

XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE HÍDRICA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MARACANÃ, AMAZÔNIA ORIENTAL

*Lucas Lima Raiol¹; Aline Maria Meiguins de Lima²; Dayla Carolina Rodrigues Santos³; Yuri
Antonio da Silva Rocha⁴*

Abstract: The Maracanã River Basin (MRB), situated along Pará State's coastal zone, is shaped by the combined influence of fluvial and tidal regimes. Its territory harbours tourism, extractive and agricultural potential, yet still lacks integrated, system-oriented research. This study therefore assessed the basin's water sustainability through the Water Sustainability Index (WSI) to support basin-level planning. The methodology involved: (i) building indicators for the Hydrology for the Environment, Life and Policy (HELP) dimension across the basin's hydrological units, and (ii) calculating the ISH for each unit. Results indicate that environmental degradation, especially in the middle and upper reaches, is correlated with reduced vegetation cover. Weak social and political indicators in the municipalities are mirrored in basin governance. The overall ISH was intermediate (0.63). The Environmental (0.86) and Political (0.74) indicators scored highest, whereas the Hydrologic (0.60) and Social (0.32) indicators pulled the average down. These findings highlight both strengths and vulnerabilities, offering a basis for integrated planning in the MRB.

Keywords: water resources management; indicators; water sustainability index.

Resumo:

A bacia hidrográfica do rio Maracanã (BHRM), localizada na zona costeira do estado do Pará, possui particularidades que envolvem a influência dos regimes fluvial e de marés; seu uso potencial para o turismo, extrativismo e agrícola, além da necessidade da elaboração de pesquisas nessa região, principalmente através de uma análise integrada e sistêmica. Dessa forma, o objetivo da pesquisa foi analisar a sustentabilidade hídrica da BHRM, por meio do Índice de Sustentabilidade Hídrica (ISH), a fim de subsidiar no planejamento da bacia. Os procedimentos metodológicos envolveram: I) Construção dos indicadores da dimensão Hydrology for the Environment, Life and Policy (HELP) nas unidades hídricas da bacia, e II) Cálculo do ISH nas unidades hídricas da bacia. Os resultados mostraram que a degradação ambiental nas unidades hídricas da bacia, sobretudo nas regiões de médio e alto curso, está correlacionada com a porcentagem de cobertura vegetal. Os baixos indicadores sociais e políticos dos municípios refletem na gestão da BHRM. O ISH apresentou valor intermediário de 0,63, sendo o indicador Ambiental e o Político os que apresentaram maiores valores sendo 0,86 e 0,74 respectivamente. Os menores indicadores foram o Hidrológico (0,60) e o Social (0,32), pela qual refletiram no valor final médio do ISH. Os resultados podem contribuir para elencar

1) Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais (PPGCA), Instituto de Geociências (IG), Universidade Federal do Pará (UFPA), lucas.raiol@ig.ufpa.br

2) Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais (PPGCA), Instituto de Geociências (IG), Universidade Federal do Pará (UFPA), ameiguins@ufpa.br

3) Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais (PPGCA), Instituto de Geociências (IG), Universidade Federal do Pará (UFPA), dayla.santos@ig.ufpa.br

4) Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais (PPGCA), Instituto de Geociências (IG), Universidade Federal do Pará (UFPA), eng.yurirocha@gmail.com

as potencialidades e fragilidades apontadas na pesquisa, subsidiando o planejamento integrado da BHRM.

Palavras-Chave: gestão de recursos hídricos; indicadores; índice de sustentabilidade hídrica.

INTRODUÇÃO

A bacia hidrográfica é área delineada topograficamente por um sistema de drenagem aberto e dinâmico, se relacionando com os elementos desse sistema, tais como rochas, sedimentos, clima, geomorfologia, hidrologia, vegetação, solo, e variáveis sociais (Gomes; Bianchi; Oliveira, 2021). Portanto, é utilizada também como unidade para análises físicas, socioeconômica e política adequada para o seu planejamento e gestão, visto sua importância para os diversos organismos vivos e atividades como agricultura e indústria (Wang *et al.*, 2016). Com isso a gestão de bacia hidrográficas contribui visando um melhor aproveitamento dos recursos hídricos, através dos instrumentos e tomadas de decisão relacionados aos processos ecológicos, da terra e da água (Katusiime; Schütt, 2020).

No entanto diversos fatores naturais e sobretudo antrópicos podem alterar a dinâmica de funcionamento de uma bacia hidrográfica, ocasionando mudanças na biodiversidade e nas diversas atividades que usufruem da mesma. Nesse sentido, Leal (1995) afirma que a bacia hidrográfica por apresentar os elementos físicos, biológicos e humanos que compõem o meio, a bacia pode ser considerada como uma boa unidade de gestão. Portanto, impõe abordar todos seus elementos (água, solo, flora, fauna, uso e ocupação da terra, etc.) e compreendê-la como uma totalidade composta por elementos naturais e sociais inter-relacionados e dinâmicos.

As bacias na região Amazônica apresentam particularidades devido à complexidade do bioma e quanto as atividades que são desenvolvidas na mesma ao longo dos diversos históricos e contextos inseridos em uma região marcada por diversos processos e conflitos. A mesorregião do nordeste Paraense apresenta um histórico de ocupação marcado primeiramente pelo extrativismo vegetal no início da colonização pelos europeus, mas as necessidades de ocupação da Amazônia perante as outras nações fizeram com que a produção agrícola se desenvolvesse e ganhasse importância nacional, bem como a abertura de estradas que culminou no surgimento de núcleos urbanos. (Cordeiro *et al.*, 2017).

Para compreender essas transformações socioambientais, são utilizados índices de sustentabilidade, nas quais essas ferramentas mostram-se essenciais para avaliar a gestão de recursos hídricos, seu estado de degradação e a governança da água, bem como subsidiando em políticas voltadas para a gestão ambiental e dos recursos hídricos. Dessa forma, em um mundo onde cada vez mais o consumo hídrico insustentável tende a aumentar, são necessárias ferramentas que auxiliam na tomada de decisão e medidas de mitigação, visando o uso racional da água (Ferreira *et al.*, 2020). Nesse sentido, este trabalho teve como objetivo analisar a sustentabilidade hídrica na BHRM, através do índice de sustentabilidade hídrica (ISH), para auxiliar no planejamento da bacia e conhecer o estadual atual de degradação e governança dos recursos hídricos.

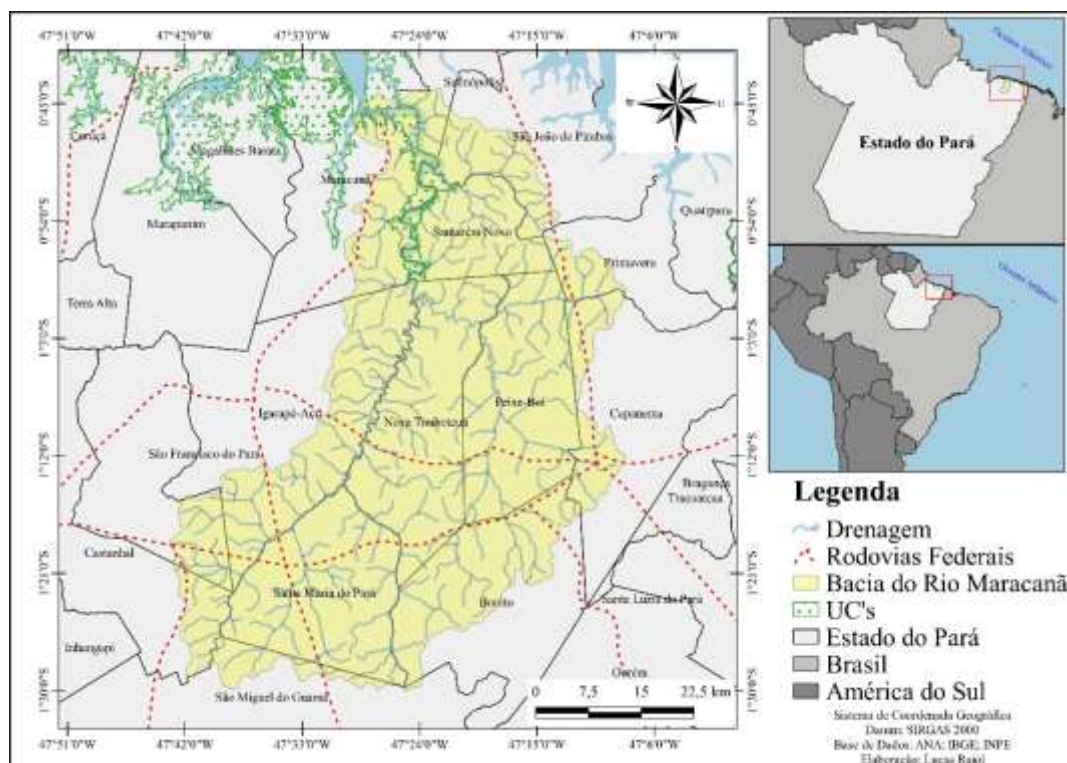
METODOLOGIA

Área de estudo

A BHRM (Figura 1) está localizada na mesorregião do nordeste do estado do Pará, zona costeira da Amazônia, possuindo uma área total de 3093,26 km². De acordo com a PERH/PA (Lei 6.381/2001) insere-se na Região Hidrográfica Costa Atlântica Nordeste (Resolução do CERH n. 04/2008), a qual a bacia abrange 14 municípios sendo: Maracanã, Igarapé-Açu, Santarém-Novo, Nova Timboteua,

São Francisco do Pará, Castanhal, Santa Maria do Pará, São Miguel do Guamá, Bonito, Capanema, Peixe-Boi, Primavera, São João de Pirabas e Salinópolis. As suas principais nascentes são nos municípios de Castanhal, São Miguel do Guamá e Santa Maria do Pará, e sua foz na baía do município de Maracanã. No baixo curso da bacia Maracanã, localiza-se a Reserva Extrativista (RESEX) Maracanã, com cerca 20,38% de seu território, e a RESEX Chocoaré - Mato Grosso com 60,34%.

Figura 1- Localização da BHRM, nordeste Paraense.



A bacia é de característica fluviomarinha e possui o clima na categoria de megatérmico úmido, do tipo *Am*, de acordo com a classificação de Köppen (Alvares *et al.*, 2013). A temperatura média anual varia de 25 °C a 27 °C e a precipitação média anual varia de 2500 mm a 2800 mm, com alta intensidade entre os meses de fevereiro a abril (trimestre chuvoso), e estiagem de setembro a novembro (período seco) (Alvares *et al.*, 2013).

Procedimentos metodológicos

Para alcançar o objetivo proposto foram adotados procedimentos metodológicos de sistematização, processamento e análise de dados através do software QGIS 3.34. O índice ISH foi utilizado e adaptado para a BHRM através da metodologia proposta por Chavez e Alipaz (2007). O ISH é um indicador usado para avaliar o estado atual de sustentabilidade uma bacia, através da integração de fatores para auxiliar na gestão da bacia, considerando a média aritmética dos indicadores.

Para este estudo foi utilizado a dimensão *Hydrology for the Environment, Life and Policy* (HELP), sendo os seguintes indicadores: *Hidrológico (Hydrologic Indicator-H)*, *Ambiental (Environmental Indicator-E)*, *Social (Life Indicator-L)* e *Político (Politic Indicator-P)*, as quais as variáveis correspondem de 0 a 1, sendo 0 significando pobres condições e 1 ótimas condições, e *ni* representa as variáveis consideradas (Chavez; Alipaz, 2007; Ferreira *et al.*, 2020).

Os indicadores foram adotados para condição estado da matriz Pressão-Estado-Resposta (PER) conforme adaptado pela metodologia de Chavez e Alipaz (2007) e utilizado por Rocha e Lima (2020) na bacia do Rio Guamá. A presente pesquisa utilizou a divisão de unidades hídricas, ou seja, aquelas menores bacias dentro de uma macrobacia, para aplicação do ISH, totalizando 23 unidades hídricas.

O Indicador Hidrológico (H) utilizado foi baseado no modelo *Blueprint* desenvolvido para a bacia do rio Tapajós por Petry *et al.* (2019). Esta ferramenta é apoiada na definição de cenários e indicadores sobre o estado de conservação dos recursos naturais, baseando-se em informações biológicas, hidrológicas, uso da terra e geomorfológicas, através de uma perspectiva dos meios aquáticos e terrestres. O modelo *Blueprint* foi desenvolvido na BRHM por Raiol *et al.* (2025), sendo utilizado tais resultados na composição do ISH.

O indicador ambiental (E) refere-se à classificação da cobertura vegetal, a qual foi realizada pelos dados do TerraClass de uso e cobertura da terra do ano de 2020 (INPE, 2023). Considerando a cobertura vegetal como sendo a junção das classes Floresta Primária, Floresta Secundária e Não Floresta.

Para o indicador social (L) foram consideradas as informações referentes aos aspectos socioeconômicos, políticos e institucionais de cada município que compõe as unidades hídricas, sendo o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) que é baseado no censo de 2010 e o Índice de Progresso Social (IPS) do ano de 2023, tais indicadores foram obtidos do Atlas de Desenvolvimento Humano do Brasil, e do Instituto do Homem e do Meio Ambiente da Amazônia (IMAZON), respectivamente (Imazon, 2023; Pnud, 2022). Foram realizadas médias ponderadas dos indicadores sociais de cada município, considerando os indicadores do IDHM e do IPS de cada município em relação as suas respectivas unidades hídricas para posteriormente realizar a média aritmética entre esses indicadores, afim de compor apenas um valor que represente o indicador social no cálculo do ISH. Nas unidades hídricas que estão dentro das sedes municipais, foram consideradas os indicadores integrais de IDHM e IPS dos municípios, pois estes são mais representativos devido a sede municipal aglomerar a maioria dos indicadores desses índices, bem como possuir a maior parte da população da sede municipal referente.

Para o indicador político (P) também foi utilizado a média ponderada e aritmética dos parâmetros de indicadores políticos municipais, estes são referentes a capacidade de gestão dos municípios em relação as questões ambientais, estrutura institucional, política e operacional, e gestão territorial. Os parâmetros P estão descritos na Tabela 1. As informações foram obtidas dos sites oficiais das prefeituras e órgãos públicos municipais, do Estado do Pará e do Governo Federal. Os parâmetros sobre gerenciamento costeiro foram incorporados para avaliar a capacidade de resposta relacionados ao tema dos municípios defrontantes com o mar na BHRM. Portanto, essas informações só foram contabilizadas para o indicador **P** os municípios costeiros presentes nas unidades hídricas. Dessa forma, foram utilizados 15 parâmetros de gestão, a qual foi atribuído pesos de 0 a 1, facilitando a comparação das condições analisadas dos municípios, a qual os valores próximos de 0 significa baixas condições, e 1 melhores condições de gestão.

Tabela 1- Parâmetros do indicador Político dos municípios que compõe a bacia.

Parâmetros	Classificação	Peso
Secretaria de meio ambiente	Individual	1
	Associada	0,5
	Ausente	0
Licenciamento ambiental	Realiza	1
	Não realiza	0
Possui conselho de meio ambiente	Existente	1
	Inexistente	0
Fundo municipal de meio ambiente	Existente	1

Parâmetros	Classificação	Peso
Participação no Programa Município Verdes	Inexistente	0
	Sim	1
	Não	0
Plano diretor municipal	Existente	1
	Inexistente	0
Plano de saneamento básico	Existente	1
	Inexistente	0
Política municipal de saneamento	Existente	1
	Inexistente	0
Acesso as informações sobre a gestão ambiental no website oficial do município	Existente	1
	Parcialmente	0,5
	Inexistente	0
Grau de cobertura de Cadastro Ambiental Rural (CAR) no município	$\leq 10\%$	0
	$10\% < G \leq 20\%$	0,25
	$20\% < G \leq 30\%$	0,5
	$30\% < G \leq 50\%$	0,75
	$> 50\%$	1
Coordenadoria municipal de proteção e defesa civil	Existente	1
	Inexistente	0
¹ Plano municipal de Gerenciamento Costeiro	Existente	1
	Inexistente	0
¹ Legislação municipal voltada ao gerenciamento costeiro	Existente	1
	Inexistente	0
² Termo de Adesão à Gestão das Praias (TAGP) visando o Projeto Orla	Sim	1
	Submetido	0,5
	Não/Indeferido	0
¹ Existem no município trabalhos/estudos ou projetos desenvolvidos para o gerenciamento costeiro	Existente	1
	Inexistente	0

¹Parâmetros utilizados apenas para municípios costeiros sendo: Maracanã, Salinópolis, São João de Pirabas, Santarém-Novo e Primavera.

² Parâmetros utilizados apenas para municípios com praias marítimas sendo: Maracanã, São João de Pirabas e Salinópolis.

A realização do cálculo do ISH foi composta pela média aritmética da dimensão HELP, através das suas respectivas pontuações (Tabela 2). Os indicadores Estado foram divididos em cinco pontuações de escala (0; 0,25; 0,50; 0,75 e 1) com intuito de simplificação da estimativa, sendo que 0 representa as piores condições e 1 para as melhores condições (Rocha; Lima, 2020). Posteriormente o resultado do WSI foi classificado em baixo, médio e alto, respectivamente: $WSI < 0,5$; $0,5 \leq WSI < 0,8$ e $WSI \geq 0,8$, conforme Chavez e Alipaz (2007). Interpreta-se que, quanto maior o valor do índice, melhor estará a sustentabilidade na bacia hidrográfica avaliada (Maynard *et al.*, 2017).

Tabela 2- Variáveis que compõe o ISH e seus respectivos pesos.

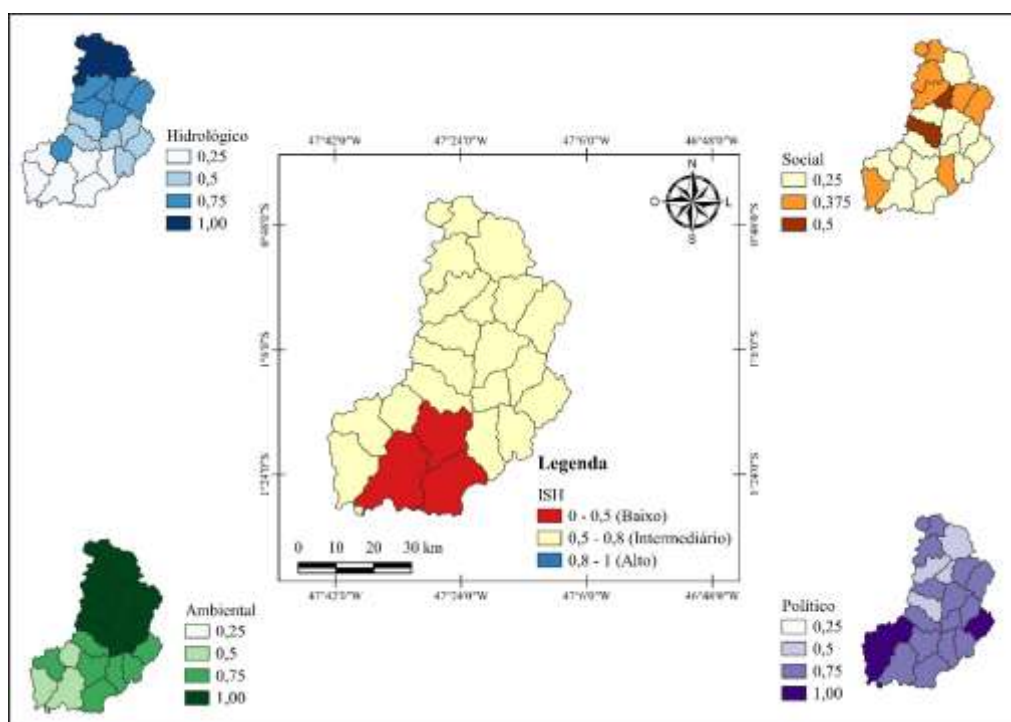
Indicador	Parâmetros da condição estado	Níveis definidos	Peso
Hidrológico	BluePrint Anual	$BPA > 300$	0,00
		$181 < BPA \leq 300$	0,25
		$121 < BPA \leq 181$	0,50
		$48 < BPA \leq 121$	0,75
		$0 < BPA \leq 48$	1,00

Indicador	Parâmetros da condição estado	Níveis definidos	Peso
Ambiental	%Área ocupada por cobertura florestal nas unidades hídricas	$\leq 5\%$	0,00
		$5\% < A \leq 15\%$	0,25
		$15\% < A \leq 30\%$	0,50
		$30\% < A \leq 45\%$	0,75
		$A > 45\%$	1,00
Sociais	Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM)	$\leq 0,5$	0,00
		$0,5 < IDHM \leq 0,6$	0,25
		$0,6 < IDHM \leq 0,75$	0,50
		$0,75 < IDHM \leq 0,9$	0,75
		$IDHM > 0,9$	1,00
	Índice de Progresso Social (IPS)	≤ 50	0,00
		$50 < IPS \leq 55$	0,25
		$55 < IPS \leq 58$	0,50
		$58 < IPS \leq 65$	0,75
		$IPS > 65$	1,00
Políticos	Capacidade gestão institucional, política, operacional e ambiental	$\leq 10\%$	0,00
		$10\% < P \leq 30\%$	0,25
		$30\% < P \leq 50\%$	0,50
		$50\% < P \leq 70\%$	0,75
		$P > 70\%$	1,00

RESULTADOS E DISCUSSÃO

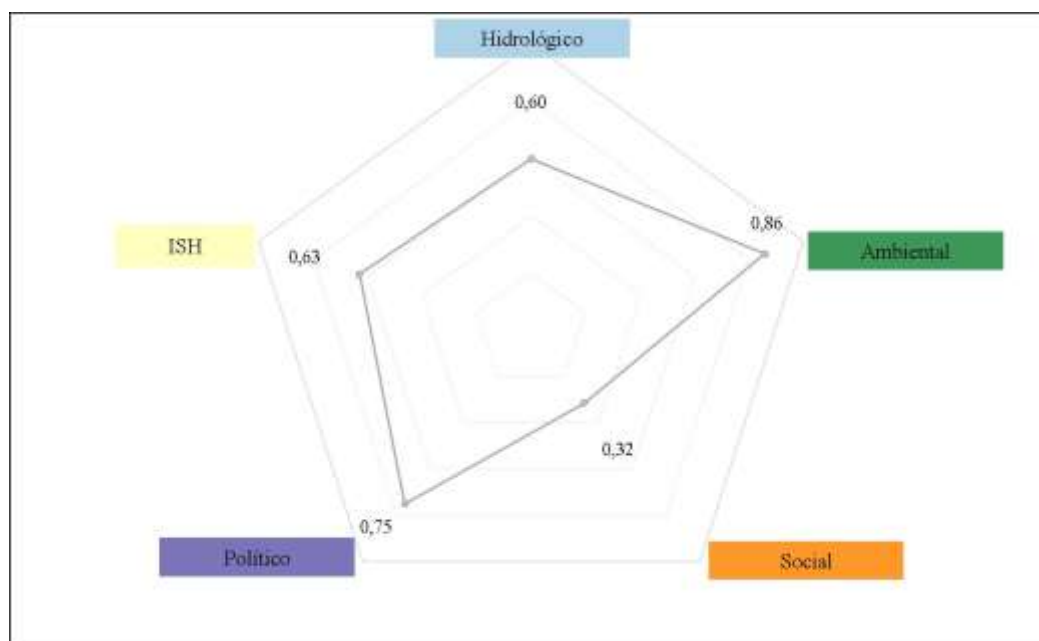
A sustentabilidade hídrica da BHRM (Figura 23) foi calculada a partir da dimensão HELP, através das médias aritméticas dos indicadores. Foi possível observar que a maioria das unidades hídricas apresentou valor intermediário de acordo com Chavez e Alipaz (2007), representando aproximadamente 80% da bacia, seguido de valores considerados baixos, indicando 20% do total da bacia. Os valores da classe alto não foram encontrados para a bacia.

Figura 3- Resultado do ISH e Indicadores da dimensão HELP.



A média geral do ISH para a bacia (Figura 24) mostrou um valor de 0,63, considerado um ISH intermediário de acordo com Chavez e Alipaz (2007). O indicador Ambiental e o Político foram os que apresentaram maiores valores sendo 0,86 e 0,74 respectivamente. Os menores indicadores foram o Hidrológico (0,60) e o Social (0,32), pela qual refletiram no valor final médio do ISH.

Figura 1- Média do ISH e dos Indicadores HELP da BHRM.



Estes resultados encontrados para a BHRM estão em consonância aos encontrados em bacias também na região da Amazônia Oriental e em outras partes do mundo (Tabela 3), como os encontrados por Ferreira *et al.* (2020) na bacia do rio Moju, que apresentou um ISH de 0,61 e com os menores indicadores sendo o social e o hidrológico com 0,47 e 0,50 respectivamente. Rocha e Lima (2020) encontram também um valor de intermediário (0,54) para a bacia do rio Guamá, sendo os indicadores sociais e políticos os menores, e os que mais influenciaram nesse valor de ISH.

Tabela 3- Comparação dos resultados encontrados de ISH em bacias hidrográficas no mundo.

ISH	Classificação de Acordo com Chavez e Alipaz (2007)	Localização	Referência
0,63	Intermediário	Bacia do rio Maracanã, Pará, Brasil	Esta pesquisa
0,61	Intermediário	Bacia do rio Moju, Pará, Brasil	Ferreira <i>et al.</i> (2020)
0,54	Intermediário	Bacia do rio Guamá, Pará, Brasil	Rocha e Lima (2020)
0,69	Intermediário	Bacia do rio Caripi, Pará, Brasil	Tamasauskas <i>et al.</i> (2016)
0,56	Intermediário	Bacia do rio Igarapé-Açú, Pará, Brasil	Tamasauskas <i>et al.</i> (2016)
0,66	Intermediário	Bacia do rio Japarutuba, Sergipe, Brasil	Maynard <i>et al.</i> (2017)
0,65	Intermediário	Bacia do rio São Francisco verdadeiro, Paraná, Brasil	Chavez e Alipaz (2007)
0,74	Intermediário	Bacia do rio Reventazón, Costa Rica	Catano <i>et al.</i> (2009)
0,68	Intermediário	Bacia do rio Langat, Malásia	Elfithri <i>et al.</i> (2018)

0,59	Intermediário	Bacia do rio Batang Merao, Indonésia	Firdaus <i>et al.</i> (2014)
0,61	Intermediário	Bacia do rio Elqui, Chile	Cortés <i>et al.</i> (2012)
0,36 e 0,51	Baixo e Intermediário	Bacia do rio Motru, Romênia	Mititelu-Ionuș (2017)
0,36	Baixo	Bacia do rio Santiago, México	Núñez-Razo <i>et al.</i> (2023)
0,34	Baixo	Bacia do rio Mashhad, Irã	Shafiei <i>et al.</i> (2022)

Em bacias adjacentes à BHRM, no nordeste do Pará, como a bacia do rio Caripi e Igarapé-Açu, foram encontrados valores intermediários de 0,69 e 0,56 respectivamente, sendo os menores indicadores foram os sociais, hidrológicos e políticos para a bacia do Caripi, e indicadores sociais e políticos para a bacia do rio Igarapé-Açu (Tamasauskas *et al.*, 2016). Na bacia do rio Marapanim, a maioria das sedes municipais que compõe a bacia, apresentaram valores intermediários, porém apenas a sede de São Francisco do Pará apresentou valores considerados bom, influenciados pelos baixos valores dos indicadores ambientais e hidrológicos (Silva *et al.*, 2021).

Outros resultados encontrados em outras regiões do Brasil e do Mundo, como encontrado por Maynard *et al.* (2017) para a bacia do rio Japaratuba, no estado de Sergipe apresentou um valor de 0,66 (intermediário); a bacia do rio São Francisco verdadeiro que apresentou 0,65 (intermediário) e a bacia do rio Reventazón, na Costa Rica que apresentou 0,74 (intermediário); além também da bacia do rio Langat, na Malásia que apresentou 0,68 (intermediário) (Chavez; Alipaz, 2007; Catano *et al.*, 2009; Elfithri *et al.*, 2018). Dessas bacias, apenas a do rio Reventazón apresentou valores mais críticos para o Indicador Social, e as bacias do rio Japaratuba e Langat que foram o indicador hidrológico, sendo estes resultados semelhantes ao encontrado pela pesquisa (Chavez; Alipaz, 2007; Catano *et al.*, 2009; Elfithri *et al.*, 2018).

Na bacia do rio Batang Merao, na Indonésia, foram encontrados valores mais baixos para o indicador hidrológico, político e social, influenciando em ISH geral de 0,59 (Firdaus *et al.*, 2014). Já na bacia do rio Elqui, no Chile o ISH geral foi de 0,6, com indicadores hidrológicos (0,50) e social (0,58) considerados os mais baixos da dimensão HELP (Cortés *et al.*, 2012). Na bacia do rio Motru, na Romênia, o ISH foi analisado em diferentes períodos, sendo na primeira (2002-2007), o ISH geral foi de 0,36 (baixa sustentabilidade), e no segundo período de análise (2002-2012) apresentou 0,51 (intermediário) (Mititelu-Ionuș, 2017). No primeiro período, os indicadores hidrológicos, sociais e políticos foram os que apresentaram baixos valores, no entanto no segundo períodos, apenas os indicadores políticos e sociais apresentaram baixos valores, o que correspondeu a uma melhora no indicador hidrológico na bacia do rio Motru (Mititelu-Ionuș, 2017).

Outros resultados diferentes foram encontrados por Núñez-Razo *et al.* (2023) na bacia do rio Santiago, no México, com uma média geral de 0,36, sendo influenciados principalmente pela Indicador Ambiental em sub-bacias de baixa sustentabilidade hídrica, e pelo Indicador Hidrológico nas sub-bacias que obtiveram valores de ISH intermediário. Na bacia do rio Mashhad, no Irã, foi encontrado um ISH geral de 0,34 (baixa sustentabilidade), na qual usou componentes diferentes do HELP, sendo: técnico, ambiental, econômico e social, com resultados 0,23, 0,25, 0,43, 0,56 respectivamente, bem como usou diferentes pesos para cada componente na composição do ISH (Shafiei *et al.*, 2022).

CONCLUSÕES

O ISH apresentou uma média geral para a bacia considerada intermediária sustentabilidade hídrica (0,63), na qual a região de alto curso apresentou baixa sustentabilidade hídrica, respondendo à 20% de toda a bacia. O indicador Ambiental e o Político foram os que apresentaram maiores valores sendo 0,86 e 0,74 respectivamente. Os menores indicadores foram o Hidrológico (0,60) e o Social (0,32), pela qual refletiram no valor final médio do ISH. A aplicação do ISH na BHRM apresentou

algumas limitações relacionadas a dados sobre qualidade de água, vazão e nível dos rios, sobretudo nos indicadores hidrológicos e ambientais, o que representa uma dificuldade encontrada em bacias na região, pois existe uma lacuna grande de monitoramento de qualidade da água e hidrológica nos rios amazônicos. Apesar disso, os resultados mostram-se satisfatórios e podem contribuir com os tomadores de decisão e sociedade civil no planejamento da bacia, no que concerne o plano de manejo, comitê de bacia e demais aplicações de políticas públicas de gestão de recursos hídricos, pois esta pesquisa elencou potencialidades e fragilidades ao longo da bacia.

REFERÊNCIAS

- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. (2013). “Köppen’s climate classification map for Brazil”. *Meteorologische Zeitschrift* 22(6), pp. 711 – 728.
- CATANO, N.; MARCHAND, M.; STALEY, S.; WANG, Y. (2009). *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), [s.l.], 206 p.
- CHAVEZ, H. M. L.; ALIPAZ, S. (2007). “An integrated indicator based on basin hydrology, environment, life, and policy: the Watershed Sustainability Index”. *Water Resources Management* 21(5), pp. 883 – 895.
- CORDEIRO, I. M. C. C.; ARBAGE, M. J. C.; SCHWARTZ, G. (2017). “Nordeste do Pará: configuração atual e aspectos identitários”, in *Nordeste Paraense: panorama geral e uso sustentável das florestas secundárias*, org. por Cordeiro, I. M. C. C.; Rangel-Vasconcelos, L. G. T.; Schwartz, G.; Oliveira, F. A., EDUFRA, Belém-PA, pp. 19 – 58.
- CORTÉS, A. E.; OYARZÚN, R.; KRETSCHMER, N.; CHAVES, H.; SOTO, G.; SOTO, M.; MATURANA, H. (2012). “Application of the Watershed Sustainability Index to the Elqui River Basin, North-Central Chile”. *Obras y Proyectos* 12(2), pp. 57 – 69.
- ELFITHRI, R.; MOKHTAR, M.; ABDULLAH, M. P.; TAHA, M. R.; TORIMAN, M. E.; YASIN, R. M.; GASIM, M. B. (2018). “Watershed Sustainability Index for Langat UNESCO HELP River Basin, Malaysia”. *International Journal of Engineering & Technology* 7(3.14), pp. 187 – 190.
- FERREIRA, S. C. G.; LIMA, A. M. M.; CORRÊA, J. A. M. (2020). “Indicators of hydrological sustainability, governance and water-resource regulation in the Moju River Basin (PA), Eastern Amazonia”. *Journal of Environmental Management* 263, Art. 110354.
- FIRDAUS, R.; NAKAGOSHI, N.; IDRIS, A. (2014). “Sustainability assessment of a humid tropical watershed: a case of the Batang Merao watershed, Indonesia”. *Procedia Environmental Sciences* 20, pp. 722 – 731.
- GOMES, R. C.; BIANCHI, C.; OLIVEIRA, V. P. V. (2021). “Análise da multidimensionalidade dos conceitos de bacia hidrográfica”. *GEOgraphia* 23(51), pp. 1 – 19.
- INSTITUTO DO HOMEM E DO MEIO AMBIENTE DA AMAZÔNIA (IMAZON). (2023). *Índice de Progresso Social Amazônia (IPS Amazônia)*. 40 p. Disponível em: www.ipsamazonia.org.br.
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). (2023). *Bioma Amazônia – TerraClass*. TerraBrasilis Catalogue. Disponível em: <http://terrabilis.dpi.inpe.br/geonetwork>.

- KATUSIIME, J.; SCHÜTT, B. (2020). "Linking land tenure and integrated watershed management: a review". *Sustainability* 12(4), Art. 1667.
- LEAL, A. C. (1995). *Meio Ambiente e Urbanização na Microbacia do Areia Branca – Campinas/SP*. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro-SP, 154 p.
- MAYNARD, I. F. N.; CRUZ, M. A. S.; GOMES, L. J. (2017). "Aplicação de um índice de sustentabilidade na bacia hidrográfica do rio Japarutuba em Sergipe". *Ambiente & Sociedade* 20(2), pp. 201 – 220.
- MITITELU-IONUȘ, O. (2017). "Watershed Sustainability Index development and application: case study of the Motru River in Romania". *Polish Journal of Environmental Studies* 26(5), pp. 2135 – 2147.
- NÚÑEZ-RAZO, I.; ANDA, J.; BARRIOS-PIÑA, H.; OLVERA-VARGAS, L. A.; GARCÍA-RUIZ-GARCÍA, M.; HERNÁNDEZ-MORALES, S. (2023). "Development of a Watershed Sustainability Index for the Santiago River Basin, Mexico". *Sustainability* 15(10), Art. 8428.
- PETRY, P.; HIGGINS, J.; CARNEIRO, A.; RODRIGUES, S.; HARRISON, D.; BARA, P.; VALE, R.; GARCIA, E. (2019). *Conservação da Bacia do Tapajós: uma visão de sustentabilidade*. The Nature Conservancy, São Paulo-SP, 21 p.
- PNUD – PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO. (2022). *Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil*. Disponível em: <http://www.atlasbrasil.org.br/>.
- RAIOL, L. L.; ROCHA, Y. A. S.; LIMA, A. M. M.; VELASTEGUI-MONTOYA, A. (2025). "Assessment of environmental degradation and conservation in the Maracanã River Basin, Eastern Amazon". *Frontiers in Environmental Science* 12, Art. 1506701.
- ROCHA, N. C. V.; LIMA, A. M. M. (2020). "Water sustainability of the Guamá River Basin, Eastern Amazonia/Brazil". *Sociedade & Natureza* 32, pp. 130 – 148.
- SHAFIEI, M.; RAHMANI, M.; GHARARI, S.; DAVARY, K.; ABOLHASSANI, L.; TEIMOURI, M. S.; GHARESIFARD, M. (2022). "Sustainability assessment of water management at river-basin level: concept, methodology and application". *Journal of Environmental Management* 316, Art. 115201.
- SILVA, J. C. C.; LIMA, A. M. M.; HOLANDA, B. S.; ANDRADE-MOREIRA, F. D. S.; COSTA-CAVALCANTE, J. (2021). "Sustainability index in the municipal district of the Marapanim River watershed (Pará/Brazil)". *Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade* 10(1), pp. 1 – 23.
- TAMASAUSKAS, P. F. L. F.; SOUZA, L. F. P.; LIMA, A. M. M.; SILVA, M. A. P.; ROCHA, E. J. P. (2016). "Métodos de avaliação da influência das áreas ripárias na sustentabilidade hidrológica em bacias hidrográficas no nordeste do Estado do Pará". *Caderno de Geografia* 26(45), pp. 172 – 186.
- WANG, G.; MANG, S.; CAI, H.; LIU, S.; ZHANG, Z.; WANG, L.; INNES, J. L. (2016). "Integrated watershed management: evolution, development and emerging trends". *Journal of Forestry Research* 27, pp. 967 – 994.