ALAGAMENTO EM ÁREAS URBANAS: ESTUDO DE CASO NA CIDADE DE ITAITUBA - PA

URBAN FLOODING: A CASE STUDY IN THE CITY OF ITAITUBA - PARÁ

INUNDACIONES EN ZONAS URBANAS: ESTUDIO DE CASO EN LA CIUDAD DE ITAITUBA - PA

10.56238/IIMultiCientifica-185

Sidney da Cruz Vieira
Engenheiro Ambiental e Sanitarista
Instituição: Instituto Federal do Pará (IFPA) - Campus Itaituba-PA
E-mail: sidneydacruzvieira@gmail.com
Orcid: https://orcid.org/0009-0004-7813-0718
Lattes: http://lattes.cnpq.br/7727459203469425

Amanda da Silva Vieira
Graduanda em Engenharia Civil
Instituição: Faculdade de Itaituba (FAI) - Campus Itaituba-PA
E-mail: vvieiraa27@gmail.com
Orcid: https://orcid.org/0009-0000-5134-1428
Lattes: http://lattes.cnpq.br/2436778673256158

Darleny do Carmo dos Santos
Especialista em Gestão Ambiental e Desenvolvimento Sustentável
Instituição: Instituto Federal do Pará (IFPA) - Campus Itaituba-PA
E-mail: darleny.carmo@gmail.com
Orcid: https://orcid.org/0009-0004-5067-1344
Lattes: http://lattes.cnpq.br/1575677062523721

Francisco Denis Pereira Chaves
Doutorando em Desenvolvimento e Meio Ambiente Urbano (UNAMA/PPDMU)
Instituição: Instituto Federal do Pará (IFPA) - Campus Itaituba-PA
E-mail: franciscodpchaves@gmail.com
Orcid: https://orcid.org/0009-0003-7997-8190
Lattes: http://lattes.cnpq.br/4798073398357557

RESUMO
Este estudo analisa os alagamentos urbanos nos bairros Santo Antônio e Bom Remédio, em Itaituba-PA, relacionando características naturais, urbanização e limitações da drenagem pluvial. Foram utilizados dados do INMET (2008–2024), imagens de satélite (2005 e 2022), curvas de nível, observações de campo e geoprocessamento no QGIS. Pela equação racional, adotaram-se coeficiente médio ponderado de 0,7625, intensidade de chuva de 82,25 mm/h (TR = 2 anos) e área de 67 ha,

obtendo-se vazão aproximada de 11,76 m³/s. Os resultados indicam que supressão vegetal, impermeabilização, baixa declividade e deficiências da rede de drenagem favorecem os alagamentos. Conclui-se pela necessidade de planejamento urbano integrado, com melhoria da infraestrutura, preservação ambiental e soluções sustentáveis de drenagem.

Palavras-chave: Alagamentos Urbanos. Drenagem Pluvial. Impermeabilização.

ABSTRACT
This study analyzes urban flooding in the Santo Antônio and Bom Remédio neighborhoods in Itaituba, Pará, Brazil, relating natural characteristics, urbanization, and limitations of stormwater drainage. Data from INMET (2008–2024), satellite images (2005 and 2022), contour lines, field observations, and geoprocessing in QGIS were used. Using a rational equation, a weighted average coefficient of 0.7625, a rainfall intensity of 82.25 mm/h (TR = 2 years), and an area of 67 ha were adopted, obtaining an approximate flow rate of 11.76 m³/s. The results indicate that vegetation suppression, impermeability, low slope, and deficiencies in the drainage network favor flooding. The conclusion is that integrated urban planning is necessary, with improved infrastructure, environmental preservation, and sustainable drainage solutions.

Keywords: Urban Flooding. Stormwater Drainage. Impermeability.

RESUMEN
Este estudio analiza las inundaciones urbanas en los barrios de Santo Antônio y Bom Remédio, en Itaituba, Pará, Brasil, relacionando las características naturales, la urbanización y las limitaciones del drenaje pluvial. Se utilizaron datos del INMET (2008-2024), imágenes satelitales (2005 y 2022), curvas de nivel, observaciones de campo y geoprocesamiento en QGIS. Mediante una ecuación racional, se adoptó un coeficiente de promedio ponderado de 0,7625, una intensidad de lluvia de 82,25 mm/h (TR = 2 años) y un área de 67 ha, obteniendo un caudal aproximado de 11,76 m³/s. Los resultados indican que la supresión de la vegetación, la impermeabilidad, la baja pendiente y las deficiencias en la red de drenaje favorecen las inundaciones. La conclusión es que se requiere una planificación urbana integral, con infraestructura mejorada, preservación ambiental y soluciones de drenaje sostenibles.

Palabras clave: Inundaciones Urbanas. Drenaje Pluvial. Impermeabilidad.

1 INTRODUÇÃO

Os alagamentos recorrentes nos bairros Santo Antônio e Bom Remédio, em Itaituba-PA, afetam mobilidade, atividades econômicas, moradias e saúde pública. No cruzamento da Rua 29ª com a Travessa São José (Figura 1), o acúmulo de água evidencia a interação entre impermeabilização do solo, baixa cobertura vegetal e deficiência da drenagem urbana (Soares, 2018; Cardoso; Tavares; Silva, 2023).

Figura 1. Alagamento no cruzamento da Rua 29ª com a Travessa São José – Itaituba-Pa.



Fonte: Giro Portal. Acesso em: 23 abr. 2023.

No Brasil, a recorrência de alagamentos urbanos expressa os efeitos da urbanização acelerada e da insuficiência dos sistemas de drenagem (SNIS, 2021). Em áreas amazônicas de elevada pluviosidade, esses eventos também ampliam riscos sanitários e ambientais, sobretudo quando associados ao manejo inadequado de resíduos, erosão, assoreamento e perda de cobertura vegetal (Silva; Cardoso, 2022; Barros et al., 2024). A Política Nacional de Saneamento Básico (Lei nº 11.445/2007, atualizada pela Lei nº 14.026/2020) reconhece a drenagem como componente do saneamento e reforça a necessidade de planejamento integrado e de soluções sustentáveis.

Em Itaituba, a baixa declividade, o regime intenso de chuvas, a expansão urbana desordenada, a impermeabilização e a insuficiência da drenagem se combinam na formação de pontos críticos. O estudo concentra-se nessa interação entre precipitação, relevo, uso do solo e infraestrutura.

Diante desse contexto, o presente estudo tem como objetivo analisar os fatores físicos e antrópicos associados à ocorrência de alagamentos urbanos nos bairros Santo Antônio e Bom Remédio, no município de Itaituba-PA, avaliando a relação entre precipitação, relevo, uso do solo e infraestrutura de drenagem urbana.

2 METODOLOGIA

2.1 TIPO DE PESQUISA

Trata-se de pesquisa descritiva, bibliográfica e estudo de caso, com integração de procedimentos qualitativos e quantitativos. A abordagem combina dados mensuráveis, análise espacial e evidências de campo para examinar os alagamentos em seu contexto territorial (Minayo, 2001; Gil, 2010; Yin, 2001; Lakatos; Marconi, 2003).

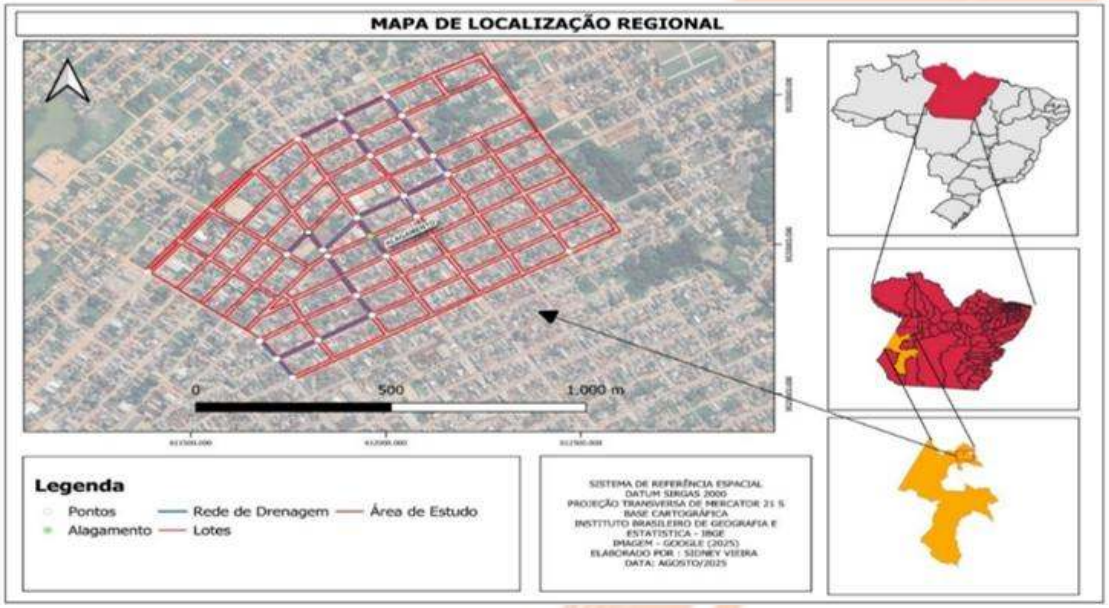
2.2 DELIMITAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo situa-se no perímetro urbano de Itaituba, sudoeste do Pará, em clima equatorial úmido com precipitação anual superior a 2.000 mm. O recorte, com aproximadamente 67 ha, abrange trechos dos bairros Bom Remédio e Santo Antônio, incluindo o cruzamento da Rua 29ª com a Travessa São José.

A seleção considerou a recorrência de alagamentos observada entre 2023 e 2025, associada ao relevo pouco inclinado, à deficiência da drenagem pluvial e ao crescimento urbano. Predominam ruas asfaltadas, edificações residenciais e remanescentes de áreas permeáveis.

A delimitação foi realizada com imagens de satélite, dados topográficos, curvas de nível e polígono KML em ambiente SIG. As Figuras 2 e 3 apresentam, respectivamente, o recorte regional e o ponto crítico da Rua 29ª com a Travessa São José.

Figura 2. Mapa de Localização Regional da área de estudo.



Fonte: Elaborado pelos autores com base em imagens do Google Earth (2025).

Figura 3. Localização da área de estudo, com destaque para o ponto crítico.



Fonte: Elaborado pelos autores com base em imagens do Google Earth (2025).

2.3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Os procedimentos integraram dados secundários, observações de campo e geotecnologias. A etapa quantitativa incluiu séries históricas de precipitação, análise espacial e cálculos hidrológicos; a qualitativa reuniu visitas in loco, registros fotográficos e relatos de moradores, permitindo triangulação das evidências (Creswell; Clark, 2018).

Foram utilizados dados pluviométricos do BDMEP/INMET (2008–2024) e documentos oficiais, entre eles o Anuário Climático do Estado do Pará (SEMAS, 2024) e o Diagnóstico Ambiental do Porto Organizado de Itaituba (CDP, 2021).

Para interpretar as variações anuais de precipitação, adotou-se a metodologia do Índice de Anomalia de Chuva (IAC), conforme proposta pela Embrapa (2020). Essa abordagem considera o desvio percentual da precipitação anual em relação à média climatológica, classificando os anos segundo faixas de anomalia, como mostra a Tabela 1.

Tabela 1. Classificação das anomalias de precipitação com base no Índice de Anomalia de Chuva (IAC).

Desvio percentual (%) em relação à média	**Classificação da anomalia**
≥ +15 %	Anomalia úmida (extrema)
+5 % a +14,9 %	Acima da média
–4,9 % a +4,9 %	Normal
–5 % a –14,9 %	Abaixo da média
≤ –15 %	Anomalia seca (extrema)

Fonte: Adaptado de EMBRAPA (2020) – Índice de Anomalia de Chuva (IAC).

As visitas de campo, realizadas entre 2023 e 2025, registraram pontos críticos, relevo, uso do solo, cobertura vegetal, condições da drenagem e descarte de resíduos, complementados por fotografias, fichas de observação e relatos de moradores.

No QGIS 3.28, foram processadas curvas de nível com resolução de 1 m para obtenção de declividades, modelo digital do terreno e delimitação de sub-bacias, combinadas a imagens do Google Earth Pro.

A vazão de escoamento superficial foi estimada pela Equação Racional. O cálculo envolveu o coeficiente médio ponderado do uso do solo, a intensidade de chuva obtida pela equação IDF de Itaituba e a área de contribuição:

a) o coeficiente médio ponderado foi calculado a partir das proporções de superfícies impermeáveis, parcialmente permeáveis e vegetadas na área de 67 ha, com valores de escoamento definidos segundo referências técnicas;

A média ponderada foi calculada pela Equação 1:

Equação 1 – Coeficiente Médio Ponderado:

$$C_{médio} = \frac{\sum(C_i.A_i)}{\sum A_i} \qquad (1)$$

Onde:

$C_{médio}$: coeficiente médio ponderado

C_i: coeficiente da intensidade de superfície i

A_i: fração da área ocupada pela superfície

Σ: somatório dos produtos entre o coeficiente de escoamento (Ci) e a área correspondente (Ai)

O procedimento segue referências técnicas de drenagem urbana (CETESB, 1999; Tucci, 2008; ABNT NBR 9649/1986):

b) a intensidade de chuva foi estimada pela equação IDF da CPRM (2014) para Itaituba, considerando período de retorno de 2 anos e duração de 30 minutos.

Equação 2 – Intensidade da chuva:

$$i = \frac{a(TR)^b}{(t+c)^d} \qquad (2)$$

Parâmetros da CPRM: a = 3460,9; b = 0,1785; c = 33,5; d = 0,9310.

Onde:

i: Intensidade da chuva (mm/h)

(TR): tempo de retorno $(anos)$

t: duração da chuva em (min)

$a, b, c\ e\ d$: parâmetros estatísticos regionais ajustados pela CPRM com base em dados do INMET

A vazão de pico foi obtida pela Equação Racional:

Equação 3 – Equação Racional:

$$Q = C.i.A \qquad (3)$$

Onde:

Q: vazão de escoamento superficial m^3/s

C: coeficiente de escoamento superficial (adimensional)

i: intensidade de precipitação mm/h

A: área da bacia de contribuição m^2

A Equação Racional foi aplicada à área de 670.000 m² com o coeficiente e a intensidade calculados.

A Equação Racional foi utilizada por ser amplamente aplicada em estudos de drenagem urbana em bacias hidrográficas de pequena extensão, permitindo estimar a vazão máxima associada a eventos de precipitação intensa, conforme recomendado por Tucci (2008).

Essa abordagem permitiu construir um diagnóstico técnico e ambiental da área, integrando elementos físicos e sociais, com foco na compreensão da vulnerabilidade hidrológica e nos desafios enfrentados pela população afetada.

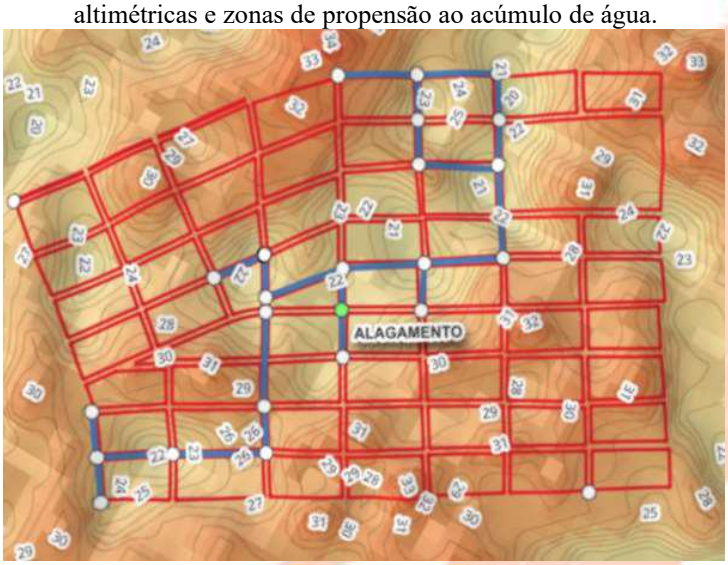
2.4 TÉCNICAS DE ANÁLISE DOS DADOS

A análise dos dados foi organizada em eixos quantitativo, espacial e qualitativo, integrados na interpretação final (Creswell; Clark, 2018).

No eixo quantitativo, a análise concentrou-se no tratamento dos dados pluviométricos obtidos junto ao BDMEP/INMET (2008–2024). Ao organizá-los em planilhas eletrônicas, verificou-se a possibilidade de calcular médias mensais, identificar picos de precipitação, analisar a sazonalidade e correlacionar esses resultados aos registros de alagamentos.

Na análise espacial, foram empregadas ferramentas de geoprocessamento por meio do software QGIS 3.28. A elaboração de mapas temáticos baseou-se em curvas de nível, delimitação de sub-bacias de drenagem e cálculo de declividades. Esse processo permitiu a construção de um Modelo Digital do Terreno (MDT) em 3D da área de estudo (Figura 4), destacando as zonas propensas ao acúmulo de água. As análises foram complementadas com imagens de satélite do Google Earth e arquivos vetoriais em formato KML, gerados na etapa de mapeamento.

Figura 4. Modelo Digital do Terreno (MDT) em 3D da área de estudo, destacando rede de drenagem local e variações altimétricas e zonas de propensão ao acúmulo de água.



Fonte: Elaborado pelos autores a partir de processamento de curvas de nível no QGIS 3.28 (2025).

No eixo qualitativo, as observações de campo foram registradas em fichas estruturadas, fotografias e relatos informais de moradores, permitindo validar os mapeamentos e identificar aspectos ausentes nas bases cartográficas, como falhas na drenagem, acúmulo de resíduos e falta de vegetação. A triangulação entre dados empíricos, cartográficos e climáticos consolidou uma base analítica robusta

para as discussões do capítulo seguinte, aprimorando a compreensão da dinâmica dos alagamentos na área de estudo.

2.5 MATERIAIS CARTOGRÁFICOS, BASES DE DADOS E INSTRUMENTOS UTILIZADOS

Os principais materiais cartográficos, bases de dados e instrumentos empregados foram:

- imagens de satélite do Google Earth (anos de 2005 e 2022);
- arquivos vetoriais no formato KML (limites e pontos de alagamento);
- arquivos raster em formato TIFF (curvas de nível da área urbana);
- dados pluviométricos do INMET (2008–2024);
- fotografias de campo;
- mapas base do IBGE;
- relatos orais de moradores da área afetada;
- planilhas eletrônicas elaboradas no Microsoft Excel para tratamento e análise dos dados pluviométricos e de campo;
- relatórios e tabelas produzidos no Microsoft Word, empregados na sistematização e organização dos resultados da pesquisa.

Os pontos levantados em campo foram georreferenciados e processados no QGIS 3.28. A Tabela 2 reúne as coordenadas dos nove pontos de amostragem.

Os pontos críticos mapeados foram analisados quanto à distribuição espacial, altimetria e relação com a infraestrutura urbana existente. Essa abordagem permitiu integrar fatores físicos e antrópicos na compreensão das causas e impactos dos alagamentos registrados.

Tabela 2. Coordenadas georreferenciadas dos pontos de amostragem na área de estudo.

Ponto	Este (UTM)	Norte (UTM)	Latitude (WGS84)	Longitude (WGS84)
P-01	611.384	9.529.916	-4.252265	-55.996327
P-02	611.649	9.530.247	-4.249267	-55.993943
P-03	611.765	9.530.353	-4.248307	-55.992899
P-04	612.246	9.530.640	-4.245706	-55.988569
P-05	612.433	9.530.300	-4.248779	-55.986880
P-06	612.600	9.530.044	-4.251092	-55.985372
P-07	611.769	9.529.552	-4.255553	-55.992854
P-08	611.704	9.529.651	-4.254658	-55.993440
P-09	611.662	9.529.697	-4.254242	-55.993819

Fonte: autores (2025).

As coordenadas foram obtidas com GPS Garmin eTrex 10, no sistema UTM, Fuso 21S, Datum WGS84, e convertidas para latitude e longitude pelo EPSG:32721. Considerou-se margem de erro aproximada de ±3 m.

A Figura 5 apresenta a localização do ponto crítico de alagamento da área de estudo mapeada. As informações geográficas correspondem à Tabela 2.

Figura 5. Distribuição geográfica do ponto crítico de alagamento na área de estudo.



Fonte: Elaborado pelos autores com base em imagens do Google Earth (2025).

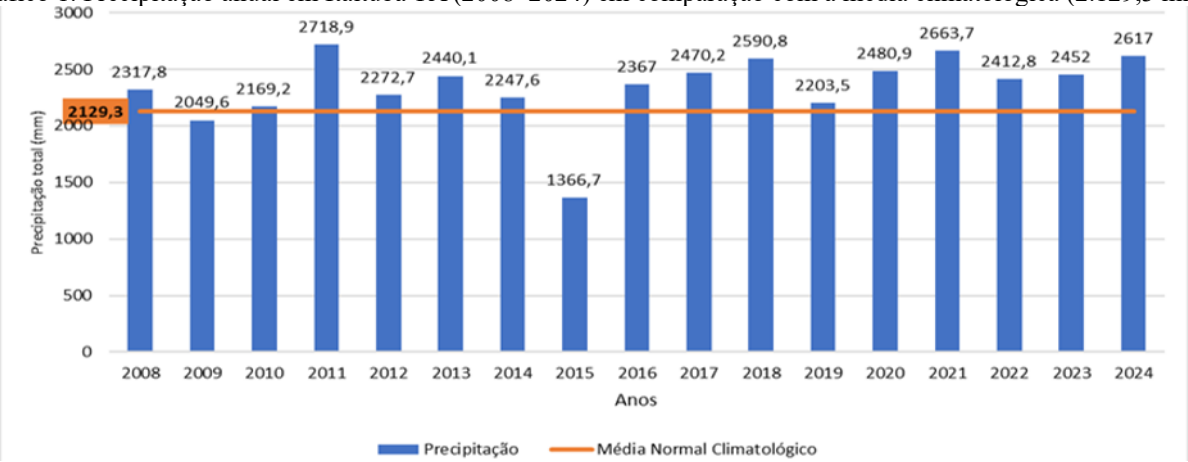
O conjunto de dados permitiu relacionar relevo, ocupação urbana, drenagem e recorrência dos alagamentos.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 ANÁLISE DA PRECIPITAÇÃO EM ITAITUBA-PA

A precipitação de Itaituba foi analisada com registros do INMET (2008–2024), abrangendo 17 anos e permitindo caracterizar a sazonalidade e as variações anuais relevantes para a dinâmica dos alagamentos urbanos.

Gráfico 1. Precipitação anual em Itaituba-PA (2008–2024) em comparação com a média climatológica (2.129,3 mm).



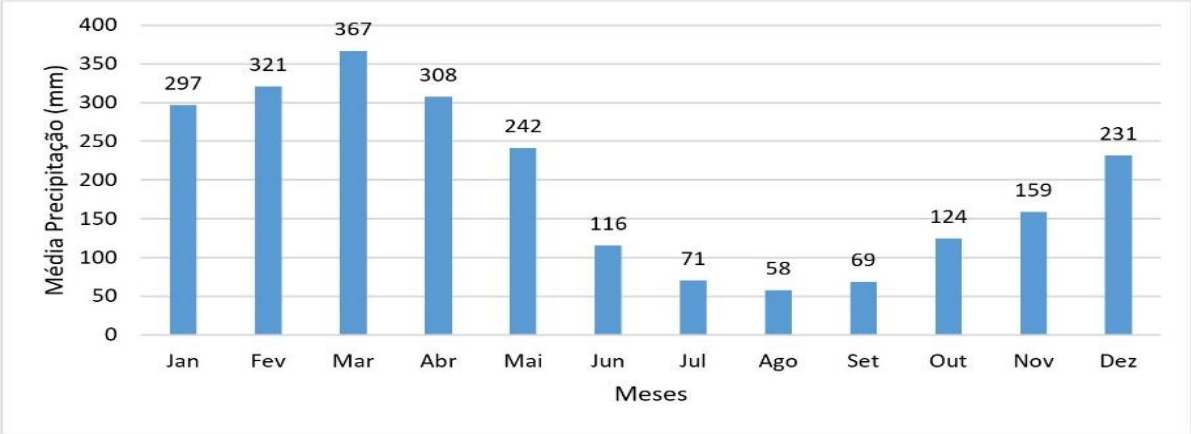
Fonte: Elaborado pelos autores a partir de dados do BDMEP/INMET (2024).

No Gráfico 1, a média climatológica do período foi de 2.129,3 mm. Quinze dos 17 anos ficaram acima dessa referência; 2011, 2018, 2021 e 2024 foram classificados como anomalias úmidas, enquanto 2009 e 2015 ficaram abaixo da média, com 2015 caracterizado como evento seco extremo, segundo os critérios da EMBRAPA (2020).

A predominância de anos acima da média reforça a necessidade de incorporar a variabilidade e os eventos extremos ao planejamento da drenagem, em consonância com discussões sobre mudanças climáticas na Amazônia (Marengo; Souza Jr., 2018).

O Gráfico 2 mostra maior concentração de chuvas entre janeiro e abril, com médias mensais superiores a 250 mm, condição que aumenta a pressão sobre áreas planas e com drenagem deficiente.

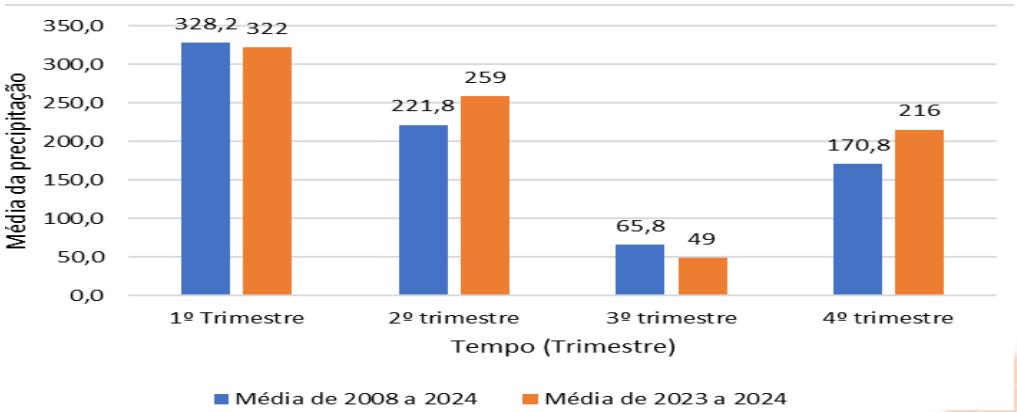
Gráfico 2. Média mensal da precipitação em Itaituba-PA (2008–2024).



Fonte: Elaborado pelos autores a partir de dados do INMET (2024).

A análise trimestral (Gráfico 3) confirma maior pluviosidade no início do ano e menor volume entre julho e setembro. A comparação com 2023–2024 indica manutenção do padrão sazonal.

Gráfico 3. Comparação entre a média histórica (2008–2024) e a média dos anos 2023 e 2024 para a precipitação trimestral em Itaituba-PA.



Fonte: Elaborado pelos autores a partir de dados do INMET (2024).

Assim, o período chuvoso concentra-se entre dezembro e maio, enquanto julho a setembro correspondem ao intervalo mais seco. Essa sazonalidade justifica medidas preventivas antes e durante os meses de maior precipitação.

3.2 SUPRESSÃO DA VEGETAÇÃO NATIVA

A comparação temporal indica que a supressão de vegetação e a expansão urbana reduziram áreas de infiltração e ampliaram o escoamento superficial. As Figuras 6 e 7 evidenciam a substituição progressiva da cobertura vegetal por ocupação urbana entre 2005 e 2022, inclusive em áreas sensíveis à retenção da água da chuva.

A comparação entre imagens de satélite dos anos de 2005 (Figura 6) e 2022 (Figura 7) evidencia uma redução expressiva da vegetação, especialmente em áreas de fundo de vale e pequenos aclives, regiões naturalmente sensíveis à instabilidade hidrológica e com função estratégica na retenção e infiltração da água da chuva.

Figura 6. Imagem de satélite da área de estudo em 2005.



Fonte: Google Earth, 2005. Elaborado pelos autores.

A transformação observada ao longo de 17 anos reforça o avanço da impermeabilização e a perda de superfícies capazes de reter e infiltrar precipitação.

Figura 7. Imagem de satélite da área de estudo em 2022.



Fonte: Google Earth, 2022. Elaborado pelos autores.

A redução da cobertura vegetal diminui a infiltração, acelera o escoamento e eleva os picos de vazão, aumentando a sobrecarga sobre a drenagem urbana (Guerra; Cunha, 2014). No cruzamento da Rua 29ª com a Travessa São José (Figura 8), essa condição contribui para alagamentos mesmo sob chuvas de intensidade moderada.

Na área de estudo, essa realidade é evidente, especialmente no cruzamento da Rua 29ª com a Travessa São José (Figura 8). Nesse local, ocorrem alagamentos frequentes mesmo em chuvas de média intensidade, agravados pela escassez de vegetação capazes de reter ou infiltrar parte da água, o que resulta em acúmulo nas superfícies impermeáveis.

Figura 8. Alagamento no cruzamento da Rua 29ª com a Travessa São José.



Fonte: Giro Portal. Acesso em: 23 abril 2023.

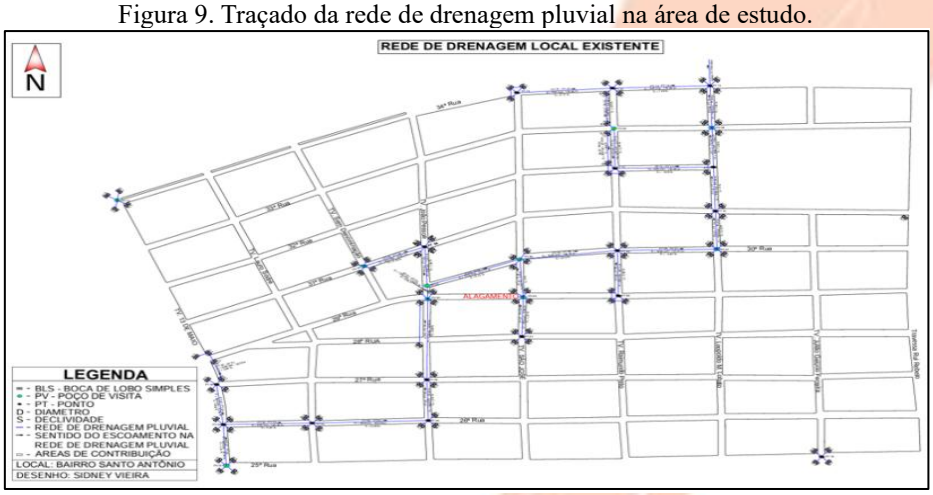
A ausência de vegetação também favorece o transporte de resíduos pelas enxurradas, contribuindo para a obstrução dos dispositivos de drenagem.

A relação entre ausência de vegetação, aumento do escoamento superficial e acúmulo de resíduos sólidos será aprofundada na próxima seção, dedicada à análise da rede de drenagem pluvial nos bairros investigados.

3.3 REDE DE DRENAGEM PLUVIAL NA ÁREA DE ESTUDO

A rede de drenagem é composta por bocas de lobo simples, poços de visita e tubulações com diferentes diâmetros e declividades (Figura 9). O levantamento identificou falhas estruturais e funcionais diretamente associadas aos pontos recorrentes de alagamento.

Figura 9. Traçado da rede de drenagem pluvial na área de estudo.



Fonte: Elaborado pelos autores com base em levantamento técnico da área de estudo (2024).

Trechos com declividade inferior a 1% e, em alguns casos, inclinações negativas dificultam o escoamento gravitacional e favorecem refluxo e acúmulo superficial. A situação é agravada por resíduos, manutenção insuficiente, dispositivos danificados e sarjetas assoreadas.

A situação é agravada pela presença de resíduos sólidos, como lixo doméstico e entulhos, que obstruem bocas de lobo e galerias, além da ausência de manutenção periódica. A sobreposição entre os pontos críticos de alagamento mapeados e o traçado da rede evidencia que os trechos com falhas estruturais coincidem com os locais mais afetados, especialmente no cruzamento da Rua 29ª com a Travessa São José.

Outras falhas de projeto e execução foram identificadas, como a ausência de grelhas e tampas em dispositivos de coleta, bocas de lobo mal posicionadas ou danificadas e sarjetas assoreadas. Levantamentos de campo realizados entre 2023 e 2024 registraram a ineficiência de grande parte da rede, que, além de subdimensionada, encontra-se deteriorada.

A Figura 10 registra exemplos dessas deficiências, incluindo obstruções, ausência de manutenção e deterioração de componentes da drenagem.

Figura 10. Exemplos de deficiências na infraestrutura de drenagem urbana na área de estudo.



Fonte: autores (2024).

A conjugação entre falhas da microdrenagem, urbanização, supressão vegetal e descarte inadequado de resíduos produz desequilíbrio entre a dinâmica hidrológica e a infraestrutura existente. A ausência de dados detalhados da rede subterrânea constitui uma limitação da análise.

Os resultados indicam, portanto, que a vulnerabilidade hidrológica não decorre apenas da chuva, mas da interação entre condições naturais e fatores antrópicos, exigindo requalificação da drenagem e gestão preventiva do uso do solo.

3.4 ANÁLISE DOS PONTOS DE ALAGAMENTO E SUA RELAÇÃO COM O RELEVO DA ÁREA DE ESTUDO

Os levantamentos de 2023–2025 e a análise no QGIS 3.28 mostraram concentração dos pontos críticos em áreas com declividade inferior a 2% e cotas entre 22 e 27 m, onde o escoamento é mais lento e o acúmulo de água é favorecido.

A Figura 11 apresenta o mapa temático com curvas de nível (1 m), evidenciando que as áreas de alagamento coincidem com setores de menores elevações e declividades, reforçando sua maior susceptibilidade aos alagamentos.

Figura 11. Curvas de nível e os pontos críticos de alagamento na área de estudo.



Fonte: Elaborado pelos autores com base em dados altimétricos (2024).

Análise técnica da declividade:

- As faixas de declividade predominantes variam entre 0,5% e 3,0%, e os pontos mais críticos apresentam valores inferiores a 1% ou praticamente nulos.
- Essa condição compromete a eficiência do escoamento superficial, sobretudo em vias pavimentadas sem infraestrutura auxiliar, como sarjetas, bocas de lobo e grelhas transversais.
- Em trechos com declividades negativas, identificados a partir da análise da rede de drenagem pluvial da área de estudo, observou-se a estagnação da água e o retorno do fluxo superficial, o que intensifica os episódios de alagamento e amplia a área afetada durante eventos de chuva intensa.

Implicações e recomendações de manejo urbano:

A combinação entre baixas cotas altimétricas, reduzida declividade e adensamento urbano explica a maior retenção superficial nos setores mais vulneráveis.

Essa situação é agravada pela carência de soluções estruturais adequadas (como dispositivos eficientes de drenagem) e pelo adensamento urbano não planejado. Diante desse diagnóstico, recomenda-se:

- Revisar o traçado e a capacidade da rede pluvial no entorno da Rua 29ª com a Travessa São José, com ênfase em trechos com declividade inferior a 1%;
- Implantar soluções de drenagem sustentável, como jardins de chuva, valas de infiltração e pavimentos permeáveis em ruas de baixa declividade;
- Preservar a vegetação remanescente e recuperar fundos de vale como áreas estratégicas de retenção e infiltração natural das águas pluviais;
- Restringir novas ocupações em zonas críticas, exigindo projetos de drenagem no processo de licenciamento urbano e obras públicas.

Essas medidas articulam requalificação da drenagem, controle da ocupação e soluções baseadas na natureza, adequando as intervenções às condições topográficas e hidrológicas locais (Barros et al., 2024).

3.5 ESTIMATIVA DA VAZÃO DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL NA ÁREA DE ESTUDO

3.5.1 Coeficiente médio ponderado (Cmédio)

O coeficiente médio ponderado estimado foi 0,7625, indicando elevada impermeabilização. A Tabela 3 apresenta as classes de uso do solo e os coeficientes adotados (Tucci, 2008; CETESB, 1999).

Tabela 3. Estimativa do coeficiente de escoamento médio ponderado na área de estudo.

Classe de uso do solo	% Estimada da área	C sugerido[1]	C ponderado (C × %)
1. Ruas pavimentadas e calçadas	40%	0,90	0,36
2. Telhados e construções	35%	0,85	0,2975
3. Quintais com solo compactado ou brita	10%	0,60	0,06
4. Áreas verdes, terrenos baldios, jardins	15%	0,30	0,045
TOTAL	**100%**	—	**≈ 0,7625**

Fonte: Elaborado pelos autores com base em CETESB (1999), TUCCI (2008), ABNT NBR 9649 (1986).
[1] Valores de coeficiente de escoamento (C) obtidos com base em manuais técnicos e normas brasileiras voltadas ao dimensionamento de drenagem urbana.

O valor de Cmédio = 0,7625 é compatível com áreas urbanas consolidadas e indica baixa capacidade de infiltração e elevado escoamento superficial. O resultado converge com a redução da cobertura vegetal observada e com a deficiência da drenagem, condições que ampliam a propensão aos alagamentos (Tucci, 2008; CETESB, 1999; Guerra; Cunha, 2014).

Resultados semelhantes foram observados por Tucci (2008) e Guerra e Cunha (2014), que destacam que áreas urbanas com coeficiente de escoamento superior a 0,70 apresentam elevada propensão à ocorrência de alagamentos, especialmente quando associadas à deficiência de infraestrutura de drenagem.

3.5.2 Intensidade da chuva (i)

A intensidade adotada foi de 82,85 mm/h, correspondente a TR = 2 anos e duração de 30 minutos, conforme a equação IDF para Itaituba (CPRM, 2014). O parâmetro representa eventos frequentes e é coerente com a ocorrência local de alagamentos mesmo sob precipitações moderadas.

A escolha de um tempo de retorno relativamente curto reforça o objetivo de avaliar a resposta da área a eventos frequentes, não apenas extremos. Essa abordagem é compatível com a realidade local, em que alagamentos ocorrem mesmo sob precipitações moderadas, sobretudo em trechos com drenagem comprometida e topografia desfavorável.

3.5.3 Estimativa da vazão de escoamento superficial (Q)

A vazão de pico estimada foi de aproximadamente 11,76 m³/s. O valor expressa a rápida geração de escoamento em uma área altamente impermeabilizada e ajuda a explicar a sobrecarga da infraestrutura existente durante chuvas intensas.

Nos setores mais baixos, especialmente no cruzamento da Rua 29ª com a Travessa São José, a combinação entre vazão elevada, baixa declividade e capacidade limitada de condução favorece acúmulos recorrentes. Os resultados reforçam a necessidade de melhorar a drenagem, reduzir a impermeabilização e preservar áreas verdes.

Portanto, os valores aqui apresentados reforçam a necessidade urgente de intervenções técnicas voltadas à melhoria do sistema de drenagem urbana, ao controle da impermeabilização excessiva e à preservação das áreas verdes, que desempenham papel fundamental na retenção e infiltração das águas pluviais.

4 CONCLUSÃO

O estudo analisou os fatores naturais e antrópicos associados aos alagamentos nos bairros Santo Antônio e Bom Remédio, integrando dados pluviométricos, topográficos, cartográficos e observações de campo.

Os resultados mostram que a elevada impermeabilização (Cmédio = 0,7625), a intensidade de chuva adotada (82,85 mm/h, TR = 2 anos), a baixa declividade e as deficiências da drenagem atuam de forma combinada. A vazão estimada de 11,76 m³/s evidencia a pressão exercida sobre uma infraestrutura com limitações de capacidade e manutenção.

Os pontos críticos concentram-se em setores mais baixos e pouco inclinados, enquanto a supressão vegetal e o adensamento urbano reduzem a infiltração e aumentam o escoamento. Assim, precipitação, relevo, uso do solo e infraestrutura não atuam isoladamente, mas compõem uma vulnerabilidade hidrológica territorial.

Em relação aos objetivos propostos, o estudo permitiu:

Identificar os padrões de precipitação relevantes para o contexto urbano local. Mapear os pontos de alagamento com base em observações de campo e dados geoespaciais. Estimar a vazão de escoamento superficial e discutir sua compatibilidade com a capacidade da infraestrutura existente. Relacionar o problema dos alagamentos com variáveis físicas (relevo, precipitação) e antrópicas (impermeabilização, drenagem deficiente).

Como contribuição, o estudo oferece subsídios técnicos para o planejamento da drenagem em cidades amazônicas de médio porte, indicando a necessidade de redimensionamento da rede, controle da impermeabilização, preservação de áreas verdes e adoção de soluções baseadas na natureza.

As principais limitações foram a ausência de séries pluviométricas contínuas em alta resolução, de dados atualizados da drenagem subterrânea e de modelagem hidrodinâmica detalhada. Ainda assim, a triangulação das evidências sustenta o diagnóstico apresentado.

Estudos futuros podem ampliar o monitoramento por sensoriamento remoto e simulações de eventos extremos, além de incorporar a percepção comunitária. Para a gestão urbana, recomenda-se combinar intervenções estruturais, educação ambiental e participação social, fortalecendo a resiliência diante das chuvas intensas e da expansão urbana.

O trabalho contribui para o diagnóstico hidrológico urbano de Itaituba e para a formulação de estratégias de redução da vulnerabilidade aos alagamentos.

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Federal do Pará (IFPA) Campus Itaituba pela infraestrutura e ensino.

REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 9649: Projeto de redes de drenagem urbana*. Rio de Janeiro: ABNT, 1986.

BARROS, E. N. et al. *Jardins de chuva para mitigação dos alagamentos urbanos: análise de um projeto piloto.* Revista Brasileira de Geografia Física, Recife, v. 17, n. 2, p. 1396–1411, mar. 2024. Disponível em: https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/rbgfe/article/view/259253. Acesso em: 3 jul. 2025.

BRASIL. *Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico.* Diário Oficial da União, Brasília, 2007. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm. Acesso em: 3 jul. 2025.

BRASIL. *Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. Altera a Lei nº 11.445/2007 e a Lei nº 9.984/2000, e dá outras providências.* Diário Oficial da União, Brasília, DF, 15 jul. 2020. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/L14026.htm. Acesso em: 3 jul. 2025.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. *Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS: Diagnóstico dos Serviços de Saneamento Básico: 2021.* Brasília, DF: MDR, 2022. Disponível em: https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/saneamento/snis. Acesso em: 3 jul. 2025.

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. *Drenagem urbana: manual de projeto.* São Paulo: CETESB, 1999. Disponível em: https://cetesb.sp.gov.br. Acesso em: 3 jul. 2025.
CDP – Companhia Docas do Pará. Diagnóstico Ambiental do Porto Organizado de Itaituba. Belém: CDP, 2021.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil. *Atlas Pluviométrico do Brasil: equações intensidade-duração-frequência – Município de Itaituba/PA.* Salvador: CPRM, 2014. Disponível em: https://rigeo.sgb.gov.br/bitstream/doc/17460/1/atlas_itaituba.pdf. Acesso em: 3 jul. 2025.

CRESWELL, John W.; CLARK, Vicki L. Plano. *Designing and Conducting Mixed Methods Research.* 3. ed. Thousand Oaks: Sage Publications, 2018.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. *Índice de anomalia de chuva. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 2020.* Disponível em: https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1146599/1/IndiceAnomaliaChuva.pdf. Acesso em: 3 jul. 2025. GIL, Antonio Carlos. Métodos e técnicas de pesquisa social. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

GIRO PORTAL. *Forte chuva volta a provocar alagamento em ruas do bairro Bela Vista em Itaituba.* 2023. Disponível em: https://www.giroportal.com.br/noticias/6964. Acesso em: 3 jul. 2025.

GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. *Geografia física.* 4. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2014.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Censo demográfico 2022: resultados preliminares.* Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: https://censo2022.ibge.gov.br. Acesso em: 3 jul. 2025.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. *Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa – BDMEP.* Disponível em: https://bdmep.inmet.gov.br. Acesso em: 3 jul. 2025.

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. *Fundamentos de metodologia científica.* 5. ed. São Paulo: Atlas, 2003.

MARENGO, J. A.; SOUZA JR., C. *Mudanças climáticas: impactos e cenários para a Amazônia.* São Paulo: Cemaden Educação, 2018. Disponível em: https://educacao.cemaden.gov.br/midiateca/mudancas-climaticas-impactos-e-cenarios-para-a-amazonia. Acesso em: 3 jul. 2025. MINAYO, Maria Cecília de Souza. Pesquisa social: teoria, método e criatividade. 18. ed. Petrópolis: Vozes, 2001.

PORTO ORGANIZADO DE ITAITUBA. *Diagnóstico ambiental do Porto de Itaituba.* Itaituba: CDP/CDI, 2021. Disponível em: https://cdp.com.br/wp-content/uploads/2021/07/Diagnostico-ambiental_Porto-De-ITAITUBA.pdf. Acesso em: 3 jul. 2025.

SEMAS – Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade do Pará. *Anuário Climático do Estado do Pará – Ano 2024. Belém: SEMAS-PA, 2024.* Disponível em: https://www.semas.pa.gov.br/hidromet/webroot/anuarios_climatologicos/Anuário-Climatológico-do-Estado-do-Pará-Ano-2024.pdf. Acesso em: 3 jul. 2025. SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. *Diagnóstico dos serviços de água e drenagem urbana.* Brasília: Ministério das Cidades, 2021.

SOARES, A. A. S. *Riscos socioambientais de inundações e alagamentos na planície de Belém (PA): análise sobre as causas e formas de planejamento urbano.* 2018. 118 f. Dissertação (Mestrado em Gestão de Recursos Naturais e Desenvolvimento Local na Amazônia) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2018. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/368713913. Acesso em: 3 jul. 2025. CARDOSO, V. M.; TAVARES, B. S. C.; SILVA, A. S. S. Saneamento ambiental e saúde na Amazônia brasileira. Revista Brasileira de Extensão e Ação, v. 6, p. 312–323, maio 2023. Disponível em: https://rebena.emnuvens.com.br/revista/article/view/115. Acesso em: 5 jul. 2025. TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. Drenagem urbana. Porto Alegre: ABRH Editora, 2008.

TUCCI, C. E. M. *Águas urbanas*. 2. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2008. Disponível em: https://www.ufrgs.br/iph/wp-content/uploads/2020/03/Aguas_Urbanas_Carlos_Tucci.pdf. Acesso em: 3 jul. 2025.

YIN, R. K. *Estudo de caso: planejamento e métodos.* 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.