup>3</sup> /s	ANA (2012)	P1 = 0,19%	I3 = 1,00
	I4 - índice de poluição orgânica	Carga org. adm = 500 Kg DBO/m <sup>3</sup> ; Carga org. remanescente = 26 Kg DBO/m <sup>3</sup>	ANA (2012)	P2 = 5,20%	I4 = 0,91
	I5 - taxa de atividades de agronegócio	Área influência = 984.000 Km <sup>2</sup> ; Área total de agronegócio = 234.341 Km <sup>2</sup>	ANA (2012); GO/RO (2000)	P3 = 23,82%	I5 = 0,72
E	I6 - oxigênio dissolvido	Número OD < 5mg/L = 14; Número trechos monitorados = 38	IBAMA (2013)	E1 = 36,84%	I6 = 0,60
	I7 - taxa coleta esgoto	Taxa de coleta esgoto = 10,12%	SNIS (2019a)	E2 = 89,88%	I7 = 0,30
I	I8 - taxa de área desmatada	Área total desmatamento = 373.920 Km <sup>2</sup> ; Área influência = 984.000 Km <sup>2</sup>	SALOMÃO <i>et al.</i> (2019); ANA (2012)	IM1 = 38%	I8 = 0,53
	I9 - presença de reservatórios	Área total reservatórios = 1.323 Km <sup>2</sup> ; Potência instalada total = 7.534,33 MW	ANEEL (2019)	IM2 = 0,18 Km <sup>2</sup> /MW	I9 = 0,78
	I10 - erosões	Área total PNE > 200 ton/haxano = 79.015 Km <sup>2</sup> ; Área influência = 984.000 Km <sup>2</sup>	BERNINI (2012); ANA (2012)	IM3 = 8,03%	I10 = 0,89
	I11 - atividades com impacto potencial	X1 = 1; X2 = 0; X3 = 1; X4 = 1; X5 = 1; X6 = 1	GO/RO (2015)	IM4 = 5	I11 = 0,31
R	I12 - organização institucional	X1 = 0; X2 = 1; X3 = 0; X4 = 1	GO/RO (2017)	R1 = 2	I12 = 0,50
	I13 - instrumentos de planej e gestão	X1 = 0; X2 = 0; X3 = 1; X4 = 0; X5 = 0; X6 = 1; X7 = 1; X8 = 1; X9 = 0	GO/RO (2017)	R2 = 5	I13 = 0,46
	I14 - taxa tratamento esgoto	Taxa de tratamento de esgoto gerado = 7,97%	SNIS (2019a)	R3 = 92,03%	I14 = 0,43

Desta forma, os resultados obtidos da projeção dos cenários do estudo de caso realizado estão demonstrados no Quadro 9.

Quadro 9 - Resultado do IGUA atual e dos cenários projetados

Eixo	Indicadores	Cenário Atual	Projeção de Cenários		
			Tendencial	Manejo	Conservação
FM	I1 - densidade demográfica	0,98	0,97	0,98	0,98
	I2 - urbanização	0,44	0,40	0,42	0,43
P	I3 - balanço quantitativo	1,00	0,99	1,00	1,00
	I4 - índice de poluição orgânica	0,91	0,87	0,90	0,98
	I5 - taxa de atividades de agronegócio	0,72	0,70	0,70	0,70
E	I6 - oxigênio dissolvido	0,60	0,46	0,77	1,00
	I7 - taxa coleta esgoto	0,30	0,28	0,32	0,77
I	I8 - taxa de área desmatada	0,53	0,48	0,48	0,53
	I9 - presença de reservatórios	0,78	0,78	0,78	0,78
	I10 - erosões	0,89	0,86	0,86	0,95
	I11 - atividades com impacto potencial	0,31	0,25	0,31	0,25
R	I12 - organização institucional	0,50	0,50	1,00	1,00
	I13 - instrumentos de planej e gestão	0,46	0,46	1,00	1,00
	I14 - taxa tratamento esgoto	0,43	0,41	0,45	0,82
Resultado do IGUA		<b>63</b>	<b>60</b>	<b>71</b>	<b>80</b>
Categoria do IGUA		Boa	Média	Boa	Excelente

## Discussão dos resultados

Os resultados foram coerentes com o esperado: no cenário de conservação (com ações voltadas não só para os recursos hídricos, mas para todo o meio ambiente) foi obtido o melhor resultado do IGUA = 80, aumentando 27% o resultado em relação ao cenário atual. No cenário de manejo (com ações voltadas somente para os recursos hídricos), o resultado foi melhor do que o cenário atual, com IGUA = 71, aumentando 13% o resultado em relação ao cenário atual. E o cenário tendencial (continuidade das ações atuais) o resultado obtido foi o pior, com IGUA = 60, reduzindo em 5% o resultado do cenário atual.

Observou-se no cenário tendencial que, se mantidas as ações de gestão ambiental atuais, haveria uma piora na qualidade da água. Considerando a necessidade de que Porto Velho necessita ampliar o seu sistema de abastecimento de água, incluindo a construção de uma ETA – Estação de Tratamento de Água com vazão estimada de 600 L/s (ANA, 2010). Com essa diminuição na qualidade da água, poderia implicar no uso de uma tecnologia mais avançada para o seu tratamento. Considerando o custo de implantação de uma ETA não convencional, cuja média foi estimada em R\$ 197.448,96 por L/s (CESAN, 2011; DI BERNARDO e PAZ, 2008). Pode-se estimar que, o custo de uma nova ETA para Porto Velho, utilizando um sistema não convencional, chegaria ao custo de aproximadamente R\$ 118,5 milhões.

Já no cenário de manejo e no cenário de conservação, a qualidade da água teria uma melhor condição. Com esta melhora na qualidade da água, a implantação da nova ETA poderia utilizar um sistema convencional para o tratamento da água. Considerando o custo de implantação no valor de R\$ 131.632,64 por L/s de um sistema convencional (CESAN, 2011), pode-se estimar o custo de uma nova ETA para Porto Velho no valor de R\$ 78,9 milhões. Desta forma, com a melhoria na qualidade da água (observado no cenário de manejo e de conservação) em relação ao cenário tendencial, implicaria na economia de aproximadamente R\$ 39,6 milhões ou 33% do valor.

As atividades de agronegócio, mesmo com as ações de resposta implementadas, o resultado foi pior em todos os cenários do que o atual, justificado pela expansão do rebanho bovino, da produção de grãos e os grandes investimentos de infraestrutura, conforme descritos por Nunes et al (2015a) no estudo de formação socioambiental do Estado de Rondônia.



O balanço quantitativo piorou apenas no cenário tendencial e nos demais permaneceu inalterado, sendo o indicador com melhor desempenho em todos os cenários. Fato este explicado pela alta disponibilidade de água do Rio Madeira.

A presença de reservatórios foi o único indicador que não se alterou em nenhum dos cenários. Apesar de ter sido considerado relevante, neste estudo este indicador não variou com as projeções dos cenários e/ou as ações de resposta, demonstrando que não se encaixa no modelo FMPEIR, não interferindo no resultado da avaliação da qualidade da água. Sugere-se que este indicador possa ser retirado do IGUA.

No entanto, todos os demais indicadores tiveram o comportamento esperado, alterando de alguma forma a avaliação da qualidade da água em função da mudança de cenários e/ou da influência dos indicadores de resposta. Confirmando-se a teoria do modelo de indicadores adotado: FMPEIR, proposto pela Agencia Europeia do Ambiente em 1999, de que as ações de respostas influenciam nos indicadores dos demais eixos e demonstrando que o modelo escolhido foi adequado para o IGUA.

Portanto, pode-se concluir que, neste estudo de caso, ficou demonstrado pelo cálculo do IGUA que os tomadores de decisão:

- Se continuarem com as ações de gestão ambiental atuais, a qualidade da água piorará, como visto no cenário tendencial. E assim, seriam necessários investimentos maiores para o tratamento da água a ser distribuída para a população, pois, irá requerer uma tecnologia mais avançada;
- Se tomarem ações direcionadas para a preservação dos recursos hídricos, implicaria na manutenção da qualidade da água atual, como visto no cenário de manejo. O nível da tecnologia do tratamento da água será o mesmo, não havendo um custo adicional e sim, uma economia de 33% em relação ao cenário tendencial;
- Se tomarem ações de respostas visando a preservação não só dos recursos hídricos, mas também, ações voltadas para a melhoria ambiental de toda a bacia hidrográfica, resultaria na melhoria ainda maior da qualidade da água atual, como visto no cenário de conservação. Desta forma, haveria uma economia de R\$ 38,9 milhões no custo da implantação tratamento de água em relação ao cenário tendencial.

## CONCLUSÕES

Os resultados obtidos demonstraram que o IGUA permite avaliar a qualidade da água captada utilizada para o abastecimento público, utilizando somente indicadores de gestão ambiental, cujo resultado obtido para o estudo de caso foi: IGUA = 63, classificado na categoria boa. Ressalta-se a extrapolação realizada dos dados disponíveis da área brasileira para toda a área de influência estudada, em função da indisponibilidade de dados no Peru e Bolívia.

Importante destacar que, a proposta do IGUA não tem a pretensão de substituir uma avaliação da qualidade da água utilizando amostras e índices consagrados na literatura científica. Seu objetivo é avaliar a qualidade da água sob a ótica da gestão ambiental da bacia hidrográfica em que esteja inserido o ponto de captação de água utilizado para o sistema de abastecimento público, visando dar subsídios para o planejamento e tomada de decisões.

A hipótese da pesquisa foi confirmada, pois, o IGUA permite também a realização de projeção de cenários, obtendo resultados que permitem avaliar a influência dos indicadores na qualidade da água. Como demonstrado nas projeções, foram considerados três cenários em que a qualidade da água do Rio Madeira poderá piorar ou melhorar, dependendo das ações tomadas. No caso de piora, o custo de implantação de uma nova ETA – Estação de Tratamento de Água com sistema não convencional seria 33% mais caro do que o de um sistema convencional.

O modelo conceitual FMPEIR adotado foi adequado, pois, explica as alterações nos indicadores nos cenários projetados. Os 14 indicadores selecionados demonstraram sua influência na qualidade da água, com exceção do indicador de presença de reservatórios (I9), que neste estudo não se alterou em nenhum cenário. Sugere-se que este indicador seja retirado para cálculos e aplicações futuras do IGUA.

O IGUA pode ser aplicado em qualquer bacia hidrográfica independentemente do seu tamanho, visto que, a proporção de sua escala será representada nos resultados dos indicadores que o compõe. Ele também poderá ser calculado para uma sub-bacia ou um recorte da bacia hidrográfica, que caracteriza a área de influência a montante do ponto de captação de água para o abastecimento público. Nestes casos, obviamente que os dados para a geração dos indicadores devem ser correspondentes à área a ser estudada e não à totalidade da bacia hidrográfica.

O modelo de cálculo do IGUA considerou pesos iguais aos indicadores utilizados, no entanto, havendo casos especiais, podem-se inserir pesos diferentes para estes indicadores. Um exemplo típico seria os dois maiores desastres ambientais brasileiros ocorridos em Mariana em 2015 e em Brumadinho em 2019, ambos no estado de Minas Gerais, ocasionados pelos rompimentos de barragens de rejeitos de mineradoras que afetaram a qualidade da água e consequentemente paralisou o abastecimento público de diversas cidades que utilizavam o Rio Doce e o Rio Paraopeba como mananciais de captação de água. Nesse caso especial, o indicador de impacto I11 (atividades com impacto potencial) poderia ter um peso maior em relação aos demais indicadores. Logo, o modelo proposto pode ser adaptado e aplicado em diferentes locais e bacias hidrográficas.

Portanto, o IGUA – Índice de Gestão Ambiental da Qualidade da Água demonstrou as oportunidades de melhoria nas ações de gestão ambiental visando a qualidade da água, tornando-se mais uma ferramenta disponível e contribuindo para o desenvolvimento regional e o meio ambiente.

## **REFERÊNCIAS**

ALMEIDA, J. R. de. Gestão ambiental para o desenvolvimento sustentável. Editora Thex: Rio de Janeiro, 2014. ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Atlas Brasil: Abastecimento Urbano de Água. Panorama Nacional. Volume 1. Ministério do Meio Ambiente. Brasília, 2010a.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Atlas esgotos. Disponível em: <http://atlasesgotos.ana.gov.br/>, publicado em 2018a, acessado em 10/03/2019.

ANA–AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Balanço hídrico quantitativo de água. Disponível:[http://dadosabertos.ana.gov.br/datasets/667d6ab172244210b098edbeb03798be\\_0?geometry=-187.646%2C-44.59%2C79.365%2C11.523](http://dadosabertos.ana.gov.br/datasets/667d6ab172244210b098edbeb03798be_0?geometry=-187.646%2C-44.59%2C79.365%2C11.523), publicado em 2018b, acessado em 03/04/2019.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Indicadores de qualidade das águas – introdução. Portal de qualidade das águas. Disponível em: <http://portalpnqa.ana.gov.br/indicadores-introducao.aspx>, publicado em 2015 e acessado em 02/12/2018.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Plano Estratégico de Recursos Hídricos dos Afluentes da Margem Direita do Rio Amazonas. Brasília, 2012.



ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Inventários hidrelétricos. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/inventario-hidreletricos>, publicado em 2018, acessado em 10/02/2019.

ARAÚJO, G. H. de S.; ALMEIDA, J. R. de; GUERRA, A. J. T. Gestão ambiental de áreas degradadas. 11ª Edição. Editora Bertrand Brasil: Rio de Janeiro, 2014.

AWWA - AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION. Water quality & treatment. Nova York: McGraw-Hill, 1999. 1.232 p.

BELL, S. de. DPSIR: Um Método de Estruturação de um Problema? Uma exploração da abordagem "Imagine". European Journal of Operational Research v.222, Issue 2, p. 350-360, 2012.

BERNINI, H. Diagnóstico da perda de solo por erosão hídrica para planejamento de conservação e manutenção de mananciais de abastecimento público: o caso de Espigão d'Oeste – RO. Dissertação de Mestrado. UNIR, Porto Velho, 2012.

BERTULE, M. et al. Using indicators for improved water resources management - guide for basin managers and practitioners.

Disponível: [https://www.researchgate.net/publication/319765179\\_Using\\_indicators\\_for\\_improved\\_water\\_resources\\_management\\_guide\\_for\\_basin\\_managers\\_and\\_practitioners\\_82\\_pp/download](https://www.researchgate.net/publication/319765179_Using_indicators_for_improved_water_resources_management_guide_for_basin_managers_and_practitioners_82_pp/download), publicado em 2017, acessado em 10/03/2019.

BRASIL. Lei Federal 9433: Política Nacional de Recursos Hídricos. Ministério do Meio Ambiente. Brasília, 1997. BRASIL. Resolução 357: Classificação de corpos d'água e diretrizes ambientais. CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente. Ministério do Meio Ambiente. Brasília, 2005.

BRASIL. Resolução 430: Classificação de corpos d'água e diretrizes ambientais. CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente. Ministério do Meio Ambiente. Brasília, 2011.

CARR, E. R. et al. Applying DPSIR to sustainable development. International Journal of Sustainable Development & World Ecology. N. 14, 2007, p. 543–555.

CAVALCANTE, F. R. C.; GOÉS, S. B. de. O desenvolvimento sustentável em nível de bacias hidrográficas em Rondônia: uma proposta de ferramenta analítica para os estudos de gestão ambiental. In: Gestão Ambiental: desafios e possibilidades. Organizadora: Maria Madalena de Aguiar Cavalcante. Curitiba: Editora CRV, 2014. p. 107-134.

CECH, T. V. Recursos hídricos: história, desenvolvimento, política e gestão. Tradução: Eliane F. P., Luiz Claudio Q.F. e Rafael A. C. 3ª edição. Editora LTC: Rio de Janeiro, 2013.

CESAN – COMPANHIA ESPÍRITO-SANTENSE DE SANEAMENTO. Portal de compras da CESAN: edital LCPE 007/2011. Disponível em: <https://www.cesan.com.br/site/licitacoes/licitacao.php?id=549&opcao=2>, publicado em 2011 e acessado em 08/03/2019.

CHRISTOFOLETTI, A. Modelagem de sistemas ambientais. 1ª. Edição. Editora Blucher. São Paulo, 1999.

CONEJO, J. G. L.; MARANHÃO, N.; BURNETT, J. A. B.; ANTUNES, B. Sobre um índice de disponibilidade hídrica aplicável à gestão dos recursos hídricos. XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Campo Grande, MS. Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2009.

CORREA, E. A.; PINTO, S. A. F. S. Avaliação do potencial natural de erosão da bacia hidrográfica do córrego Monjolo Grande (Ipeúna-SP). Revista Geonorte, Edição Especial, v.2, n.4, p.1356 - 1367, 2012.

DEMANBORO, A. C.; LAURENTIS, G. L.; BETTINE, S. do C. Cenários ambientais na bacia do Rio Atibaia. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental. v.18, n.1 - jan/mar, 2013. p. 27-37.  
DI BERNARDO, L.; PAZ, L. P. S. Seleção de tecnologias de tratamento de água. Vol, 2, Editora LDiBe. São Paulo, 2008.

EEA – EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY. Environmental indicators: Typology and overview. Copenhagen, 1999.

FERNANDES, G. J. P. A metodologia Delphi como ferramenta de apoio na gestão de destino turísticos. Revista Turismo e Desenvolvimento. Nro 21/22, 2014 – p. 129 – 131.

FERNANDES, M. F; BARBOSA, M. P. Aplicações dos Indicadores Socioeconômicos e Ambientais no Modelo DPSIR (Força Motriz/Pressão/Estado/Impacto/Resposta) e Influências na Desertificação nos Municípios de Araripina-PI, Crato e Barbalha-CE e Marcolândia-PI. Revista Brasileira de Geografia Física 04, 2011, p.722- 737.

GO/RO - GOVERNO DO ESTADO DE RONDÔNIA. Lei Complementar 233 – Dispõe sobre o Zoneamento Socioeconômico - Ecológico do Estado de Rondônia – ZSEE. Porto Velho, 2000.

GO/RO - GOVERNO DO ESTADO DE RONDÔNIA. PERH/RO – Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado de Rondônia. SEDAM – Secretaria Estadual de Desenvolvimento e Meio Ambiente. Porto Velho, 2017.

GO/RO - GOVERNO DO ESTADO DE RONDÔNIA. Plano de Desenvolvimento Estadual Sustentável de Rondônia – 2015 a 2030. Ministério da Integração Nacional. Secretaria de Desenvolvimento Regional. Porto Velho, 2015.

GUIMARÃES, L. T. Proposta de um sistema de Indicadores de Desenvolvimento Sustentável para bacias hidrográficas. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2008. 237 p.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Portal Cidades. Disponível em:  
<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ro/porto-velho/panorama>, publicado em 2021 e acessado em 28/10/2021.

INSTITUTO TRATA BRASIL. Ranking do Saneamento 2021.  
Disponível em: <https://www.tratabrasil.org.br/pt/estudos/ranking-do>

saneamento/itb/novo-ranking-do-saneamento-2021, publicado em 2021, acessado em 28/10/2021.

IORIS, A. A. R.; HUNTER, C.; WALKER, S. The development and application of water management sustainability indicators in Brazil and Scotland. *Journal of Environmental Management*, N. 88, 2008. p. 1190–1201.

IPT – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS / PMI – PREFEITURA MUNICIPAL DE ITANHAÉM. Atlas Municipal de Itanhaém. Disponível em: <http://www.itanhaem.sp.gov.br/atlasambiental/>, publicado em 2012, acessado em 10/05/2018.

KRISTENSEN, P. The DPSIR Framework. EEA – European Environment Agency, 2004.

LALANDE, N. et al. Implementing the DPSIR framework to link water quality of rivers to land use: methodological issues and preliminary field test. *International Journal of River Basin Management*, França, 2014, p.201-217.

LARLOW, K. B.; HORNYAK, M. J. Smartgoals: how the application of smart goals can contribute to achievement of student learning outcomes. *Developments in Business Simulation and Experiential Learning*, volume 39, 2012.

LIMA, A. T. F. de. Indicadores para planejamento e gestão dos recursos hídricos: proposição e estudo de caso. Dissertação de mestrado. FEEVALE, Novo Hamburgo, 2014. 113 p.

MACHISI, E. Solving Exponential Equations: Learning from the Students We Teach. *International Journal of Engineering Science Invention*, V. 6. Mai, 2017.

MEADOWS, D. H.; MEADOWS, D. L.; RANDERS, J. BEHRENS III, W. W. *Limites do Crescimento*. Clube de Roma. Editora Perspectiva. 2ª Edição, 1972.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. PLANSAB – Plano Nacional de Saneamento Básico. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Brasília, 2013. 173p.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Belo Monte vai produzir energia com respeito ao meio ambiente. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/web/guest/destaques-do-setor-de-energia/belo-monte>, publicado em 2012 e acessado em 04/12/2015.

MOTA, S. *Gestão ambiental de recursos hídricos*. 3ª Edição. Editora ABES: Rio de Janeiro, 2008.

MOURA, R.; OLIVEIRA, S.; PÊGO, B. *Escalas da urbanização brasileira*. IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Brasília, 2018.

NETO, F. O. L.; MEIRELES, A. J. de A.; SILVA, E. V. da; Aspectos conceituais, limites e desafios da aplicação do modelo Força Motriz, Pressão, Estado, Impacto, Reposta – FMPEIR em pesquisas ambientais. *Geographia Meridionalis - revista eletrônica do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Pelotas*. v. 02, n. 01 Jan-Jun/2016 p. 153–164.

NUNES, D. D. et al. Formação Socioambiental do Estado de Rondônia. In: Formação Socioambiental da Amazônia. Simonian, L. T. L.; Baptista, E.R. (org.). Universidade do Pará. Núcleo de Altos Estudos Amazônicos. Belém: NAEA, 2015a.

NUNES, D. D.. et al. Sustentabilidade dos Municípios e Vulnerabilidade Regional no Estado de Rondônia. In: Sustentabilidade dos Municípios da Amazônia. Silva, F. C. da; Amin, M. M.; Nunes, S. F. (org.). Universidade Federal do Pará. Núcleo de Altos Estudos Amazônicos. Belém: NAEA, 2015b.

OECD – ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. OECD environmental indicators. Development, measurement and use. Paris, 2003. Disponível em: <https://www.oecd.org/env/indicators-modelling-outlooks/24993546.pdf>, acessado em 23/05/18.

ONU – ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. Declaração Universal dos Direitos da Água. Rio de Janeiro, 1992. PHILIPP JÚNIOR, A. Saneamento, saúde e ambiente: fundamentos para um desenvolvimento sustentável. Editora Manole: Barueri, SP, 2005.

PHILIPP JÚNIOR, A.; MALHEIROS, T. F. Indicadores de Sustentabilidade e Gestão Ambiental. Barueri: Editora Manole, 2012.

PNUD – PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO. Atlas do desenvolvimento humano no Brasil. Edição em CD-Rom. Brasília, 1998.

POLETO, C. Bacias hidrográficas e recursos hídricos. 1ª Edição. Editora Interciência: Rio de Janeiro, 2014.

POONAM, T.; TANUSHREE, B.; SUKALYAN, C. Water quality indices- important tools for water quality assessment: a review. International Journal of Advances in Chemistry. Vol.1, No.1, 2013. 15 – 28 p.

QIU, Y.; FAN, Y. A Problem Structuring Method for Innovation Strategy: A Tentative DPSIR Approach. Scientific Research, 2013, p. 80 – 83.

RONDÔNIA. Plano de Desenvolvimento Estadual Sustentável de Rondônia. Secretaria Estadual de Planejamento, Orçamento e Gestão de Rondônia. Porto Velho, 2015.

RONDÔNIA. Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado de Rondônia. Secretaria Estadual do Desenvolvimento Ambiental de Rondônia. Porto Velho, 2018.

SALOMÃO, R.; MARTINS, H; OLIVEIRA JR, L; SOUZA JR., C. O estado das Áreas Protegidas: Distribuição das Áreas Protegidas nos Municípios da Amazônia Legal. Imazon – Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia. Belém, 2019.

SANTOS, R. F. de. Planejamento ambiental: teoria e prática. Editora Oficina de textos: São Paulo, 2004. SCHIAVETTI, A.; CAMARGO, A. F. M. Conceitos de bacias hidrográficas: teorias e aplicações. Editora Editus –UESC – Universidade Estadual de Santa Cruz. Ilhéus, 2008. 293 p.

SIGRH – SISTEMA INTEGRADO DE GERENCIAMENTO DOS RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DE SÃO PAULO. Relatório de Situação dos Recursos Hídricos da bacia hidrográfica: roteiro para elaboração e ficha técnica dos parâmetros. Governo do Estado de São Paulo. Site: [http://www.sigrh.sp.gov.br/relatoriosituacaodosrecursos\\_hidricos](http://www.sigrh.sp.gov.br/relatoriosituacaodosrecursos_hidricos), publicado em julho/2016, acessado em 18/05/2018.

SILVA, L. M. Indicadores ambientais e a gestão de bacias hidrográficas de economia agrícola: diagnóstico e reflexões sobre o caso da bacia do Rio Preto, noroeste de Minas Gerais. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Minas Gerais, 2012. 249 p.

SNIS – SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. Diagnóstico dos serviços de água e esgoto – ano 2016. Ministério das Cidades, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Brasília, 2018a.

SNIS – SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. Diagnóstico do manejo de resíduos sólidos urbanos – ano 2016. Ministério das Cidades, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Brasília, 2018b.

SNIS – SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. Diagnóstico drenagem e manejo de águas pluviais urbanas – ano 2015. Ministério das Cidades, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Brasília, 2018c.

SOARES, A. B.; FILHO, J. C. L. da S.; ABREU, M. C. S. de; SOARES, F. de 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, set/dez. 2011.

TUCCI, C. E. M.; MENDES, C. A. Avaliação ambiental integrada de bacia hidrográfica. Secretaria de Qualidade Ambiental nos assentamentos humanos. Ministério do Meio Ambiente. Brasília, 2012.

## APÊNDICE 1

Item	Indicador	Fonte	S	M	A	R	T	Pré-selecionado
1	qualidade da água	Ioris <i>et al</i> (2008)		X	X	X	X	não
2	quantidade de água			X	X	X	X	não
3	estabilidade do sistema				X		X	não
4	eficiência do uso da água		X		X		X	não
5	usuários da água					X	X	não
6	organização institucional		X	X	X	X	X	sim
7	atendimento de abastecimento público de água		X	X	X	X	X	sim
8	bem-estar relacionado à água				X	X		não
9	instrumentos de planejamento e gestão		X	X	X	X	X	sim
10	densidade demográfica	Lima (2014)	X	X	X	X	X	sim
11	taxa geométrica de crescimento anual		X	X	X	X	X	sim
12	demanda outorgada superficial e subterrânea		X	X	X		X	não
13	índice de poluição orgânica		X	X	X	X	X	sim
14	índice padrão de precipitação		X	X	X		X	não
15	índice de Falkenmark		X	X	X		X	não
16	estresse hídrico técnico		X	X	X			não
17	oxigênio dissolvido		X	X	X	X	X	sim
18	ocorrência de inundações		X	X	X	X	X	sim
19	ocorrência de estiagens		X	X	X	X	X	sim
20	conflito pelo uso da água				X	X		não
21	impacto na fauna aquática			X		X		não
22	impacto econômico			X	X		não	
23	área agrícola	Silva (2012)	X	X	X	X	X	sim
24	produção agrícola		X	X	X		X	não
25	consumo de fertilizantes e defensivos		X		X			não
26	uso das águas		X		X	X	X	não
27	eficiência do manejo técnico das águas		X		X			não
28	consumo de água		X	X		X	X	não
29	produtividade				X		X	não
30	desmatamento		X	X	X	X	X	sim
31	destinação e armazenagem de recipientes de insumos químicos		X	X	X		X	não
32	saneamento		X		X	X	X	não
33	volumes de água para outorga		X	X		X		não
34	balanço hídrico		X	X	X	X	X	sim
35	qualidade física do solo		X			X		não
36	qualidade da água		X	X		X		não
37	biodiversidade				X	X	X	não
38	erosão acelerada		X	X	X	X	X	sim
39	perda da cobertura vegetal		X		X	X	X	não

40	espécies animais comprometidas		X		X		X	não
41	mananciais poluídos		X			X	X	não
42	assoreamento		X		X	X	X	não
43	unidades de conservação		X	X		X		não
44	grau de formação dos usuários da água		X		X			não
45	adoção de medidas agro-ambientais		X			X		não
46	participação de usuários em órgãos colegiados		X				X	não
47	conflitos pelo uso da água		X			X		não
48	suporte técnico aos usuários da água		X	X	X		X	não
49	área da bacia		X	X	X	X	X	sim
50	população total							não
51	taxa de urbanização		X	X	X	X	X	sim
52	população urbana							não
53	número total de estabelecimentos industriais		X	X	X	X	X	sim
54	número total de estabelecimentos agropecuários		X	X	X	X	X	sim
55	vegetação remanescente		X	X	X	X	X	sim
56	população rural		X	X				não
57	índice paulista de responsabilidade social		X		X			não
58	área inundada por reservatórios hidrelétricos		X	X	X	X	X	sim
59	índice de desenvolvimento humano municipal		X	X				não
60	pecuária		X		X			não
61	avicultura		X		X			não
62	suinocultura		X		X			não
63	número de estabelecimentos comerciais		X	X				não
64	número de estabelecimentos de serviços		X	X				não
65	demanda total				X			não
66	demanda de água para abastecimento	SIGRH (2016)	X	X	X	X	X	sim
67	demanda de água superficial		X		X			não
68	demanda de água subterrânea		X		X			não
69	geração de resíduo sólido		X	X	X	X	X	sim
70	demanda de água em rios da união		X		X			não
71	áreas contaminadas		X	X	X	X	X	sim
72	demanda urbana de água		X		X			não
73	demanda industrial de água		X		X			não
74	disponibilidade hídrica		X	X	X	X	X	sim
75	demanda rural de água		X			X		não
76	taxa de coleta de esgoto		X	X	X	X	X	sim
77	demanda de água para outros usos				X			não
78	índice de atendimento abastecimento de água		X	X	X	X	X	sim
79	captações superficiais em relação a área total		X		X			não
80	captações subterrâneas em relação a área total		X		X			não
81	atendimento de derramamento de produtos químicos		X	X	X	X	X	sim



82	proporção de captações superficiais em relação ao total	X					não
83	incidência de doença de veiculação hídrica - esquistossomose	X	X	X	X	X	sim
84	esgoto remanescente	X	X	X	X	X	sim
85	proporção de captações subterrâneas em relação ao total	X			X		não
86	número de reclamações de mortandade de peixes	X	X	X	X	X	sim
87	índice de concentração de erosões	X		X	X	X	não
88	número total de barramentos	X	X			X	não
89	IQA - índice de qualidade da água	X		X	X	X	não
90	IAP - índice da qualidade da água bruta para fins de abastecimento de água	X		X	X		não
91	IVA - índice da qualidade da água para proteção da vida aquática	X			X		não
92	IET - índice do estado trófico	X			X		não
93	cursos d'água afluentes às praias	X					não
94	IB - índice de balneabilidade	X					não
95	concentração de nitrato	X					não
96	IPAS - indicador de potabilidade de águas subterrâneas	X	X				não
97	classificação anual das praias litorâneas	X	X				não
98	disponibilidade per capita	X		X			não
99	disponibilidade per capita de água subterrânea	X		X			não
100	coleta de resíduos sólidos	X		X	X	X	não
101	coleta de esgotos	X		X	X	X	não
102	índice de perdas no sistema de abastecimento de água	X		X			não
103	índice de atendimento urbano de água	X			X	X	não
104	demanda total em relação Q95	X		X	X	X	não
105	demanda total em relação Qmédio	X		X	X	X	não
106	demanda superficial em relação vazão mínima	X		X			não
107	demanda subterrânea em relação às reservas	X		X			não
108	criticidade em relação aos processos erosivos	X			X		não
109	destinação de resíduos sólidos em aterro adequado	X	X	X	X	X	sim
110	registro de desalojados	X				X	não
111	redução da carga orgânica poluidora	X	X	X	X	X	sim
112	classificação semanal de praias litorâneas	X			X		não
113	classificação semanal de reservatórios e rios	X			X		não
114	classificação de águas subterrâneas	X			X		não
115	taxa de tratamento de esgoto	X	X	X	X	X	sim
116	execução das ações			X		X	não
117	número de áreas remediadas	X	X	X	X	X	sim
118	execução das ações por executor			X		X	não
119	execução das ações por setor			X		X	não

120	execução das ações financiadas			X		X	não
121	execução financeira das ações			X		X	não
122	vazão outorgada para abastecimento público	X	X	X	X	X	sim
123	execução financeira das ações por setor			X			não
124	execução financeira das ações por executor			X			não
125	execução financeira das ações financiadas			X			não
126	resíduo sólido disposto em aterro	X	X	X			não
127	IQR - destinação final do resíduo sólido urbano	X	X				não
128	proporção do efluente doméstico coletado	X	X				não
129	proporção do efluente doméstico tratado	X	X				não
130	ICTEM - indicador de coleta e tratabilidade de esgoto	X			X		não
131	densidade da rede de monitoramento fluviométrico	X		X	X		não
132	densidade da rede de monitoramento pluviométrico	X		X	X		não
133	IAEM - índice de abrangência espacial de monitoramento	X				X	não
134	vazão total outorga de captações superficiais	X				X	não
135	vazão total outorga de captações subterrâneas	X				X	não
136	vazão total outorgada para uso urbano	X				X	não
137	atividades de agronegócio	X	X	X	X	X	sim
138	presença de reservatórios de hidrelétricas	X	X	X	X	X	sim
139	atividades com alto impacto potencial	X	X	X	X	X	sim

Autor  
(2019)