



Índice de sustentabilidade nas sedes municipais da bacia hidrográfica do rio Marapanim (Pará/Brasil)

Jéssica Cristina Conte da Silva¹ Aline Maria Meiguins de Lima² Bruno Silva de Holanda³ Fernanda da Silva de Andrade Moreira⁴ Juliane da Costa Cavalcante⁵

¹ Mestra em Ciências Ambientais, Universidade Federal do Pará – UFPA. Belém, Pará – Brasil.

jessicacris07@hotmail.com

² Doutora em Desenvolvimento Socioambiental, Universidade Federal do Pará – UFPA. Belém, Pará – Brasil.

ameiguins@ufpa.br

³ Mestre em Ciências Ambientais, Universidade Federal do Pará – UFPA. Belém, Pará – Brasil.

bruno.s.holanda@gmail.com

⁴ Mestra em Ciências Ambientais, Universidade Federal do Pará – UFPA. Belém, Pará – Brasil.

fsamoreira@hotmail.com

⁵ Mestra em Ciências Ambientais, Universidade Federal do Pará – UFPA. Belém, Pará – Brasil.

julianecosta63@gmail.com

Cite como

American Psychological Association (APA)

Silva, J. C. C., Lima, A. M. M., Holanda, B. S., Moreira, F. da S. de A., & Cavalcante, J. da C. (2021). Índice de sustentabilidade nas sedes municipais da bacia hidrográfica do rio Marapanim (Pará/Brasil). *Rev. Gest. Ambient. e Sust. - GeAS*, 10(1), 1-24, e18300. <https://doi.org/10.5585/geas.v10i1.18300>.

Resumo

Objetivo: O presente estudo aplica o índice de sustentabilidade hídrica às sedes municipais pertencentes à bacia hidrográfica do rio Marapanim, visando avaliar a gestão dessas cidades por meio dos indicadores de Pressão-Estado-Resposta (PER).

Metodologia: O índice de sustentabilidade hídrica aplicado, derivado da metodologia de Chaves e Alipaz (2007), propõe indicadores-chave (Hidrológico, Ambiental, Social e Político), que foram estruturados e avaliados segundo a matriz de Pressão-Estado-Resposta.

Relevância: Os indicadores de Pressão-Estado-Resposta, formulados pela Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), têm elevado potencial de aplicação na gestão de recursos hídricos e na construção de políticas voltadas para resolução de conflitos associados ao uso das águas.

Resultados: As sedes municipais de Castanhal, Igarapé-Açu, Marapanim e Terra Alta obtiveram o índice de sustentabilidade 0,40; 0,50; 0,44; 0,54 e 0,5 respectivamente (Regular) e São Francisco do Pará alcançou um resultado de 0,54 (Bom). Apesar de estarem na mesma bacia hidrográfica, cada uma teve sua particularidade em relação à matriz de PER, com fragilidades em comum, principalmente nos indicadores hidrológico e ambiental.

Contribuições teóricas: No apoio à formulação de políticas públicas, que representem a realidade das bacias hidrográficas associadas, possibilitando ações mais efetivas para sua recuperação, conservação e preservação de áreas prioritárias.

Contribuições para a gestão: Na avaliação integrada de vários indicadores (hidrológico, ambiental, político e social), o que possibilita uma visão mais direcionada das necessidades de cada território hídrico, orientando a tomada de decisão dos gestores públicos.

Palavras-chave: Indicadores. Gerenciamento. Recursos hídricos. Território hídrico. Usos da água.

Sustainability index in the municipal district of the Marapanim river watershed (Pará/Brazil)

Abstract

Objective: The present study applies the water sustainability index to municipal seats belonging to the





Marapanim river basin, aiming to assess the management of these cities through Pressure-State-Response (PSR) indicators.

Methodology: The applied water sustainability index, derived from Chaves and Alipaz (2007), proposes key indicators (Hydrology, Environment, Life, and Policy), structured and evaluated according to the Pressure-State-Response matrix.

Relevance: The Indicators of Pressure-State-Response, formulated by the Organization for Economic Cooperation and Development (OECD), have a great potential for application in the management of water resources and construction of policies for resolving conflicts over water use.

Results: The municipal offices of Castanhal, Igarapé-Açu, Marapanim, and Terra Alta obtained a sustainability index of 0.40; 0.50; 0.44; 0.54 and 0.5 respectively (Regular), and São Francisco do Pará achieved a result of 0.54 (Good). Despite being in the same watershed, each had its particular response in the PSR matrix, with weaknesses in common, especially in hydrologic and environmental indicators.

Theoretical contributions: The principal contribution is to support the formulation of public policies capable of representing reality the reality of the watersheds associated with more effective action recovery, conservation, and preservation of priority areas.

Management contributions: The contribution lies in the integration of various indicators (hydrological, environmental, policy, and life) that represent the needs of each water territory, supporting the decision-making of public managers.

Keywords: Indicators. Management. Water resources. Water territory. Uses of water.

Índice de sostenibilidad en la sede municipal de la cuenca hidrográfica del río Marapanim (Pará/Brasil)

Resumen

Objetivo: Este estudio aplica el índice de sostenibilidad hídrica a cabeceras municipales pertenecientes a la cuenca hidrográfica del río Marapanim, con el objetivo de evaluar la gestión de estas ciudades a través de indicadores Presión-Estado-Respuesta (PER).

Metodología: El índice de sostenibilidad hídrica aplicado, derivado de la metodología de Chaves y Alipaz (2007), propone indicadores clave (Hidrológico, Ambiental, Social y Político) que fueron estructurados y evaluados de acuerdo a la matriz Presión-Estado-Respuesta.

Relevancia: Los indicadores Presión-Estado-Respuesta, formulados por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), tienen un alto potencial de aplicación en la gestión de los recursos hídricos y en la construcción de políticas orientadas a resolver conflictos asociados al uso de aguas.

Resultados: Las oficinas municipales de Castanhal, Igarapé-Açu, Marapanim y Terra Alta obtuvieron un índice de sostenibilidad de 0,40; 0,50; 0,44; 0,54 y 0,5 respectivamente (Regular) y São Francisco do Pará lograron un resultado de 0,54 (Bueno). A pesar de estar en la misma cuenca, cada uno tenía su particularidad con relación a la matriz PER, con debilidades comunes, especialmente en los indicadores hidrológicos y ambientales.

Aportes teóricos: Apoyar la formulación de políticas públicas que representen la realidad de las cuencas hidrográficas asociadas, posibilitando acciones más efectivas para su recuperación, conservación y preservación de áreas prioritarias.

Aportes a la gestión: En la evaluación integrada de diversos indicadores (hidrológico, ambiental, político y social), que posibilita una visión más focalizada de las necesidades de cada territorio hídrico, orientando la toma de decisiones de los gestores públicos.

Palabras clave: Indicadores. Gestión. Recursos hídricos. Territorio de agua. Usos del agua.

Introdução

Na região Amazônica, no que se refere à sustentabilidade ambiental e econômica, o aumento gradual da exploração dos recursos naturais, revelado através dos índices anuais de desmatamento de floresta nativa, ocasionou diversos problemas e impactos ambientais, sendo um reflexo do modelo de desenvolvimento adotado na década de 1970 (Pereira et al, 2016; Gorayeb et al., 2009). Dentre esses problemas, a expansão das cidades, associada aos



impactos na qualidade das águas, conduz a um cenário que gera problemas sociais e econômicos, em que o conflito pelo uso da água passa a ser recorrente na sua multiplicidade e em finalidades diversas (Poletto, 2014).

Segundo Grostein (2001), esse é um padrão recorrente no Brasil, onde a urbanização desordenada, atrelada à falta de saneamento básico, apresenta uma componente de insustentabilidade, que afeta notadamente a qualidade dos recursos hídricos. E, não diferente, o mesmo é observado na bacia hidrográfica do rio Marapanim, localizada no estado do Pará, inserida na mesorregião do nordeste paraense, que, segundo Andrade et al. (2018), é considerada a mais antiga em colonização da Amazônia. Portanto, apresenta uma paisagem bastante antropizada.

Obregón (2013) afirma que essas relações entre ocupação territorial e o aumento da demanda pela água abrangem o conceito de território hidrológico, que corresponde àquele espaço onde a água é uma peça fundamental, pois usa disponibilidade (quantidade e qualidade), apropriação e acessibilidade, sendo indispensáveis para manter relações sociais e atividades protetivas, articulando situações de conflito e tensão, segundo as distintas modalidades de utilização da água.

É fundamental que ocorra a integração do espaço hídrico com as cidades, para que estas se reconheçam pertencentes ao seu território. E uma das maneiras é o planejamento adequado a partir da conexão da bacia hidrografia, que segundo Ribeiro (2016) é a unidade fundamental para o gerenciamento dos recursos hídricos e para o planejamento ambiental, com as suas sedes municipais.

De forma a associar essa relação entre as cidades e os sistemas hídricos, são adotados indicadores de sustentabilidade, que, segundo Sousa et al. (2018), têm como finalidade caracterizar o ambiente urbano, mostrando a sustentabilidade ou a falta dela. Maynard et al. (2017) e Sousa et al. (2018) afirmam que a aplicação de um índice de sustentabilidade, englobando diferentes aspectos e respostas socioeconômicas e ambientais, busca analisar as demandas locais existentes, com o objetivo de subsidiar informações gerais que ajudem na tomada de decisão dos gestores públicos.

Segundo Rocha et al. (2020), os índices e indicadores são bons instrumentos que possuem a finalidade de apresentar tendências e fornecer uma resposta eficiente para as ações executadas, tendo um potencial em auxiliar no processo decisório e na gestão participativa, uma vez que permitem a compreensão da realidade através do monitoramento e do gerenciamento dos recursos naturais no tempo e no espaço; como exemplo, cita-se a proposta de Chaves e Alipaz (2007), que discute o Índice de Sustentabilidade Hídrica (WSI) e trabalhos derivados, tais como Cortés et al. (2012), Juwana et al. (2012), Chandniha et al. (2014), Mititelu-Ionuș (2017), Maiolo e Pantusa (2019), Ferreira et al. (2020) e Rocha et al. (2020).





Os indicadores de Pressão-Estado-Resposta (PER) foram elaborados pela Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) com base no modelo ER (Estresse-Resposta, criado por Anthony Friend e David Rapport, em 1979, pelo *Statistics Canada*), de acordo com Felinto et al. (2018). Sua aplicabilidade e potencial de integração com múltiplas variáveis o tornam um mecanismo de fácil replicação no processo de gestão de recursos hídricos, orientando a construção de políticas públicas e resolução de conflitos em bacias hidrográficas. Assim o objetivo desse trabalho é avaliar o processo de gestão das sedes municipais Castanhal, Igarapé-Açu, Marapanim, São Francisco do Pará e Terra Alta, pertencentes à bacia hidrográfica do Rio Marapanim, através do índice de sustentabilidade hídrica com indicadores de Pressão-Estado-Resposta (PER).

Indicadores de sustentabilidade

Os indicadores econômicos foram criados durante a segunda guerra mundial com o objetivo de medir a produção utilizada com o conflito. Posteriormente os índices — como Produto Interno Bruto (PIB) — foram acrescentados à gestão econômica dos países como maneira de medir sua riqueza. Porém, somente esse índice não conseguiria avaliar o bem-estar da população, já que deveriam ser levados em consideração outros agentes além da economia, como os fatores sociais e ambientais (Malheiros et al., 2013; Pott e Estrela, 2017).

Em 1987, a Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento publicou o relatório de Brundtland, trazendo pela primeira vez o conceito de desenvolvimento sustentável (Neamtu, 2012; Kemerich et al., 2014). No ano de 1992, a Conferência Mundial sobre o Meio Ambiente (Rio 92) o consagrou como meta mundial, tendo ainda como destaque os documentos: Declaração do Rio, Agenda 21, Convenção do Clima e Convenção da Biodiversidade. Tais documentos preconizam a utilização de indicadores de sustentabilidade (Malheiros et al., 2013).

Silva et al. (2014) destacam que os conceitos de índices e de indicador são por vezes utilizados de maneira superficial; entretanto, essa diferença pode ser desfeita quando se caracteriza o índice como um valor agregado final, que tem significado. Nesse sentido, para o procedimento de cálculo de sua composição, podem ser adotados vários indicadores. Para Maynard et al. (2017), os índices são entendidos como resultado da combinação de um conjunto de parâmetros associados uns aos outros por meio de uma relação pré-estabelecida, que dá origem a um único valor e a obtenção desse valor pode ser por meio de estatística, formulação analítica ou cálculo matemático.

Kemerich et al. (2014) e Felinto et al. (2018) admitem, ainda, um indicador como um parâmetro que tem a capacidade de descrever um estado ou uma resposta dos fenômenos que ocorrem em um meio, representando uma forma de percepção da realidade. Além disso,



existem inúmeros indicadores utilizados para medir a sustentabilidade. De acordo com Cammarrota e Pierantoni (2005), Juwana et al. (2012), Tischer et al. (2015), Ferreira et al. (2020) e Yu et al. (2020), podem ser destacados, como os mais utilizados para ferramenta de avaliação de sustentabilidade, os indicadores de Pressão-Estado-Resposta (PER), Força Motriz-Pressão-Estado-Resposta (FPER), Força Motriz-Pressão-Estado-Impacto-Resposta (FPEIR), Barômetro da Sustentabilidade (BS), Painel da Sustentabilidade (DS) e Pegada Ecológica (PE).

O PER, que tem sua origem associada às pesquisas vinculadas à Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), teve uma imediata aplicação em vários segmentos de gestão vinculados às políticas ambientais, derivando novas formas de aplicação, com o objetivo de distinguir mais ainda as atividades componentes do mesmo. Assim surgiram os indicadores de Força Motriz-Pressão-Estado-Resposta (FPER) e Força Motriz-Pressão-Estado-Impacto-Resposta (FPEIR) adaptados pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) da Agência Europeia de Meio Ambiente (AEA) (Cammarrota e Pierantoni, 2005; Tischer et al., 2015; Lima et al., 2017).

Ainda é importante destacar que os indicadores de sustentabilidade hídrica (ISH) utilizam as mesmas bases dos indicadores PER, FPEIR e outros, porém com o recorte territorial da bacia hidrográfica, conforme utilizado nos trabalhos de Chaves e Alipaz (2007), Juwana et al. (2012), Silva et al. (2014), Araújo et al. (2019), Ferreira et al. (2020) e Rocha et al. (2020). Maynard et al. (2017) afirmam que a sustentabilidade dos recursos hídricos exige atender às necessidades dos diversificados usos da água, como o uso doméstico, a irrigação, o uso industrial, a recreação e a geração de energia, além do desenvolvimento econômico que depende, ao mesmo tempo, de ações de proteção ao meio ambiente e da melhoria das condições sociais. Juwana et al. (2012) apontam caminhos para a sustentabilidade da água, que incluem a importância da infraestrutura hídrica, qualidade ambiental, economia e finanças, instituições e sociedade, saúde e bem-estar humano, bem como planejamento e tecnologia.

Rocha et al. (2020) destacam que ISH busca manter o equilíbrio dinâmico entre a oferta e a demanda por água, de modo que os mananciais sejam utilizados a taxas iguais ou inferiores a sua resiliência, ressaltando, ainda, a sua interdisciplinaridade, por se tratar de vários parâmetros na área hidrológica, ambiental, social e política. Com isso, Kemerich et al. (2014) destacam que a sustentabilidade é um processo de mudança, de aperfeiçoamento constante e de transformação estrutural que deve ter a participação da população como um todo. Nesse caso, é necessário considerar uma expressiva quantidade de dados que comuniquem com os mais diferentes tipos de planos, tanto na esfera local, quanto regional, nacional e internacional, indicando os estados e as tendências das variáveis socioeconômicas e das associadas aos recursos naturais (Maynard et al., 2017).



Juwana et al. (2012) ressaltam que a análise de indicadores em múltiplas escalas tem como objetivo subsidiar as atividades de planejamento público e a formulação de políticas sociais nas diferentes esferas de governo, possibilitando o monitoramento das condições de vida e bem-estar da população por parte do poder público e da sociedade civil. Além disso, a democratização das informações favorece o aumento da participação popular na formulação das políticas públicas; e os indicadores se tornam instrumentos para o controle da gestão e medição de sua eficiência e eficácia (Teixeira et al., 2015). Por fim, é fundamental entender o processo dos indicadores de sustentabilidade, pois a sua existência se torna uma ferramenta vital para auxiliar as tomadas de decisões da sociedade, assim alcançando a sustentabilidade.

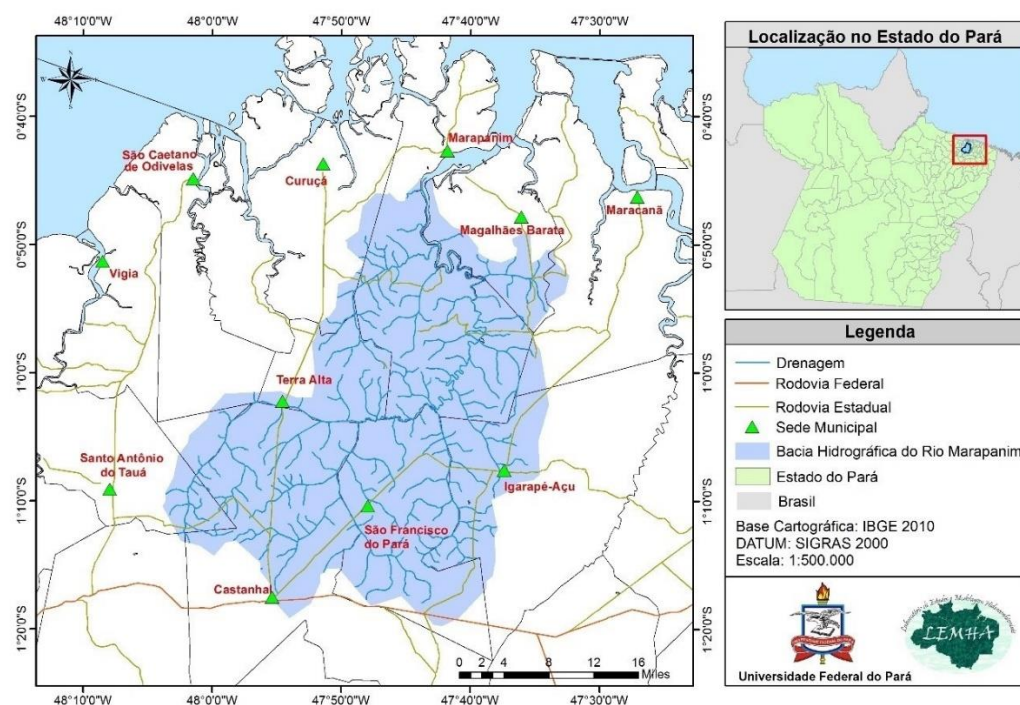
Metodologia

Área de estudo

A área de estudo são as sedes dos municípios de Castanhal, Igarapé-Açu, Marapanim, São Francisco do Pará e Terra Alta, que estão inseridas na bacia hidrográfica do rio Marapanim (Figura 1) no estado do Pará, na Macrorregião Hidrográfica Costa Atlântica Nordeste Ocidental, Sub-região Hidrográfica Costa Atlântica.

Figura 1

Localização da bacia hidrográfica do rio Marapanim.



Fonte: Elaboração própria (2020).

As hidrografias das sedes municipais apresentam influência direta no rio Marapanim,



que é o principal curso d'água da bacia do rio Marapanim. Sua nascente principal está localizada a noroeste da sede do município de Castanhal até a foz na baía do Marapanim, totalizando uma extensão de 127,80 km e seus principais rios afluentes são os rios Maú e Paramaú (Teixeira, 2015; Santos et al., 2019).

O município de São Francisco do Pará tem como principal curso d'água o braço direito do rio Marapanim, que tem como afluente direto o Igarapé-Açu, localizado próximo à sede municipal de Igarapé-Açu. Já o município de Terra Alta tem o perímetro urbano da cidade delimitado pelo braço esquerdo do rio Marapanim, ao sul, dando origem a vários balneários da cidade (FAPESPA, 2016a). A sede municipal de Castanhal é caracterizada como um entreposto agrícola, sendo o centro comercial mais importante na região (Rodrigues e Vieira, 2017). Já os municípios de Igarapé-Açu, Marapanim, São Francisco e Terra Alta apresentam uma organização econômica voltada para a agricultura, pecuária, extrativismo e pesca artesanal (Miranda, 2012; FAPESPA, 2016a; Alves et al, 2018).

Índice de Sustentabilidade Hídrica (WSI)

O índice de sustentabilidade hídrica das bacias hidrográficas foi aplicado em cada sede municipal que está inserida na bacia do Rio Marapanim, utilizando uma adaptação da metodologia aplicada por Chaves e Alipaz (2007), que propõe indicadores-chave compostos em 4 grupos: Hidrológico (H - *hydrology*), Ambiental (E - *environment*), Social (L - *life*) e Política (P - *policy*); estruturados em uma matriz de Pressão-Estado-Resposta (PER), conforme mostrado na Tabela 1. Cada indicador chave apresenta uma estimativa que pode variar de 0 (zero) a 1(um), dividido em escala de 0; 0,25; 0,5; 0,75; e 1, em que 0 (zero) significa condições ruins e 1 (um) condições boas. O índice de sustentabilidade das bacias hidrográficas (WSI) foi obtido pela equação 1.

$$WSI = (H + E + L + P)/4 \quad (1)$$

Chaves e Alipaz (2007), apesar de considerarem que todos os indicadores têm o mesmo peso, reconhecem que os pesos dos indicadores podem variar de bacia para bacia e devem ser escolhidos por consenso entre as partes interessadas, pois, usando o mesmo peso, evita-se a distorção dos resultados e permite-se o respeito mútuo entre os diferentes setores e partes interessadas.





Tabela 1

Indicadores de hidrológicos, ambientais, sociais e políticos

| Indicadores | Parâmetros | | |
|--------------------------|------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| | Pressão | Estado | Resposta |
| Hidrológicos (Hydrology) | % Variação do índice de atendimento urbano de água no período de 2013 a 2017 | % Índice de atendimento urbano de água de 2017 | Evolução na eficiência de uso de água na sede municipal no período de 2013 a 2017 |
| | % Variação do índice de esgotamento sanitário no período de 2013 a 2017 | % Índice de Esgotamento Sanitário de 2017 | Evolução no tratamento e disposição de esgotos na sede municipal, no período de 2013 a 2017 |
| Ambientais (Environment) | Índice de Pressão Antrópica (EPI): período de 1999 a 2017 | % Área de Vegetação natural remanescente nas sedes municipais em 2017 | Evolução nas áreas protegidas (Reservas e Boas Práticas de manejo) na bacia entre 1999 a 2017 |
| Sociais (Life) | Variação no IDH-Renda per capita, no período de 2000 a 2010 | Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) em 2010 | Evolução do IDHM em 2018 |
| Políticos (Policy) | Variação do índice de Desenvolvimento Humano Municipal-Educação em 2010 | Capacidade institucional e legal em Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos na Bacia em 2019 | Evolução dos gastos com gerenciamento integrado de Recursos Hídricos na bacia (2017 a 2019) |

Fonte: Adaptado de Chaves e Alipaz (2007).

Indicadores hidrológicos

De acordo com Dias (2018), os indicadores hidrológicos podem ser divididos em 2 grupos. O primeiro está relacionado aos indicadores quantitativos, que são geralmente baseados em informações do sistema biofísico. O segundo está atrelado à avaliação qualitativa, sendo mais ligado aos aspectos da gestão das águas. Neste trabalho foram feitas adaptações em relação aos indicadores hidrológicos.

A bacia hidrográfica do rio Marapanim não tem monitoramento da qualidade e quantidade das águas, que permita definir seu comportamento hidrológico. Por isso, foi necessário buscar elementos que permitissem a avaliação dos parâmetros de disponibilidade e demanda hídrica, que não comprometessem o método adotado e refletissem a realidade local. As variáveis que melhor poderiam traduzir essa leitura (de pressão sobre o sistema) seriam associadas às condições de saneamento básico, com a demanda indicada pelo consumo de água para abastecimento e diluição do esgotamento sanitário.

Originalmente, Chaves e Alipaz (2007) utilizaram para o cálculo do subindicador hidrológico de quantidade, a disponibilidade *per capita* do país. Por conta da falta de dados, foram adaptados os valores de índice de atendimento do abastecimento urbano do Sistema



Nacional de Informações sobre o Saneamento (SNIS), porém foi mantido o mesmo nível e peso para os dados.

O segundo indicador hidrológico a ser considerado é a qualidade da água. Chavez e Alipaz (2007) utilizam originalmente a demanda bioquímica de oxigênio (DBO), a qual está correlacionada com outros parâmetros de qualidade de água, como oxigênio dissolvido, turbidez, concentração de poluentes e outros. No estudo proposto por Maynard et al. (2017), eles substituem a demanda bioquímica de oxigênio pelo Índice de Qualidade da Água (IQA), o qual se destaca por reunir em um único valor diversos parâmetros de qualidade de água.

A resolução do CONAMA n. 357/2005, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e estabelece as condições e padrões de lançamento de efluente, considera que a qualidade da água do rio deve atender a essas especificações e quando a cidade apresenta um baixo nível de coleta e tratamento de esgoto, possivelmente, os efluentes estão sendo despejados diretamente nos rios. Com isso, lançar o efluente sem o adequado tratamento no corpo hídrico compromete a qualidade da água nas áreas urbanas, causando impacto na saúde da população, além de dificultar o atendimento de usos à jusante, como abastecimento humano, balneabilidade, irrigação, dentre outros.

Considerando a falta de dados relacionados ao índice de qualidade de água, neste trabalho, foi feita a substituição do IQA pelo Índice de Esgotamento Sanitário, que será utilizado nos municípios Castanhal, Marapanim, Terra Alta, São Francisco do Pará e Igarapé-Açu. Esse índice será de acordo com a metodologia proposta por Lopes et al. (2016), a qual determina um Índice de Desempenho do Serviço de Esgotamento Sanitário (IDSES) para a cidade de Campina Grande, Paraíba. Os indicadores selecionados foram a população conectada à rede coletora (IQS_1) e Tratamento de esgoto (IQS_2), calculados a partir das equações 2 e 3, respectivamente, expressadas em %. Com os valores encontrados, será feita a média aritmética entre os resultados e classificada de acordo com a Tabela 2.

$$IQS_1 = \frac{\text{População atendida pelo serviço de esgoto}}{\text{População total}} \times 100 \quad (2)$$

$$IQS_2 = \frac{\text{Volume de esgoto tratado}}{\text{Volume de esgoto gerado}} \times 100 \quad (3)$$

Para o cálculo da evolução da eficiência do uso da água, foi considerada a variação do índice de perdas (IP) do sistema de abastecimento na distribuição. Com o resultado do IP (%), foi utilizada a classificação de Mayard et al. (2017), adaptada de Tsutiya (2006), que classifica o Índice de Perdas de Distribuição de Água no sistema de abastecimento em:

- $P < 25\%$: o sistema de abastecimento de água é classificado como “bom”, tendo uma pontuação adaptada para o WSI igual a 1,0;
- $25 \leq P < 40\%$: o sistema é classificado como “regular” e recebe uma pontuação para



o cálculo do WSI igual a 0,5;

- $P \geq 40\%$: o sistema é classificado como “ruim” e recebe a pontuação mínima, 0,0.

Tabela 2

Classificação do IDSES

| Valores atribuídos IDSES (%) Lopes et al. (2016) | Classificação Lopes et al. (2016) | Classificação Chaves e Alipaz (2007) |
|-----------------------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------------|
| 0 - 25 | Péssimo | 0,00 |
| 26 - 40 | Ruim | 0,25 |
| 41 - 55 | Regular | 0,50 |
| 56 - 75 | Bom | 0,75 |
| 76 - 100 | Ótimo | 1,00 |

Fonte: Chaves e Alipaz (2007) e Lopes et al. (2016).

Para o cálculo da evolução no tratamento de esgoto, foi considerado o Índice de Coleta e Tratamento de Esgoto. Vale ressaltar que os dados utilizados para encontrar os resultados do indicado hidrológico foram fornecidos pelo SNIS. Na Tabela 3, são apresentadas as adaptações dos indicadores hidrológicos e seus respectivos pesos.



Tabela 3

Indicador hidrológico

| | Parâmetro | Nível | Pontuação | Base de dados |
|-----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|------------------|------------------------------|
| PRESSÃO | % Variação do Índice de Atendimento Urbano de Água no período de 2013 a 2017 | 0 - 25 | 0,00 | Sede Municipal - SNIS (2019) |
| | | 26 - 40 | 0,25 | |
| | | 41 - 55 | 0,50 | |
| | | 56 - 75 | 0,75 | |
| | | 76 - 100 | 1,00 | |
| | % Variação do Índice de Esgotamento Sanitário no período de 2013 a 2017 | 0 - 25 | 0,00 | Sede Municipal - SNIS (2019) |
| | | 26 - 40 | 0,25 | |
| | | 41 - 55 | 0,50 | |
| | | 56 - 75 | 0,75 | |
| | | 76 - 100 | 1,00 | |
| ESTADO | % Índice de Atendimento Urbano de Água (2017) | 0 - 25 | 0,00 | Sede Municipal - SNIS (2019) |
| | | 26 - 40 | 0,25 | |
| | | 41 - 55 | 0,50 | |
| | | 56 - 75 | 0,75 | |
| | | 76 - 100 | 1,00 | |
| | % Índice de Esgotamento Sanitário (2017) | 0 - 25 | 0,00 | Sede Municipal - SNIS (2019) |
| | | 26 - 40 | 0,25 | |
| | | 41 - 55 | 0,50 | |
| | | 56 - 75 | 0,75 | |
| | | 76 - 100 | 1,00 | |
| RESPOSTA | Evolução na eficiência de uso de água na sede municipal no período de 2013 a 2017 | Muito Pobre | 0,00 | Sede Municipal - SNIS (2019) |
| | | Pobre | 0,25 | |
| | | Regular | 0,50 | |
| | | Boa | 0,75 | |
| | | Excelente | 1,00 | |
| | Evolução no tratamento e disposição de esgotos na sede municipal, no período de 2013 a 2017 | Muito Pobre | 0,00 | Sede Municipal - SNIS (2019) |
| | | Pobre | 0,25 | |
| | | Regular | 0,50 | |
| | | Boa | 0,75 | |
| | | Excelente | 1,00 | |

Fonte: Adaptado de Chaves e Alipaz (2007) e Lopes et al. (2016).

Indicadores ambientais

Para calcular os indicadores de *Pressão*, *Estado* e *Resposta*, foram utilizados dados de imagens de satélites do Landsat 7 e 8, a partir da análise do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) (Huete et al., 2002; Ahmed et al., 2017), tratadas pelo código do Google Earth Engine, no ano de 1999 e 2017 e dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). No cálculo foram utilizadas as bandas 3 e 4 (Landsat 7) no ano de 1999 e bandas 4 e 5 (Landsat 8) no ano de 2017. A equação 4 representa a formulação adotada, que consiste na utilização das bandas do vermelho e infravermelho próximo, em que IVP é o valor da reflectância da banda no Infravermelho próximo e V representa o valor de reflectância da banda no vermelho.



$$NDVI = (IVP - V)/(IVP + V) \quad (4)$$

A vegetação verde e sadia exibe contraste entre a região do visível, principalmente a do vermelho e infravermelho próximo e, quanto maior for esse contraste, maior será o vigor da vegetação na área. Assim, áreas ocupadas por vegetação mais densa tendem a apresentar valores de NDVI próximos a 1, variando em uma escala de -1 a 1 (Ahmed et al., 2017). Assim, os valores próximos a zero ou negativos caracterizam consequentemente áreas com pouca ou nenhuma ocorrência de clorofiliana, podendo ser classificadas como áreas com edificações e/ou solo exposto.

Para encontrar o valor do Índice de Pressão Antrópica (EPI), foi adotado o percentual de área urbanizada das sedes municipais escolhidas, mais a porcentagem da população urbana da sede municipal (equação 5).

$$EPI = \frac{\% \text{ área urbanizada} + \% \text{ da população urbana da sede municipal}}{2} \quad (5)$$

Em relação à evolução nas áreas protegidas (Reservas e Boas Práticas de Manejo), no parâmetro resposta, foi considerada a diferença em percentual entre a quantidade de área verde do ano de 1999 para o ano de 2017, analisadas a partir do NDVI, tratadas pelo código do Google Earth Engine. Na Tabela 4, são apresentadas as adaptações dos indicadores ambientais e seus respectivos pesos.

Tabela 4

Indicador ambiental

| | Parâmetro | Nível | Pontuação | Base de dados |
|-----------------|---------------------------------------------------------------------------------|---------------|-----------|-------------------------------------------------------------|
| PRESSÃO | Índice de Pressão Antrópica (EPI): período de 1999 a 2017 (%) | EPI > 20 | 0,00 | Município - Landsat 7 (1999); Landsat 8 (2017); IBGE (2019) |
| | | 10 < EPI ≤ 20 | 0,25 | |
| | | 5 < EPI ≤ 10 | 0,50 | |
| | | 0 < EPI ≤ 5 | 0,75 | |
| | | EPI ≤ 0 | 1,00 | |
| ESTADO | % Área de Vegetação Natural Remanescente nas sedes municipais em 2017 | Av < 5 | 0,00 | Município - Landsat 7 (1999); Landsat 8 (2017); |
| | | 5 ≤ Av < 10 | 0,25 | |
| | | 10 ≤ Av < 25 | 0,50 | |
| | | 25 ≤ Av < 40 | 0,75 | |
| | | Av ≥ 40 | 1,00 | |
| RESPOSTA | Evolução nas áreas protegidas (Reservas e Boas Práticas de manejo) na bacia (%) | Δ < -10 | 0,00 | Município - Landsat 7 (1999); Landsat 8 (2017) |
| | | -10 ≤ Δ < 0 | 0,25 | |
| | | 0 ≤ Δ < 10 | 0,50 | |
| | | 10 ≤ Δ < 20 | 0,75 | |
| | | Δ ≥ 20 | 1,00 | |

Fonte: Adaptado de Chaves e Alipaz (2007).



Indicadores sociais

Chaves e Alipaz (2007) e UNESCO (2008) utilizaram o PIB *per capita* para o cálculo do parâmetro *Pressão*. Porém, para esse estudo, optou-se pela adaptação utilizada por Maynard et al. (2017), que utiliza o IDH - Renda. Em relação aos parâmetros *Estado* e *Resposta*, será selecionado o valor do ano de 2010 e % da variação do Índice de desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) de cada município, respectivamente. Os dados necessários para o cálculo foram obtidos no Atlas de Desenvolvimento Humano no Brasil. Na Tabela 5, são apresentados os indicadores sociais e seus respectivos pesos.

Tabela 5

Indicador social

| | Parâmetro | Nível | Pontuação | Base de dados |
|-----------------|-----------------------------------------------------------------|-------------------------|-----------|-------------------------------------------------------|
| PRESSÃO | Variação no IDH-Renda per capita, no período de 2000 a 2010 (%) | $\Delta < -20$ | 0,00 | Município - Atlas de Desenvolvimento Humano no Brasil |
| | | $-20 \leq \Delta < -10$ | 0,25 | |
| | | $-10 \leq \Delta < 0$ | 0,50 | |
| | | $0 \leq \Delta < +10$ | 0,75 | |
| | | $\Delta \geq +10$ | 1,00 | |
| ESTADO | IDHM | $IDH < 0,5$ | 0,00 | Município - Atlas de Desenvolvimento Humano no Brasil |
| | | $0,5 \leq IDH < 0,6$ | 0,25 | |
| | | $0,6 \leq IDH < 0,75$ | 0,50 | |
| | | $0,75 \leq IDH < 0,9$ | 0,75 | |
| | | $IDH \geq 0,9$ | 1,00 | |
| RESPOSTA | Variação no IDHM (%) | $\Delta < -10$ | 0,00 | Município - Atlas de Desenvolvimento Humano no Brasil |
| | | $-10 \leq \Delta < 0$ | 0,25 | |
| | | $0 \leq \Delta < 10$ | 0,50 | |
| | | $10 \leq \Delta < 20$ | 0,75 | |
| | | $\Delta \geq 20$ | 1,00 | |

Fonte: Adaptado de Chaves e Alipaz (2007).

Indicadores políticos

De acordo com Chaves e Alipaz (2007) e UNESCO (2008), a utilização do Índice de Desenvolvimento de Educação tem como objetivo medir o nível de escolaridade da população. Os valores positivos do IDHM-Educação correlacionam a capacidade e a vontade da população de se envolver na gestão de bacias hidrográficas, colocando mais pressão sobre as decisões. Para o cálculo e classificação do indicador Estado, foi feita uma adaptação da Tabela 6 elaborada por Rocha et al. (2020).

Os dados obtidos foram coletados a partir do Atlas de Desenvolvimento Humano no Brasil, disponível no Portal da Transparência do Governo Federal do Brasil, e de pesquisas realizadas junto aos órgãos públicos responsáveis em todas as sedes municipais. E, na Tabela 7, são apresentados os indicadores sociais e seus respectivos pesos.



E, em relação ao parâmetro de Resposta, foi utilizada a metodologia de UNESCO (2008), conforme a equação 6.

$$\Delta = \frac{\text{investimentos no período Atual (2019)} + \text{investimentos no período Anterior (2018)}}{\text{investimentos no período Anterior (2018)}} \times (100) \quad (6)$$

Tabela 6

Parâmetros para a avaliação da gestão dos municípios

| Variáveis | Classificação | Peso |
|-----------------------------------------------------------|---------------|------|
| Legislação Ambiental | Existente | 1 |
| | Inexistente | 0 |
| Secretaria do Meio Ambiente | Individual | 1 |
| | Associada | 0,5 |
| | Inexistente | 0 |
| Conselho Municipal de Meio Ambiente | Existente | 1 |
| | Inexistente | 0 |
| Acesso às Informações Sobre Gestão Ambiental via Internet | Sim | 1 |
| | Não | 0 |
| Realiza Ações de Educação Ambiental no Município | Sim | 1 |
| | Não | 0 |
| Possui Plano de Diretor Municipal | Sim | 1 |
| | Não | 0 |
| Possui Plano de Saneamento Básico | Sim | 1 |
| | Não | 0 |
| Possui Política Municipal de Saneamento | Sim | 1 |
| | Não | 0 |

Fonte: Adaptado de Rocha et al. (2020).

Tabela 7

Indicador político

| | Parâmetro | Nível | Pontuação | Base de dados |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|-----------|--------------------------------------------------------|
| PRESSÃO | Variação do IDH-Educação no período de 2000 a 2010 (%) | $\Delta < -20$ | 0,00 | Município - Atlas de Desenvolvimento Humano no Brasil |
| | | $-10 \leq \Delta < -20$ | 0,25 | |
| | | $-20 \leq \Delta < 0$ | 0,50 | |
| | | $0 \leq \Delta < +10$ | 0,75 | |
| | | $\Delta \geq +10$ | 1,00 | |
| ESTADO | Capacidade legal e institucional em gerenciamento integrado de recursos hídricos (GIRH) da sede municipal | Muito Pobre | 0,00 | Prefeituras das Sedes Municipais |
| | | Pobre | 0,25 | |
| | | Regular | 0,50 | |
| | | Boa | 0,75 | |
| | | Excelente | 1,00 | |
| RESPOSTA | Evolução nos gastos em Gerenciamento Integrado dos Recursos Hídricos (GIRH) no município (%) | $\Delta 1 < -10$ | 0,00 | Município - Portal da Transparência do Governo Federal |
| | | $-10 \leq \Delta < 0$ | 0,25 | |
| | | $0 \leq \Delta < 10$ | 0,50 | |
| | | $10 \leq \Delta < 20$ | 0,75 | |
| | | $\Delta \geq 20$ | 1,00 | |

Fonte: Adaptado de Chaves e Alipaz (2007).



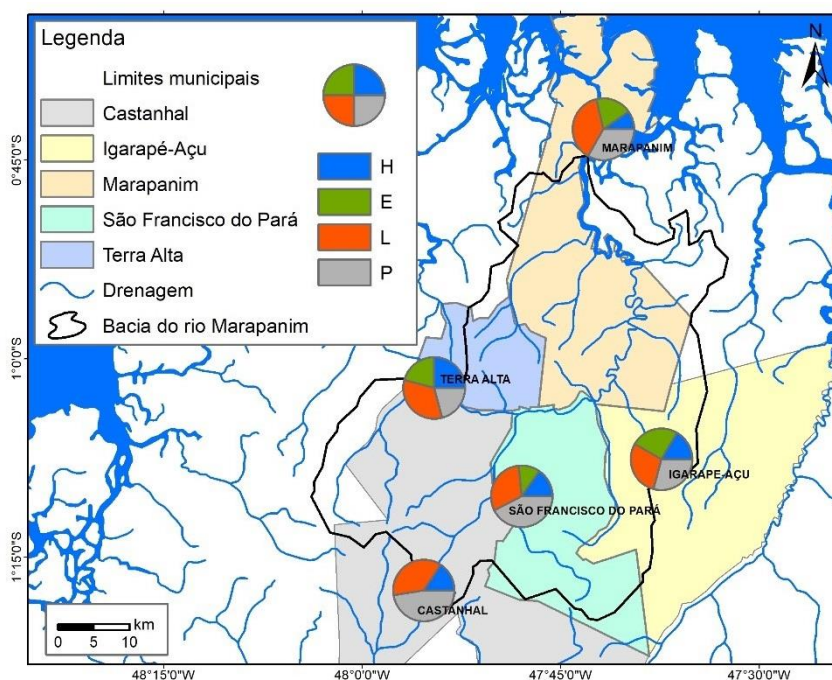


Resultados e discussão

Tendo como base os levantamentos realizados, os produtos obtidos de demanda hídrica e uso da terra, foram definidas as ponderações de cada um dos indicadores: hidrológico (Tabela 3), ambiental (Tabela 4), social (Tabela 5) e político (Tabela 7). Essas ponderações foram utilizadas para calcular o indicador PER das sedes municipais de Castanhal, Igarapé-Açu, Marapanim, São Francisco e Terra Alta. Por sua vez, as pontuações de cada PER foram encontradas através da média aritmética do HELP, pela equação 1, resultando no Índice de Sustentabilidade para cada cidade. As sedes municipais de Castanhal, Igarapé-Açu, Marapanim e Terra Alta obtiveram o índice de sustentabilidade 0,40; 0,50; 0,44; 0,54 e 0,50 respectivamente, o que representa um valor regular. Já a cidade de São Francisco alcançou um resultado de 0,54, classificado como um bom índice, conforme apresentado na Figura 2.

Figura 2

Resultados do índice de sustentabilidade de cada sede municipal



| Município | Hidrológico (H) | Ambiental (E) | Social (L) | Político (P) | WSI | Classificação Chaves e Alipaz (2007) |
|-----------------------|-----------------|---------------|------------|--------------|-------------|--------------------------------------|
| Castanhal | 0,25 | 0,00 | 0,58 | 0,75 | 0,40 | Regular |
| Igarapé-Açu | 0,33 | 0,50 | 0,58 | 0,58 | 0,50 | Regular |
| Marapanim | 0,17 | 0,33 | 0,67 | 0,58 | 0,44 | Regular |
| São Francisco do Pará | 0,33 | 0,25 | 0,67 | 0,92 | 0,54 | Bom |
| Terra Alta | 0,50 | 0,42 | 0,67 | 0,42 | 0,50 | Regular |

Fonte: Elaboração própria (2019).

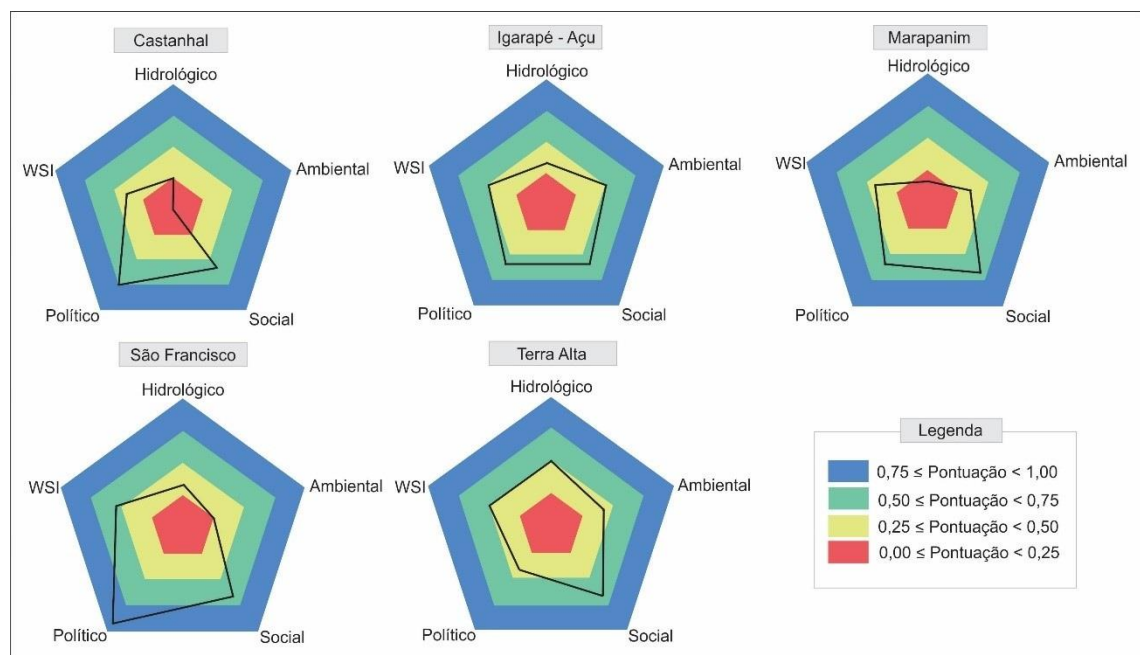


Destaca-se que apesar da sede de São Francisco do Pará ficar com uma classificação boa, em comparação com as outras sedes, apresenta os mesmos problemas. O único ponto que a diferencia é o indicador político (Figura 2), mostrando que, pelo menos, existe a intenção de implantar um processo de gestão na bacia hidrográfica, porém não há implementação. O município de Castanhal, por estar localizado na cabeceira da área da bacia, acaba pressionando uma expansão do uso da terra como um todo na região, sendo um indutor de pressão nos municípios menores.

A Figura 3 ilustra a associação entre as sedes municipais e a pontuação de cada indicador, com as cores de acordo com a classificação metodológica desenvolvida por Maynard et al. (2017). Dentre os indicadores analisados, o subindicador hidrológico qualitativo (Tabela 3), que utiliza dados de coleta, tratamento e índice de cobertura de esgotamento sanitário na área urbana, foi o que apresentou maior fragilidade em todos os indicadores PER de cada sede, confirmando um cenário comum no Estado do Pará, onde o índice de atendimento de esgoto é menor de 10% (Brasil, 2017).

Figura 3

Representação gráfica dos resultados do WSI



Fonte: Elaboração própria (2019).

A falta de suporte por parte das prefeituras e concessionárias para coleta e tratamento de esgoto faz com que a população busque alternativas através de soluções individuais, como a construção de fossas sépticas, negras ou ligações de esgoto diretas para canais ou rios. De acordo com Tischer (2017), o uso de fossas em centros urbanos pode ocasionar a



contaminação do solo e principalmente prejudicar a qualidade da água, por estarem próximas dos lençóis freáticos.

Além disso, o descarte sem tratamento do esgoto diretamente em corpos d'água traz várias consequências negativas para a sociedade, que impactam diretamente na saúde da população, ocasionando o aumento de diversas doenças, como as feco-orais (Costa & Guilhoto, 2014). E esse problema fica evidente nos números de internações por transmissão feco-oral no estado do Pará, que apresentou um aumento de 9,8% no ano de 2016 em comparação ao ano de 2015 (IBGE, 2019).

É importante destacar que o subindicador hidrológico quantitativo, em relação à pressão e ao estado, usa dados de atendimento de abastecimento de água, disponibilizados pelo SNIS. Vale ressaltar também que esses dados podem conter inconsistências em função do cálculo da população atendida adotado pelos prestadores, fazendo com que muitos municípios apresentem um índice de atendimento igual ou até mesmo superior a 100% (Brasil, 2014). Isso acaba mascarando o resultado do índice de sustentabilidade de cada sede, por não representar em escala real o atendimento sobre o sistema de abastecimento da água (SAA).

Quanto à relação oferta e demanda de água, é compatível e apresenta uma boa gestão dos recursos hídricos. Evidencia-se uma diversificação dos usos e conseqüentemente a redução de conflitos (Campos & Fracalanza, 2010). Contudo, quando há uma má gestão dos recursos hídricos, a distribuição de água acaba sendo prejudicada, demonstrando um baixo índice de atendimento de água em áreas urbanas, como ocorre nas sedes de Castanhal e Marapanim.

Para Razzolini e Günther (2008), o déficit na distribuição de água potável condiciona um fator de risco e contribui para os efeitos à saúde, que podem favorecer o incremento da incidência de doenças de transmissão hídrica, pois tanto a coleta de água como seu transporte e armazenamento, caso necessário, podem ser realizados de forma inadequada. Outro ponto a ser considerado — e que interfere diretamente na cobertura do abastecimento de água — é o índice de perdas do SAA, no qual todas as sedes apresentaram valores críticos, com exceção de Terra Alta, que obteve o melhor resultado.

Tsutiya (2006) e Heller e Pádua (2013) afirmam que as elevadas perdas de água ocorrem principalmente pela deterioração dos sistemas de transporte e distribuição de água mais antigos, que não têm a adequada manutenção e recuperação, contribuindo para a baixa capacidade institucional e gestão dos sistemas; acrescenta-se a isso a extensão das redes até áreas periféricas dos sistemas e conseqüentemente o baixo índice de cobertura de água.

Combater e controlar as perdas é uma questão fundamental em cenários em que há, por exemplo, escassez e conflitos pelo uso e elevados volumes de águas não faturadas, comprometendo a saúde e ambientes de regulação, em que os indicadores que retratam as



perdas de água estão entre os mais valorizados para a avaliação de desempenho (Heller & Pádua, 2013).

Na análise dos indicadores ambientais, todas as sedes municipais apresentaram valores críticos em relação ao indicador de Pressão, o que indica a expansão urbana sem o planejamento ambiental adequado. Em relação aos indicadores de Estado e Resposta, referente ao percentual de área verde no perímetro urbano no ano de 2017 e ao percentual de vegetação durante o ano de 1999 e 2017, as cidades apresentaram distintas pontuações. Igarapé-Açu e Terra Alta mostram as áreas com maiores valores, seguida de São Francisco, Marapanim e Castanhal com área bem inferior de cobertura. Convém ressaltar que a cidade de Castanhal foi a única das sedes que apresentou pontuação crítica em todos os indicadores PER, indicando a forte urbanização durante o período de 1999 até 2017.

Segundo Isernhagen et al. (2009), nos países em desenvolvimento, o crescimento populacional e expansão desordenada das cidades levam a diversos conflitos, principalmente pelo uso da terra, tendo como consequência a procura e uso de espaços que poderiam tornar-se parques ou outros tipos de áreas verdes. Além disso, a ausência de arborização nas cidades reflete o agravamento da questão ambiental, pois, à medida que se expandem e se apropriam demasiadamente dos recursos naturais, as cidades transformam o espaço natural, reduzindo a qualidade de vida da população ali residente (Moreira & Vitorino, 2017).

No entanto, quando as cidades dispõem de áreas verdes, vias arborizadas e praças, promovem-se ganhos significativos no ambiente urbano, principalmente no que se refere à redução da poluição atmosférica, à minimização das temperaturas, ao conforto lumínico e acústico, além de promover bem-estar físico e psíquico ao ser humano, atuando, conseqüentemente, na sua qualidade de vida (Costa & Ferreira, 2009).

Os indicadores sociais que analisam o IDHM - Renda e o IDHM foram os que apresentaram melhores resultados em todas as sedes, mostrando que houve um progresso dos anos 2000 em comparação com o ano de 2010. Todavia, a análise de IDHM - Renda e IDHM é feita a cada década e por não disponibilizarem dados atualizados acabam influenciando no resultado final do índice de sustentabilidade. Mas, apesar da falta de dados atuais, o IDHM é importante por preencher um importante vazio no universo de indicadores de bem-estar social adaptados ao contexto brasileiro e representa uma referência consagrada e adotada amplamente em diferentes níveis técnicos, gerenciais e estratégicos, ajudando a orientar as políticas públicas do município (Figueiredo Filho et al., 2013).

Vale destacar que o cálculo do IDHM é uma adaptação metodológica do IDH global em nível municipal, feito pelo PNUD, IPEA e Fundação João Pinheiro, e ambos agregam as dimensões saúde, educação e renda, que permitem conhecer a realidade do desenvolvimento humano do território brasileiro, facilitando a comparação entre localidades (PNUD, 2013).



Nos indicadores Políticos, o indicador de Pressão que analisa a variação do IDHM - Educação apresentou, em todas as sedes municipais, uma excelente pontuação, indicando uma melhora significativa nos índices de educação para o período de 2000 até 2010. Para Cortés et al. (2012), quando os indicadores de educação são baixos, dificultarão a participação ativa, informada e responsável dos cidadãos (engajamento da sociedade) em iniciativas integradas de gestão de recursos hídricos e desenvolvimento sustentável. Lira e Cândido (2013) ressaltam que é importante o engajamento da população, referente aos projetos e leis das prefeituras, podendo garantir uma sustentabilidade dos serviços prestados. Ou seja, uma população mais instruída pode se tornar um agente ativo na hora de cobrar as políticas públicas necessárias para sua qualidade de vida.

No que diz respeito à Capacidade Institucional e Legal das sedes, todas obtiveram valores críticos, com exceção de São Francisco, que foi a única cidade a apresentar um plano de saneamento básico (em 2014) e política municipal de saneamento básico (em 2013). Entretanto, por meio de visita à prefeitura e através de coletas de dados do SNIS, não há coleta e tratamento do esgoto gerado pelos domicílios, o que comprova que não há aplicação da lei de forma concreta.

Em relação aos investimentos feitos pelas sedes municipais nas áreas de saneamento, meio ambiente e recursos hídricos, no período de janeiro de 2018 a janeiro de 2019, São Francisco apresentou um aumento de 20% na arrecadação para essas áreas, seguidas por Castanhal e Igarapé-Açu. Marapanim e Terra Alta foram as únicas sedes que tiveram regressão nos seus investimentos (Brasil, 2020).

Ferreira et al. (2020) obtiveram padrão similar para a bacia hidrográfica do rio Moju e Rocha et al. (2020) para a bacia hidrográfica do rio Guamá, compatível com o quadro de desenvolvimento observado para os municípios do nordeste paraense. É importante ressaltar que a criação de leis e políticas públicas que visem à proteção dos recursos hídricos, do meio ambiente e estimulem a regulação dos serviços de saneamento básico não garante sua aplicabilidade, geralmente causada por falta de gestão e fiscalização dos órgãos públicos competentes. Com isso, para a evolução positiva dos indicadores nas sedes municipais, sugere-se que seja feita primeiramente a elaboração e execução do plano diretor municipal, que tem como objetivo o desenvolvimento urbano e ambiental, visando maior inserção de áreas verdes, como parque, bosques e praças nas cidades, além de investimentos em programas de educação ambiental nas escolas, objetivando reduzir as desigualdades socioespaciais e garantir a melhoria na qualidade de vida da população e o alcance da sustentabilidade.

Também deve ser feito conjuntamente ao plano diretor, o plano de saneamento básico, que tem como finalidade promover a universalização dos serviços de saneamento básico, com base nas diretrizes da Política Nacional de Saneamento Básico (Lei n. 11.445/2007),



diminuindo assim os déficits de coleta e tratamento de esgoto sanitário, os níveis de perdas na distribuição de água e melhorando o atendimento no abastecimento de água.

Conclusão

Com base na análise dos dados de cada sede municipal, por meio do cálculo do WSI, todas as cidades foram classificadas como regular em relação à sustentabilidade, com exceção de São Francisco que apresentou um índice bom. Apesar de Castanhal, Igarapé-Açu, Marapanim, São Francisco e Terra Alta estarem dispostas na mesma bacia hidrográfica, cada uma tem a sua particularidade em relação aos indicadores de PER e também apresentaram fragilidades em comum, principalmente nos indicadores hidrológico e ambiental.

Vale ressaltar que a falta de dados é uma das principais dificuldades para o monitoramento, pois acaba comprometendo a real demanda das sedes, o que influencia no comprometimento de políticas públicas principalmente para áreas que abrangem os indicadores hidrológico e ambiental, refletindo diretamente em problemas de gestão dos recursos hídricos, como o déficit de abastecimento de água, perdas na distribuição, falta de micro e macromedição da rede, além de não possuírem nenhum tipo de tratamento para o esgoto gerado, o que pode vir a comprometer a disponibilidade desse recurso hídrico.

É importante o investimento no monitoramento quali-quantitativo das águas e hidrometeorológico, para conseguir antecipar os problemas vinculados às crises hídricas, como vem ocorrendo de maneira contínua no país. E associado a este, é indispensável fortalecer a construção de indicadores de desempenho que melhor avaliem as relações de demanda e disponibilidade hídricas.

Com isso, a aplicação do índice de sustentabilidade, a partir do modelo de Pressão-Estado-Resposta, permite uma abordagem e avaliação integrada dos indicadores (hidrológico, ambiental, político e social), o que possibilita uma visão mais direcionada às necessidades de cada território, e assim ajuda a orientar a tomada de decisão dos gestores.

Referências

- Ahmed, M., Else, B., Eklundh, L., Ardo, J., & Seaquist, J. (2017). Dynamic Response of NDVI to Soil Moisture Variations during Different Hydrological Regimes in the Sahel Region. *International Journal of Remote Sensing*, 38, 5408-5429. <https://doi.org/10.1080/01431161.2017.1339920>
- Alves, R. J. M., Gonçalves, W., Gonçalves, J., Nunes, G., Magno-Silva, E., Maia, J., Adami, M. & Narvaes, I. (2018). Análise do uso e ocupação do solo em Marapanim-PA a partir de dados do projeto TerraClass. *HOLOS*, 34 (01), 81-90. <https://doi.org/10.15628/holos.2018.2819>



- Andrade, A. S. Pontes, A. N., Ribeiro, S. C. A., Pereira, B. W. F., Brandão, V. V. P. & Bezerra, P. E. S. (2018). Alterações ambientais na Bacia Hidrográfica do rio Marapanim, Pará, Brasil. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, 3(2), 208-216. <https://doi.org/10.18378/rvads.v13i2.5695>
- Araújo, M. D., Ribeiro, M. M. R. & Braga, C. F. C. (2019). Integrando a modelagem da alocação de água ao sistema de indicadores FPEIR: aplicação ao semiárido do Brasil. *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*, 24(6), 1167-1181. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522019184425>
- Brasil. Ministério das Cidades. (2014). *Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS)*. Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos. Retrieved from <http://www.snis.gov.br> in May 2019.
- Brasil. Ministério das cidades. (2017). *Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS)*. Diagnóstico anual de água e esgotos. Retrieved from <http://www.snis.gov.br> in May 2019.
- Brasil. Portal da Transparência. 2020. Retrieved from <http://www.portaltransparencia.gov.br/> in January 2020.
- Cammarrota, M. & Pierantoni, I. (2005). Urban Environmental Indicators in the Driving-Pressure-State-Impact-Response (DPSIR) Scheme. *Società Italiana di Statistica*, 219-22. <http://old.sis-statistica.org/files/pdf/atti/CIMe0905p219-222.pdf>
- Campos, V. N. O. & Fracalanza, A. P. (2010). Governança das águas no Brasil: conflitos pela apropriação da água e a busca da integração como consenso. *Ambiente e Sociedade*, 13(2), 365-382.
- Chandniha, S. K., Kansal, M. L. & Anvesh, G. (2014). Watershed Sustainability Index assessment of a watershed in Chhattisgarh, India. *Current World Environment*, 9(2), 403-411. <http://dx.doi.org/10.12944/CWE.9.2.22>
- Chaves, H. M. L. & Alipaz, S. (2007). An Integrated Indicator for Basin Hydrology, Environment, Live, and Policy: The Watershed Sustainability Index. *Water Resources Management*, 21(5), 883-895. <https://doi.org/10.1007/s11269-006-9107-2>
- Cortés, A. E., Oyarzún, R., Kretschmer, N., Chaves, H., Soto, G., Soto, M., Amézaga, J., Oyarzún, J., Rötting, T., Señoret, M. & Maturana, H. (2012). Application of the Watershed Sustainability Index to the Elqui river basin, North-Central Chile. *Obras y Proyectos*, 12, 57-69. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-28132012000200005>.
- Costa, C. C. & Guilhoto, J. J. (2014). Saneamento rural no Brasil: impacto da fossa séptica biodigestor. *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*, 19, 51-60. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522014019010000171>
- Costa, R. G. & Ferreira, C. C. M. (2009). Análise do índice de áreas verdes (IAV) na área central da cidade de juiz de fora. *Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana*, 4(1), 39-57. <http://dx.doi.org/10.5380/revsbau.v4i1.66240>
- Dias, I. C. L. (2018). *Indicadores de sustentabilidade da Bacia Hidrográfica e Hidroquímica de poços no estado do Maranhão: Subsídios ao gerenciamento e conservação dos recursos hídricos*. [Doctoral Thesis, Universidade Federal do Maranhão].



- FAPESPA. Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisa. (2016). *Estatísticas Municipais Paraenses: Marapanim*. Belém: Governo do Pará.
<http://www.fapespa.pa.gov.br/produto>
- FAPESPA. Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisa. (2016a). *Estatísticas Municipais Paraenses: São Francisco do Pará*. Belém: Governo do Pará.
<http://www.fapespa.pa.gov.br/produto>
- Felinto, C. M., Ribeiro, M. M. & Braga, C. F. (2019). Aplicação do Modelo Força Motriz-Pressão-Estado-Impacto-Resposta (FPEIR) para Gestão dos Recursos Hídricos em João Pessoa-PB. *Revista DAE*, 67(218), 118-136.
<https://doi.org/10.4322/dae.2019.038>
- 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, 01-10.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110354>
- Figueiredo Filho, D. B., Paranhos, R., Rocha, E. C., Silva Jr, J. A. & Maia, R. G. (2013). Análise de componentes principais para construção de indicadores sociais. *Revista Brasileira de Biometria*, 31(1), 61-78.
- Gorayeb, A., Lombardo, M. A. & Pereira, L. C. C. (2009). Condições Ambientais em Áreas Urbanas da Bacia Hidrográfica do Rio Caeté - Amazônia Oriental - Brasil. *Revista da Gestão Costeira Integrada*, 9(2), 59-70.
- Grostein, M. D. (2001). Metrôpole e expansão urbana: a persistência de processos insustentáveis. *São Paulo em Perspectiva*, 15(1). <https://doi.org/10.1590/S0102-88392001000100003>
- Heller, L. & Pádua, V. L. (2013). *Abastecimento de água para consumo humano*. Belo Horizonte: Editora UFMG.
- Huete, A., Didan, K., Miura, T., Rodriguez, E. P., Gao, X., & Ferreira, L. G. (2002). Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sensing Environment*, 83(1), 195-213. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(02\)00096-2](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00096-2)
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2018). *Panorama dos Municípios Brasileiros*. Retrieved from <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/panorama> in November 2019.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2019). *Indicadores de Desenvolvimento Sustentável: Internações hospitalares por doenças relacionadas ao saneamento ambiental inadequado, total e segundo as categorias de doenças*. Retrieved from <https://seriesestatisticas.ibge.gov.br/series> in November 2019.
- Isernhagen, I., Le Bourlegat J. M. G. & Carboni, M. (2009). Trazendo a riqueza arbórea regional para dentro das cidades: possibilidades, limitações e benefícios. *Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana*, 4(2), 117-138.
<http://dx.doi.org/10.5380/revsbau.v4i2.66277>
- Juwana, I., Muttill, N. & Perera, B. J. C. (2012). Indicator-based water sustainability assessment: a review. *Science of the Total Environment*, 438, 357-371.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.08.093>



- Kemerich, P. D. C., Ritter, L. G. & Borba, W. F. (2014). Indicadores de sustentabilidade ambiental: métodos e aplicações. *Revista do Centro do Ciências Naturais e Exatas*, 13(5), 3723-3736. <https://doi.org/10.5902/2236130814411>
- Lima, V. M., Costa, S. M. F. & Ribeiro, H. (2017). Uma contribuição da metodologia PEIR para o estudo de uma pequena cidade na Amazônia: Ponta de Pedras, Pará. *Saúde e Sociedade*, 26(4), 1071-1086. <https://doi.org/10.1590/S0104-12902017170861>
- Lira, W. S. & Cândido, G. A. (2013). *Gestão sustentável dos recursos naturais: uma abordagem participativa*. Campina Grande: EDUEPB.
- Lopes, W. S., Rodrigues, A. C. L., Feitosa, P. H. C., Coura, M. A., Oliveira, R. O. & Barbosa, D. L. (2016). Determinação de um índice de desempenho do serviço de esgotamento sanitário. Estudo de caso: cidade de Campina Grande, Paraíba. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 21(1), 01-10. <https://doi.org/10.21168/rbrh.v21n1.p1-10>
- Maiolo, M. & Pantusa, D. (2019). Sustainable Water Management Index, SWaM_Index. *Cogent Engineering*, 6, 1603817. <https://doi.org/10.1080/23311916.2019.1603817>
- Malheiros, T. F., Coutinho, S. M. V. & Philip Jr, A. Desafios do uso de indicadores na avaliação da sustentabilidade. In: Philip Jr., A. & Malheiros, T. F. (Org.) (2013). *Indicadores de Sustentabilidade e Gestão Ambiental*. Barueri: Manole.
- 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), 207-226. <https://doi.org/10.1590/1809-4422ASOC0057R1V2022017>
- Miranda, R. R. (2012). Interfaces do rural e do urbano em área de colonização antiga na Amazônia: estudo de colônias agrícolas em Igarapé-Açu e Castanhal (PA). *Campo-território: Revista de Geografia Agrária*, 7(14), 1-36.
- 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), 2095-2105. <https://doi.org/10.15244/pjoes/69935>
- Moreira, F. S. A. & Vitorino, M. I. (2017). Relação de áreas verdes e temperatura da superfície para a cidade de Belém. *Papers do NAEA*, 369, 1-25.
- Neamtu, B. (2012). Measuring the social sustainability of urban communities: the role of local authorities. *Transylvanian Review of Administrative Sciences*, 8(37E), 112-127.
- Obregón, C. E. E. T. (2013). El agua y los territorios hídricos en la Región Metropolitana de Santiago de Chile. Casos de estudio: Tiltil, Valle de Malleauro y San Pedro de Melipilla. *Estudios Geográficos*, 74(274), 255-285. <https://doi.org/10.3989/estgeogr.201309>
- Pereira, B. W. F., Maciel, M. N. M., Oliveira, F. A., Alves, M. A. M. S., Ribeiro, A. M., Ferreira, B. M. & Ribeiro, E. G. P. (2016). Uso da terra e degradação na qualidade da água na bacia hidrográfica do rio Peixe-Boi, PA, Brasil. *Revista Ambiente e Água*, 11(2). <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1802>
- PNUD. Programa das Nações Unidas Para o Desenvolvimento (2013). Atlas do Desenvolvimento Humano. Retrieved from <http://www.atlasbrasil.org.br/2013> in May 2019.



- Poleto, C. (2014). *Bacias hidrográficas e recursos hídricos*. Rio de Janeiro: Ed. Interciência.
- Pott, C. M. & Estrela, C. C. (2017). Histórico ambiental: desastres ambientais e o despertar de um novo pensamento. *Estudos Avançados*, 31(89). 271-283.
<https://doi.org/10.1590/s0103-40142017.31890021>
- Razzolini, M. T. P. & Günther, W. M. R. (2008). Impactos na saúde das deficiências de acesso à água. *Saúde e Sociedade*, 17(1), 21-32. <https://doi.org/10.1590/S0104-12902008000100003>
- Ribeiro, O. W. (2016). Entre a metrópole e a cidade média: a complexidade das interações espaciais e das dinâmicas de centralidade da cidade de Castanhal, no nordeste paraense. *Geosp – Espaço e Tempo*, 20(1), 115-129.
<https://doi.org/10.11606/issn.2179-0892.geosp.2016.96710>
- Rocha, N. C. V. & LIMA, A. M. M. (2020). A sustentabilidade hídrica na bacia do rio Guamá, Amazônia Oriental/Brasil. *Sociedade & Natureza*, 32, 141-160.
<https://doi.org/10.14393/SN-v32-2020-45694>
- Rodrigues, C. M. & Vieira, M. O. (2017). Cidades Amazônicas e urbanização: atuação dos agentes sociais sobre o município de Castanhal-PA. *Revista UNIVAP*, 23(43), 63-72.
- Santos, C. S., Miranda, L. C. & Bordalo, C. A. L. (2019). Conflitos de uso do solo em áreas de preservação permanente na bacia hidrográfica do rio Igarapé-Açu/PA. *Revista Equador*, 8, 30-46.
- Silva, E. A., Freire, O. B. L. & Silva, F. Q. P. O. (2014). Indicadores de sustentabilidade como instrumentos de gestão: uma análise da GRI, ETHOS e ISE. *Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade*, 3(1), 130-148.
- Sousa, E., Ramos, G. O., Santos Júnior, J. S. & Beltrão, N. E. S. (2018). Panorama situacional do serviço de esgotamento sanitário e sua relação com doenças de veiculação hídrica na região metropolitana de Belém - Pará. *Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental*, 7(3), 487-503.
<http://dx.doi.org/10.19177/rgsa.v7e32018487-503>
- Teixeira, J. M. J. (2015). *Diagnóstico dos sistemas de abastecimento de água e esgotamento sanitário de Marapanim: Um olhar sobre o distrito de Marudá e a Sede Municipal*. [Master Thesis, Universidade Federal do Pará].
- Tischer, V. (2017). Magnitude do impacto do esgotamento sanitário no Brasil. *Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental*, 6(3), 358-379.
<http://dx.doi.org/10.19177/rgsa.v6e32017358-379>
- Tischer, V., Espinoza, H. C. F., Marenzi, R. C. (2015). Indicadores socioambientales aplicados en la gestión de ambientes costeros. Caso de estudio Santa Catarina, Brasil. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*, 86, 53-66.
<https://doi.org/10.14350/riq.38541>
- Tsutiya. M. T. (2006). *Abastecimento de Água*. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
- UNESCO. (2008). *Evaluación objetiva de la aplicación y cálculo del Índice de Sostenibilidad de Cuenca en la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá*. Documentos Técnicos del PHI-LAC, 12.
- Yu, H., Yang, Z. & Li, B. (2020). Sustainability Assessment of Water Resources in Beijing. *Water*, 12, 1-21. <https://doi.org/10.3390/w12071999>