



Análise dos indicadores de fragilidade do sistema de drenagem urbana aplicados em microbacia da região amazônica

John Witysel Santos Rodrigues ^{1*}, Marcos Antonio Barbosa da Silva Junior ²

¹Bacharel em Engenharia Civil, Universidade Federal do Oeste do Pará, Brasil. (*Autor correspondente: johnwitysel@outlook.com)

²Doutor em Engenharia Civil (Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos), Professor da Universidade Federal do Oeste do Pará, Brasil.

Histórico do Artigo: Submetido em: 05/01/2025 – Revisado em: 13/01/2025 – Aceito em: 22/01/2025

RESUMO

Este estudo parte da avaliação da macrodrenagem do Igarapé Oriundo, riacho afluente do rio Tapajós e que corta a cidade de Itaituba-PA, através de Indicadores de Fragilidade do Sistema (IFS) de natureza ambiental, social, técnica e institucional, a fim de identificar fragilidades e propor uma matriz de soluções visando uma melhor gestão dos riscos, controle de danos e formas de recuperação. Para isso, inicialmente foi realizada a seleção dos indicadores de referência, e, por conseguinte, tais indicadores foram aplicados por meio de duas vistorias, ocorridas em 2023 e 2024, em 6 pontos de interesse (PI) ao longo do Igarapé Oriundo. A partir de um diagnóstico ponto-a-ponto, observou-se para cada PI os seguintes graus: média fragilidade nos PI-1 (nascente) e PI-6 (exutório), sobretudo no quesito ambiental; forte fragilidade nos PI-2 e PI-3 (ambos em áreas parcialmente urbanizadas), com destaque aos parâmetros técnico e ambiental; e muito forte fragilidade nos PI-4 e PI-5 (ambos em áreas de urbanização consolidada), com ênfase nas naturezas técnica, ambiental e social. Por fim, na matriz de soluções propostas, foi possível indicar: projetos que visem à renaturalização do Igarapé Oriundo e à sua introdução no meio urbano, com a criação de parques lineares; promulgação do Plano Diretor de Drenagem Urbana; elaboração e execução de projetos complementares de mitigação dos impactos às enchentes, com foco na ampliação, melhoria e manutenção do sistema existente; uso de técnicas compensatórias e realocação da população em áreas de risco.

Palavras-Chaves: Metodologias de Avaliação, Gestão Urbana, Manejo de Águas Urbanas, Diagnóstico das Redes de Águas Urbanas.

RESUMO GRÁFICO // GRAPHICAL ABSCTRACT (in portuguese)



Rodrigues, J. W.S., Silva Junior, M. A. B. (2025). Análise dos indicadores de fragilidade do sistema de drenagem urbana aplicados em microbacia da região amazônica. *Meio Ambiente (Brasil)*, v.7, n.2, p.29-49.



Analysis of urban drainage system fragility indicators applied to a microbasin in the Amazon region

ABSTRACT

This study evaluates the macro-drainage of the Igarapé Oriundo, a tributary stream of the Tapajós River that cuts through the city of Itaituba-PA, using environmental, social, technical and institutional Indicators of System Fragility (ISF), in order to identify weaknesses and propose a matrix of solutions aimed at better risk management, damage control and forms of recovery. To do this, the reference indicators were initially and, therefore, these indicators were then applied through two surveys, in 2023 and 2024, at 6 points of interest (POI) along the Igarapé Oriundo. For the assessment, weights were assigned and general fragility indices were obtained, with the classification of degrees of fragility ranging from very low to very strong. A total of 20 indicators were used and assessed, based on 10 articles taken from the RSL. Based on a point-by-point diagnosis, the following degrees were observed for each IP: medium fragility in IP-1 (spring) and IP-6 (outflow), especially in terms of the environment; strong fragility in IP-2 and IP-3 (both in partially urbanized areas), with emphasis on the technical and environmental parameters; and very strong fragility in IP-4 and IP-5 (both in areas of consolidated urbanization), with emphasis on the technical, environmental and social aspects. Finally, in the matrix of proposed solutions, it was possible to indicate mainly projects aimed at the renaturalization of the Igarapé Oriundo and its introduction into the urban environment.

Keywords: Assessment Methodologies, Urban Management, Urban Water Management, Diagnosis of Urban Water Networks.

1. Introdução

O cenário das mudanças climáticas é um tema de crescente preocupação, uma vez que seus impactos estão cada vez mais representativos em várias partes do mundo, nos quais as crises climáticas mostram-se como grandes ameaças à segurança alimentar e hídrica. O Relatório Estado dos Serviços Climáticos (OMM, 2021) reportou que as chuvas extremas causaram inundações catastróficas no Japão, China, Indonésia, Nepal, Paquistão, Índia e por toda Europa; deixando milhões de mortos e desabrigados e causando danos generalizados.

O Brasil, apesar de não ser suscetível a maioria dos desastres naturais mais “comuns”, ainda se mostra vulnerável à problemática das mudanças climáticas, como as secas extremas ou chuvas torrenciais. Artaxo (2020) observa que, no país, as áreas ambientais e climáticas são severamente afetadas por eventos climáticos extremos, com impactos significativos na produção agrícola, a infraestrutura costeira, a disponibilidade de recursos hídricos e a qualidade ambiental das cidades, entre muitos outros efeitos.

Desse modo, com as precipitações cada vez mais frequentes e intensas, os sistemas de drenagem urbana se mostram completamente vulneráveis. Kleidorfer *et al.* (2009) afirmam que o projeto e execução de um sistema de drenagem urbana é concebido considerando uma vida útil e uma capacidade prevista, se mostrando assim propenso a fatores de influência como aumento de população ou mudanças climáticas. Consoante a isso, Saboia *et al.* (2020) explicam que, devido a imprevisibilidade dos eventos climáticos, os sistemas de drenagem urbana podem ser subprojetados ou se tornarem obsoletos no futuro e, logo, esse problema pode ser mitigado com o uso de modelos de análise de risco. Portanto, enquanto houver a incerteza das chuvas, jamais haverá um sistema de drenagem invulnerável a esses eventos.

Os problemas do sistema de drenagem podem ser complexos e marcados por características únicas de cada lugar, sendo esses fatores físicos, climáticos, hidrológicos e antropogênicos. Assim, dependendo do contexto em que está situado, a previsibilidade de cálculo e artificialidade do regime hídrico não podem ser aplicados efetivamente no projeto de concepção desses sistemas. Logo, urge a necessidade de projetar redes de drenagem mais resilientes, assim como métodos de avaliar o desempenho dos sistemas de drenagem urbana já existentes, que sejam eficazes e práticos (Birgani; Yazdandoost, 2018; Igroufa, Benzerra e Seghir, 2020).

Nesse tocante, Silva *et al.* (2004) aplicaram um método de avaliação e diagnóstico de redes de drenagem urbana, composto por um conjunto de Indicadores de Fragilidade de Sistemas (IFS) que contemplam as naturezas ambiental, tecnológica e institucional, visando a Elaboração do Componente Drenagem do Plano

Municipal de Saneamento Ambiental de Alagoinhas, no estado da Bahia. Tal método é considerado modelo e já foi aplicado, com sucesso, na identificação das vulnerabilidades em SDU, com classificação dos índices de fragilidades variando de “muito baixa” a “muito forte”, em bacias urbanas das diversas regiões do Brasil (Feitosa; Rocha, 2017; Hayden; Silva, 2019; Santos Júnior, 2014; Silva Junior *et al.*, 2018; Steiner, 2011).

Consoante a isso, a fim de avaliar a fragilidade na bacia hidrográfica do Córrego das Melancias em Montes Claros, Minas Gerais, Santos Júnior (2014) aplicou IFS ao sistema de drenagem pluvial urbana, onde identificou graus de fragilidade “muito forte” na maior parte dos pontos analisados. Do mesmo modo, Feitosa e Rocha (2017) avaliaram a drenagem do centro urbano de Mossoró, no estado do Rio Grande do Norte, partindo da aplicação de IFS de natureza tecnológica, ambiental e institucional, encontrando, também, fragilidades de grau “muito forte” em vários pontos avaliados do sistema. Silva Junior *et al.* (2018), através da mesma metodologia, avaliaram a rede de microdrenagem do bairro de Rio Doce, no município de Olinda, Pernambuco, e identificaram graus de fragilidade variando de “forte” a “muito forte” em todas as áreas-problema analisadas, revelando condições de criticidade. Assim como Hayden e Silva (2019), onde obtiveram o diagnóstico de grau de fragilidade “médio” no sistema de drenagem urbana da bacia hidrográfica do Una, em Belém, no estado do Pará.

Além disso, para avaliação de SDU na bacia do Rio Jacarati, no Maranhão, Pereira, Figueiredo e Campos Filho (2023) geraram um modelo utilizando IFS e sua classificação via *Analytic Hierarchy Process* (AHP), identificando um grau de fragilidade “forte”. Já Birgani e Yazdandoost (2018) buscaram um novo enquadramento da gestão de drenagem na área urbana, utilizando integração de indicadores de sustentabilidade e resiliência, aplicado no 22º distrito do município do noroeste da cidade de Teerã, Irã, obtendo resultados alinhados ao comportamento dos planos de drenagem urbana contra inundações urbanas. Por fim, na busca de produzir uma ferramenta eficiente que possibilitasse avaliar a gestão das redes de drenagem, Igroufa, Benzerra e Seghir (2020) consideraram os indicadores de desempenho como recursos de avaliação benéficos no gerenciamento de SDU na cidade de Bejaia, Argélia, obtendo informações úteis para os gestores do Serviço de Saneamento da Argélia.

Grande parte das cidades amazônicas “nasceram” dos rios, isto é, originaram-se e desenvolveram-se nas margens dos grandes corpos d’águas, com eventual expansão para o interior do território. Além disso, a Amazônia é cortada por diversos igarapés, como são chamados os pequenos cursos d’água da região, que chegam a representar 90% de toda a extensão dos cursos d’água em algumas bacias hidrográficas (Leal, 2017) e, logo, são importantes meios de navegação conectando regiões. Em contrapartida, a região sofreu um acelerado processo de ocupação com um cenário desenhado por um processo de urbanização sem planejamento, promovendo vários impactos e acentuando as fragilidades desses sistemas. Conforme Schuber e Moraes (2015), na cidade de Itaituba, situada no Pará, o processo urbanístico iniciou-se às margens do Rio Tapajós e, com a explosão demográfica oriunda da exploração de ouro, expandiu-se aceleradamente para o interior do município, de jusante a montante, ocupando, inclusive, as áreas naturais de inundação na orla da cidade (centro urbano na época) e estreitando os diversos corpos d’água que desembocam no Rio Tapajós, como o Igarapé Oriundo.

No contexto amazônico, os igarapés são importantes, não só, como ecossistemas aquáticos, mas também, como essenciais fontes hídricas para abastecimento e manejo de águas pluviais. Defronte a isso, o presente estudo parte da avaliação da vulnerabilidade do sistema de macrodrenagem do Igarapé Oriundo utilizando IFS, a fim de identificar as fragilidades e propor soluções visando uma melhor gestão de riscos, controle de danos e formas de recuperação.

2. Material e Métodos

2.1 Caracterização da área de estudo

Localizada na região sudoeste do Pará, a uma latitude 04°16'34 Sul e a uma longitude 55°59'01 Oeste, a cidade de Itaituba contava com uma população de 123.314 habitantes em 2022 e uma extensão territorial de 62.042,472 Km² (IBGE, 2023). Em 2019, o seu núcleo urbano possuía uma área de 33,42 km², com 2,3% de urbanização das vias públicas em 2010 (IBGE, 2023).

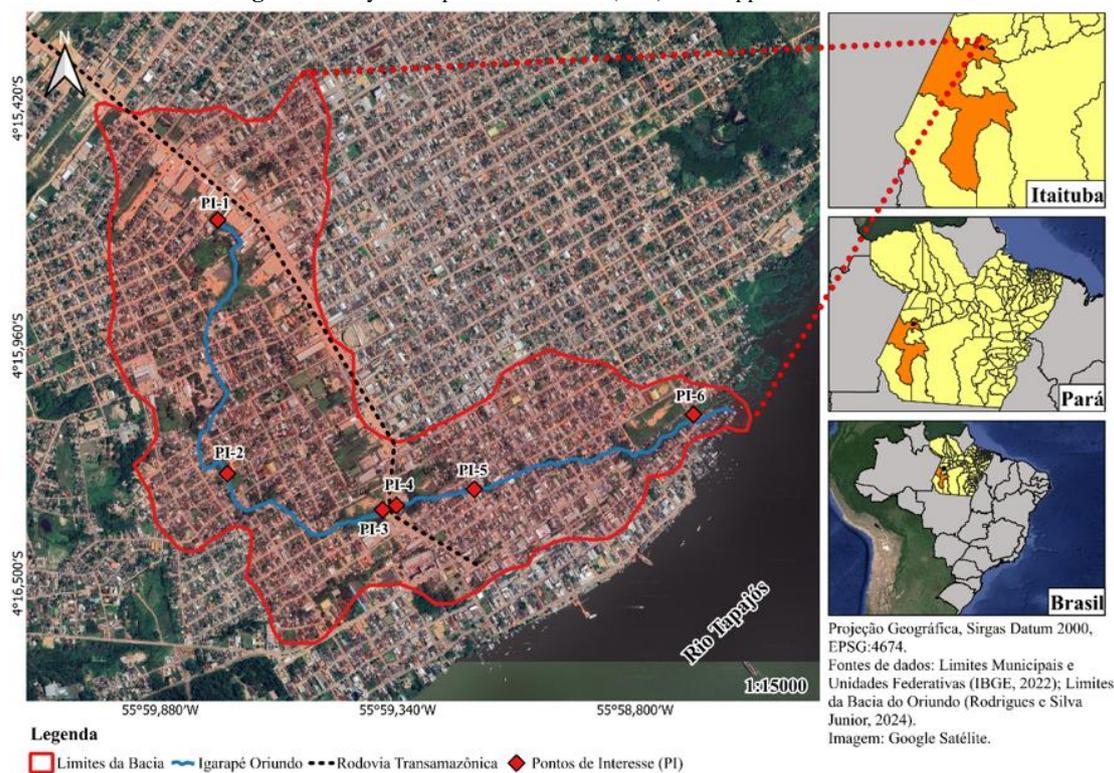
Segundo o relatório das condições meteorológicas características de Itaituba, com base em uma análise estatística de relatórios horários históricos e reconstruções de modelo de 1 de janeiro de 1980 a 31 de dezembro de 2016 (Weather Spark, 2023), no município a temperatura geralmente varia de 23 °C a 34 °C e raramente está abaixo dos a 21 °C ou acima a 37 °C. Quanto à precipitação, as estações chuvosas coincidem com os meses de dezembro a junho, sendo fevereiro o mês mais chuvoso com média de 282 mm de precipitação; e as menos chuvosas nos meses de julho a novembro, com julho sendo o menos chuvoso com média de 46 mm.

A realidade atual mostra um cenário desenhado por um processo urbanístico sem planejamento, promovendo diversos impactos no funcionamento da cidade. Rodrigues e Silva Junior (2024a) observaram que Itaituba-PA sofre com um processo de ocupação acelerado e desordenado, se materializando através da expansão de impermeabilização, falta do acompanhamento da infraestrutura e cobertura de serviços básicos. Além disso, os autores destacam que, diante da ocupação irregular do canal do Igarapé Oriundo, a expansão desordenada afeta diretamente o funcionamento da rede de macrodrenagem do canal, com redução da sua seção, insuficiência e obstrução dos dispositivos de drenagem; resultando em inundações urbanas cada vez mais frequentes e danosas.

Neste tocante, conforme Silva Junior *et. al* (2023), esse fato pode ser observado, por exemplo, pelo evento de chuva ocorrido em 11 de maio de 2023, com precipitação diária registrada no posto pluviográfico de Itaituba (código INMET A231) de 194,6 mm, com pico de 104 mm precipitados em 2 horas, se caracterizando como um evento atípico com tempo de retorno de 121 anos. Tal evento, segundo os autores, promoveu uma série de alagamentos na cidade, afetando, principalmente, os pontos estratégicos de mobilidade urbana, como a Rodovia Transamazônica.

A área a ser estudada na presente pesquisa se refere ao canal de macrodrenagem natural do Igarapé Oriundo. O igarapé está totalmente inserido no núcleo urbano da cidade de Itaituba (Figura 1), com uma extensão de cerca de 4 km, e desague no rio Tapajós, logo, caracterizando sua bacia como uma sub-bacia da Bacia do Rio Tapajós.

Figura 1 – Disposição dos pontos de interesse (PI) a serem aplicados os IFS.
Figure 1 – Layout of points of interest (POI) to be applied to the ISF.



Segundo Rodrigues e Silva Junior (2024b), a bacia de drenagem do Igarapé Oriundo é caracterizada como de pequeno porte (2,73 km²) e, logo, mais susceptível a intervenções antrópicas do que às suas características morfo-hidrológicas. Os autores explicam que tal fator pode ser observado quando se considera que, devido ao formato alongado, há uma menor susceptibilidade a enchentes; e que seu relevo de colinas suaves e terreno suavemente ondulado implicam em uma resposta hidrológica lenta, diminuindo os picos de cheia. Entretanto, o alto grau de impermeabilização observado (C=0,70) implica na taxa de escoamento superficial e, logo, elevando os picos de vazão. Tais fatores, aliados à insuficiência do sistema de drenagem e ocupação irregular das margens, ocasionam frequentes casos de inundações locais, mesmo em eventos normais de chuva.

Nesse sentido, foi definida a localização dos pontos de interesse (PI) considerando os trechos mais afetados pelas intervenções antrópicas, obtendo-se assim o Quadro 1:

Quadro 1 – Localização dos pontos de interesse (PI) para aplicação dos IFS.
Chart 1 – Location of points of interest (POI) for IFS application.

PI	Localização	Bairro	Coordenadas	
			X (Long.)	Y (Lat.)
1	R. Décima/ Primeira Tv. da Floresta	Floresta	55°59'44.94"O	4°15'40.40"S
2	9º R. da Liberdade/ Quarta Tv. da Liberdade	Liberdade	55°59'43.64"O	4°16'15.00"S
3	Margem esquerda da Rodovia Transamazônica	Liberdade	55°59'22.45"O	4°16'19.94"S

4	Margem esquerda da Rodovia Transamazônica	N. Sra. Perp. Socorro	55°59'20.55"O	4°16'19.36"S
5	Tv. Quinze de Agosto/ entre Passagem Antônio de Oliveira e Av. Juvenal Ferreira Lima	N. Sra. Perp. Socorro	55°59'9.94"O	4°16'17.15"S
6	Ponte Walmir Clímaco	São José	55°58'40.02"O	4°16'6.95"S

Conforme se observa na Figura 1 e Quadro 1 o PI-1: nascente do igarapé; PI-2: ponto de mais recente urbanização; PI-3 e PI-4: margem esquerda e direita à intersecção entre o igarapé e a Rodovia Transamazônica; PI-5: área de urbanização consolidada; e PI-6: foz do igarapé.

2.2 Procedimento metodológico

Esta pesquisa está enquadrada como exploratória e descritiva, quanto aos fins, e quanto aos meios, se apoia em um estudo de caso, como técnica de coleta de dados e informações, contemplando uma análise quali-quantitativa (Marconi; Lakatos, 2017).

A seleção dos indicadores é baseada na metodologia desenvolvida por Silva *et al.* (2004) e incrementada, sobretudo pelos indicadores de natureza social, na relação obtida mediante Revisão Sistemática de Literatura (RSL), usando o *software* StArt e consultando as bases de dados da *Scopus* e *Web of Science*. Tal método, conduzido por Rodrigues, Silva Junior e Lima (2024), selecionou 10 artigos aderentes às *strings* de busca acerca dos indicadores de fragilidade aplicados na avaliação de sistemas de drenagem urbana, com destaque às metodologias de Birgani e Yazdandoost (2018), Mendonça e Souza (2019), e Pereira, Figueiredo e Campos Filho (2023). Ao todo, foram utilizados, nesta pesquisa, 20 indicadores contemplando as naturezas ambiental, social, técnica e institucional, conforme se observa no Quadro 2.

Nesse sentido, a fim de avaliação dos indicadores, para as naturezas ambiental, social e técnica, foi considerado o cenário encontrado através de vistorias técnicas; e, para a natureza institucional, considerou-se dados definidos pela legislação e disponibilizados pela gestão municipal. Não obstante, conversas com moradores foram fundamentais a fim de avaliar quanto a sua percepção do sistema e meio ao qual estão inseridos; e suas vivências permitiram identificar intervenções ocorridas e problemas recorrentes.

Quadro 2 – Relação dos indicadores por natureza e abordagem a ser aplicada.

Chart 2 – List of indicators by nature and approach to be applied.

	Indicadores	Parâmetros de Análise
AMBIENTAL	1. Ocorrência de alagamentos	Considera a presença de inundações no ponto, podendo ser considerados críticos de acordo com a frequência de ocorrência.
	2. Degradação física do solo adjacente aos canais	Pondera quanto a remoção de vegetação natural das margens do igarapé e entorno, com observação da exposição do solo e estabilidade dos taludes laterais do canal.
	3. Ocupação de áreas propensas a inundações e enchentes	Observa a ocupação irregular de áreas de risco nas margens e áreas de inundação natural do igarapé.
	4. Deposição de resíduos sólidos e sedimentos em vias públicas	Pondera quanto a deposição e acúmulo de resíduos em vias de acesso, potencialmente carregados em precipitação ou inundação.
	5. Canalização e revestimento da seção hidráulica do corpo receptor	Dispõe quanto às intervenções físicas efetuadas no igarapé, como retificação do curso natural e impermeabilização do leito e margens.
	6. Sedimentação de canais e galerias	Trata sobre o potencial de assoreamento no leito do canal e dispositivos de drenagem.
	7. Presença de cargas poluentes	Observa, de modo superficial, a presença de resíduos sólidos (lixo) e lançamento de efluentes (esgoto doméstico) no corpo receptor.
SOCIA	8. Aceitação social do sistema de drenagem urbana	Aborda a interação da população com o igarapé quanto sistema de macrodrenagem, objetivando identificar sua noção da funcionalidade e melhorias a serem implementadas.

	9. Risco e vulnerabilidade à saúde pública	Reflete acerca da exposição da população a contaminação por poluição, proliferação de pragas e as inundações urbanas.
	10. Educação ambiental	Considera a consciência da população ribeirinha em relação ao igarapé e entorno como meio ambiente no qual estão inseridos, com ênfase nas práticas de sustentabilidade conhecidas e/ou adotadas.
TÉCNICA	11. Capacidade e eficiência de coleta de microdispositivos de drenagem e escoamento superficial em estradas	Avaliação do dimensionamento e eficiência dos dispositivos de microdrenagem existentes
	12. Capacidade e eficiência de escoamento da macrodrenagem	Avaliação do dimensionamento e eficiência dos dispositivos de macrodrenagem existentes
	13. Redução da vida útil das estruturas de drenagem	Caracterização da resiliência e vulnerabilidade dos dispositivos de drenagem quanto ao sucateamento devido falta de manutenção e ocorrência de eventos extremos de precipitação.
	14. Diminuição da urbanização e impermeabilização de superfícies em áreas	Identificação da diferença de uso e ocupação do solo, destacando o avanço da impermeabilização das áreas urbanas.
	15. Mitigação da obstrução por deposição de lixo e sedimentos de rios, canais e galerias	Frequência de manutenção do sistema de drenagem, com desobstrução de dispositivos devido ao acúmulo de lixo e sedimentos.
	16. Aplicação de medidas de controle estruturais e não estruturais	Presença de técnicas compensatórias alternativas ao sistema de drenagem convencional.
INSTITUCIONAL	17. Cumprimento dos planos diretor e de zoneamento	Atendimento às normas de zoneamento urbano dispostas no plano diretor municipal.
	18. Atuação dos órgãos públicos no controle de medidas estruturais e não estruturais	Normalização e fiscalização de medidas de controle estruturais e não estruturais prevista em Código de Obras municipal.
	19. Investimentos públicos em obras de drenagem	Investimento da gestão municipal na conservação e ampliação do sistema de drenagem vigente.
	20. Projetos de mitigação de impactos	Identificação de projetos de reação aos eventos de precipitação extremos, como o incentivo ao uso de técnicas compensatórias a fim de eliminar ou reduzir os impactos de alagamentos urbanas.

Fonte: Autores, organizado de Silva et al. (2004); Birgani e Yazdandoost (2018); Mendonça e Souza (2019); Pereira, Figueiredo e Campos Filho (2023).

Source: Authors, organized by Silva et al. (2004); Birgani and Yazdandoost (2018); Mendonça and Souza (2019); Pereira, Figueiredo and Campos Filho (2023).

A fim de caracterização de fragilidade, foram aplicados pesos aos IFS (Tabela 1), conforme a metodologia desenvolvida por Santos Júnior (2013). Desse modo, com base no somatório geral dos pesos manifestados para cada indicador das naturezas ambiental, social, técnica e institucional; foram calculados e classificados os Índices Gerais de Fragilidade – IFG por ponto de interesse. Os valores do IGF variam entre 0 a 104 (Tabela 2) e foram divididos em graus e intervalos, para a melhor avaliação do grau de fragilidade no sistema de drenagem.

Tabela 1 – Valores (pesos) em função da manifestação dos indicadores.

Table 1 – Values (weights) according to the manifestation of the indicators.

Valores (pesos)	Manifestação dos indicadores
0	Fator Inexistente no Ponto
1	Sem agravante
2	Pouco agravante
3	Medianamente agravante
4	Moderadamente agravante
5	Muito agravante

Fonte: Adaptado de Silva Junior *et al.* (2018).

Source: Adapted from Silva Junior *et al.* (2018).

Tabela 2 – Índice Geral de Fragilidade: graus e intervalos.
Table 2 – General Frailty Index: degrees and ranges.

Grau de fragilidade	Intervalos
Muito Baixa	0 a 20
Baixa	21 a 41
Média	42 a 62
Forte	63 a 83
Muito Forte	84 a 104

Fonte: Adaptado de Santos Júnior (2014).

Source: Adapted from Santos Júnior (2014).

Para a atribuição dos pesos aos 20 IFS, foram procedidas vistorias técnicas *in loco* na microbacia do Igarapé Oriundo, que se iniciou a partir de sua nascente, na R. Décima/ Primeira Tv. Do Bairro da Floresta, e seguiu pelos pontos de interesse dispostos até a sua desembocadura no Rio Tapajós. Os seis pontos de interesse foram vistoriados em duas campanhas realizadas em maio de 2023 e junho de 2024, ambos no período de inverno amazônico. Na oportunidade, foram realizados registros fotográficos dos componentes da macrodrenagem, destacando as fragilidades observadas.

3. Resultados e Discussão

3.1 Diagnóstico Ponto-a-Ponto na Macrodrenagem do Igarapé Oriundo

a) Ponto de Interesse 1 (Nascente):

A nascente do Igarapé Oriundo (PI-1) é o ponto mais preservado, com mata ciliar ainda presente, sem ocupação irregular em suas margens, estabilidade dos taludes e leito natural (Quadro 3, 1A). Por outro lado, foi observado despejo irregular de resíduos sólidos e efluentes domésticos (Quadro 3, 1B) em área subjacente, comprometendo o equilíbrio do ecossistema aquático. Além disso, foi possível notar uma redução gradativa da cobertura vegetal e exposição do solo em trechos próximos à região da nascente. Segundo o disposto pelo Código Florestal, Lei nº 12.651/2012 (Brasil, 2012), as regiões no entorno das nascentes dos corpos hídricos devem apresentar Áreas de Preservação Permanente (APP) com, no mínimo, um raio de cinquenta metros, porém, apesar de no ponto observado a APP não superar dez metros de raio, não há presença de quaisquer dispositivo de drenagem no trecho (Quadro 3, IC).

Quadro 3 – Registros fotográficos dos pontos de interesse identificados por natureza de fragilidade.
Chart 3 – Photographic records of the points of interest identified by their fragility.

PI	A - Ambiental	B - Social	C - Técnica
1			
2			
3			
4			
5			
6			

É válido considerar que, segundo Silva Junior *et al.* (2023), o igarapé sofreu fortes alterações em maio de 2023 diante de um evento de precipitação extremo, que resultou numa chuva diária total de 194,6 mm e tempo de retorno de 121 anos; com notável diferença na cobertura vegetal, exposição das margens e carreamento do revestimento natural do leito. Esse cenário corrobora com Cavalcante *et al.* (2020) ao afirmar que a cobertura vegetal do solo pode ser alterada tanto por ações antrópicas quanto por eventos climáticos.

b) Ponto de Interesse 2 (Área de urbanização recente – Bairro da Liberdade):

No PI-2, local de urbanização recente do Bairro da Liberdade, notou-se o avanço da ocupação sobre a área de várzea do igarapé, com estrangulamento da seção irregular e canalização da mesma, culminando no desvio do seu curso natural (Quadro 3, 2A). A nova seção passou a ter formato trapezoidal e sem revestimento, com assoreamento acentuado (Quadro 3, 2B). Não foi notado dispositivos de microdrenagem nas vias adjacentes ao igarapé (Quadro 3, 2C).

Quanto à natureza institucional, a Lei Municipal nº 2.885 (Itaituba, 2015), que institui o Zoneamento Urbano na cidade, estabelece a Zona de Interesse Ambiental (ZIA) do Oriundo, como uma faixa irregular de 30 metros de cada margem ao longo do Igarapé Oriundo, desde o Bairro Bom Remédio, até o limite da primeira quadra do Bairro Bela Vista, adjacente à Rodovia Transamazônica. Condizente ao disposto no Código Florestal, Lei nº 12.651 (Brasil, 2012), que estabelece APP com largura de, no mínimo, 30 metros para corpos d'água urbanos com menos de 10 metros de largura.

Não obstante, a Lei Municipal nº 2.885/2015 dispõe que, em uma ZIA, os índices urbanísticos de taxa de ocupação seja de, no máximo, 5%; coeficiente de permeabilidade de, no mínimo, 0,9; e cobertura vegetal arbórea mínima de 0,6. Para Rodrigues e Silva Junior (2024b), o coeficiente de escoamento superficial estimado na bacia de drenagem do Igarapé Oriundo foi de 0,7 e, logo, o coeficiente de permeabilidade seria de 0,3. Nesse sentido, pode-se observar que esse critério se torna agravante, à medida que avança a ocupação no local.

c) Pontos de Interesse 3 e 4 (Cruzamento com Rodovia Transamazônica):

Na intersecção entre o curso do Igarapé Oriundo com a Rodovia Transamazônica (BR-163), foram observadas diferenças significativas entre a margem esquerda (PI-3), no Bairro da Liberdade e direita (PI-4), no Bairro N. Sra do Perpétuo Socorro. Naturalmente, no PI-3 se observa uma “lagoa” (grande área de várzea do igarapé) com cobertura vegetal total do espelho d'água e fluxo lento, funcionando como uma bacia de detenção natural (Quadro 3, 3A). Intervenções antrópicas preliminares são observadas nas suas margens, com progressivo aterramento da área de várzea e lançamento de entulhos (Quadro 3, 3B). Por outro lado, no PI-4, a ocupação das margens do igarapé encontra-se consolidada, resultando acentuados estreitamentos de sua seção hidráulica (Quadro 3, 4A-B), e corroborando com Tucci (2007), que afirma que a ocupação, via de regra, tende a ocorrer de jusante para montante.

No quesito técnico, foi possível identificar a presença de dispositivos de coleta e condução de águas pluviais (microdrenagem) na Rodovia Transamazônica, porém apenas no lado esquerdo da via (PI-3), conforme se observa no Quadro 3, 3C. No lado direito, foi observada a existência, apenas, de canaletas com deságue no igarapé, onde muitas destas já desgastadas, assoreadas ou inexistentes em alguns trechos. Na transposição do igarapé pela Rodovia, há três bueiros tubulares com diâmetros de 1,0, 1,2 e 2,0 m (Quadro 3, 4C), e altura entre a geratriz superior dos tubos até o asfalto da Rodovia de cerca 1,0 m (em PI-3) e 0,6 m (PI-

4). Foi observada obstrução de tubulação central devido ao assoreamento e vegetação e, por isso, inutilização desta com desvio do fluxo para as auxiliares.

d) Ponto de Interesse 5 (Área de urbanização consolidada – Bairro N. Sra do Perpétuo Socorro):

No PI-5, pode ser observada a presença de edificações não apenas nas margens, mas também estruturadas no leito do igarapé, conhecidas como palafitas (Quadro 3, 5A). Nesse ponto, se nota a estagnação da vazão devido ao acúmulo de resíduos e vegetação, inclusive obstrução das tubulações, com a água de coloração sempre turva e fluxo desacelerado. Além disso, destaca-se também o lançamento de esgoto e dejetos domésticos direto no corpo d'água, favorecendo a proliferação de doenças (Quadro 3, 5B). Nesse trecho o igarapé trespassa a Travessa Quinze de Agosto por meio de um conduto tubular em aço, com cerca de 1,20 m de diâmetro e duas tubulações auxiliares de 70 cm (Quadro 3, 5C). Quanto à microdrenagem, notou-se a presença, apenas, de canaletas, e muitas destas se apresentam ineficientes devido ao acúmulo de sedimentos e efluentes domésticos.

Além disso, todo o trecho do igarapé limitado entre a Rodovia Transamazônica e a sua foz (inclusive PI-5), é definido como Zona Especial de Interesse Social (ZEIS) do Oriundo, pela Lei Municipal de Zoneamento Urbano (Itaituba, 2015). As ZEIS são áreas urbanas marcadas pela fragilidade e caráter precário de ocupação, com presença da população de baixa renda. Assim, podemos considerar inundações urbanas, nesses trechos, como caso de saúde pública.

e) Ponto de Interesse 6 (Foz):

Por fim, o PI-6 corresponde a desembocadura do Igarapé Oriundo no Rio Tapajós. É o ponto com mais larga área de inundação natural em comparação a seção do igarapé, com densa cobertura vegetal no seu leito (Quadro 3, 6A). Em contrapartida, foi observado o lançamento de esgoto doméstico e resíduos sólidos advindos das moradias ribeirinhas nas áreas adjacentes, afetando o equilíbrio ecológico no local (Quadro 3, 6B).

Esse trecho sofre com remanso proveniente da variação de nível do Rio Tapajós durante a época de cheia. Segundo Silva (2014), a ocorrência do remanso é responsável por provocar um fluxo inverso (refluxo) das águas pluviais culminando no afogamento das galerias e, logo, na inundação de diversos pontos a montante. Todavia, não há canalização do igarapé e nem dispositivos de microdrenagem nesse trecho, portanto o efeito do remanso é concentrado na área de inundação (Quadro 3, 6C). Corroborando com a avaliação de Silva Junior *et al.* (2023), onde foi observado que a desembocadura do canal é o ponto com maior resiliência aos efeitos de eventos de precipitação extremos devido, sobretudo, há baixas intervenções na área de inundação natural e alto relevo das margens propiciando a formação de um grande lago de amortecimento de vazão.

3.2 Aplicação dos IFS nos Pontos de Interesse da Microbacia do Igarapé Oriundo

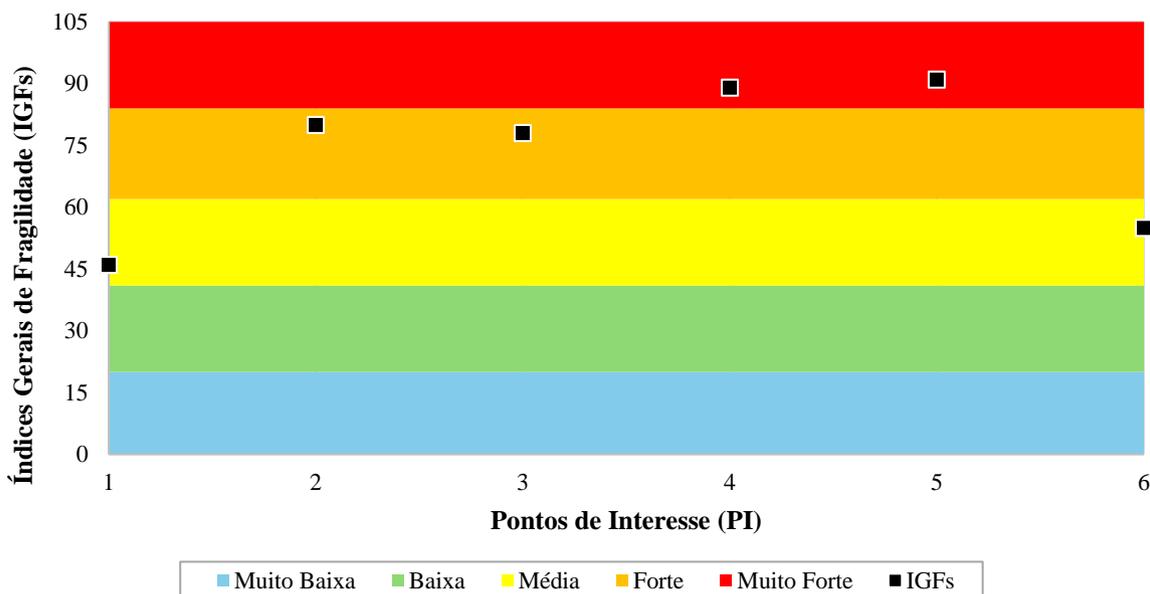
Considerando o diagnóstico conduzido nos pontos, foi possível aplicar os pesos aos IFS e obter o IGF, conforme se observa na Tabela 3 e Figura 2.

Tabela 3 – Resultado da aplicação dos IFS nos pontos de interesse.**Tabela 3 – Result of applying ISF to points of interest.**

	Indicadores	PI-1	PI-2	PI-3	PI-4	PI-5	PI-6
AMBIENTAL	1. Ocorrência de alagamentos	0	4	3	5	5	0
	2. Degradação física do solo adjacente aos canais	3	4	3	5	5	3
	3. Ocupação de áreas propensas a inundações e enchentes	2	5	3	5	5	3
	4. Deposição de resíduos sólidos e sedimentos em vias públicas	0	0	0	0	2	0
	5. Canalização e revestimento da seção hidráulica do corpo receptor	0	0	3	4	4	0
	6. Sedimentação de canais e galerias	2	3	4	4	4	0
	7. Presença de cargas poluentes	5	5	5	5	5	5
	Σ (Ambiental):	12	21	21	28	30	11
SOCIAL	8. Aceitação social do sistema de drenagem urbana	0	5	5	5	5	5
	9. Risco e vulnerabilidade à saúde pública	3	5	5	5	5	3
	10. Educação ambiental	0	5	5	5	5	4
		Σ (Social):	3	15	15	15	15
TÉCNICA	11. Capacidade e eficiência de coleta de microdispositivos de drenagem e escoamento superficial em estradas	0	5	2	5	5	2
	12. Capacidade e eficiência de escoamento da macrodrenagem	0	3	4	4	4	0
	13. Redução da vida útil das estruturas de drenagem	0	3	4	4	4	0
	14. Diminuição da urbanização e impermeabilização de superfícies em áreas urbanas	4	5	4	5	5	3
	15. Mitigação da obstrução por deposição de lixo e sedimentos de rios, canais e galerias	3	4	5	5	5	3
	16. Aplicação de medidas de controle estruturais e não estruturais	5	5	5	5	5	5
	Σ (Técnica):	12	25	24	28	28	13
INSTITUCIONAL	17. Cumprimento dos planos diretor e de zoneamento	5	5	5	5	5	5
	18. Atuação dos órgãos públicos no controle de medidas estruturais e não estruturais	4	4	4	4	4	4
	19. Investimentos públicos em obras de drenagem	5	5	5	5	5	5
	20. Projetos de mitigação de impactos	5	5	4	4	4	5
	Σ (Institucional):	19	19	18	18	18	19
ÍNDICE GERAL DE FRAGILIDADE - IGF		46	80	78	89	91	55
HIERARQUIZAÇÃO DE PRIORIDADES		6°	3°	4°	2°	1°	5°

Conforme a hierarquização, nota-se que os pontos com mais agravante IGF (PI-5, PI-4 e PI-2, respectivamente) correspondem aos locais com maior percentual de urbanização e intervenção antrópica massiva quando comparados aos trechos com menor IGF (PI-3, PI-6 e PI-1), marcados por menores taxas de ocupação e intervenções ainda na fase preliminar.

Figura 2 – Gráfico com disposição dos IGF e fragilidade correspondente.
Figure 2 – Graph showing the arrangement of GFIs and corresponding fragility.



Conforme análise do IGF obtido, podemos identificar média fragilidade em PI-1 e PI-6, com destaque nas naturezas ambiental; forte fragilidade em PI-2 e PI-3, exigindo maior atenção nos aspectos técnico e ambiental; e muito forte fragilidade em PI-4 e PI-5, sobretudo no caráter técnico, ambiental e social. Além disso, nota-se uma avassaladora fragilidade na natureza institucional em todos os pontos. De modo geral, a média de peso por indicador para cada natureza foi de: 5 (muito agravante) para natureza institucional, 4 (moderadamente agravante) para as naturezas técnica e social e 3 (medianamente agravante) para a natureza ambiental.

O ponto com pior avaliação foi o PI-5, na Travessa Quinze de Agosto, com IGF 91 de 100, com máxima fragilidade na natureza social e tendo o maior índice de fragilidade na natureza ambiental entre os pontos analisados. Essa vulnerabilidade pode ser explicada por um conjunto de fatores, partindo do fato de ser um ponto crítico de alagamento. Dentre os fatores, tem-se a ocupação massiva da área de inundação natural do igarapé, com edificações sobre o seu leito (palafitas), culminando no estreitamento do curso d'água e no estrangulamento da vazão. Além disso, o subdimensionamento dos condutos de trespasse da vazão pela Travessa Quinze de Agosto; obstrução dos mesmos pelo lançamento de resíduos sólidos e falta de manutenção; e inexistência de dispositivos de coleta de microdrenagem atribuíram a esse ponto o único com observável disposição de sedimentos na via.

Em contrapartida, o PI-1 (nascente) foi o ponto com melhor avaliação entre os analisados, com IGF 46 de 100. Além disso, foi o ponto com menor fragilidade social (3/15) e técnica (12/30), devido a improbabilidade ocupacional de uma área referente a nascente. Apesar disso, se observou agravantes fragilidades no fator ambiental, sobretudo o lançamento de esgoto e depósito de resíduos sólidos; e descumprimento das disposições institucionais.

Em uma análise mais minuciosa, podemos observar que, no caráter ambiental, o igarapé ainda apresenta revestimento natural em quase toda sua extensão. Por outro lado, o indicador referente a presença de cargas poluentes foi muito agravante em todos os pontos de interesse observados, levantando uma questão quanto aos riscos ao equilíbrio do ecossistema. Além disso, foi considerada agravante a ocupação de áreas de risco,

degradação física do solo nas áreas adjacentes e sedimentação do canal e dispositivos de drenagem; sendo esses fatores críticos para o funcionamento adequado de um sistema de drenagem.

Não obstante, a ocorrência de alagamentos foi considerada como agravante em todos os pontos de urbanização (de PI-2 a PI-5), o que corrobora com o elucidado por Rodrigues e Silva Junior (2024b) ao relacionar os impactos antropogênicos à ocorrência de alagamentos mesmo em períodos normais de precipitação na bacia de drenagem do Oriundo; e com Oliveira *et al.* (2022) ao identificarem que regiões com massiva ocupação das áreas ribeirinhas sofrem o déficit funcional do sistema de drenagem existente.

Já em relação a natureza social os pontos PI-2, PI-3, PI-4, PI-5 se destacam negativamente maximizando a fragilidade possível para essa natureza (15/15). Isso foi devido a contemplação da falta de percepção da população do Igarapé Oriundo tanto como meio ambiente quanto como sistema de macrodrenagem, com extremos através da ocupação de áreas de inundação natural e, logo, retificação e estreitamento do canal; lançamento de esgoto e efluentes domésticos, favorecendo a proliferação de doenças e aumentando o risco de contaminação; depósito de resíduos sólidos e, logo, obstrução de condutos. Condizente com Pereira *et al.* (2018) ao relacionar o descarte inadequado de resíduos sólidos e líquidos com a existência de população ribeirinha no córrego Mandacaru, colocando essa população e o ecossistema em risco.

Por conseguinte, no quesito técnico, se destaca a falta de aplicação de medidas de controle estruturais e não estruturais como muito agravante em todos os seis pontos de interesse observados. A obstrução de condutos por depósito de lixo, sedimentação dos canais e considerável aumento a impermeabilização do solo são agravantes consideráveis no funcionamento técnico do sistema. Steiner (2011) demonstra que a falta de manutenção nos dispositivos de coleta se reflete na ineficiência operacional do sistema de drenagem pluvial, cabendo a gestão se atentar ao papel do sistema de drenagem como ferramenta essencial no bem-estar social. Desse modo, se observa um sistema quase obsoleto e com notável redução na vida útil; marcado pela insuficiência dos dispositivos de drenagem e necessidade de ampliação.

Por fim, no caráter institucional se mostraram as piores avaliações dos indicadores, com agravantes em todos os pontos de interesse (média de 95% do máximo de fragilidade possível para a natureza). A falta de observação do disposto nas legislações municipais, plano diretor urbano e de zoneamento se materializam com a contaminação da nascente; ocupação irregular de áreas de risco e eventual estrangulamento da seção; e aumento da população vivendo em situação de vulnerabilidade social. Os indicadores referentes à atuação dos órgãos públicos no controle de medidas e projetos de mitigação de impactos desfalecem diante da falta de investimentos públicos em obras de drenagem. Uma vez que, conforme disposto pelo Balanço Geral (Prefeitura Municipal de Itaituba, 2024), nos últimos cinco anos não houve investimento em obras de macrodrenagem do Igarapé no sentido que liga a Rodovia Transamazônica ao Rio Tapajós. Além do mais, a falta de compatibilização

Nesse sentido, observa-se uma linha tênue na relação entre as distintas naturezas, com clara influência do fator social sobre o ambiental e técnico; e da natureza institucional sobre todos esses, uma vez que, de acordo com Baum (2022), a negligência ao planejamento impacta toda a dinâmica urbana com a falta de integração de um sistema com os demais projetos urbanos.

3.3 Matriz de Soluções Propostas para Reduzir as Fragilidades Encontradas

A aplicação dos indicadores nos PIs permitiu classificar a fragilidade do sistema de macrodrenagem do Igarapé Oriundo e identificar os pontos críticos, permitindo assim propor soluções para gestão urbana e visar a melhoria do sistema de drenagem. Com a caracterização da fragilidade do sistema, foi considerada, a partir da metodologia de Silva Junior *et al.* (2018), uma matriz de resposta detalhada para possíveis soluções e melhoras ao sistema, a fim de garantir a segurança e eficiência do mesmo, conforme disposto no Quadro 4.

Quadro 4 – Matriz de soluções propostas para reduzir as fragilidades de cada PI.
Chart 4 – Matrix of proposed solutions to reduce the weaknesses of each POI.

Ações/Medidas	Pontos de Interesse (PI)					
	1	2	3	4	5	6
Estruturais:						
1. Limpeza e remoção do assoreamento no corpo receptor						
2. Execução de obras de microdrenagem						
3. Controle de sedimentos e prevenção de erosão						
4. Desapropriação e realocação de moradores de áreas de risco						
5. Execução de obras de macrodrenagem						
6. Desobstrução e limpeza dos dispositivos hidráulicos						
7. Recuperação, adequação e melhoria dos dispositivos existentes						
8. Reparo na pavimentação						
Não Estruturais:						
1. Elaboração de manuais normativos para padronização dos dispositivos de drenagem: poços de visita, bocas de lobo, etc.						
2. Integração entre os componentes do saneamento ambiental (esgotamento sanitário, resíduos sólidos e drenagem urbana).						
3. Investimento público em técnicas compensatórias ao sistema de drenagem convencional.						
4. Fiscalização e cumprimento da lei municipal de zoneamento urbano.						

Foram listadas 12 ações importantes que poderão ser implementadas nos PIs, abrangendo ações estruturais e não estruturais. Por ser o local de maior fragilidade, o PI-5 reúne as 12 ações propostas. No Quadro 4 observa-se que os serviços de manutenção e limpeza dos sistemas de macro e microdrenagem foram recomendados para, pelo menos, 50% dos PIs. Esse fato, demonstra a ineficiência dos serviços urbanos na manutenção da infraestrutura de drenagem da cidade. Outro ponto a se destacar, é a inexistência de ações não estruturais, como o estabelecimento de parâmetros normativos, que normalmente são orientados pelo manual de drenagem do município, para a execução e padronização dos dispositivos de drenagem.

Em linhas gerais, para atendimento de boa parte das ações sugeridas na matriz do Quadro 4, se faz necessária a elaboração de um Plano Diretor de Drenagem Urbana com medidas eficazes de gestão das águas pluviais da cidade, abordando desde a normatização e regulamentação dos dispositivos de drenagem até a criação de projetos de mitigação aos impactos oriundos de eventos de precipitação extrema, diante das mudanças climáticas. Além disso, também se faz necessário criar legislações que incentivem a integração do espaço natural do igarapé com o meio urbano, uma vez que a incorporação do igarapé às atividades humanas garante a proteção ambiental do mesmo, reduzindo o risco de invasões e ocupação irregular; proporcionando acesso a lazer, aumentando a qualidade de vida; e incentivando interação da sociedade com o meio ao qual estão inseridas, promulgando a educação ambiental.

Quanto às medidas estruturais, segundo Rodrigues *et al.* (2023), é possível apontar que as medidas variam em termos de escala espacial de implantação. Assim, em alguns casos, ocorre a necessidade de disposição de áreas grandes, à exemplo dos parques urbanos. Por outro lado, em determinadas situações, as soluções podem ser aplicadas em espaços menores, à exemplo de jardins de chuva. A fim de reduzir ou eliminar

pontos críticos de alagamentos identificados, se propõe, em todos os cruzamentos de vias pelo Oriundo, a substituição do trespassse sobre o Igarapé, antes feita por condutos fechados, por pontes de vão livre.

Quanto à problemática de ocupação ribeirinha massiva, se sugere a adoção de um projeto de recuperação e reabilitação de edifícios públicos e privados abandonados nos centros urbanos, tal qual o projeto de reintegração do Edifício Dandara no centro da cidade de São Paulo (Anitelli, 2021), garantindo qualidade de vida e dignidade; do mesmo modo, uma outra alternativa viável seria a adoção de um projeto similar ao Programa Social e Ambiental dos Igarapés de Manaus – PROSAMIM (RIMA, 2004), que visou recuperar áreas degradadas e garantir melhoria na qualidade de vida da população ocupante da Bacia dos Educandos, através da construção de habitações comunitárias com acesso ao espaço urbano, esporte, lazer e infraestrutura básica.

Do mesmo modo, em Recife, o Programa de Requalificação e Resiliência Urbana em Áreas de Vulnerabilidade Socioambiental – ProMorar (ProMorar Recife, 2024) visou levar às Comunidades de Interesse Social do Recife (CIS) mais dignidade, conforto e qualidade de vida através de urbanização integrada, com participação ativa da população no contexto urbano; infraestrutura resiliente, reduzindo riscos de desastres por alagamentos e/ou deslizamentos; e inovação na política urbana e habitacional e enfrentamentos aos riscos climáticos.

4. Conclusão

Para que ocorra o desenvolvimento urbano de forma sustentável, urge a necessidade do planejamento estratégico e investimento. Diante do cenário das mudanças climáticas e com precarização do serviço de saneamento básico, os sistemas de drenagem urbana se mostram suscetíveis as falhas, causando as inundações urbanas. Nesse sentido, a partir dos resultados da RSL conduzida, observou-se que os indicadores de fragilidade (ou desempenho) como um método benéfico para avaliação de SDU e facilitadores da melhor gestão urbana, identificando pontos críticos que merecem atenção e indicando melhorias em parâmetros como resiliência e sustentabilidade.

Quanto aos problemas técnicos, a identificação dos pontos mais suscetíveis e vulneráveis, sobretudo nos PI-5, PI-4 e PI-2, permite sugerir intervenções eficazes para as problemáticas encontradas. O caráter ambiental apresentou agravante fragilidade referente a contaminação do manancial, da nascente a foz, com a necessidade de pesquisas no sentido de renaturalização do Igarapé Oriundo e sua introdução no meio urbano, como o estabelecimento de parques lineares. Quanto ao caráter institucional, o âmbito de grave fragilidade em todos os pontos, se espera a definição de um Plano Diretor de Drenagem Urbana; investimentos reais em projetos de mitigação de impactos, ampliação e melhoria do sistema existente com largo incentivo a adoção de técnicas alternativas ao sistema de drenagem convencional. Para cumprimento da lei, e proteção da população em risco, se faz necessário a criação de espaços seguros para habitação. Todavia, para evitar a remarginalização advinda do realocamento forçado, se recomenda a reintegração de prédios abandonados (públicos ou privados) a fim de garantir moradias dignas nos centros urbanos.

Para trabalhos futuros, se sugere o desenvolvimento de um projeto de revitalização do Igarapé Oriundo, visando garantir sua conservação ambiental e ótimo funcionamento do sistema de macrodrenagem ao integrá-lo efetivamente ao centro urbano ao qual está inserido.

5. Agradecimentos

O primeiro autor agradece ao CNPq pela bolsa de iniciação tecnológica (PIBITI).

6. Referências

Anitelli, F. (2021, outubro). Reabilitação do Edifício Dandara: Habitação Social e Arquitetura Moderna. **Anais do 14º Seminário Docomomo Brasil**, Belém, PA, Brasil, 15. Disponível em: <https://docomomobrasil.com/wp-content/uploads/2021/12/reab-dandara.pdf>. Acesso em: 26 ago. 2024.

Artaxo, P. (2020). As três emergências que nossa sociedade enfrenta: saúde, biodiversidade e mudanças climáticas. **Estudos Avançados**, 34(100), 53–66. DOI: <https://doi.org/10.1590/s0103-4014.2020.34100.005>

Baum, C. A. (2022). **Gerenciamento municipal de águas pluviais urbanas: proposta de ferramenta baseada em indicadores**. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS, Brasil. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/252924>. Acesso em 5 jul. 2024.

Birgani, Y. T.; & Yazdandoost, F. (2018). An integrated framework to evaluate resilient-sustainable urban drainage management plans using a combined-adaptive MCDM technique. **Water Resources Management**, 32, 2817-2835. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11269-018-1960-2>.

BRASIL. **Lei Nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa e dá outras providências**. Diário Oficial da União, Brasília, 2012. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/111445.htm. Acesso em 01 dez. 2023.

Cavalcante, A. E. D. Q. M., Justino, S. T. P., De Sousa Silva, R. P., De Holanda Leite, M. J., De Moraes Almeida, Á. B., Da Silva Figueroa, L., ... & Mendes, M. K. S. (2020). Levantamento do Uso e Cobertura Vegetal da Microbacia Hidrográfica do Rio Farinha. **Engenharia Florestal: Desafios, Limites E Potencialidade**, Editora Científica Digital, 1, 540-551. DOI: <http://doi.org/10.37885/200801134>.

Feitosa, C. L.; & Rocha, V. A. G. M. (2017, novembro). Avaliação do índice de fragilidade do sistema de drenagem pluvial urbano. estudo de caso: Centro de Mossoró. **Anais do XXII SBRH - Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, Florianópolis, SC, 8. Disponível em: <https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=2996>. Acesso em 14 jul. 2024.

Hayden, D.A.; & Silva, A.H.P.M. (2019). Diagnóstico Ambiental: Indicadores de Fragilidade em um Sistema de Drenagem Urbana e depósitos irregulares de lixo em Belém/PA-Amazônia. **Revista GeoAmazônia**, 7(14), 21-48. DOI: <http://dx.doi.org/10.18542/geo.v7i14.12553>.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2023). In: Cidades: **Panorama**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pa/itaituba/panorama>. Acesso em 27 nov. 2023.

Igroufa, M.; Benzerra, A.; & Seghir, A. (2020). Development of an assessment tool for infrastructure asset management of urban drainage systems. **Water Science and Technology**, 82(3), 537-548. DOI: <http://dx.doi.org/10.2166/wst.2020.356>.

ITAITUBA. **Lei Municipal Nº 2.885, de 21 de dezembro de 2015. Dispõe sobre a criação da lei de zoneamento urbano e disciplina o uso e a ocupação do solo urbano no município de Itaituba e dá outras providências**. Itaituba, PA: Gabinete da Prefeitura, 2015. Disponível em: <https://www.itaituba.pa.leg.br/leis/legislacao-municipal/2015/lei-2885-2015-dispoe-sobre-a-criacao-da-lei->

[de-zoneamento-urbano-e-disciplina-o-uso-e-a-ocupacao-do-solo-urbano-do-municipio-de-itaituba-e-das-outras-providencias/view](#). Acesso em 01 ago. 2024.

Kleidorfer, M.; Möderl, M.; Sitzenfrei, R.; Urich, C.; & Rauch, W. (2009). A case independent approach on the impact of climate change effects on combined sewer system performance. **Water science and technology**, 60 (6), 1555-1564. DOI: <https://doi.org/10.2166/wst.2009.520>.

Leal, C. G. (2017, dezembro 3) **Por que os pequenos rios da Amazônia são fundamentais**. Ambiental Media. Disponível em: <https://www.ambiental.media/artigos/por-que-os-pequenos-rios-da-amazonia-sao-fundamentais/>. Acesso em 15 ago. 2024.

Marconi, M.A.; Lakatos, E.M. (2017). **Fundamentos de metodologia científica** (8. Ed). São Paulo: Atlas.

Mendonça, E. C; Souza, & M. A. A. (2019). Uma metodologia multiobjetivo e multicritério para avaliação de desempenho de sistemas de drenagem urbana. **Ingeniería del agua**, 23(2), 89-106. DOI: <https://doi.org/10.4995/ia.2019.10214>.

Oliveira, A. K. B.; Battemarco, B. P.; Barbaro, G.; Gomes, M. V. R.; Cabral, F. M.; De Oliveira Pereira Bezerra, R.; De Araújo Rutigliani, V.; Lourenço, I. B.; Machado, R. K.; Rezende, O. M.; Magalhães, P. C.; Veról, A. P.; & Miguez, M. G. (2022). Evaluating the Role of Urban Drainage Flaws in Triggering Cascading Effects on Critical Infrastructure, Affecting Urban Resilience. **Infrastructures**, 7(153), 1-26. DOI: <https://doi.org/10.3390/infrastructures7110153>.

OMM – Organização Meteorológica Mundial. (2021). **Relatório Estado dos Serviços Climáticos: Água**. Geneva, Suíça. Disponível em: https://library.wmo.int/viewer/57630/download?file=1278_en.pdf&type=pdf&navigator=1. Acesso em 07 jan. 2024.

Pereira, P. P.; Paredes, E. A.; & Okawa, C. M. (2018). Diagnóstico preliminar da integridade ambiental de fundos de vale. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, 23,739-749. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522018169928>.

Pereira, R. F. S.; Figueiredo, N. M.; & Campos Filho, L. C. (2023). Performance evaluation of urban drainage systems: an analytic hierarchy process approach for the Jaracati basin in Brazil. **Acta Scientiarum. Technology**, 45, e63176-e63176. DOI: <https://doi.org/10.4025/actascitechnol.v45i1.63176>.

PREFEITURA MUNICIPAL DE ITAITUBA. (2024). **Balanco Anual: 2019, 2020, 2021, 2022, 2023**. Itaituba-PA. Disponível em: <https://itaituba.cr2.net.br/portal-da-transparencia/balanco-anual/>. Acesso em 06 ago. 2024.

ProMorar Recife. (2024). **Sobre o programa**. Prefeitura Municipal de Recife, Recife – PE. Disponível em: <https://promorar.recife.pe.gov.br/sobre-o-programa/>. Acesso em: 13 jan. 2025.

RIMA – Relatório de Impacto Ambiental. (2004, Jul). **Programa Social e Ambiental dos Igarapés de Manaus**. UFAM/CONCREMAT, 139 p. Disponível em: <https://www.ipaam.am.gov.br/wp-content/uploads/2021/11/RIMA-PROSAMIM.pdf>. Acesso em: 25 ago. 2024.

Rodrigues, J. W. S.; & Silva Junior, M. A. B. (2024a, setembro). Análise temporal do Uso e Ocupação do solo na cidade de Itaituba-PA e sua relação com a drenagem urbana local. **Anais do XV ENAU - Encontro Nacional de Águas Urbanas e V SRRU - Simpósio de Revitalização de Rios Urbanos**, Recife, PE, Brasil, 10. Disponível em: <https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=15964>. Acesso em 21 jan. 2025.

Rodrigues, J. W. S.; & Silva Junior, M. A. B. (2024b). Caracterização morfo-hidrológica de pequena bacia amazônica como subsídio ao processo de revitalização de rio urbano. **Periódico Técnico e Científico Cidades Verdes**, 12(35), 84-99. DOI: <https://doi.org/10.17271/23178604123520245095>.

Rodrigues, J. W. S.; Silva Junior, M. A. B.; & Lima, M. C. A. (2024). Indicadores de fragilidade de sistemas de drenagem urbana como suporte à avaliação do desempenho: uma revisão sistemática da literatura. **Contribuciones A Las Ciencias Sociales**, 17(8), e9133. DOI: <https://doi.org/10.55905/revconv.17n.8-055>.

Rodrigues, M. S. C.; Quaresma, C. C.; Pereira, R. K.; & Ribeiro, A. P. (2023). The use of Nature-Based Solutions in the fight against Urban Floods: trends, actors and solutions adopted. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental Da Alta Paulista**, 19(3), 1-12. DOI: <https://doi.org/10.17271/1980082719320233764>.

Saboia, M. A. M.; Souza Filho, F. A.; Helfer, F.; Rlim, L. Z. R. (2020). Robust strategy for assessing the costs of urban drainage system designs under climate change scenarios. **Journal of Water Resources Planning and Management**, 146(11), 05020022. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0001281](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0001281).

Santos Júnior, V. J. (2013). **Avaliação da drenagem pluvial da bacia hidrográfica do córrego Cintra em Montes Claros/MG**. Trabalho de Conclusão de Curso, Engenharia Ambiental, Faculdade de Ciências Exatas e Tecnológicas Santo Agostinho – FACET, Montes Claros, MG, Brasil.

Santos Júnior, V. J. (2014). Avaliação da fragilidade no sistema de drenagem pluvial urbana: o caso da bacia hidrográfica do córrego das Melancias em Montes Claros – MG. **Revista Monografias Ambientais**, 13(5), 3986–3997. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/remoa/article/view/15125>. Acesso em 17 set. 2024.

Schuber, E. S. M., & Moraes, S. C. de. (2015). Desenvolvimento Regional do Tapajós: Um Olhar Sob o Cenário Socioeconômico na Região de Integração do Tapajós. **Revista De Estudos Sociais**, 17(34), 93–111. Recuperado de <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/res/article/view/2591>.

Silva Junior, M. A. B.; Câmara, C.P.S.; Fonseca Neto, G. C.; & Cabral, J. J. S. P. (2018, novembro). Avaliação dos indicadores de fragilidade do sistema de drenagem urbana de um bairro em Olinda-PE. **Anais do XII ENAU - Encontro Nacional de Águas Urbanas**, Maceió, AL, Brasil, 10. Disponível em: <https://anais.abrhidro.org.br/works/4398>. Acesso em: 05 jul. 2024.

Silva Junior, M. A. B.; Santos, A. O; Farias, W. A.; Martins, A. M. S.; & Silva, A. K. C. (2023, novembro). Eventos extremos de precipitação em cidades amazônicas: uma análise dos impactos em Itaituba, sudoeste do Pará. **Anais do XXV SBRH - Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, Aracaju, SE, 10. Disponível em: <https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=15231>. Acesso em: 05 jul. 2024.

Silva, B. J. Da; Pereira, O. S.; Assis, W. A. V. De; & Morais, L. R. S. (2004). **O Componente Drenagem Urbana no Plano Municipal de Saneamento Ambiental de Alagoinhas, Bahia**.

Silva, M. J. C. (2014). **A problemática do remanso dos eixos de macrodrenagem nas galerias urbanas: estudo de caso sobre a modelagem da cheia do Rio Poty no ano de 2009 em Teresina-PI.** Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil: Recursos Hídricos, Fortaleza, CE, Brasil. Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/11593>. Acesso em 05 jul. 2024.

Steiner, L. (2011). **Avaliação do sistema de drenagem pluvial urbana com aplicação do índice de fragilidade. Estudo de caso: microbacia do Rio Criciúma.** Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Ambiental, Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC, Criciúma, SC, Brasil. Disponível em: <http://repositorio.unesc.net/handle/1/1356>. Acesso em 27 nov. 2023.

Tucci, C. E. M. (2007). **Inundações Urbanas** (volume 11). Porto Alegre: ABRH/RHAMA.

Weather Spark. (2023). **Clima e condições meteorológicas médias no Itaituba no ano todo.** Disponível em: <https://pt.weatherspark.com/y/149890/Clima-caracter%C3%ADstico-no-Itaituba-Brasil-durante-o-ano>. Acesso em 17 dez. 2023.