



IV - 473 - DETERMINAÇÃO DE UMA MATRIZ DE INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE PARA RIOS URBANOS DA AMAZÔNIA LEGAL

Ligia da Paz de Souza⁽¹⁾

Engenheira Sanitarista e Ambiental pela Universidade Federal do Pará. MBA em Gestão de Projetos pela Universidade de São Paulo. Pós-graduanda em Uso Sustentável de Recursos Naturais no Instituto Federal do Rio Grande do Norte. Diretora Administrativa na Organização Mandí.

Jean Leite Tavares⁽²⁾

Engenheiro Civil e Mestre em Engenharia Sanitária/Recursos Hídricos pela Universidade Federal da Paraíba. Doutor em Engenharia de Recursos Hídricos pela Universidade Federal do Ceará. Professor Efetivo da Diretoria Acadêmica de Recursos Naturais do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte – IFRN.

Endereço¹: Vila são gabriel, bairro do Marco - Belém - PA - CEP: 66087-550 - Brasil - Tel: (91) 98075-6228 - e-mail: eng.ligiadapaz@gmail.com

RESUMO

A detecção dos impactos sobre as bacias hidrográficas envolve variáveis biológicas, químicas, hidrológicas e geofísicas. Os indicadores se apresentam como uma ferramenta para a comunicação dessas informações de forma sistematizada com a quantificação de informações, progressos, fenômenos e percepções de forma simplificada. Nesse sentido, a presente pesquisa teve como objetivo desenvolver uma matriz de indicadores de sustentabilidade para bacias hidrográficas urbanas com o recorte de região da Amazônia Legal. Com o uso do método Delphi junto a pesquisadores atuantes na região de estudo, desenvolveu-se uma matriz com 46 indicadores de sustentabilidade para bacias hidrográficas urbanas, com foco em ecologia, hidrologia, gestão, infraestrutura, saneamento e qualidade ambiental. Foram alcançados 10 especialistas em 5 estados da Amazônia, sendo Pará, Acre, Amazonas, Roraima e Rondônia, sendo a mesma quantidade de participantes do sexo feminino e masculino. Após as rodadas de avaliação, 33 indicadores foram classificados como “Muito relevante”, 10 como “relevante” e 3 tiveram empate, consolidando assim a matriz de indicadores final com potencial para otimizar a gestão dos recursos hídricos em bacias hidrográficas e o planejamento urbano e ambiental em regiões urbanas e possibilidades de aplicação para facilitar a comunicação de informações sobre os territórios e dados para construção de políticas públicas e projetos na região de maneira sustentável.

PALAVRAS-CHAVE: sustentabilidade, gestão, recursos hídricos, indicadores.

INTRODUÇÃO

Para os recursos hídricos, a sustentabilidade está relacionada às exigências de atendimento aos diversos usos da água, entre eles o uso doméstico, a irrigação, o uso industrial, a recreação e a geração de energia, que são fundamentais, também, para o desenvolvimento econômico, além da proteção ao meio ambiente e a melhoria das condições sociais (KUMAMBALA; ERVINE, 2008).

A detecção dos impactos sobre os sistemas hídricos envolve variáveis biológicas, químicas, hidrológicas e geofísicas. Gergel et al. (2002) escreve que a avaliação da sustentabilidade adequada aos territórios e realidades locais é necessária também nesse processo.

A comunicação dessas informações pode ser sistematizada através de indicadores. Essa ferramenta informa, através da quantificação de informações, progressos, fenômenos e percepções de forma simplificada. Na avaliação de uma bacia hidrográfica, os indicadores quantitativos e qualitativos e a compreensão de suas informações determinam o nível de sustentabilidade ideal (HAMMOND et al., 1995; CATANO et al., 2009).

Para a utilização dos indicadores de sustentabilidade, a Agenda 21 sugere a coleta de dados de fontes locais, estaduais, nacionais e internacionais que sejam capazes de comunicar os estados e as tendências das variáveis socioeconômicas, de poluição, de recursos naturais e dos ecossistemas (UNITED NATIONS, 1992).



Uma forma de monitorar o progresso de uma localidade em relação ao desenvolvimento sustentável é através da determinação de indicadores de sustentabilidade com base em dados locais. Para além da métrica de progressão, é uma metodologia que estimula o processo para melhorar a compreensão dos problemas ambientais e sociais, facilitando a capacitação da comunidade e subsidiando o desenvolvimento de políticas e projetos (REED et al., 2006).

No âmbito da gestão dos recursos hídricos, Carvalho (2020) pontua que há consideração de variáveis físicas, bióticas, demográficas, econômicas, sociais e culturais, considerando as diferentes regiões brasileiras e questões territoriais. Essas informações, no entanto, como acrescenta o autor, não são de fácil acesso, apesar da relevância para um efetivo planejamento dentro de uma bacia hidrográfica.

Como escreve Bloomberg (2014), o uso de dados e informações completas e precisas são fundamentais na administração pública para que se tenham condições de análises que otimizem a gestão. Assim, visualiza-se a existência de uma necessidade de ferramentas que condicionem esse processo. Nesse sentido, o presente trabalho objetivou desenvolver uma matriz de indicadores de sustentabilidade para bacias hidrográficas urbanas na Amazônia Legal a partir da aplicação do método delphi.

MATERIAIS E MÉTODOS

A matriz de indicadores selecionada para aplicação de estudo da sustentabilidade de rios urbanos foi adaptada de Barreto (2017), de 67 para 46 indicadores já utilizados e consolidados na monitorização em bacias hidrográficas de grande extensão/área. A tabela 1 apresenta os indicadores do estudo e as dimensões de sua classificação.

Tabela 2: Síntese da avaliação dos indicadores após a aplicação da 2ª rodada.

Dimensão	Indicador
Ecologia	Área com vegetação/área total da bacia
	Extensão do rio com mata ciliar/extensão total do rio principal
	Área de mata ciliar/área total protegida na bacia
	Número de nascentes preservadas/total de nascentes da bacia
Hidrologia	Dias de ocorrência de enchentes no rio principal/ano (vazões atípicas)
	Extensão dos corpos d'água canalizados na bacia/extensão total
	Extensão do corpo d'água retificado no rio principal/extensão total do rio principal
Gestão	% de áreas de preservação permanente/bacia
	Áreas protegidas/área total da bacia
	Existência de plano de bacia ou zoneamento na bacia
	Incidência de doenças relacionadas à água do rio principal/ano
	Investimentos Públicos (R\$) em ações de recuperação de recursos hídricos/bacia
	Investimentos (R\$) em esgotamento sanitário/habitante na bacia
	Investimentos (R\$) em resíduos sólidos urbanos/habitante na bacia
	Investimentos (R\$) em drenagem urbana/habitante na bacia
	Investimentos (R\$) em pesquisas sobre a bacia/ano
	Número de pesquisas sobre a bacia a cada 2 anos
Infraestrutura	Número de multas ambientais por lançamento inadequado de efluentes e/ou resíduos no rio principal
	Áreas de inundação ocupadas/área total
	Área assoreada/área total das margens
	Número de pontos potenciais à erosão e deslizamentos na bacia
Saneamento básico	Total de áreas ocupadas por assentamentos informais ou formais em áreas de risco (planícies de inundação, manguezais, encostas íngremes) na bacia
	% de logradouros com pavimentação impermeável (tipos: asfalto, placa de concreto, paralelepípedo) na bacia
	% de domicílios cujos logradouros apresentaram ocorrência de alagamentos no último ano na bacia



	Número de pontos de resíduos sólidos nas margens do rio principal
	Área impermeabilizada/área total da bacia
	Volume de esgoto tratado (m ³)/ano/bacia
	% de resíduos sólidos urbanos gerados sem destinação adequada/bacia
	% de vias com varrição regular na bacia
	% da vazão de esgotos sanitários sem tratamento/bacia
	Número de ocorrências de problemas significativos no Sistema de Drenagem Pluvial na bacia
	% de domicílios interligados à rede coletora de esgotamento sanitário ou em fossa séptica na bacia
	% de domicílios com coleta regular de resíduos sólidos domiciliares (RSD) na bacia
	Volume de esgoto coletado (m ³)/ano/bacia
	% da população atendida pelo serviço público de coleta de RSD/ano/bacia
	Volume de resíduos sólidos (m ³) dispostos na rede pluvial/ano/bacia
	Volume de resíduos sólidos (m ³) coletados/ano/bacia
	Volume de resíduos líquidos (m ³) lançados na rede pluvial/ano/bacia
	Volume de águas pluviais (m ³) lançadas na rede de esgotos sanitários/ano/bacia
	% da área urbana com sistema de drenagem na bacia
	Número de pontos de contenção de drenagens na bacia
Qualidade ambiental	Presença de substâncias tóxicas (metais pesados, compostos orgânicos resistentes) nos sedimentos de fundo de rio/bacia
	Quantidade de coliformes termotolerantes (NMP/100ml)
	Índice de Qualidade da Água (IQA)
	Índice de Estado Trófico (IET)
	Frequência de requisitos ou padrões descumpridos/amostragem/ano na bacia
	Número de pontos ativos de monitoramento da qualidade da água na bacia

Para o desenvolvimento da pesquisa, aplicou-se o método Delphi para a consolidação da matriz de indicadores através de um grupo de especialistas e pesquisadores locais das cidades da Região Amazônica para avaliação das condições ambientais dos rios urbanos na região.

O método é aplicado através de questionários que são respondidos em sequência (rodadas) e de maneira individual. Além disso, os participantes são assegurados pelo anonimato, que assegura a contribuição e participação sem efeitos pessoais (OSBORNE ET AL., 2003; KAYO E SECURATO, 1997; GRISHAM, 2009).

A seleção dos especialistas se determinou por área de atuação e local, sendo todos selecionados dos estados da Região Amazônica considerando as áreas de saneamento, hidrologia e recursos hídricos, planejamento urbano, biologia e ecologia.

Os especialistas foram mapeados sem restrição de sexo, classe, orientação sexual ou raça, tendo como critério de inclusão o grau de formação mínimo como graduação completa nas áreas desejadas e a localidade de moradia em cidades da Região Amazônica. A construção da lista foi baseada através de referências em trabalhos técnicos e científicos publicados, perfis profissionais na plataforma do LinkedIn e contato direto com profissionais.

Para o método, foram aplicadas duas rodadas. Na 1ª rodada, os pesquisadores avaliaram a relevância dos indicadores sugeridos e tiveram espaço para propor novos indicadores e outros especialistas, além de fazer observações e críticas ao projeto e ao formulário.

Após sugestões, a matriz de indicadores foi atualizada para aplicação em uma 2ª rodada para o grupo de contribuintes, bem como o feedback dos resultados da 1ª rodada e considerando os indicadores classificados como “relevantes” e “muito relevantes”. Na 2ª aplicação, os pesquisadores realizaram uma nova avaliação do nível de relevância dos indicadores. O processo de implementação do Método Delphi é apresentado na Figura 1.

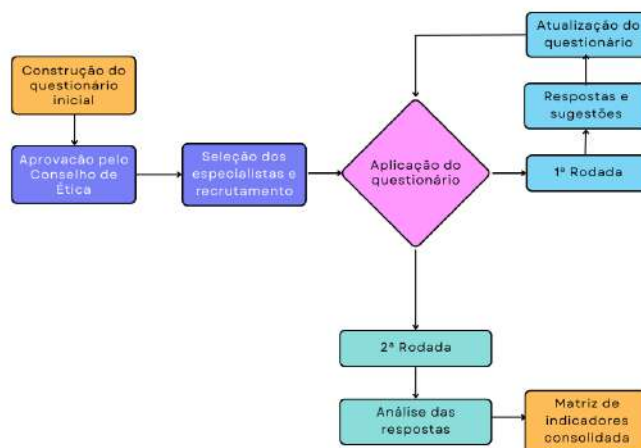


Figura 1 - Processo de implementação do Método Delphi.

RESULTADOS

Na pesquisa, 10 especialistas foram consultados. Obteve-se igual quantidade de participantes do sexo Masculino e Feminino na pesquisa. A maioria foi identificada como residente no Estado do Pará, compreendendo outros 4 estados da região estudada sendo Acre, Amazonas, Roraima e Rondônia, e o maior quantitativo do grau de instrução foi de participantes com graduação.

Na avaliação dos indicadores na primeira rodada, 39 indicadores foram classificados como “Muito Relevante”, 6 foram classificados como “Relevante”, com um empate na classificação de 1 indicador. A relevância dos indicadores foi determinada com base na maior porcentagem das respostas para as classificações. No caso de empate, considerou-se o grau menor de relevância.

Quanto a sugestões dos pesquisadores sobre adicionar indicadores, não houve nenhum apontamento. No entanto, dois comentários foram realizados pelos pesquisadores nas dimensões de Gestão e Hidrologia, respectivamente, conforme apresentado abaixo.

“O Poder Público é o agente principal, deve conduzir políticas públicas que atendam as demandas das populações da bacia hidrográfica, se todos tem direito ao meio ambiente saudável, cabe às políticas públicas participativas, com as populações participando das discussões para as tomadas de decisões, levando-se em conta os serviços ecológicos que o ecossistema preservado e recuperado é opção única, do contrário, a degradação ambiental, o uso inadequado das várzeas, o lançamento de esgotos in natura, as poluições difusas, e o que mais a enxurrada carregar, a saúde e o bem estar dessas populações serão afetadas, a qualidade de vida sofrerá, ou seja, há um caminho” (Pesquisador A).

“Impacta diretamente na dinâmica das águas, cujos indicadores ecológicos impactam diretamente nos ciclos hidrológicos da bacia” (Pesquisador B).

Na 2ª rodada, estabeleceu-se um prazo inicial de 10 dias a partir da data de envio. Após esse período, prorrogou-se por mais 30 dias a participação, alcançando 7 painelistas dos 10 consultados na 1ª rodada.

Dos 46 indicadores avaliados, 37 foram classificados como “Muito relevante”, 11 como “relevante” e 3 tiveram empate. A relevância foi determinada de maneira semelhante à primeira rodada e no caso de empate,



considerou-se o indicador como “Relevante”. Além desses resultados, um pesquisador participante deixou um comentário na dimensão “Ecologia” dos indicadores no espaço destinado aos apontamentos:

“Uma bacia hidrográfica é como um organismo vivo, sistêmico, das microbacias hidrográficas as macrobacias hidrográficas, tudo que acontece na dimensão micro impacta diretamente na dimensão macro, os microsistemas que compõem uma bacia hidrográfica tendem a um equilíbrio hidrológico que, ao sofrer alguma intervenção antrópica, direta ou indiretamente, sofrem alterações cujos desdobramentos alteram todo o ecossistema que compõem a bacia hidrográfica” (Pesquisador C).

DISCUSSÕES

Na primeira rodada, a relevância do indicador foi determinada considerando a maior porcentagem de avaliação e em caso de empate, considerou-se o grau menor de relevância. A maioria dos indicadores foi classificada como “Muito Relevante” ou como “Relevante”. Somente um indicador teve empate na avaliação entre as duas classificações, sendo o indicador de “Volume de resíduos sólidos (m³) coletados/ano/bacia”. Para a elaboração da matriz de indicadores a ser avaliada na segunda rodada, as categorias de “Irrelevante” e “Muito irrelevante” foram removidas do formulário.

Na segunda rodada, a quantidade de participantes respondentes foi menor do que na primeira rodada, com alcance de 70% de envolvimento. Apesar de algumas classificações de “Irrelevante” para alguns indicadores, a maioria permaneceu com grau determinado em “Muito Relevante” e “Relevante”.

Dos 46 indicadores avaliados, 33 foram classificados como “Muito relevante”, 10 como “relevante” e 3 tiveram empate. A relevância dos indicadores foi determinada com base na maior quantidade das respostas para as classificações. No caso de empate, considerou-se o indicador como “Relevante”. Na Tabela 2 pode-se visualizar, em síntese, a relevância dos indicadores após as duas rodadas do método delphi.

Tabela 2: Síntese da avaliação dos indicadores após a aplicação da 2ª rodada.

Muito Relevante	Relevante
1. Área com vegetação/área total da bacia	33. Extensão dos corpos d'água canalizados na bacia/extensão total
2. Extensão do rio com mata ciliar/extensão total do rio principal	34. Extensão do corpo d'água retificado no rio principal/extensão total do rio principal
3. Área de mata ciliar/área total protegida na bacia	35. % de áreas de preservação permanente/bacia
4. Número de nascentes preservadas/total de nascentes da bacia	36. Áreas protegidas/área total da bacia
5. Dias de ocorrência de enchentes no rio principal/ano (vazões atípicas)	37. Incidência de doenças relacionadas à água do rio principal/ano
6. Existência de plano de bacia ou zoneamento na bacia	38. % de logradouros com pavimentação impermeável (tipos: asfalto, placa de concreto, paralelepípedo) na bacia
7. Investimentos Públicos (R\$) em ações de recuperação de recursos hídricos/bacia	39. % de resíduos sólidos urbanos gerados sem destinação adequada/bacia
8. Investimentos (R\$) em esgotamento sanitário/habitante na bacia	40. % de vias com varrição regular na bacia
9. Investimentos (R\$) em resíduos sólidos urbanos/habitante na bacia	41. % da vazão de esgotos sanitários sem tratamento/bacia
10. Investimentos (R\$) em drenagem urbana/habitante na bacia	42. % de domicílios interligados à rede coletora de esgotamento sanitário ou em fossa séptica na bacia
11. Investimentos (R\$) em pesquisas sobre a bacia/ano	43. Volume de resíduos sólidos (m ³) coletados/ano/bacia
12. Número de pesquisas sobre a bacia a cada 2 anos	44. Número de ocorrências de problemas significativos no Sistema de Drenagem Pluvial na bacia
13. Número de multas ambientais por lançamento inadequado de efluentes e/ou resíduos no rio principal	45. Volume de resíduos sólidos (m ³) dispostos na rede pluvial/ano/bacia
14. Áreas de inundação ocupadas/área total	46. Número de pontos de contenção de
15. Área assoreada/área total das margens	
16. Número de pontos potenciais à erosão e deslizamentos na bacia	
17. Total de áreas ocupadas por assentamentos informais ou formais em áreas de risco (planícies de inundação,	



<p>manguezais, encostas íngremes) na bacia</p> <p>18. % de domicílios cujos logradouros apresentaram ocorrência de alagamentos no último ano na bacia</p> <p>19. Número de pontos de resíduos sólidos nas margens do rio principal</p> <p>20. % de domicílios com coleta regular de resíduos sólidos domiciliares (RSD) na bacia</p> <p>21. Volume de esgoto tratado (m3)/ano/bacia</p> <p>22. Volume de esgoto coletado (m3)/ano/bacia</p> <p>23. % da população atendida pelo serviço público de coleta de RSD/ano/bacia</p> <p>24. Volume de resíduos líquidos (m3) lançados na rede pluvial/ano/bacia</p> <p>25. Volume de águas pluviais (m3) lançadas na rede de esgotos sanitários/ano/bacia</p> <p>26. % da área urbana com sistema de drenagem na bacia</p> <p>27. Presença de substâncias tóxicas (metais pesados, compostos orgânicos resistentes) nos sedimentos de fundo de rio/bacia</p> <p>28. Quantidade de coliformes termotolerantes (NMP/100ml)</p> <p>29. Índice de Qualidade da Água (IQA)</p> <p>30. Índice de Estado Trófico (IET)</p> <p>31. Frequência de requisitos ou padrões descumpridos/amostragem/ano na bacia</p> <p>32. Número de pontos ativos de monitoramento da qualidade da água na bacia</p>	<p>drenagens na bacia</p>
---	---------------------------

Com o encerramento da 2ª rodada, por fim, consolidou-se como apropriado o uso dos indicadores de sustentabilidade apresentados e avaliados para aplicação em bacias hidrográficas da Região da Amazônia Legal.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos com aplicação do método Delphi considerando um recorte regional demonstrou a capacidade de replicação do estudo nas localidades de atuação dos pesquisadores, considerando a variedade de territórios e contextos considerados nas avaliações de rios urbanos. A logística de recrutamento e contatação com pesquisadores se apresentou como desafio, mas o método se apresentou como uma metodologia representativa para a pesquisa com garantia de participação qualificada.

Ao fim da pesquisa, desenvolveu-se uma matriz de indicadores consolidada para otimizar a gestão dos recursos hídricos em bacias hidrográficas e o planejamento urbano e ambiental na Amazônia Legal Urbana, com possibilidades de aplicação para facilitar a comunicação de informações sobre os territórios e dados para construção de políticas públicas e projetos na região de maneira sustentável.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BLOOMBERG, M. F. In: GOLDSMITH, S.; CRAWFORD, S. *The Responsive City: Engaging Communities Through Data-Smart Governance*. Nova York: Jossey Bass, 2014.
2. CATANO, N.; MARCHAND, M.; STALEY, S.; WANG, Y. Development and Validation of the Watershed Sustainability Index (WSI) for the Watershed of the Reventazón River. Commission for the Preservation and Management of the Watershed of the Reventazón River – COMCURE, 2009.



SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO
DE ENGENHARIA SANITÁRIA
E AMBIENTAL



3. CARVALHO, A. T. F. Bacia hidrográfica como unidade de planejamento: discussão sobre os impactos da produção social na gestão de recursos hídricos no Brasil. *Caderno Prudentino de Geografia*, Presidente Prudente, n. 42, v. 1, p. 140-161, 2020.
4. GERGEL, S. E.; TURNER, M. G.; MILLER, J. R.; MELACK, J. M.; STANLEY, E. H. *Landscape indicators of human impacts to riverine systems. Aquatic Sciences*, v. 64, p.118-128, 2002.
5. GRISHAM, T. *The Delphi technique: a method for testing complex and multifaceted topics. International Journal of Managing Projects in Business*, v. 2, n. 1, p. 112-130, 2009.
6. HAMMOND, A., ADRIAANSE, A., RODENBURG, E., BRYANT, D. AND WOODWARD, R. *Environmental Indicators: A Systematic Approach to Measuring and Reporting on Environmental Policy Performance in the Context of Sustainable Development. World Resources Institute*, Washington DC, 50. 1995.
7. KAYO, E. K., & SECURATO, J. R. *Método Delphi: fundamentos, críticas e vieses. Cadernos de Pesquisa em Administração*, v. 1, n.4, p. 51-61, 1997.
8. KUMAMBALA, P. G.; ERVINE, A. *Water resources sustainable decision making for Malawi based on basin hydrology, human health and environment. Journal of Engineering and Technology*, v. 1, n. 1, 2008.
9. OSBORNE, COLLINS, S., RATCLIFFE, M., MILLAR, R., & DUSCHL, R. *What "Ideas-about-Science" should be taught in school science? A Delphi study of the expert community. Journal of Research in science teaching*, v. 40, n.7, p. 692-720. 2003.
10. REED, M. S.; FRAER, E. G.; DOUGILL, A. J. *An adaptive learning process for developing and applying sustainability indicators with local communities. Ecological Economics*, v. 59, n. 4, p. 406-418, 2006.
11. UNITED NATIONS. Agenda 21. Rio de Janeiro, Brasil: *United Nations Conference on Environment & Development*. 1992. 351 p. Disponível em: <<http://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/Agenda21.pdf>>. Acesso em: 16 jun. 2023.
- 12.