



UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
INSTITUTO DE FILOSOFIA, CIÊNCIAS HUMANAS E SOCIAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA
MESTRADO EM GEOGRAFIA

VULNERABILIDADE AMBIENTAL E RISCO A DESLIZAMENTO NA
BACIA HIDROGRÁFICA DO SÃO RAIMUNDO, EM MANAUS -
AMAZONAS

MANOELA DO NASCIMENTO ALVES

MANAUS/AM

2025

MANOELA DO NASCIMENTO ALVES

VULNERABILIDADE AMBIENTAL E RISCO A DESLIZAMENTO NA
BACIA HIDROGRÁFICA DO SÃO RAIMUNDO, EM MANAUS -
AMAZONAS

Dissertação de Mestrado apresentada ao
Programa de Pós-Graduação de Geografia, da
Universidade Federal do Amazonas, como
requisito para obtenção do título de Mestre em
Geografia. Área de concentração: Domínio da
Natureza na Amazônia.

Orientador: Prof. Dr. João Cândido André da Silva Neto

MANAUS/AM

2025

Ficha Catalográfica

Elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

A474v Alves, Manoela do Nascimento
 Vulnerabilidade ambiental e risco a deslizamento na Bacia
 Hidrográfica do São Raimundo, em Manaus-Amazonas / Manoela
 do Nascimento Alves. - 2025.
 93 f. : il., color. ; 31 cm.

 Orientador(a): João Cândido André da Silva Neto.
 Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Amazonas,
 Programa de Pós-Graduação em Geografia, Manaus, 2025.

 1. Bacia do São Raimundo. 2. Vulnerabilidade. 3. Risco. 4.
 Manaus/AM. I. Silva Neto, João Cândido André da. II. Universidade
 Federal do Amazonas. Programa de Pós-Graduação em Geografia.
 III. Título

MANOELA DO NASCIMENTO ALVES

Vulnerabilidade ambiental e risco a deslizamento na bacia hidrográfica do São Raimundo, em Manaus-Amazonas

Relatório final, apresentado a Universidade Federal do Amazonas, como parte das exigências para a obtenção de título de mestre.

Manaus, 23 de outubro de 2025.

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 JOAO CANDIDO ANDRE DA SILVA NETO
Data: 31/10/2025 11:59:19-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Professor Doutor João Cândido André da Silva Neto
(Presidente – PPGEORG/UFAM)

Documento assinado digitalmente
 SOLANGE DOS SANTOS COSTA
Data: 23/10/2025 17:17:47-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Professor (a) Doutor (a) Solange dos Santos Costa
Membro Titular Externo (PPGeociências/UFAM)

Documento assinado digitalmente
 MIRCIA RIBEIRO FORTES
Data: 29/10/2025 19:14:22-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Professor (a) Doutor (a) Mircia Ribeiro Fortes
Membro Titular (PPGEORG/UFAM)

“Não permitas que as dificuldades do caminho te façam esquecer a grandeza da vida. Cada lágrima pode ser convertida em lição, cada tropeço em aprendizado. Persevera no bem, ainda que tudo pareça conspirar contra ti, porque Deus nunca nos abandona e cada esforço sincero é uma semente de luz plantada na imortalidade do espírito.”

Divaldo Franco

AGRADECIMENTOS

A conclusão desta etapa tão importante não seria possível sem o apoio, incentivo e dedicação de pessoas especiais, às quais expresso minha mais profunda gratidão.

Agradeço primeiramente aos meus pais, por todo amor incondicional, pelos valores que me ensinaram e por sempre acreditarem em meu potencial, mesmo nos momentos mais desafiadores.

À minha filha, Amanda, que me impulsionou a continuar e finalizar o trabalho, pra que eu possa, um dia ser espelho, e para que ela possa alcançar ares que nunca imaginei.

Ao meu orientador, Prof. Dr. João Cândido, pelo acompanhamento atento, pelos ensinamentos valiosos e por toda orientação ao longo deste trabalho. Sua dedicação, disponibilidade e palavras de incentivo foram fundamentais para a realização deste projeto.

A todos vocês, meu mais sincero muito obrigada!

RESUMO

A Bacia do São Raimundo, localizada na cidade de Manaus/AM, é uma das bacias hidrográficas mais populosas de Manaus, apresentando um alto número de ocorrências de deslizamento de massa. O uso e ocupação dessas áreas têm sido uma problemática recorrente, uma vez que porções do terreno com topografia e morfologia propensas a desastres naturais foram ocupadas de forma desordenada, expondo a população a riscos geológicos. O estudo dessa área tem como objetivo analisar os graus de vulnerabilidade ambiental e identificar os setores de risco associados a movimentos de massa. Sabe-se que, historicamente, os locais suscetíveis a riscos geológicos geralmente estão associados à ocupação irregular das margens das redes de drenagem, tornando-se vulneráveis a fenômenos como deslizamentos de terra. A metodologia empregada no estudo baseia-se na identificação das condições e fatores que tornam vulneráveis a bacia hidrográfica analisada, bem como os reflexos em sua população residente, conforme dados divulgados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), levando em consideração variáveis sociais, ambientais, demográficas, hidroclimáticas e geomorfológicas, permitindo uma avaliação abrangente da situação. Para melhor desenvolvimento do estudo, foi realizada a delimitação da área de estudo, a análise do histórico de uso e ocupação dessas regiões, a obtenção e o processamento dados secundários da bacia, possibilitando a elaboração de mapas temáticos, como de localização da bacia, hipsométrico, declividade, uso e ocupação do solo, classes pedológicas, além dados de moradia como classificado pelo IBGE (2022), a distribuição de “Favelas e comunidades urbanas” que podem indicar genericamente aspectos da ausência de serviços de saneamento básico e infraestrutura adequada. Foi definido os setores de risco hierarquizados entre Muito Alto (R4) e Baixo (R1), resultando no mapa de Kernel, que aponta áreas de maior concentração de risco ao deslizamento. A partir dos dados analisados, compreende-se que a desigualdade social exerce um papel fundamental no entendimento de como os desastres naturais impactam as populações mais vulneráveis, levando em consideração a resposta do território ao seu uso ao decorrer das décadas. Portanto, os deslizamentos não apenas revelam as fragilidades do meio físico, mas também expõe as injustiças sociais e necessidade de inclusão ambiental no planejamento urbano.

Palavras-chave: Bacia do São Raimundo, Vulnerabilidade, Risco.

ABSTRACT

The São Raimundo Basin, located in the city of Manaus/AM, is one of the most densely populated hydrographic basins in Manaus, presenting a high number of mass movement occurrences. The use and occupation of these areas have been a recurrent problem, since portions of land with topography and morphology prone to natural disasters have been irregularly occupied, exposing the population to geological risks. The aim of this study is to analyze the degrees of environmental vulnerability and identify the risk sectors associated with mass movements. It is known that, historically, sites susceptible to geological risks are generally associated with the irregular occupation of drainage network margins, making them vulnerable to phenomena such as landslides. The methodology employed in the study is based on the identification of conditions and factors that make the analyzed hydrographic basin vulnerable, as well as the effects on its resident population, according to data published by the Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE). Social, environmental, demographic, hydroclimatic, and geomorphological variables were taken into account, allowing for a comprehensive assessment of the situation. For the development of the study, the delimitation of the study area was carried out, along with the analysis of the historical use and occupation of these regions, and the acquisition and processing of secondary basin data. This enabled the elaboration of thematic maps, such as basin location, hypsometry, slope, land use and occupation, soil classes, in addition to housing data classified by IBGE (2022), including the distribution of “favelas and urban communities,” which can generally indicate aspects of the absence of basic sanitation services and adequate infrastructure. Risk sectors were defined and hierarchized between Very High (R4) and Low (R1), resulting in the Kernel map, which highlights areas of higher landslide risk concentration. From the data analyzed, it is understood that social inequality plays a fundamental role in understanding how natural disasters impact the most vulnerable populations, considering the territory’s response to its use over the decades. Therefore, landslides not only reveal the fragilities of the physical environment, but also expose social injustices and the need for environmental inclusion in urban planning.

Keywords: São Raimundo Basin, Vulnerability, Risk.

Lista de Figuras

Figura 1 Bacia Hidrográfica do São Raimundo. Elaborado pela autora (2025).	15
Figura 2 Classificação de movimentos de massa, segundo Cemaden/MCTI.....	31
Figura 3 Quadro Teórico de entendimento na formação das áreas de risco. Adaptado de Costa (2015)	34
Figura 4 Disposição das Bacias Hidrográficas Urbanas de Manaus/AM. Fonte: Datum SIRGAS 2000, elaborado por Alves, M.N. (2023)	37
Figura 5 Localização e Rede de Drenagem da Bacia do São Raimundo, Datum Sirgas 2000. Alves, M.N. (2025).....	39
Figura 6 Mapa de Estruturas Geológicas da Bacia Hidrográfica do São Raimundo.	41
Figura 7 População por Bairro e Concentração de Áreas a deslizamentos na Bacia Hidrográfica do São Raimundo. Fonte: IBGE, 2024; Defesa Civil, 2025.....	58
Figura 8 Áreas de Favelas e Comunidades urbanas na Bacia Hidrográfica do São Raimundo. Fonte: IBGE,2025.....	59
Figura 9 Distância Euclidiana das Favelas e Comunidades Urbanas na BH do São Raimundo. Fonte: IBGE, 2024	61
Figura 10 Mapa de Declividade da Bacia do São Raimundo, Elaborado por: Alves, M. N. 2025	63
Figura 11 Mapa de Hipsometria da Bacia do São Raimundo. Alves, M.N. (2025)	66
Figura 12 Mapa das Classes de Solo da Bacia do São Raimundo. Alves, M.N. (2025)	67
Figura 13 Mapa de Uso da terra e cobertura vegetal na Bacia do São Raimundo em 2023. Alves, M.N. (2025).....	68
Figura 14 Distância Euclidiana da Rede de Drenagem na Bacia Hidrográfica do São Raimundo.	70
Figura 15 Erosividade Anual das Chuvas na Bacia Hidrográfica do São Raimundo. Fonte: CHIRPS, 2024.	71
Figura 16 Vulnerabilidade Ambiental a Deslizamentos na Bacia Hidrográfica do São Raimundo. Fonte: Autores, 2025.	72
Figura 17 Mapa de Kernel das áreas de Risco do Deslizamento em Manaus, AM. Alves, M.N. (2025)	75
Figura 18 Média da Vulnerabilidade Ambiental a Deslizamentos por Bairros na Bacia Hidrográfica do São Raimundo. Fonte: Os autores (2025).....	78
Figura 19 Aterro de Inertes, bairro Cidade de Deus. Fonte: Alves, Manoela. 2024	79
Figura 20 Aterro de Inerte, no bairro Cidade de Deus. Fonte: Alves, Manoela, 2024.....	80
Figura 21 Área de Deslizamento de massa, Bairro Novo Aleixo	81
Figura 22 Deslizamento de Massa no Bairro Novo Aleixo. Fonte: Autores, 2025.	82
Figura 23 Residências habitadas próximo a Deslizamento de Massa, bairro Novo Aleixo. Fonte: Autores, 2025.	83
Figura 24 Área de Deslizamento de massa, no bairro Distrito Industrial II	84
Figura 25 Área de Deslizamento de massa, no bairro Distrito Industrial II	84
Figura 26 Área de Deslizamento em encosta íngreme, no bairro Distrito Industrial II.....	85

Lista de Tabelas

Tabela 1 Aspectos considerados na Análise Ambiental.	49
Tabela 2 Classificação dos graus de risco a movimentos de massa (Adaptado de IPT, 2004)	50
Tabela 3 Aspectos Analisados do IBGE 2010	56
Tabela 4 Classificação de Declividade de Ross (1992).....	62
Tabela 5 Classificação de Amplitude Altimétrica. Fonte: Adaptado de ROSS, J.L.S. (1992).	65
Tabela 6 Vulnerabilidade Ambiental a Deslizamentos por Bairros na Bacia Hidrográfica do São Raimundo	73

VULNERABILIDADE SOCIOAMBIENTAL E RISCO A DESLIZAMENTO NA BACIA HIDROGRÁFICA URBANA EM MANAUS/AM

Lista de Siglas

ALOS - *Advanced Land Observing Satellite*

ALOS PALSAR - *Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar*

APP – Área de Preservação Permanente

BH – Bacia Hidrográfica

BDia – Banco de Informações Ambientais

CHIRPS - *Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station*

EIA – Estudo de Impacto Ambiental

FABEDem Copernicus - *Forest And Buildings removed Copernicus Digital Elevation Model*

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas

PIM – Polo Industrial de Manaus

SBG – Serviço Geológico do Brasil

SAR – Radar de Abertura Sintética

SIG – Sistema de Informação Geográfica

USGS - U.S. Geological Survey

UCSB - Universidade da Califórnia, Santa Bárbara

EROS - Centro de Observação e Ciência de Recursos Terrestres

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	11
1.1 Objetivos.....	13
1.1.1 Objetivo Geral.....	13
1.1.2 Objetivos Específicos.....	13
1.2 Revisão Bibliográfica	13
1.3 Área de Estudo.....	14
1.4 Metodologia	16
CAPÍTULO 1 - REFERENCIAL TEÓRICO	22
Conceito de Áreas de Risco	22
Vulnerabilidade ambiental.....	24
Bacias Hidrográficas e Planejamento Urbano	25
Caracterização Geológica da Bacia Hidrográfica do São Raimundo	28
Movimento de Massa: Caracterização e fatores de risco.....	30
Análise de vulnerabilidade ambiental de Manaus/AM.....	32
CAPÍTULO 2 – METODOLOGIA APLICADA	36
Caracterização Físico-ambiental das Bacias Hidrográficas do São Raimundo, em Manaus/AM	36
Características Socioambientais da Bacia do São Raimundo	43
Vulnerabilidade e Classificação de Risco	46
Dados de Sensoriamento Remoto	52
CAPÍTULO 3 – ANÁLISE DE DADOS	56
RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	56
Análise Ambiental	56
Declividade da Bacia Hidrográfica.....	61
Hipsometria da Bacia do São Raimundo.....	64
Pedologia da Bacia do São Raimundo.....	66
Uso e Ocupação do Solo na Bacia do São Raimundo	68
Rede de Drenagem na Bacia Hidrográfica	69
Concentração das Áreas de Risco na Bacia Hidrográfica	70
Análise de Áreas de Vulnerabilidade <i>in loco</i>.....	78
CONSIDERAÇÕES FINAIS	86
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	

1. INTRODUÇÃO

A vulnerabilidade ambiental é um conceito abrangente que engloba a caracterização e identificação dos riscos sociais e ambientais resultantes da interação entre o ser humano e o ambiente, em contextos urbanos. Essa interação é influenciada pelas mudanças na sociedade contemporânea e no ambiente em que uma comunidade está inserida, sendo determinante para a qualidade de vida dessa população.

A exposição ao risco, a falta de capacidade de reação e a dificuldade de adaptação diante da concretização do risco são elementos-chave na compreensão conceitual de vulnerabilidade, conforme descrito por Moser (1998), aplicando esse conceito ao contexto urbanístico. Essa vulnerabilidade frequentemente se correlaciona com áreas de carência econômica e social, sugerindo uma ligação entre degradação ambiental e desvantagem socioeconômica, conforme destacado por Alves (2006).

O estudo das áreas de risco de deslizamentos é essencial para compreender e mitigar os perigos associados a esse fenômeno natural. Deslizamentos de terra representam uma ameaça significativa ao meio ambiente, à infraestrutura urbana e à vida humana, exigindo priorização na gestão de riscos e no planejamento urbano.

A vulnerabilidade ambiental surge como resultado de diversos desafios enfrentados pelas comunidades, incluindo questões sociais e ocupação inadequada de áreas ambientais, principalmente por estratos socioeconômicos mais baixos. Essa ocupação inadequada contribui para a degradação ambiental e expõe essas populações a riscos naturais.

A escassez de recursos financeiros torna as pessoas mais susceptíveis, levando-as a se estabelecerem em regiões inadequadas para moradia, contribuindo para a degradação ambiental e a carência social. Consequentemente, essas pessoas ficam expostas a riscos naturais, também podem enfrentar a ausência de serviços públicos ou intervenções governamentais que visam mitigar danos causados por desastres naturais (Alves, 2006).

Os deslizamentos de massa são fenômenos naturais caracterizados pelo transporte coletivo de material, podendo ser potencializados pela ação da água, de

forma intensa e contínua como apontado por Guerra e Marçal (2015). Os autores também levam em consideração o entorno do local estudado, apreciando sua forma instável e o risco em que um indivíduo ou sociedade está acometido.

Para Tucci (1993), a bacia hidrográfica refere-se a uma região de captação natural da água da precipitação, direcionando os fluxos para um ponto de saída único, conhecido como exutório. Portanto, Bacias Hidrográficas são áreas de drenagem que se moldam de acordo com a morfologia do relevo, cuja água captada durante os episódios de precipitação são canalizadas de redes primárias para os canais principais.

A compreensão desses processos inclui a análise de aspectos geológicos, geomorfológicos, pedológicos, vegetacionais e de uso do solo, levando em consideração o entorno do local estudado, apreciando sua forma instável e o risco em que um indivíduo ou sociedade está acometido devido a essa conformação natural da área, quando submetida a fenômenos naturais extremos e de forma contínua, como indicado por Crepani (2001).

Por sua vez, as bacias hidrográficas desempenham um papel crucial na distribuição espacial de riscos socioambientais, especialmente em áreas urbanas como Manaus. Essas regiões, marcadas por alta pluviosidade e topografia acidentada, enfrentam desafios adicionais devido ao crescimento urbano desordenado e à ocupação irregular das encostas.

De acordo com Crepani, as bacias hidrográficas são consideradas unidades de análise e planejamento ambiental e territorial. Nesse contexto, a investigação das bacias hidrográficas em Manaus revela-se crucial para a identificação de riscos socioambientais, dada a presença significativa de inúmeros igarapés que atravessam a cidade, atrelados a moradias próximas às suas margens.

O crescimento urbano desordenado e a ocupação irregular das encostas em Manaus aumentam a propensão a deslizamentos, especialmente em áreas de relevo íngreme onde a estabilidade do solo é comprometida. O estudo das áreas de deslizamento em bacias hidrográficas da região não apenas identifica os locais de maior perigo, mas também contribui para o planejamento urbano sustentável, a implementação de medidas preventivas e a adoção de políticas de gestão de riscos.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Analisar a vulnerabilidade ambiental às áreas de risco de movimentos de massa, na Bacia Hidrográfica do São Raimundo, zona urbana de Manaus, Amazonas.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar os aspectos físicos-naturais e socioeconômicos da área de estudo;
- Categorizar as áreas de risco a deslizamentos;
- Entender a vulnerabilidade ambiental da área de estudo, associada à deslizamento de massa.

1.2 Revisão Bibliográfica

O referencial teórico da pesquisa reapresenta uma revisão teórica sobre os principais temas abordados, como áreas de risco, movimentos de massa, vulnerabilidade ambiental e suas relações com as bacias hidrográficas urbanas. Discutem-se as problemáticas da relação entre sociedade e natureza, especialmente em áreas urbanas como Manaus, onde o crescimento populacional desordenado e de maneira exponencial e a ocupação de áreas de risco são comuns, devido a questões habitacionais que a cidade vem enfrentando ao longo das décadas.

No que se refere às áreas de risco, buscou-se compreender como a interferência humana impacta esses espaços e ressaltar a importância da análise integrada da paisagem para a gestão de riscos.

Em relação aos movimentos de massa, são descritos os diferentes tipos de movimentos de massa (quedas, tombamentos, escorregamentos, etc.) e os fatores que os influenciam.

Quanto à Vulnerabilidade ambiental, discutiu-se como fatores ambientais, sociais, econômicos e culturais contribuem para a exposição e a fragilidade de comunidades que vivem em áreas de risco.

Na abordagem sobre Bacias hidrográficas, destacou-se a importância das bacias hidrográficas como unidade territorial de estudo no planejamento urbano e como os processos de urbanização afetam esses sistemas ambientais.

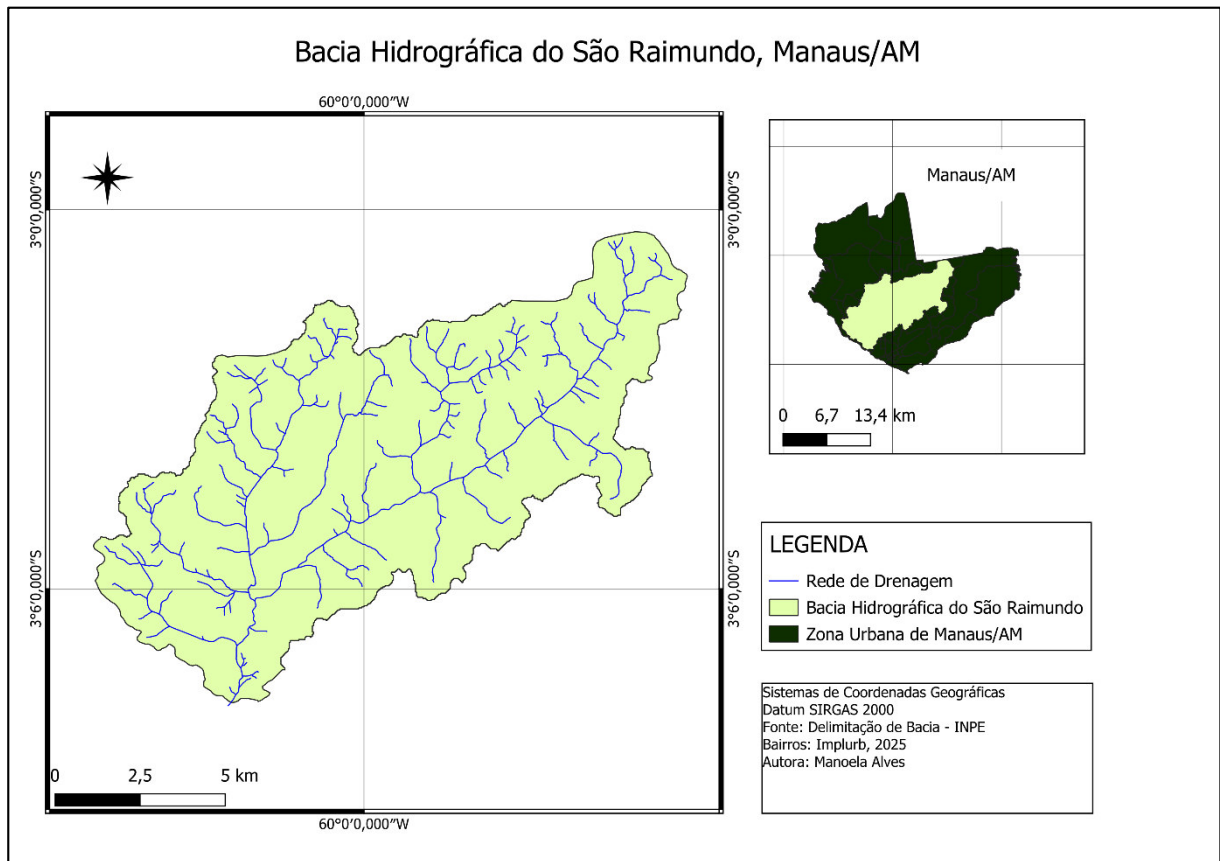
O referencial teórico busca apontar para como os elementos da vulnerabilidade ambiental em Manaus podem se relacionar aos desastres naturais devido às suas características ambientais como geomorfologia, clima e histórico de ocupações.

1.3 Área de Estudo

A Bacia Hidrográfica do Igarapé do São Raimundo está situada na zona urbana do município de Manaus, capital do Estado do Amazonas, na região Norte do Brasil. Inserida na margem esquerda do Rio Negro, a bacia abrange parte significativa da área central e das zonas oeste e sul da cidade, englobando bairros tradicionais e áreas de intensa ocupação urbana (Queiroz, *et. al*, 2019).

A Figura 1 apresenta o mapa de localização da Bacia Hidrográfica do Igarapé do São Raimundo, evidenciando sua inserção na área urbana de Manaus. O mapa permite visualizar a extensão territorial da bacia, os principais cursos d'água e sua disposição no contexto urbano, ressaltando a influência da ocupação urbana sobre as áreas de drenagem natural. Essa representação cartográfica é fundamental para compreender a dinâmica física e ambiental da bacia, além de subsidiar análises voltadas ao planejamento urbano e à gestão de riscos na região.

Figura 1 Bacia Hidrográfica do São Raimundo. Elaborado pela autora (2025).



Do ponto de vista físico-geográfico, a bacia está localizada em uma região de clima equatorial úmido, com altas temperaturas e elevados índices pluviométricos ao longo do ano. A topografia apresenta relevo suavemente ondulado, porém com declividades acentuadas em determinadas áreas, o que favorece a ocorrência de processos erosivos e movimentos de massa, especialmente em encostas ocupadas irregularmente.

A vegetação original da bacia é composta por Floresta Ombrófila Densa, típica da região amazônica, mas grande parte dessa cobertura foi substituída por áreas urbanizadas, vias, infraestrutura e assentamentos irregulares. No aspecto hidrográfico, o Igarapé do São Raimundo desempenha papel importante como drenagem natural, contribuindo para o escoamento das águas pluviais e servindo de afluente ao Rio Negro.

Sua localização estratégica, próxima ao centro histórico de Manaus, aliada ao crescimento populacional e à urbanização acelerada, faz da Bacia do São Raimundo uma área de grande relevância para estudos socioambientais, principalmente no que se refere à gestão de riscos, vulnerabilidade e planejamento urbano sustentável.

1.4 Metodologia

A metodologia adotada nesta pesquisa foi estruturada em diferentes etapas, integrando levantamento bibliográfico, análise documental, coleta de dados secundários e processamento de informações em ambiente de geoprocessamento. O objetivo foi compreender de forma ampla a dinâmica física e ambiental da Bacia Hidrográfica do Igarapé do São Raimundo, localizada na área urbana de Manaus, correlacionando sua vulnerabilidade a processos naturais como movimentos de massa e os impactos da ocupação irregular.

A primeira etapa consistiu na revisão bibliográfica, contemplando estudos relacionados a áreas de risco, movimentos de massa, vulnerabilidade ambiental e a importância das bacias hidrográficas como unidade de análise para o planejamento urbano e ambiental. Esta revisão fundamentou teoricamente as discussões e permitiu a definição de categorias de análise utilizadas nas fases seguintes.

Na etapa seguinte, procedeu-se à coleta e análise de dados secundários, envolvendo cartas topográficas, imagens de satélite, confecção de mapas temáticos e informações meteorológicas e hidrológicas disponibilizadas por instituições públicas. Esses dados possibilitaram a caracterização do relevo, da rede de drenagem, da cobertura e uso do solo, além da identificação preliminar de áreas suscetíveis a processos erosivos e escorregamentos.

O trabalho de campo foi essencial para validar as informações obtidas em gabinete, por meio da observação direta das condições físicas da bacia, registros fotográficos e informações coletadas através dos moradores das áreas mais críticas de forma informal. Essa etapa permitiu verificar as principais formas de ocupação do solo, identificar áreas de risco efetivas e coletar informações complementares sobre problemas enfrentados pelas comunidades locais.

As informações foram integradas em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG), possibilitando a geração de mapas temáticos de declividade, hipsometria, uso e cobertura do solo, além de mapear zonas de risco e de vulnerabilidade ambiental. A análise espacial viabilizou a correlação entre os fatores

físicos e socioeconômicos, apontando as áreas mais expostas a riscos e destacando os elementos que potencializam a ocorrência de desastres naturais na bacia.

Para a realização deste estudo, foram utilizadas imagens de radar provenientes do FABDEM do *Copérnicus* que possibilitou um mapeamento da altitude e declividade da área de estudo.

Para análise de distanciamento de áreas de importância para a zona do estudo afim de correlacionar sua influência com o entorno e resposta da população à essas dinâmicas ambientais, foi utilizada no geoprocessamento de dados, a distância euclidiana, utilizada principalmente para analisar a proximidade entre as áreas de favela e comunidade urbanas da BH e suas redes de drenagem.

Na aplicação dessa metodologia no estudo, é realizado o cálculo da menor distância em linha reta entre pontos, linhas ou polígonos vetoriais, considerando o sistema de coordenadas planar adotado na confecção dos mapas.

A estimativa da erosividade das chuvas exige comparação de séries históricas de precipitação em uma determinada área, de dados que apresentem boa resolução temporal e espacial. Diante disso, foram selecionados os dados do *Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data* (CHIRPS), que têm se mostrado uma alternativa eficaz para regiões onde há escassez de pontos oficiais de medições pluviométricas. De acordo com a Universidade da Califórnia, Santa Bárbara (UCSB), CHIRPS é um conjunto de dados de precipitação quase global, desenvolvido pela UCSB em parceria com cientistas do Centro de Observação e Ciência de Recursos Terrestres (EROS) da *U.S. Geological Survey* (USGS), que combina observações de satélite com informações de estações meteorológicas em superfície, com objetivo de emitir alertas precoces, envolvendo análise de tendências e monitoramento sazonal de secas (UCDB).

Os dados possuem resolução espacial de aproximadamente 0,05° (cerca de 5 km) e abrangem o período de 1981 até o presente, permitindo análises de longo prazo. Até a presente data, o CHIRPS incorpora a climatologia interna da superfície, incluindo imagens de satélite de resolução de 0,05° e dados de estações in situ para criar séries temporais de precipitação em grade para análise das tendências regionais.

Aplicando à área de estudo, o uso do CHIRPS, apresenta vantagens sob a cobertura espacial consistente, o que possibilita estudos em áreas de difícil acesso, da região Amazônica, onde a densidade de estações pluviométricas é limitada. Além disso, o cruzamento entre as estimativas do satélite e as observações em superfície tende a reduzir erros sistemáticos.

Os dados coletados, foram processados no *software* QGis, para a extração de séries temporais correspondentes às áreas de estudo. A partir dessas séries, calcula-se o índice de erosividade da chuva (R), geralmente baseado na metodologia de *Wischmeier & Smith (1978)*, que utiliza a intensidade máxima de 30 minutos (I30) associada à energia cinética da chuva (EI30). Quando os dados de alta resolução temporal não estão disponíveis, empregam-se equações empíricas regionais de regressão, que relacionam a precipitação pluviométrica mensal ou anual com valores médios de erosividade.

A coleta de dados de solos constitui etapa fundamental para análises ambientais e para o planejamento territorial sustentável. Nesse sentido, a plataforma BDIA – Base de Dados de Informações Ambientais do IBGE, que oferece um repositório estruturado de informações ambientais em formato digital, incluindo dados cartográficos e estatísticos relacionados às diferentes classes e propriedades do solo no território brasileiro.

Os dados de solos coletados, foram disponibilizados em formato de arquivos *shapefile* (SHP), os quais permitem a espacialização das unidades pedológicas em diferentes escalas, possibilitando a delimitação de classes de solo, bem como sua associação com variáveis de relevo, clima e cobertura da terra. Esses arquivos podem ser integrados em Sistemas de Informações Geográficas (SIG), por meio do *software* QGis, permitindo a elaboração de mapas temáticos, análises comparativas e diagnósticos ambientais. Paralelamente, os dados estatísticos obtidos associados, permitem a quantificação de áreas e distribuição e visualização espacial das classes de solo dentro da área de estudo desejada.

O objetivo central da plataforma BDIA é disponibilizar, de forma acessível e padronizada, informações ambientais produzidas pelo IBGE, de modo a subsidiar pesquisas científicas, estudos de impacto ambiental, estratégias de ordenamento

territorial, dentre outros interesses. A integração de dados de solos com informações geoespaciais e estatísticas no mesmo ambiente amplia as possibilidades de análise interdisciplinar, fortalecendo a tomada de decisão em processos de gestão ambiental e uso sustentável do solo.

Os dados estruturais disponibilizados pela plataforma da SGB – Serviço Geológico do Brasil constituem uma importante fonte de informações para a caracterização geológica regional. Na **Folha SA.21-Y-C Manaus – E**, são disponibilizados registros relacionados às principais estruturas geológicas presentes na área, incluindo falhas, fraturas, lineamentos e dobras, os quais foram mapeados em diferentes escalas de detalhe.

Essas informações são disponibilizadas em formato digital, geralmente como arquivos *shapefile* (SHP) ou em bases cartográficas georreferenciadas, o que possibilita sua integração em Sistemas de Informações Geográficas (SIG). Os atributos associados aos elementos estruturais incluem dados sobre a orientação (azimute/direção e mergulho), a extensão das feições lineares, bem como informações sobre o tipo de estrutura (falha, fratura ou lineamento interpretado).

A utilização desses dados permite compreender os controles estruturais que influenciam a compartimentação tectônica e geomorfológica da região, além de apoiar estudos aplicados em recursos minerais, hidrogeologia e avaliação de suscetibilidade geotécnica. No caso da área de Manaus, o conhecimento estrutural é fundamental para interpretar os condicionantes geológicos da paisagem, bem como possíveis influências na dinâmica de aquíferos e na estabilidade de encostas.

Os dados de uso e cobertura da terra são fundamentais para análises ambientais, planejamento territorial e monitoramento de mudanças no uso do solo. Nesse contexto, o MapBiomas constitui-se como uma das principais plataformas de acesso a informações geoespaciais padronizadas para o Brasil, fornecendo séries temporais contínuas de ocupação do território a partir de imagens de satélite.

O MapBiomas utiliza imagens do satélite Landsat e algoritmos de classificação automatizada para gerar mapas anuais de cobertura e uso da terra com resolução espacial de 30 metros. Os dados são disponibilizados em formato *raster*, organizados

em categorias temáticas como: floresta, agricultura, pastagem, corpos d'água, áreas urbanas, entre outras. Além disso, cada pixel do *raster* contém uma codificação que indica a classe de uso correspondente, permitindo análises quantitativas e espaciais detalhadas.

A plataforma possibilita a extração de estatísticas territoriais, como áreas ocupadas por diferentes usos, taxa de desmatamento ou conversão de uso agrícola, e a análise temporal de mudanças no solo. Essas informações podem ser integradas em *softwares* de geoprocessamento para produção de mapas temáticos, modelagens ambientais, estudos de conectividade ecológica e planejamento urbano e rural.

Para as distâncias euclidianas considerou-se quanto mais próximo do alvo analisado, seja canais de drenagem ou habitações com favelas, maior o grau de vulnerabilidade ambiental ao fenômeno analisado, seja ele deslizamento ou inundação, inversamente, as áreas mais distantes representam ambientes menos vulneráveis, ou com grau de vulnerabilidade baixa ou muito baixa.

A escolha da variável de áreas com favelas, foi considerada por esse tipo de moradia, além de revelar a precariedade das condições dos domicílios, pode indicar que os condicionantes antrópicos como esgotamento sanitário inadequado, presença de fossas rudimentares e ausência de galerias pluviais, podem favorecer a concentração de fluxos de água nas encostas e favorecer a ocorrência de deslizamentos e inundações (IBGE, 2018).

Para expressar a relação topológica de distâncias, utilizou-se a distância euclidiana e a implementação de lógica *Fuzzy*, em que Câmara *et al.* (2001), definiram matematicamente que um conjunto de Pertinência *Fuzzy* pode ser definido como:

$$\mathbf{A} = \{z, FP_A^F(O_Z)\} \text{ para todo } O_Z \in \mathbf{Z}. \quad (1)$$

Onde $FP_A^F(O_Z)$ é a função de pertinência fuzzy do conjunto 'A'. O valor da função $FP_A^F(O_Z)$, pode ser entendido como o grau de compatibilidade do objeto O_Z com o conjunto 'A', sendo que o objeto O_Z pertence ao universo 'Z' ($O_Z \in \mathbf{Z}$) (Câmara *et al.* 2001).

Nesse trabalho, para função $FP_A^F(O_Z)$, é assumida com o valor '1.0', quando o grau de compatibilidade entre o conjunto 'A' e o objeto O_Z for completa, ou seja, no caso das distâncias de um determinado fenômeno, quanto mais próximo do

fenômeno, a partir da distância euclidiana, maior a compatibilidade em que condiz com a hipótese de maior grau de vulnerabilidade ambiental ao fenômeno analisado, seja ele deslizamento ou inundação, inversamente, as áreas com valores próximos '0.0' representa ambientes estáveis de acordo com a variável analisada.

Após o processamento e análise dos dados, foi implementada a análise espacial de dados geográficos a partir da álgebra de mapas, objetivando a interrelação das variáveis analisadas, resultando em uma matriz de vulnerabilidade ambiental. Os mapas sínteses de vulnerabilidade ambiental são informações produzidas a partir da análise espacial em Sistema de Informações Geográfica, com auxílio do software QGIS, onde se implementou as álgebras de mapas utilizando-se o método Fuzzy com operador Gamma ($\gamma = 0.8$).

A elaboração da matriz de vulnerabilidade integrou as variáveis de Uso da terra, Geologia, Solos, Erosividade, declividade, hipsometria, distância das drenagens, distâncias de favelas.

Por fim, com base nos resultados obtidos, foram elaboradas considerações e recomendações que visam subsidiar sugestões para futuras ações de planejamento urbano, gestão de riscos e políticas públicas voltadas à redução do risco da população residente na Bacia do Igarapé do São Raimundo. A metodologia, portanto, estruturou-se de forma integrada e multidisciplinar, buscando contribuir com subsídios técnicos e científicos para a sugestão de uma gestão sustentável da área de estudo.

CAPÍTULO 1 - REFERENCIAL TEÓRICO

Conceito de Áreas de Risco

Ao longo do seu processo de desenvolvimento socioeconômico e ocupação, o crescimento desordenado do perímetro urbano propicia a instalação de habitações em encostas. Essa alteração na paisagem natural atua como um agente modificador artificial, impactando o relevo das encostas e as margens das redes de drenagem, aumentando significativamente o potencial de riscos e acelerando a ocorrência de desastres naturais.

Segundo a autora Suertegaray (2001), o conceito de paisagem dito como um conceito operacional, permitindo analisar o espaço geográfico sob uma perspectiva que une os elementos naturais aos socioeconômicos e culturais. Atrelando assim, ao ambiente, uma notória interação entre a eco dinâmica física dos elementos naturais e o espaço ocupado e sendo usufruído/modificado pelo homem.

Bertrand (2007), expõe que para a geografia física, o conceito de paisagem busca compreender as interações e evoluções entre os diferentes tipos de indivíduos e os resultados ou heranças deixadas em determinadas áreas, em decorrência das modificações feitas pela ação antrópica. O autor apresenta o conceito de paisagem não apenas como a soma dos elementos geográficos de forma isolada, mas sim um sistema complexo onde os componentes como um todo interagem entre si.

O conceito de risco está associado primeiramente à percepção do perigo, ou de uma possível catástrofe, considerando a interferência antrópica na área. Segundo Veyret (2015), o risco é a avaliação subjetiva que os seres humanos fazem em relação à ameaça e perigo percebidos em relação à sua vida, integridade física e/ou socioeconômica.

Na Geografia, os estudos iniciais sobre riscos tiveram seu início na América do Norte por volta de 1960, liderados pelos geógrafos pioneiros Burton, White e Gates. O propósito desses estudos era realizar diagnósticos e análises das frequentes ocorrências de enchentes e inundações em diversas regiões dos Estados Unidos. Essa abordagem contribuiu significativamente para o desenvolvimento de estratégias de gestão e mitigação dos riscos naturais e ambientais associados a esses eventos (Silva, 2013).

Ainda de acordo com Silva (2013), o avanço nos estudos sobre riscos, sejam eles naturais ou ambientais no contexto da Geografia, está intrinsecamente ligado às interações entre os danos ambientais e as atividades humanas em um determinado território.

Almeida (2010), destaca que:

Risco é um constructo eminentemente social, ou seja, é uma percepção humana. Risco é a percepção de um indivíduo ou grupo de indivíduos da probabilidade de ocorrência de um evento potencialmente perigoso e causador de danos, cujas consequências são função da vulnerabilidade intrínseca desse indivíduo ou grupo.

De acordo com as abordagens feitas pelos autores citados, o perigo caracteriza-se como uma potencial ameaça aos grupos sociais, coletivos, individuais e bens materiais envolvidos no ambiente. Sendo, portanto, o perigo a possibilidade de ocorrência de um evento causador de prejuízo, seja ele físico ou material. (Almeida, 2010).

Conforme os autores Lavell (1999), Campos (1999) e Cardona (2001), o conceito de risco está relacionado com a materialização da ameaça, envolvendo as características ambientais do meio, sendo relacionadas à ocorrência de diversos tipos de fenômenos naturais catalisados pela interferência humana no território.

Conforme abordado por Beck (2011) em sua obra "A sociedade do Risco", ele oferece uma contribuição significativa tanto do ponto de vista teórico quanto conceitual nos estudos sobre riscos. O autor sustenta a ideia de que a sociedade contemporânea enfrenta uma dimensão constante de risco advinda da modernidade, resultando em uma dupla diferenciação: a modernidade dos riscos e a modernidade reflexiva, ambas com implicações no ambiente.

Segundo Beck (2011), vivemos em uma era de transição de uma sociedade industrial clássica, marcada pela produção e distribuição de riquezas, para uma sociedade dos riscos, na qual os riscos são gerados de acordo com a lógica de produção de bens. No âmago desse modo de produção de riscos, eles são considerados democráticos e globais, significando que as ameaças vinculadas ao progresso não fazem distinção entre classes sociais - tanto os pobres quanto os ricos estão sujeitos a essas ameaças e seus agravamentos (Beck, 2011).

Vulnerabilidade ambiental

Tucci e Bertoni (2003) observam que o crescimento urbano tem se caracterizado por uma expansão desordenada das periferias, com desrespeito às regulamentações urbanas, incluindo o plano diretor e normas específicas de loteamentos. Além disso, há a ocupação irregular de áreas públicas por uma população de baixa renda. Um dos sérios problemas desse processo é a expansão, frequentemente irregular, sobre áreas de mananciais destinadas ao abastecimento humano, comprometendo assim a sustentabilidade hídrica das cidades.

A vulnerabilidade dentro de um contexto urbanístico, deve ser discutida de forma multidimensional, levando em consideração aspectos sociais, econômicos, culturais e ambientais. A intensificação de debates sobre o tema se dá devido ao aumento do número de ocorrências e da intensidade de eventos extremos e de diversas ordens.

Para Ribeiro (2010), o acelerado processo de urbanização no Brasil foi agravado pela expropriação de terras no campo, gerando grandes contingentes de trabalhadores migrantes. Diante da falta de opções de renda ou da obtenção de salários baixos, muitos destes migrantes enfrentam dificuldades para arcar com os custos habitacionais nas cidades brasileiras. Como alternativa, acabam ocupando áreas consideradas inadequadas, expondo-se frequentemente a situações de risco, como deslizamentos de encostas e inundações.

November (2002) aborda a relevância de uma abordagem integrada na gestão de riscos, destacando a dimensão imaginária do território e suas implicações práticas. A discussão também aborda a mobilidade e como a relação entre o risco e os poderes e capacidades individuais pode afetar a compreensão da vulnerabilidade social em contextos de risco.

O autor ressalta que as questões econômicas e culturais individuais de cada grupo familiar residente na área exercem uma influência direta em sua capacidade de

escolha de moradia, bem como na distribuição de políticas públicas, que são mais eficazes e organizadas em bairros considerados não subnormais.

Zanirato *et al.* (2007) define o termo risco considerando a inserção social de um grupo em uma situação de risco. Este processo é acentuado por um ambiente urbano excludente, resultando na ocupação de áreas de risco por porções significativas da população. Os autores também destacam a influência da especulação imobiliária, que propicia a supervalorização de espaços vazios, levando à ocupação das áreas periféricas da cidade.

Ribeiro (2010) destaca que, o crescimento horizontal que ocorre nos grandes centros urbanos é acompanhado por um processo de modernização conservadora, que, apesar dos avanços tecnológicos e da reconfiguração internacional do trabalho, mantém a exclusão social e a concentração de riqueza numa determinada amostra da sociedade.

A combinação desses fatores resulta em espaços urbanos vazios e na migração de uma população deslocada do campo ou municípios menores para as grandes cidades, muitas vezes sem qualificação para o emprego e incapaz de arcar com os custos de habitação. Como alternativa, parte dessa população escolhe áreas urbanas menos valorizadas, como várzeas e encostas íngremes, caracterizadas como zonas de risco, para construir moradias precárias. Essas habitações frequentemente sofrem danos causados pelo movimento da água e de material intemperizado, resultando em perdas materiais e, lamentavelmente, em perdas de vidas.

Mesmo com esforços, através de programas sociopolíticos, para realocar esse grupo, seja por meio de indenizações ou oferta de moradias em outros locais, não impedem o retorno de antigos moradores para áreas de risco, ou a instalação de novos moradores. As redes sociais desenvolvidas nesses lugares são a principal razão que motiva a vontade de permanecer ou retornar, mesmo em situações de risco.

Bacias Hidrográficas e Planejamento Urbano

Diante dos inúmeros eventos naturais extremos registrados nas últimas décadas, observou-se uma busca crescente pela compreensão das características e do funcionamento dos sistemas ambientais. Esse esforço enfatiza a necessidade de aprimorar a gestão das atividades humanas, visando mitigar os impactos ambientais adversos decorrentes dessas práticas na natureza.

Visando sanar a compreensão dos recursos naturais e entender as condições de inter-relações entre a sociedade e o ambiente, viu-se a necessidade de uma melhor compreensão dos conceitos de Bacias Hidrográficas (BH) e quais impactos socioambientais ela foi e é submetida ao longo do desenvolvimento socioeconômico de uma área urbana.

Christofolletti (1996), menciona em seu trabalho que a bacia hidrográfica tem sido uma categoria de análise empregada em estudos socioambientais sendo um sistema ambiental e uma unidade de planejamento cujos elementos, estruturas e processos podem ser modelados e estudados integralmente e em conjunto. Portanto, o autor assume que as BHs podem e devem ser estudadas para além de seus aspectos hidrológicos.

De forma geral, as BHs podem ser definidas fisicamente como um sistema composto por um conjunto de canais hidrográficos que drenam uma determinada superfície terrestre com limites naturalmente definidos. Seus canais fluviais podem ser hierarquizados e quantificados para fins de compreensão do ciclo hidrológico, da erosão e da dinâmica natural da bacia (Horton, 1945).

Numa visão mais modernista, contribuindo para a construção de um pensamento mais completo e evolutivo acerca desse sistema tão complexo, Gaspari *et al.* (2013), traz um conceito mais integrador, o qual compreende a BH como um sistema de relações sociais e econômicas cuja base territorial e ambiental é uma rede de drenagem superficial, compostas por rios que confluem para um rio principal, e este, para o mar.

Os termos micro-bacia e sub-bacia também são adotados por alguns autores no meio geográfico, sendo definido como uma área tão pequena que a sensibilidade às chuvas de alta intensidade e as diferenças de uso de solo não são suprimidas pelas

características da rede de drenagem. São áreas que variam de 1 hectare a 40 hectares, podendo atingir cerca de até 100 hectares (Lima, 2008).

O conceito físico-geográfico de Bacias e microbacias hidrográficas podem ser muito complexos, fazendo com que os diferentes autores dessa área de estudo não cheguem a um consenso a respeito disso. Portanto, considera-se a delimitação das BH uma competência político-administrativa, restringindo a área da bacia a um determinado plano econômico de desenvolvimento a um espaço físico pequeno e desconexo com seu entorno, com atividades socioeconômicas e culturais que se estendem para dimensões maiores (Gomes *et al*, 2021).

No planejamento territorial, as bacias hidrográficas são consideradas a unidade fundamental de análise para a implementação de ações e medidas, tanto estruturais quanto não estruturais. Isso ocorre com a perspectiva de promover a integração entre a gestão dos recursos hídricos e a gestão ambiental. No Brasil, a delimitação desse recorte territorial foi estabelecida por meio da implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos, após a promulgação da Lei nº 9.433, em 8 de janeiro de 1997. Posteriormente, essa abordagem foi incorporada na legislação por meio da Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, na Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012, e em normativas derivadas da Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981 (Carvalho, 2020).

Em qualquer contexto de planejamento ambiental urbano, a inclusão das bacias hidrográficas no planejamento territorial é essencial, uma vez que elas desempenham um papel ativo no cotidiano da sociedade, e a gestão dessas áreas deve ser realizada em diversas escalas. Tendo em vista que a urbanização, as condições socioeconômicas e as mudanças climáticas impactam significativamente o ciclo ecológico das bacias, observa-se um aumento na frequência e intensidade de desastres naturais. Portanto, considerar as bacias hidrográficas no planejamento urbano é fundamental para enfrentar os desafios associados a essas interações complexas (Villaça *et al*, 2009).

Haesbaert (2006) ressalta que no planejamento territorial, as forças da produção social devem ser compreendidas e respeitadas, pois são responsáveis pela dinâmica do espaço, influenciando demandas e ofertas sociais ligadas a fatores

ambientais, econômicos, políticos e culturais. Essas dinâmicas nem sempre correspondem a divisões político-administrativas, sendo necessário delimitar o território de produção por meio de áreas de influência direta (AID) e áreas de influência indireta (AII), especialmente quando focalizando na bacia hidrográfica.

No contexto brasileiro, as AID e AII são frequentemente aplicadas em estudos ambientais para licenciamento de empreendimentos significativamente impactantes. Essas áreas, definidas pela Resolução Conama nº 01, de 1986, e explicadas por Menin *et al.* (2017), compreendem a infraestrutura e operacionalização de projetos, além de aspectos socioeconômicos que podem ultrapassar limites municipais e até mesmo da própria bacia hidrográfica.

Caracterização Geológica da Bacia Hidrográfica do São Raimundo

A cidade de Manaus está sob confluência dos rios Negro e Solimões, onde se forma o rio Amazonas, na microrregião do Baixo Amazonas. A cidade possui uma ampla rede de drenagem e sua área urbana comporta quatro bacias hidrográficas principais, sendo a Bacia Hidrográfica do São Raimundo uma das principais, e está situada integralmente em área urbana da cidade com uma área de aproximadamente 66 km² (QUEIROZ *et al.*, 2019).

Geologicamente, o Amazonas é composto por uma cobertura fanerozoica que integra a Bacia Sedimentar do Amazonas (REIS *et al.*, 2006). A área de estudo está inserida na referida Bacia Sedimentar que possui aproximadamente 620.000 km² e abrange parte dos estados do Amazonas e Pará, possuindo um formato linear alongado na direção ENE-WSW (FERREIRA *et al.*, 2015). De acordo com SILVA (2005) e REIS *et al.*, (2006) a estrutura geotectônica está encaixada entre os escudos cristalinos das Guianas, a norte, e do Brasil Central, a sul, a leste está limitada a leste pelo arco regional do Gurupá e a Bacia Sedimentar Trafogênica do Marajó e a oeste pelo arco regional do Purus e a Bacia Sedimentar do Solimões.

Segundo Reis *et al.* (2006) a Bacia Sedimentar do Amazonas é articulada por linhas estruturais mestres nas direções NW-SE, NE-SW e E-W que articularam sua instalação. A evolução da bacia ao longo do Fanerozoico ocorreu em função da superposição da bacia sobre as rochas do Cráton Amazônico. E “em linhas gerais, a instalação da Bacia do Amazonas respondeu pelos movimentos tectônicos do

megacontinente Gondwana durante o Paleozoico e instalação de sistemas de falhas normais e de transferência na geração de arcos e discordâncias regionais” (REIS *et al.*, 2006, p. 23).

A Bacia Sedimentar do Amazonas pode ser classificada como uma bacia intracratônica e suas rochas sedimentares estão em *onlap*, ou seja, as camadas mais recentes da bacia se depositaram sobre as rochas pré-cambrianas que estavam inclinadas, e a sua espessura sedimentar e ígnea total atinge aproximadamente 5.000 metros de profundidade. Na área da Bacia Hidrográfica do São Raimundo predominam sedimentos da Formação Alter do Chão do Grupo Javari (Igreja, 2003).

A Formação Alter do Chão é constituída por rochas solociclásticas, cuja sedimentação é interpretada como continental, influenciados por sistemas fluviais, lacustres ou deltaicos (e.g., CAPUTO, 1984; DINO *et al.*, 1999; MENDES *et al.*, 2012). Segundo Kistler (1954) é composta também por arenitos avermelhados, argilitos (incluindo caulins), conglomerados e brechas intraformacionais.

Os estratos escassamente fossilíferos da Formação Alter do Chão, representam o início do episódio sedimentar final nas bacias do Amazonas e Solimões, principalmente do Paleozoico (DINO *et al.*, 1999). Wanderley Filho (1991) afirma que a Bacia Sedimentar do Amazonas está estruturada sobre um segmento crustal controlado estruturalmente por falhas geológicas normais no sentido NE-SW e, posteriormente, falhas de transferência afetaram a bacia no sentido NW-SE, isso segmentou a bacia em lineamentos geológicos de drenagem que foram denominados de Manacapuru-Rio Negro, Urubu-Crepuri, Faro-Juriti, Paru-Anapu e Jari-Pacajá.

Latrubesse e Franzinelli (2005) afirmam que grandes falhas controlam o vale principal dos médio e baixo curso do rio Negro. Em sentido montante para jusante, próximo ao baixo curso, o largo vale é abruptamente separado por zonas estruturais estreitas ou pontos nodais de onde afloram rochas antigas. A grande falha que controla o vale do rio Negro segue em sentido NW-SE. No baixo curso do rio Negro, na sua margem esquerda, existem áreas com componentes normais significativos no sentido NW-SE, ocorrendo nas margens do rio Negro falhas inferidas no sentido NW-SE, NE-SW, W-E ocorrem margeando o rio Negro e seus afluentes e falhas de deslizamento nos rios Tarumã-Açu e Tarumã-Mirim no sentido NW-SE.

Fortes (2001) e Igreja e Fortes (2002) em análise na bacia do rio Puraquequara, na Zona Leste da cidade, atribuíram à morfologia da rede de drenagem da bacia características neotectônicas, indicando que as bacias hidrográficas da região da cidade de Manaus sofrem ação tectônica.

Movimento de Massa: Caracterização e fatores de risco

O termo genérico escorregamentos ou deslizamentos engloba movimentos de massa, de solos, rochas ou detritos, desencadeados pela gravidade em terrenos inclinados, sendo a infiltração de água, principalmente das chuvas, o principal gatilho. Existem várias classificações nacionais e internacionais para deslizamentos. Neste texto, adotaremos a classificação proposta por *apud*. Augusto Filho (1992), que categoriza os movimentos de massa relacionados a encostas em quatro grandes classes de processos: Rastejos, Escorregamentos, Quedas e Corridas.

Segundo o autor, os movimentos de massa ocorrem sob influência de fatores geológicos, topográficos e climáticos específicos e por isso podem ser previstos, controlados e evitados, uma vez que suas causas e fatores sejam bem compreendidos.

Segundo Macedo e Sandre (2022), os eventos de movimentos de massa são caracterizados por deslizamentos, quedas de bloco e corridas de massa, portanto a análise desses fenômenos é fundamental para a compreensão da frequência, fatores desencadeadores e a gravidade desses eventos, podendo assim, possibilitar a implementação de medidas de prevenção e mitigação dos riscos associados a eles.

Guidicini e Nieble (1984), categorizam os agentes deflagradores desses fenômenos em predisponentes e efetivos, enquanto as causas são classificadas como internas, intermediárias e externas. Os agentes predisponentes referem-se às condições geológicas, geométricas e ambientais que influenciam a estabilidade da encosta. Por outro lado, os agentes efetivos são os elementos diretamente responsáveis pelo início das instabilidades das encostas, incluindo intervenção das ações humanas sofridas por elas.

De modo geral, os deslizamentos de terra podem ser classificados com base em suas características, como por exemplo: a natureza do material, a direção do movimento, a profundidade ou raio de alcance, seu ambiente geomorfológico e fatores climáticos.

Diversos autores, dentre eles agrupam os movimentos de massa em diferentes categorias, tais como quedas ("falls"), tombamentos ("topples"), escorregamentos ("slides"), espalhamentos ("spreads"), escoamentos ("flows") e movimentos complexos.

Figura 2 Classificação de movimentos de massa, segundo Cemaden/MCTI

Tipo	Simbología
Quedas, tombamentos e rolamentos	
Deslizamentos	
Corridas de massa	
Subsidências e colapsos	

Conceituando cada uma desses grupos, tem-se:

- Quedas (falls): caracterizadas pela separação de uma massa de material de qualquer tamanho de um talude com forte inclinação ou escarpa, que então cai encosta abaixo através de queda livre, saltos ou rolamentos, sem deslocamentos cisalhantes. Esses movimentos são extremamente rápidos e podem ou não ser precedidos por pequenos movimentos anteriores à separação do material de origem (Hutchinson, 1998; Augusto Filho 1992);
- Tombamentos (Topples): caracterizados pela rotação para frente ou para fora da encosta de uma ou mais unidades em torno de um ponto abaixo do centro de

gravidade, impulsionados pela ação da gravidade, forças aplicadas pelas unidades adjacentes ou fluidos presentes nas descontinuidades. Podem resultar em queda ou deslizamento, dependendo da geometria e orientação do talude e das descontinuidades (Hutchinson, 1998; Augusto Filho 1992);

c) Escorregamentos (*slides*): caracteriza pelo movimento rápido de massas de solo ou rocha, ou rupturas cisalhantes, geralmente bem definidas quanto ao seu volume, cujo centro de gravidade se desloca para baixo e para fora de um talude (Varnes, 1978; Augusto Filho 1992). Podem ser translacionais (Hutchinson, 1998), ocorre por cisalhamento, e rotacionais (Varnes, 1978), que são pequenos deslizamentos ao longo de uma superfície de ruptura circular com cavidade voltada para cima;

d) Espalhamentos (*spreads*): caracterizado pela ruptura e disseminação lateral de materiais coesos, como solos e rochas, que estão acima de materiais que experimentaram perda de resistência e ruptura súbita, por exemplo, devido à liquefação (Fernandes, 2000);

e) Escoamento (*flows*): ocorrem em regiões de relevo íngreme, resultando em dobramentos, arqueamentos e outras manifestações de comportamento plástico (Fernandes, 2000).

f) Movimentos de massa complexos: Nesta categoria, encontram-se combinações de diferentes tipos de movimentos de massa, sendo mais comuns do que movimentos individuais. Exemplos incluem queda e rolamento de blocos associados a escoamentos de detritos, além de escorregamentos e escoamentos de solos e detritos (Varnes, 1978, Guidicini e Nieble, 1983, Hutchinson, 1988 e Augusto Filho, 1992).

Análise de vulnerabilidade ambiental de Manaus/AM

Uma sociedade inserida no contexto urbano, que historicamente está entrelaçado com o crescimento desordenado do perímetro, marcado pela ocupação de lugares considerados anormais, está sujeita à riscos inerentes à vida e à evolução de qualquer coletividade humana. De acordo com Serres (2000), a urbanização generalizada vivida atualmente pela humanidade, faz das grandes metrópoles lugares mais fragilizados e vulneráveis a desastres naturais.

A cidade de Manaus, historicamente é desenvolvida e teve seu crescimento a partir das redes de drenagem que emergem na cidade, esse crescimento, por sua vez, ocorreu de forma desordenada e sem devido acompanhamento dos órgãos públicos competentes.

O aumento demográfico desordenado, resultou em inúmeros impactos ao meio ambiente e às bacias hidrográficas que banham a cidade, fazendo com que haja impactos na qualidade das águas dos rios, de suas disposições dentro do perímetro urbano, que foram alteradas ao longo dos anos, uso e ocupação das margens desses igarapés, ocupação em áreas íngremes das encostas nos altos do relevo. (Araújo *et al*, 2014).

A geomorfologia do sítio urbano de Manaus influencia em sua constituição urbana (espaços ocupados por classes sociais diferentes cujo custo da construção é influenciado pelo terreno) e ambiental, assim como na susceptibilidade de uma especulação imobiliária para diversos fins. Essa geomorfologia mostra as áreas mais propensas a deslizamentos de terras e inundações, danos e quais estão em tipos geomorfológicos “seguros”, enfim quais os espaços com e sem infraestrutura no sítio urbano, ou quais as áreas mais caras ou mais baratas para se construir. (COSTA: 2012; 2013; 2009).

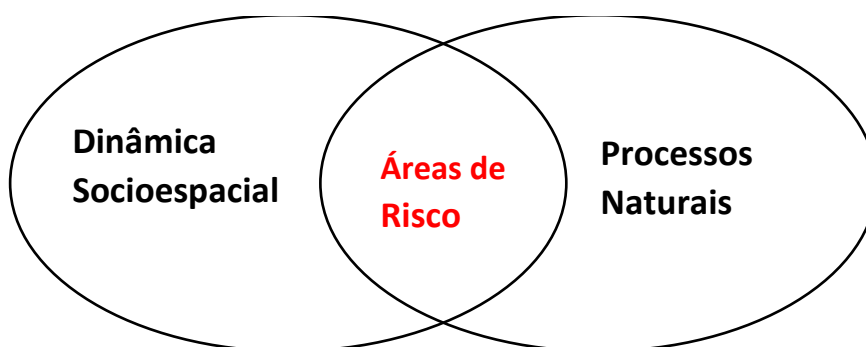
Costa (2009) destaca de forma enfática a importância da realização de estudos nas áreas de encostas ocupadas, especialmente aquelas que abrigam construções residenciais, dentro do contexto das áreas urbanas. Isso se deve à escassez de informações atualizadas sobre o relevo e a topografia dessas regiões, bem como sobre como as práticas de uso da terra têm contribuído para intensificar os processos morfodinâmicos. Tais processos podem culminar em desastres naturais, destacando a urgência de se compreender e monitorar esses fenômenos para garantir a segurança e o bem-estar das comunidades que habitam essas áreas vulneráveis.

A cidade de Manaus, está situada em uma região de clima equatorial predominantemente quente e úmido, o qual influencia no ciclo hidrológico da região, influenciando nas formas de uso do solo, podendo acarretar em desastres naturais como episódios de inundações e deslizamentos. Lefebvre (2001), destaca que os

eventos naturais provocados por processos sistêmicos são expressos pela formação social e econômica dos moradores de determinada região, cujo as moradias ocupam áreas urbanas sem infraestrutura adequada à habitação.

Entender a formação de áreas de risco é crucial, pois possibilita a identificação de espaços desvalorizados que estão integrados à dinâmica de produção e crescimento urbano, os quais são sustentados pelo desenvolvimento desigual dos padrões espaciais, como discutido por Santos (1977). Além disso, ao compreender por que áreas de encostas e margens de igarapés estão mais suscetíveis a desastres naturais, reconhecemos que fatores sociais, culturais e econômicos também desempenham papéis significativos nessa dinâmica.

Figura 3 Quadro Teórico de entendimento na formação das áreas de risco.
Adaptado de Costa (2015)



Portando, segundo Cassetti (2005), a base do entendimento da formação de áreas de risco está na produção das cidades em interação aos processos naturais relativos a fisiologia da paisagem, quando entendida pela interação entre os meios que a compõem.

Em Manaus, os movimentos de massa são mais frequentes durante o período chuvoso anual, que ocorre entre os meses de dezembro a maio. Esses eventos são exacerbados pela ocorrência contínua e intensa das chuvas, especialmente devido à ocupação de encostas e margens, que podem alcançar altitudes variando entre 30m e 60m nas porções centrais da cidade e até 100m nas zonas leste e norte. É sabido que as áreas com cotas mais elevadas apresentam maior vulnerabilidade a

deslizamentos, sendo essa vulnerabilidade intensificada quando tais áreas estão localizadas nas zonas periféricas da cidade.

CAPÍTULO 2 – METODOLOGIA APLICADA

Caracterização Físico-ambiental das Bacias Hidrográficas do São Raimundo, em Manaus/AM

O município de Manaus está situado na sub-bacia do Rio Negro, que por sua vez faz parte da Bacia Amazônica e conta com a confluência principal do Rio Negro. Essa bacia abrange uma área de 712.000 km², estendendo-se por parte do Brasil, Colômbia, Guiana e Venezuela, predominantemente coberta por densa floresta tropical (Marinho, 2019).

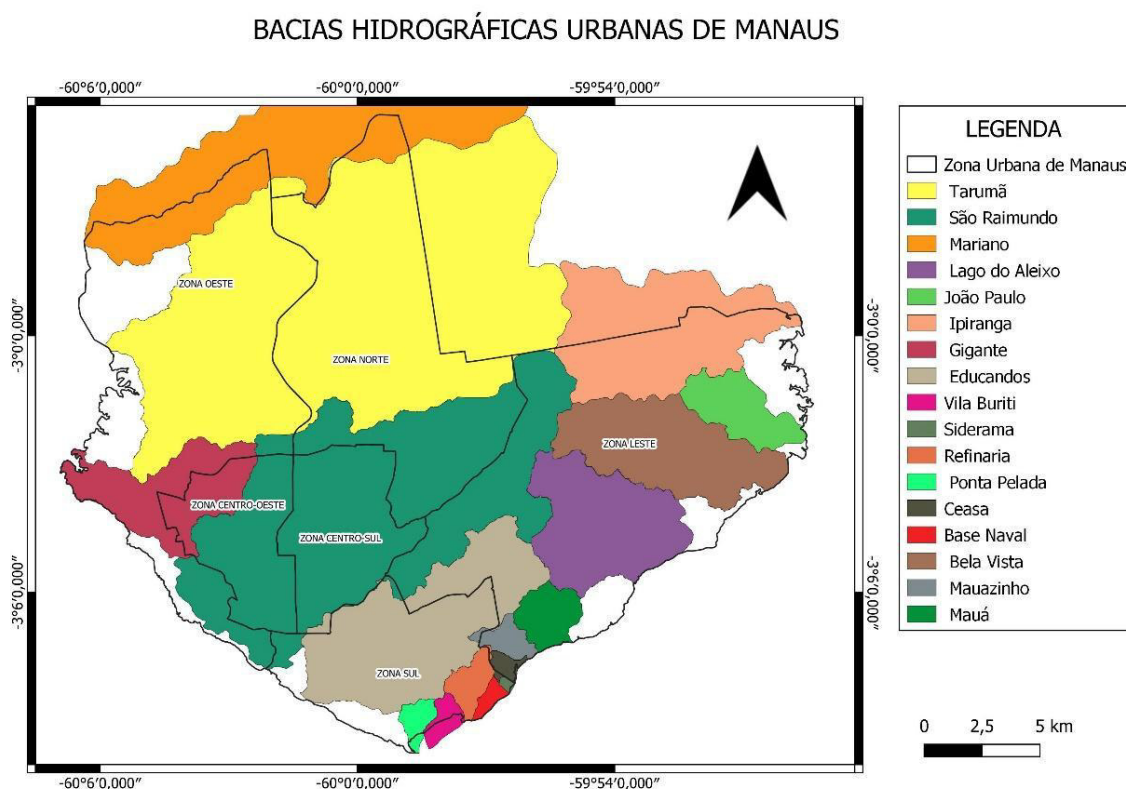
A cidade de Manaus, capital do estado do Amazonas, está inserida em uma área do Planalto dissecado Rio Trombetas, onde a principal rede de drenagem é o Rio Negro (EIA/RIMA da Ponte Sobre o Rio negro, 2007), o que confere ao município uma rede hidrográfica diversificada e de grande relevância ambiental e socioeconômica. No contexto urbano, as bacias hidrográficas se dispõem de forma interligada a um complexo sistema de drenagem natural, formado por inúmeros igarapés que escoam as águas pluviais em direção aos grandes cursos d'água da região, como os rios Negro, Solimões e Amazonas.

As bacias hidrográficas de Manaus apresentam formatos e extensões variadas, influenciadas por fatores geológicos, geomorfológicos e pela ocupação urbana cada vez mais intensa. Destacam-se bacias como a do igarapé do Mindu, igarapé do Quarenta, igarapé do São Raimundo, entre outras, que exercem papel fundamental na drenagem natural das águas pluviais e na manutenção do equilíbrio hídrico local. Entretanto, tais bacias vêm enfrentando pressões antrópicas significativas, incluindo a impermeabilização do solo, a supressão da vegetação primária, e ocupações irregulares em encostas e locais íngremes, fatores que contribuem para o aumento de enchentes e da vulnerabilidade ambiental (Queiroz *et al.*, 2020a; Queiroz, 2020).

A Figura 4 ilustra a disposição das principais bacias hidrográficas localizadas na zona urbana de Manaus, evidenciando sua distribuição espacial em relação à malha urbana do município. Esta representação cartográfica permite uma melhor compreensão das áreas de contribuição de cada bacia, bem como dos desafios

inerentes ao seu manejo integrado ao conhecimento social atrelado a cada zona da cidade, informações imprescindíveis para o planejamento urbano sustentável, a mitigação de riscos geotécnicos e a conservação dos recursos hídricos na cidade.

Figura 4 Disposição das Bacias Hidrográficas Urbanas de Manaus/AM. Fonte: Datum SIRGAS 2000, elaborado por Alves, M.N. (2023)



As cinco principais bacias hidrográficas dentro do limite urbano de Manaus e suas dimensões aproximadas, são as seguintes:

- Educandos 44,6 km²
- São Raimundo 114,8 km²
- Tarumã 169,3 km²
- Puraquequara 39,6 km²
- Rio Negro 43,9 km²

De acordo com informações da Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Sustentabilidade - SEMMAS, as principais bacias da cidade de Manaus são

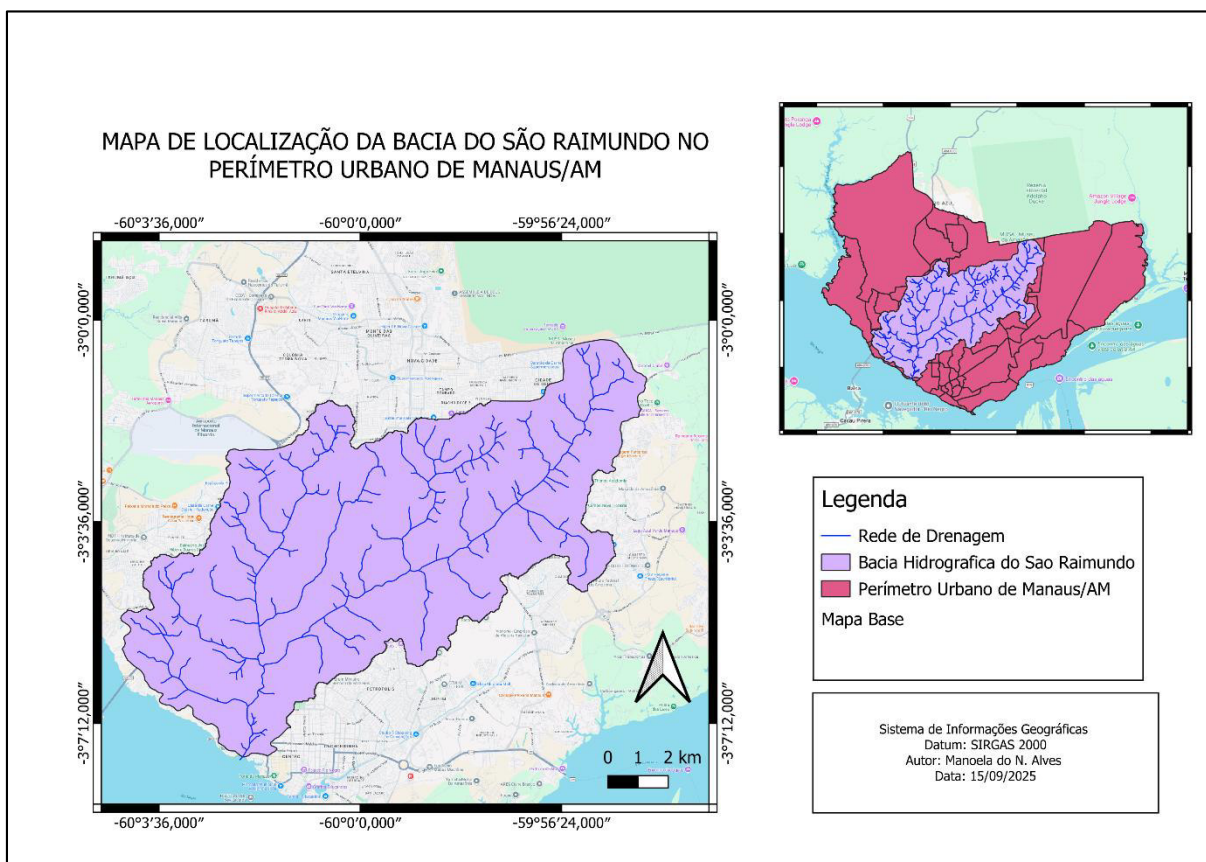
compostas por sub-bacias, que por sua vez controlam a rede hidrográfica que atravessa a região urbana da cidade.

A Bacia Hidrográfica do São Raimundo, apresenta sua origem como resultado da confluência das redes de drenagem das sub-bacias do Igarapé do Franco com o Igarapé da Cachoeira Grande, com um total do curso d'água de 2,5 km de extensão (Santos, 2022).

Abrange uma área de aproximadamente 114 km², sendo o principal tributário o Igarapé do Mindu. Com uma extensão de 18,2 km, percorrendo bairros como Jorge Teixeira, Cidade de Deus, Tancredo Neves, Gilberto Mestrinho, São José Operário, Cidade Nova, Coroado, Aleixo, Novo Aleixo, Flores, Parque 10 de Novembro, Adrianópolis, Nossa Senhora das Graças, Chapada, São Geraldo, São Jorge, que são alguns dos bairros mais populosos da cidade (Queiroz *et al.*, 2020a; Queiroz, 2020).

A Figura 5 apresenta a disposição espacial da Bacia Hidrográfica do São Raimundo no contexto do limite urbano da cidade de Manaus, evidenciando sua área de contribuição e a relação com a malha urbana consolidada. Na imagem, observa-se também a rede de drenagem da bacia, destacando os principais Igarapés e canais que desempenham papel essencial no escoamento superficial.

Figura 5 Localização e Rede de Drenagem da Bacia do São Raimundo, Datum Sirgas 2000. Alves, M.N. (2025)



Do ponto de vista geológico e geomorfológico, Manaus está localizada no Planalto Dissecado Rio Trombetas-Negro, que faz parte da macrounidade geomorfológica do Planalto da Amazônia Oriental. Essa região é classificada pelo IBGE (2019) como o Planalto Rebaixado dos Rios Negro/Uatumã. Este planalto se divide em três compartimentos de altimetria variável, com relevo dissecado e uma rede de drenagem subdendrítica. A cidade, apresenta interflúvios tabulares ou platôs, com diferentes características morfológicas dependendo da zona da cidade: a Zona Leste apresenta platôs com encostas de grande declividade, enquanto a Zona Oeste, platôs mais extensos e encostas mais suaves (Vieira, 2008).

No período Cretáceo, a região da Bacia Sedimentar do Amazonas passou por um processo de abatimento que possibilitou uma intensa sedimentação clástica de origem flúvio-lacustre em ambiente continental (IGREJA, 2000), formando a Formação Alter do Chão, sobre a qual se assenta a cidade de Manaus. De acordo com Costa *et al.* (1978) apud Vieira (2008), os arenitos dessa formação apresentam granulação que varia de fina a grossa, com colorações que vão do branco ao róseo, vermelho e cinza-

claro, podendo conter concreções lateríticas. Especificamente em Manaus, predomina o Arenito Manaus, caracterizado por camadas horizontalmente dispostas, de coloração esbranquiçada, facilmente observadas em afloramentos nas margens do rio Negro, em cursos d'água urbanos (igarapés) e até mesmo em voçorocas (VIEIRA, 2008).

Sobre a Formação Alter do Chão, Igreja (2000) destaca como um de seus aspectos mais característicos a predominância de coloração vermelha, com tonalidades variadas nos arenitos e argilitos, que se interdigitam, entrecruzam ou apresentam padrões mosqueados com nódulos, níveis, camadas, juntas e fraturas em tons que podem variar do amarelo-esbranquiçado até chegar ao branco leitoso.

Quanto à influência neotectônica, sofrida pela BH, iniciada no Mioceno (com idade de 24M.a., aproximados), é responsável por grande parte da geomorfologia atual da área, manifestando-se em lineamentos estruturais e no controle de grandes redes de drenagem, além de contribuir para a formações de feições erosivas. Predominam falhas normais orientadas nos sentidos ENE–WSW e E–W. Silva (2005) identificou falhas normais com direção NE–SW na cidade de Manaus, as quais correspondem às principais orientações estruturais da região amazônica e controlam não apenas o direcionamento de canais fluviais, mas também o desenvolvimento de feições erosivas, como voçorocas, que podem direcionar e intensificar o movimento de massa na região (Abreu *et al.*, 2012).

A bacia do São Raimundo, especificamente, é controlada por falhas orientadas segundo NE-SW, enquanto seus tributários seguem zonas de fraturas orientadas NW-SE. Seu canal principal consiste num vale encaixado na falha.

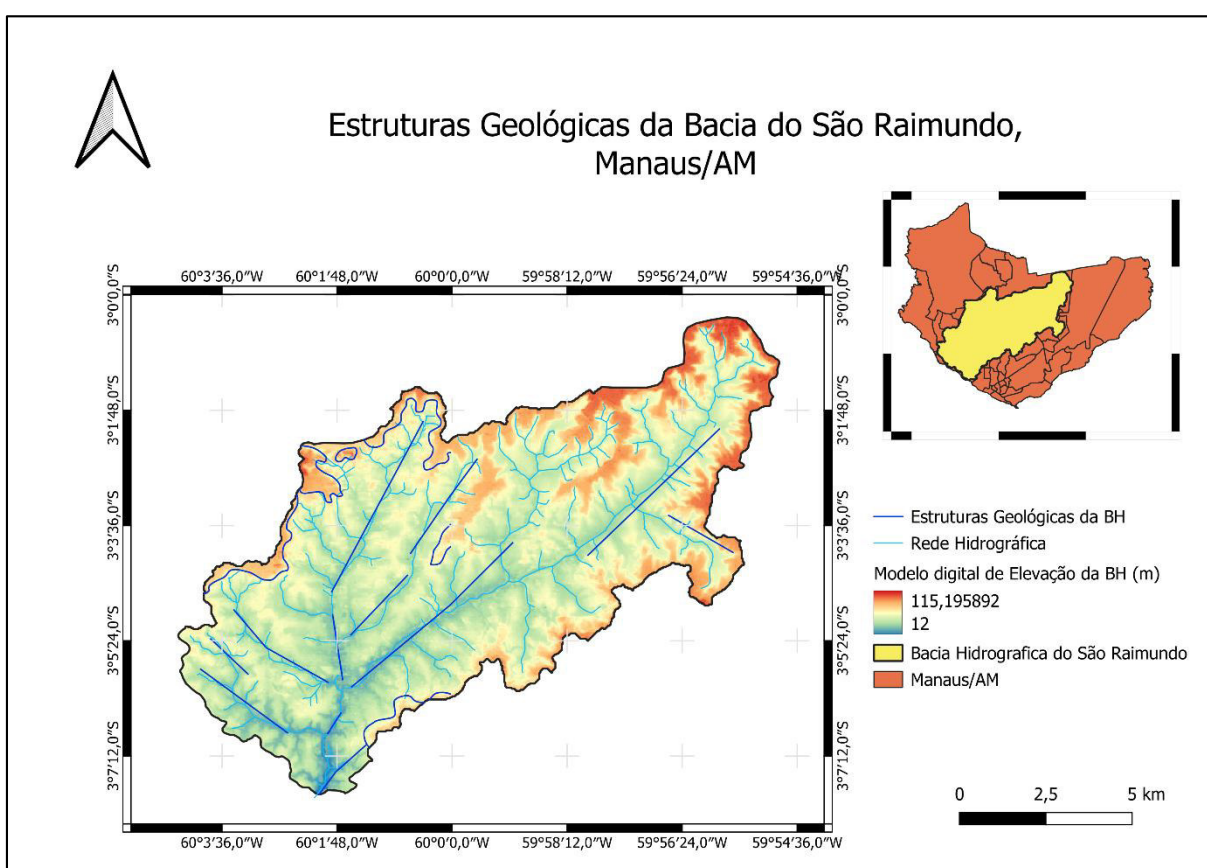
Na superfície Formação Alter do Chão predominam colinas com cotas de 30m a 100m marcadas por fortes rebordos erosivos abruptos com vales estreitos em V e zonas de interflúvios estreitas e alongadas que separam as amplas bacias de drenagem assimétricas (Silva, 2005).

A Figura 6 ilustra as principais linhas estruturais mapeadas na área de abrangência da Bacia Hidrográfica do igarapé do São Raimundo, em Manaus. Esses lineamentos correspondem a feições geológicas, como fraturas, falhas e zonas de

cisalhamento, que exercem influência direta na organização da rede de drenagem local. Observa-se que parte dos cursos d'água apresenta alinhamentos preferenciais que acompanham essas estruturas, o que indica um controle estrutural sobre o direcionamento e a conectividade dos igarapés e canais secundários. Além de condicionarem a morfologia da bacia, essas linhas estruturais podem atuar como zonas de maior susceptibilidade à infiltração, instabilidade de encostas e processos erosivos.

Figura 6 Mapa de Estruturas Geológicas da Bacia Hidrográfica do São Raimundo.

Fontes: Datum Sirgas 2000m SBG. Elaborado por: Alves, M.N. (2025)



Por sua vez, os dados hipsométricos apresentados por Bento (1998), demonstram que as colinas têm extensão entre 750m e 1.750m, com interflúvios tabulares situados entre 75m e 100m, e possuem desníveis topográficos que variam de 35m a 60m. Tais desníveis são significativos para a topografia dessa região, refletindo a paisagem pouco dissecada e relativamente plana da cidade.

A Bacia Hidrográfica urbana do Igarapé do São Raimundo está situada no trecho inferior da Bacia Hidrográfica Urbana do São Raimundo, localizada no município de Manaus, capital do Amazonas. Essa área abrange os seguintes bairros:

na zona oeste, Glória, São Raimundo e Santo Antônio; na zona sul, Centro, Nossa Senhora Aparecida e Presidente Vargas; e na zona centro-sul, São Geraldo e Nossa Senhora das Graças.

Segundo Santos (2022), a bacia tem origem na confluência das redes de drenagem das sub-bacias do igarapé do Franco e do igarapé da Cachoeira Grande, abrangendo uma área total de 290.323 hectares e com um curso d'água estimado em 2,5 km de extensão. Morfologicamente, apresenta solos arenosos, siltosos e argilosos, sendo influenciada pelo maior índice pluviométrico da região, com chuvas mais intensas entre novembro e março e menor incidência entre maio e setembro.

Ab'Sáber (2004), salienta ainda que Manaus encontra-se sobre um baixo planalto, colocado de 20m a 30m acima do nível médio do Rio Negro. Além disso, um alinhamento de falésias fluviais de 20m a 50m de altura, com reverso suave ou aplainado para o interior e com uma ruptura de declive brusca e direta em relação à estreita faixa de praias arenosas de estiação do Rio Negro são traços marcantes na fachada ribeirinha da cidade. Esta se assenta sobre a porção ribeirinha de um sistema de colinas tabuliformes, pertencentes a uma vasta seção de um tabuleiro de sedimentos.

Nesse relevo desenvolve-se um manto de intemperismo formando Latossolo com até 15 metros de espessura. Os Latossolos Amarelos Álicos apresentam horizonte "A" moderado e de textura argilosa, areno-argilosa ou argilo-arenosa e arenosa, típicos de região com muitas chuvas tropicais (Rocha, 2006).

De acordo com Lepsch (2002), por causa do intenso intemperismo a que são submetidos, a maior parte dos Latossolos são pobres em nutrientes minerais e, em regiões tropicais permanentemente úmidas, costumam ostentar vegetação de densa floresta, mantida por uma quantidade mínima de nutrientes. Na região de Manaus, encontra-se a Floresta Densa Tropical da Sub-Região dos Baixos Platôs da Amazônia. Caracteriza-se pela exuberância da cobertura vegetal ombrófila de Floresta Densa, com predomínio de grandes árvores emergentes e em pequena escala, com dossel uniforme (Magnago, 1978).

Esta floresta é um dos elementos que contribuem para o clima da região, onde predominam características de clima equatorial úmido, com temperaturas médias anuais sempre acima de 22°C, chuvas abundantes com médias entre 2.000mm e 2.500mm anuais, intensa radiação, elevada umidade do ar e baixas velocidades de ventos (Nimer, 1989). Outra característica marcante no sítio urbano de Manaus é a significativa rede hidrográfica, onde os igarapés delineiam a paisagem da cidade. Ab'Sáber (1953), descreve o típico igarapé de Manaus como um baixo vale afogado pela sucessão habitual das cheias do rio Negro, ficando sujeitos à sua oscilação anual, em pontos da margem de ataque da correnteza do grande caudal. Possuem de 7m a 12m de barranca lateral, representando vales que isolam os diversos blocos urbanos da cidade.

Características Socioambientais da Bacia do São Raimundo

A Bacia Hidrográfica do igarapé do São Raimundo está localizada em uma área de forte adensamento urbano na zona central e oeste de Manaus, caracterizando-se por uma ocupação predominantemente residencial, mas que também abrange áreas comerciais, industriais e de serviços (Queiroz, 2020). A expansão urbana desordenada ao longo de décadas resultou em ocupações irregulares nas margens do igarapé e em suas áreas de preservação permanente, gerando impactos diretos sobre a qualidade ambiental e a vulnerabilidade das comunidades locais.

Segundo Gaspar (2011), do ponto de vista ambiental, a bacia apresenta elevados índices de impermeabilização do solo devido à intensa urbanização, o que contribui para o aumento do escoamento superficial, alagamentos e assoreamento dos cursos d'água. Além disso, a precariedade de infraestrutura de saneamento básico em diversas áreas faz com que o lançamento de esgotos domésticos e o descarte irregular de resíduos sólidos sejam problemas recorrentes, comprometendo a qualidade da água e a saúde pública.

A presença de comunidades de baixa renda em áreas de fundos de vale e encostas acentua a exposição a riscos geotécnicos, como deslizamentos e processos erosivos, especialmente durante o período chuvoso. Apesar desses desafios, a bacia ainda abriga fragmentos de vegetação ripária que desempenham papel fundamental na contenção de margens e na manutenção da biodiversidade local.

Nesse contexto, a Bacia do São Raimundo representa um grande desafio para o planejamento urbano sustentável de Manaus, exigindo ações integradas de recuperação ambiental, reassentamento de áreas de risco, ampliação de redes de drenagem e saneamento, além de programas de educação ambiental voltados para a valorização dos recursos hídricos e a melhoria da qualidade de vida das populações que nela vivem.

Abordando um contexto histórico, Costa Junior (2018), aponta a descaracterização e a perda da identidade projetada na paisagem dos igarapés intensificaram-se à medida que Manaus avançava em seu processo de crescimento urbano. O deslocamento da área urbana resultou na dificuldade da preservação das nascentes dos igarapés. Para superar esses obstáculos naturais, optou-se por soluções como os aterros e desvios de redes de drenagem, desconsiderando a importância ambiental dos leitos dos igarapés para a população local.

Muitos desses cursos d'água, que outrora drenavam extensas áreas da cidade, foram canalizados, aterrados ou convertidos em galerias subterrâneas, tornando esses igarapés aterrados, os chamados rios urbanos invisíveis que compõem o subsolo de Manaus.

De acordo com Wstane (2013), a cada nova canalização de um córrego, surgia a necessidade de mais intervenções em outros trechos, gerando um ciclo sucessivo de obras e alterações no padrão de drenagem. Essa forma de intervenção, embasada em uma lógica urbana de planejamento técnico e higienista, tornou invisíveis os córregos e rios da cidade e se perpetuou, agravando-se ao longo das décadas nas principais capitais brasileiras.

Como resultado dessas e de outras transformações, a paisagem natural — antes marcada pela presença expressiva de bacias hidrográficas, uma complexa rede de igarapés, florestas e relevos naturais — foi profundamente alterada. Além disso, a própria arquitetura urbanística foi modificada, impactando também a cultura local, com mudanças significativas nos hábitos, costumes e na relação da população com os recursos hídricos que moldavam a identidade do território.

A cidade de Manaus experimentou um expressivo crescimento populacional e urbano a partir da década de 1960, impulsionado principalmente pela criação da Zona Franca de Manaus, por meio do Decreto-Lei nº 288, de 1967, que instituiu o Polo Industrial de Manaus (PIM) como estratégia de integração da Amazônia ao território nacional e de promoção do desenvolvimento econômico regional. A implementação desse modelo de incentivos fiscais atraiu indústrias, investidores e trabalhadores de diversas regiões do Brasil, especialmente do interior do Amazonas, de estados vizinhos e de outras regiões Norte e Nordeste, provocando uma forte onda migratória para a capital amazonense (Botelho Antônio, 2006).

Essa dinâmica migratória acelerou a expansão urbana, muitas vezes de forma desordenada, resultando na ocupação de áreas ambientalmente sensíveis, como margens de igarapés, encostas e fundos de vale, o que agravou problemas socioambientais relacionados à drenagem urbana, saneamento básico e gestão de resíduos. Paralelamente, a malha urbana expandiu-se para além do centro histórico, criando novos bairros residenciais, áreas industriais, zonas comerciais e, conseqüentemente, uma pressão crescente sobre a infraestrutura existente.

Entre 1970 e 2022, Manaus viu sua população saltar de cerca de 300 mil habitantes para mais de 2,2 milhões, consolidando-se como o principal centro econômico e urbano da Amazônia Ocidental. De acordo com Lefebvre (1969), esse crescimento acelerado, diretamente ligado ao PIM, trouxe oportunidades de trabalho e dinamizou a economia local, mas também intensificou desigualdades socioespaciais, com a proliferação de assentamentos informais e ocupações irregulares.

Atualmente, a configuração urbana de Manaus reflete esse processo histórico de adensamento populacional e expansão industrial. A cidade enfrenta o desafio de conciliar a continuidade do desenvolvimento econômico promovido pelo PIM com políticas públicas voltadas à sustentabilidade ambiental, à melhoria da infraestrutura urbana, à regularização fundiária e à qualidade de vida da população.

Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o qual não realiza a coleta de dados populacionais detalhados por bairro todos os anos, portanto para fins de análise e coleta de informações desse estudo, utilizou-se uma

estimativa populacional de habitantes dessa região. Logo, considerando os dados mais recentes do Censo 2022, indica que essa área da BH reúne aproximadamente 1,2 milhão de habitantes, representando uma parcela expressiva da população de Manaus, que ultrapassa 2,2 milhões de pessoas segundo a estimativa para 2024.

Vulnerabilidade e Classificação de Risco

Para compreender e aplicar o conceito de vulnerabilidade, foi necessário considerar sua complexidade e multidimensionalidade. A análise focou-se na exposição ao perigo de movimentos de massa (vulnerabilidade físico-espacial) e na susceptibilidade (condicionantes socioespaciais) aos perigos naturais (vulnerabilidade social), correlacionados com situações de desigualdade socioespacial na área de estudo.

Cutter e Finch (2008) identificam duas abordagens principais na ciência da vulnerabilidade: a "pesquisa socioambiental" e os "riscos e perigos". A primeira foca nos processos ambientais globais, especialmente mudanças climáticas e seus impactos em diferentes escalas, destacando as relações ambientais na configuração de espaços vulneráveis. Esta abordagem tem como principais referências Kasperson *et al.* (2001) e Turner *et al.* (2003). A segunda abordagem, "riscos e perigos", concentra-se em perigos naturais e desastres, explorando suas correlações com vulnerabilidade e resiliência. Este campo de pesquisa é integrado na gestão de emergências e mitigação de riscos, com estudiosos destacados como Blaikie *et al.* (1994), Bankoff, Frerks e Hilhorst (2004), Pelling (2003), Vale e Campanella (2005).

Cutter *et al.* (2003) propõem três princípios fundamentais para a operacionalização da vulnerabilidade:

- Identificação das condições que tornam pessoas ou lugares vulneráveis a eventos naturais extremos, configurando um modelo de exposição;
- Consideração da vulnerabilidade como uma condição social, medindo a resistência ou resiliência social aos perigos;
- Integração da exposição potencial e da resiliência social em lugares e regiões específicas.

A integração desses dois métodos de pesquisa fundamentou o estudo atual, que, em essência, mapeou os principais riscos naturais e suas respectivas localidades. Esses riscos foram analisados em conjunto com estudos geológicos da bacia hidrográfica e correlacionados ao mapa socioespacial do ambiente, considerando também aspectos sociais conforme a classificação do IBGE.

A elaboração de indicadores de vulnerabilidade seguiu um processo estruturado, que envolveu a definição de variáveis com base em dados do Censo dos anos 2010 e 2022, divulgados pelo IBGE. As informações obtidas e processadas são capazes de orientar a criação de indicadores, que, por sua vez, foram agregados em índices capazes de refletir características relevantes do sistema estudado.

A análise proposta consistiu em identificar espaços vulneráveis, localizando coincidências entre vulnerabilidade física (exposição) e social (susceptibilidade). Foram produzidos índices e suas respectivas representações espaciais (mapas), permitindo a hierarquização e comparação dos diversos espaços vulneráveis. A avaliação da vulnerabilidade social é realizada com a seleção de variáveis que caracterizem amplas dimensões de vulnerabilidades e desvantagens sociais.

A metodologia adotada permite uma compreensão integrada da vulnerabilidade, combinando aspectos físicos e sociais. Essa abordagem facilita a identificação e hierarquização dos espaços mais vulneráveis, proporcionando subsídios importantes para a avaliação e mitigação dos riscos de inundações.

A delimitação da área a ser estudada baseou-se na quantidade de ocorrências de movimentos de massa registrados pela Defesa Civil que atua no município de Manaus. De acordo com o mapa disponibilizado pelo órgão, as áreas com maior número de ocorrências em áreas que sobrepõem a Bacia do São Raimundo, dentro da região urbana do município.

Nessas áreas, o estudo considera o histórico de uso e ocupação nas localidades, ligado aos dados socioeconômicos da população local atual, levando em consideração como a perspectiva atual dos órgãos de controle ambiental e sociopopulacional foi influenciada por esse histórico e como esses dados podem refletir nessas áreas num futuro próximo.

A metodologia empregada para a elaboração dos mapas de vulnerabilidade e na organização e classificação dos dados segue os preceitos estabelecidos por Crepani (2001) e Tricart (1977), inicialmente visando apoiar a elaboração do Zoneamento Ecológico e Econômico para a Amazônia.

A delimitação das áreas de estudo foi realizada por meio da coleta de imagens de satélite e *shapefiles* das localidades, com o intuito de identificar zonas mais susceptíveis a movimentos de massa conforme informações geológicas e pedológicas da área. Esse processo é complementado pela obtenção de dados quantitativos e qualitativos de órgãos públicos, fornecendo informações sobre as áreas em questão, inclusive a respeito do número de ocorrências de deslizamentos na região.

As imagens de satélite utilizadas são provenientes da plataforma CBERS (especialização de 30m ou 60m), disponibilizadas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), captadas recentemente e contendo dados sobre o uso do solo, ocupações nas áreas periféricas da zona urbana de Manaus e uso das margens das bacias hidrográficas. Foram coletadas imagens capturadas em diferentes momentos, levando em consideração a espacialidade de cada cinco anos de análise para fins histórico-comparativos do uso e ocupação do solo nesses locais, totalizando os últimos 14 anos, analisando imagens dos anos de 2020, 2015 e 2010, com diferenciação das imagens do ano atual, para fins de análise do avanço ou recuo do risco de vulnerabilidade, possibilitando uma estimativa de possíveis ocorrências futuras nesses locais.

O processamento das imagens, realizado no *software* QGis versão 3.19, incluiu a interpretação de cores e texturas, além da integração de informações geológicas, geomorfológicas, pedológicas, de vegetação e climáticas, obtidas através do Banco de Informações Ambientais - BDia, de forma atualizada, para a elaboração dos mapas temáticos e análise dos dados. Os aspectos analisados na metodologia de arrecadação de dados envolveram diferentes aspectos do meio físico que auxiliam na compreensão dos fenômenos ocorridos na região, considerando aspectos sociais, ambientais, econômicos, demográficos, hidroclimáticos e geomorfológicos.

Os aspectos considerados na análise foram dispostos na tabela 1:

Tabela 1 Aspectos considerados na Análise Ambiental.

Áreas Consideradas	Aspectos Analisados
Sociais	Tipo de Moradia
Demográficos	Espacialização Residencial Uso do Solo
Hidroclimáticos	Pluviosidade Redes de Drenagem
Geomorfológicos	Geologia Pedologia Manchas de áreas de risco Declividade/relevo

Os dados disponibilizados pela Defesa Civil sobre o tema da pesquisa são baseados no Projeto de Mapeamento de Áreas de Risco Geológico da Zona Urbana de Manaus-AM, desenvolvido pela SGB (Serviço Geológico do Brasil), onde a coleta de dados foi realizada em 2012 e ainda é vigente e utilizada pelos órgãos fiscalizadores no Amazonas. As áreas receberam classificações de risco: Grau Baixo, Médio e Alto.

As metodologias de pesquisa abordadas pelos autores Crepani *et al.* (2001) e Tricart (1977) enfatizam a análise dos aspectos ambientais, atribuindo importância específica a cada elemento físico do ambiente, incluindo a pedologia, geologia local, geomorfologia e padrões de uso do solo. A análise desses elementos, conforme proposto por Tricart, possibilita uma classificação detalhada e hierárquica da paisagem, levando em consideração tanto os aspectos morfológicos quanto os processos geológicos e geomorfológicos que influenciam o ambiente.

De acordo com a classificação adotada pelo estudo da SGB (2019), as ditas áreas de risco geológico são aquelas habitadas e suscetíveis a processos naturais e/ou induzidos que possam gerar impactos adversos. Nesses locais, os moradores estão expostos a riscos à integridade física, além de possíveis perdas materiais e patrimoniais.

A delimitação dos setores de risco foi realizada com base nos critérios de classificação estabelecidos pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) e pelo Ministério das Cidades (IPT, 2004). Essa metodologia considera os indícios observados no local para hierarquizar os graus de risco, classificados em quatro níveis: baixo (R1), médio (R2), alto (R3) e muito alto (R4). Essa categorização segue os fatores de julgamento e as cores indicadas nos quadros 4.2 e 4.3 do referido estudo.

No presente trabalho, a setorização das áreas de risco a movimentos de massa em Manaus incluiu os graus R2, R3 e R4, desconsiderando-se as áreas classificadas como R1 devido ao seu baixo potencial de perigo, de acordo com a tabela 2. Por outro lado, as áreas de risco associadas a processos hidrológicos (como inundações, alagamentos e enchentes) foram analisadas em todos os quatro níveis de risco propostos pelo IPT (2004).

Tabela 2 Classificação dos graus de risco a movimentos de massa (Adaptado de IPT, 2004)

Grau de Risco	Descrição dos Indícios
R1 (Baixo)	Mantidas as condições atualmente observadas, não se espera a ocorrência de eventos de natureza destrutiva.
R2 (Médio)	Constata-se a presença de algumas evidências de instabilidade, porém de forma incipiente. Mantidas as condições atuais, a possibilidade de ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas é considerada reduzida.
R3 (Alto)	Constata-se a presença de evidências significativas de instabilidade, tais como trincas no solo, degraus de abatimento em taludes, entre outras. Mantidas as condições atuais, é plenamente possível a ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas.
R4 (Muito Alto)	As evidências de instabilidade, tais como trincas no solo, degraus de abatimento em taludes, fissuras em moradias e muros de contenção, inclinação de árvores ou postes, cicatrizes de escorregamento, feições erosivas, entre outras, apresentam-se de forma expressiva, estando presentes em elevado número e/ou magnitude. Mantidas as condições atuais, é altamente provável a ocorrência de eventos destrutivos.

	durante episódios de chuvas intensas e prolongadas.
--	---

O modelo apresentado por Tricart (1997) aplica de forma individualizada aos itens Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Vegetação e Clima, a da média aritmética dos valores individuais, conforme a equação abaixo:

$$V = \frac{(G + R + S + Vg + C)}{5}$$

onde:

- V = vulnerabilidade
- G = vulnerabilidade para o tema Geologia
- R = vulnerabilidade para o tema Geomorfologia
- S = vulnerabilidade para o tema Solos
- Vg = vulnerabilidade para o tema Vegetação
- C = vulnerabilidade para o tema Clima

A normatização dos dados segue a compartimentação da área de estudo com base em imagens de satélite, permitindo o trabalho em diferentes escalas. A metodologia utiliza a média aritmética dos valores de vulnerabilidade dos temas, resultando em uma análise integrada e abrangente dos riscos e vulnerabilidades, facilitando a identificação e hierarquização dos espaços mais vulneráveis e proporcionando subsídios importantes para a avaliação e mitigação dos riscos de inundações.

Assim, são gerados valores que podem ser aplicados e visualizados em mapas temáticos, indicando a influência dos índices socioambientais nas características físico-geográficas das porções estudadas nas bacias hidrográficas. A partir desses dados, torna-se possível uma melhor gestão ambiental das áreas e a adoção de medidas mitigadoras em casos de desastres ambientais.

A integração dos dados sociais e ambientais consiste na estruturação dos dados em camadas geográficas, onde cada camada pode representar um tipo de dado, seja ele físico ou social. Esses dados poderão ser visualizados a partir da criação de mapas temáticos que combinam dados físicos e sociais, facilitando a visualização de correlação de padrões.

A integração de dados geográficos físicos e sociais através da normatização é um processo poderoso que traz informações profundas sobre a interação entre o ambiente natural e as atividades humanas. Ao seguir metodologias de coleta, pré-processamento, normatização e análise, é possível criar uma base sólida que possa influenciar políticas públicas, práticas de planejamento e gestão ambiental e muitas outras áreas.

O trabalho de campo desenvolvido, foi essencial para validar as informações obtidas em gabinete, por meio da observação direta das condições físicas da bacia, registros fotográficos e entrevistas pontuais com moradores das áreas mais críticas. Essa etapa permitiu verificar as principais formas de ocupação do solo, identificar áreas de risco efetivas e coletar informações complementares sobre problemas enfrentados pelas comunidades locais.

Dados de Sensoriamento Remoto

A utilização de tecnologias de sensoriamento remoto é tida como ferramenta essencial para estudos e monitoramento ambientais e urbanos, permitindo a vigilância de áreas extensas com precisão espacial e em tempo real. Nesse estudo, empregou-se imagens de radar obtidas por meio do FABDEM *Copernicus*, bem como dados vetoriais e *raster* disponibilizados por órgãos públicos responsáveis pela gestão urbana do município de Manaus.

Além das imagens de radar, foram utilizados dados vetoriais (*shapefiles*) e *raster* provenientes de instituições públicas competentes, como secretarias municipais e estaduais de planejamento urbano, infraestrutura e meio ambiente. Esses dados incluem malhas viárias, delimitações de bairros, zoneamentos, áreas de preservação permanente, manchas urbanas e outras camadas temáticas relevantes para a análise integrada do espaço urbano. A combinação de diferentes bases de dados georreferenciadas permite não apenas um mapeamento mais detalhado, mas também

o cruzamento de variáveis físicas, socioeconômicas e ambientais, favorecendo diagnósticos mais robustos e a proposição de soluções baseadas em evidências.

A integração dos dados foi realizada em ambiente de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), utilizando softwares livres, como o QGIS, que possibilitam o processamento, a análise espacial e a elaboração de mapas temáticos de forma sistemática e replicável.

A adoção de múltiplas fontes de dados também responde à necessidade de superar limitações impostas por cada tecnologia isoladamente. Enquanto as imagens ópticas são altamente dependentes de condições atmosféricas favoráveis, as imagens de radar oferecem independência em relação à iluminação solar e à nebulosidade. Já os dados vetoriais oficiais fornecem o contexto territorial necessário, com delimitações administrativas atualizadas e compatíveis com as diretrizes de gestão urbana da cidade. Assim, a abordagem metodológica adotada neste trabalho demonstra a importância da utilização de um conjunto de dados complementares, reforçando a qualidade das análises espaciais realizadas.

No QGIS, a distância euclidiana é amplamente utilizada para analisar a proximidade entre áreas de favelas (aglomerados subnormais) e outros elementos do território, como equipamentos urbanos, áreas de risco ou infraestrutura de saneamento. A lógica básica consiste em calcular a menor distância em linha reta entre pontos, linhas ou polígonos vetoriais, considerando o sistema de coordenadas planar adotado no projeto.

Para gerar os mapas de distanciamento de favelas e das redes de drenagem, que compõem a BH, utilizando o cálculo da distância euclidiana, normalmente parte-se de uma camada vetorial com a delimitação dos aglomerados subnormais (polígonos) e uma camada de referência. O QGIS utiliza a fórmula da distância euclidiana (Equação 1), que mede o menor caminho entre dois pontos retos sem considerar barreiras físicas ou vias reais de deslocamento.

$$D(x, n) = \sqrt{(x_i - m_i)^2}$$

No *software*, o cálculo é feito por ferramentas como “*Distance Matrix (Matriz de Distância)*” ou “*Proximidade (Distância Euclidiana)*” disponíveis no QGIS. Essas

ferramentas geram uma nova camada *raster* que indica, para cada célula ou elemento vetorial, a distância euclidiana até o objeto mais próximo. Assim, é possível visualizar zonas de influência ou áreas de vulnerabilidade, auxiliando no planejamento urbano e na definição de políticas públicas voltadas para as favelas.

Portanto, o uso da distância euclidiana em mapas de distanciamento de favelas no QGIS é uma abordagem importante para entender relações espaciais diretas, e suas relações com suas áreas de influência da alteração territorial antrópica e feições naturais que constituem e caracterizam a BH.

Dessa forma, a geração dos mapas que compõem os resultados desta pesquisa foi fundamentada em informações de alta qualidade, integrando dados orbitais atualizados, técnicas avançadas de processamento de imagens SAR e dados cadastrais provenientes de fontes públicas oficiais, garantindo confiabilidade e relevância dos produtos cartográficos gerados. Espera-se que essa metodologia possa contribuir não apenas para estudos acadêmicos, mas também para o planejamento e a tomada de decisão por parte de gestores públicos, especialmente em cidades inseridas em contextos socioambientais complexos como Manaus.

Na estimativa de Erosividade anual na região de estudo, exigiu-se a avaliação de uma série histórica sobre a precipitação com boa resolução espacial e temporal. Diante disso, os dados do CHIRPS foram uma alternativa eficaz, sobretudo em uma região onde a rede de postos fixos pluviométricos é escassa.

A elaboração de mapas de erosividade a partir desses dados envolve etapas específicas de processamento. Inicialmente, procede-se ao *download* dos dados de precipitação diária por meio da plataforma *ClimateSERV*, em formato *raster*. Em seguida, os arquivos são tratados em ambiente de geoprocessamento, no *software* QGIS, de modo a extrair séries temporais correspondentes à região da bacia do São Raimundo.

Com base nessas séries, calcula-se o índice de erosividade (R), usualmente a partir da metodologia de Wischmeier & Smith (1978), que considera a energia cinética da chuva e a intensidade máxima em 30 minutos (EI30). Neste caso, foram utilizadas equações empíricas de regressão regionais, que relacionam a precipitação mensal ou anual com valores médios de erosividade.

Após a obtenção dos valores de R, procede-se à interpolação espacial, gerando uma superfície contínua que representa a distribuição espacial da erosividade. O resultado é o mapa de erosividade, expresso em $\text{MJ}\cdot\text{mm}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$, o qual sintetiza a potencialidade erosiva das chuvas sobre determinada região. Esse produto constitui um insumo essencial para análises de vulnerabilidade ambiental, planejamento do uso do solo, avaliação de riscos de degradação e formulação de políticas públicas voltadas à conservação.

Quanto à lógica *Fuzzy* gama aplicada, é gerado a partir dela um mapa temático de risco contínuo, ajustável conforme o valor de γ , que permite obter o controle do equilíbrio entre múltiplos fatores críticos e compensação de fatores.

Quando aplicada, a lógica *Fuzzy* gama, o gera um mapa contínuo (de dados *raster*) de valores de pertinência, variando de **0 a 1**, que representa o grau de suscetibilidade à vulnerabilidade ambiental da área da Bacia Hidrográfica do São Raimundo, sendo os dados próximos a zero, com menor susceptibilidade e os dados próximos a 1, mais susceptíveis.

De início, aplica-se ao *software* as variáveis já transformadas em funções de pertinência *Fuzzy*:

- Declividade → áreas mais inclinadas recebem valores próximos de 1 (maior suscetibilidade).
- Uso do solo → solo exposto ou situados em áreas de favelas.
- Concentração Populacional – Áreas onde há maior número de habitantes agrupados.

Para cada pixel, o algoritmo combina os valores *Fuzzy* de cada camada segundo a equação da lógica, resultando:

- Com **γ baixo (próximo de 0)** → o resultado tende a ser mais restritivo, destacando apenas áreas em que todos os fatores indicam menor suscetibilidade.
- Com **γ alto (próximo de 1)** → há maior compensação entre variáveis, permitindo que um fator muito alto compense outro mais baixo, demonstrando as áreas de maior vulnerabilidade ambiental.

CAPÍTULO 3 – ANÁLISE DE DADOS

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Análise Ambiental

Os dados provenientes das informações divulgadas pelo IBGE, foram integrados aos dados físico-geográficos da Bacia do São Raimundo, em Manaus/AM. Essa análise permite uma compreensão das dinâmicas ambientais e sociais da área, possibilitando a identificação de padrões, impactos e tendências relacionadas ao uso do solo, áreas vulneráveis a deslizamentos de massa e às condições socioeconômicas da população situada na bacia.

O Censo 2010 (IBGE) geralmente publica dados de seus valores coletados em nível de município, setor censitário ou bairro. Para zonas administrativas, o acesso direto é um pouco mais restrito, então é indicado que se faça a média desses valores indicativos, com base em estudos técnicos que analisam esses recortes (por exemplo: Atlas do Saneamento (2011), Atlas do Desenvolvimento Humano (2013) e Perfis Municipais e Regionais).

A descrição dos dados coletados está apresentada na tabela a seguir, que reúne os aspectos analisados com base nas informações dos censos demográficos de 2010 do IBGE, nas zonas leste e norte da cidade, locais onde está a maior porção da Bacia Hidrográfica do São Raimundo, dispostos na Tabela 3:

Tabela 3 Aspectos Analisados do IBGE 2010

Aspecto	Zona Leste	Zona Norte
Renda Domiciliar Per Capita (R\$)	~R\$ 400-500	~R\$ 550-600
Acesso a Esgoto Sanitário (%)	~5%-8%	~10%-15%
Acesso à coleta de lixo (%)	~85%-90%	~90%-95%
Escolaridade (>E.F. Completo)	~45%-50%	~50%-55%
Tipo de Moradia (Casa de Alvenaria)	~75%	~80%

O perfil da população residente na Bacia Hidrográfica do Igarapé do São Raimundo, foi elaborada uma tabela com dados socioambientais obtidos a partir de levantamentos do IBGE, senso 2010. A Tabela 3, reúne informações sobre as condições de moradia, renda, acesso a serviços de infraestrutura básica, nível de escolaridade e características demográficas da população que habita a área de estudo.

Os dados apresentados permitem identificar padrões de vulnerabilidade social que se somam aos fatores físicos da bacia, potencializando os riscos associados a processos naturais, como movimentos de massa e inundações. Além disso, os indicadores evidenciam a desigualdade de acesso a saneamento, a precariedade de algumas construções e a falta de planejamento urbano em áreas de ocupação irregular, elementos que contribuem diretamente para a degradação ambiental e a exposição da comunidade a eventos extremos.

Quanto a correlação desses parâmetros sociais coletados, demonstra que esses fatores evidenciam condições precárias de vida, maior exposição a riscos como doenças e deslizamentos de massa, além de pouca capacidade de adaptação e mudança dessa parcela populacional. Assim, além do risco físico, há fragilidade social e econômica que reforça o ciclo de pobreza e a ocupação de áreas inadequadas, tornando essencial a integração de políticas públicas de saneamento, educação e habitação para reduzir os impactos e aumentar a segurança dessa população.

A junção desses fatores evidencia uma alta vulnerabilidade ambiental, na medida em que condições socioeconômicas frágeis se somam a carências estruturais, expondo a população a múltiplos riscos. Essa vulnerabilidade não é apenas física (relacionada ao risco de desastres naturais), mas também social (insegurança habitacional, falta de acesso a serviços essenciais) e econômica (baixa capacidade de adaptação ou mudança de local).

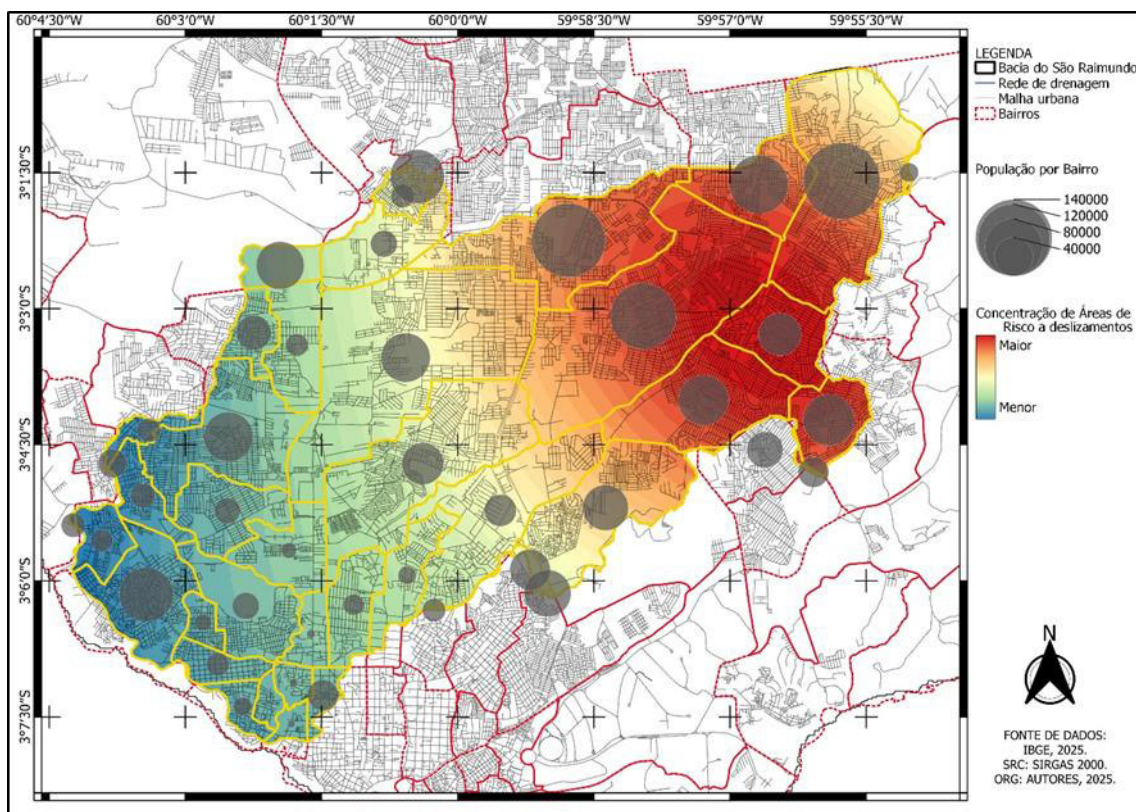
De acordo com a Figura 7, que demonstra o Mapa de Concentração Populacional por Bairros na Bacia Hidrográfica, elaborado com o objetivo de representar de forma espacial a distribuição da população residente nos diferentes bairros que compõem a área de estudo, evidenciando as zonas de maior densidade

demográfica, permitindo relacionar o padrão de ocupação urbana com as características físico-ambientais da bacia.

Conforme a análise do mapa, a zona leste da bacia concentra grande parte da população, abrangendo bairros densamente povoados, muitas vezes marcados por processos de urbanização acelerada e de forma irregular. Esse padrão de ocupação expõe diretamente os residentes das áreas mais sensíveis ao risco geológico, uma vez que essa mesma porção leste também reúne as maiores áreas classificadas como de risco alto a muito alto para deslizamentos, conforme identificado em mapas específicos de vulnerabilidade (Figuras 7 e 8).

Essa sobreposição entre alta concentração populacional e maior suscetibilidade a movimentos de massa reforça a necessidade de intervenções integradas de planejamento urbano, regularização fundiária e medidas de contenção e drenagem adequadas.

Figura 7 População por Bairro e Concentração de Áreas a deslizamentos na Bacia Hidrográfica do São Raimundo.
Fonte: IBGE, 2024; Defesa Civil, 2025.

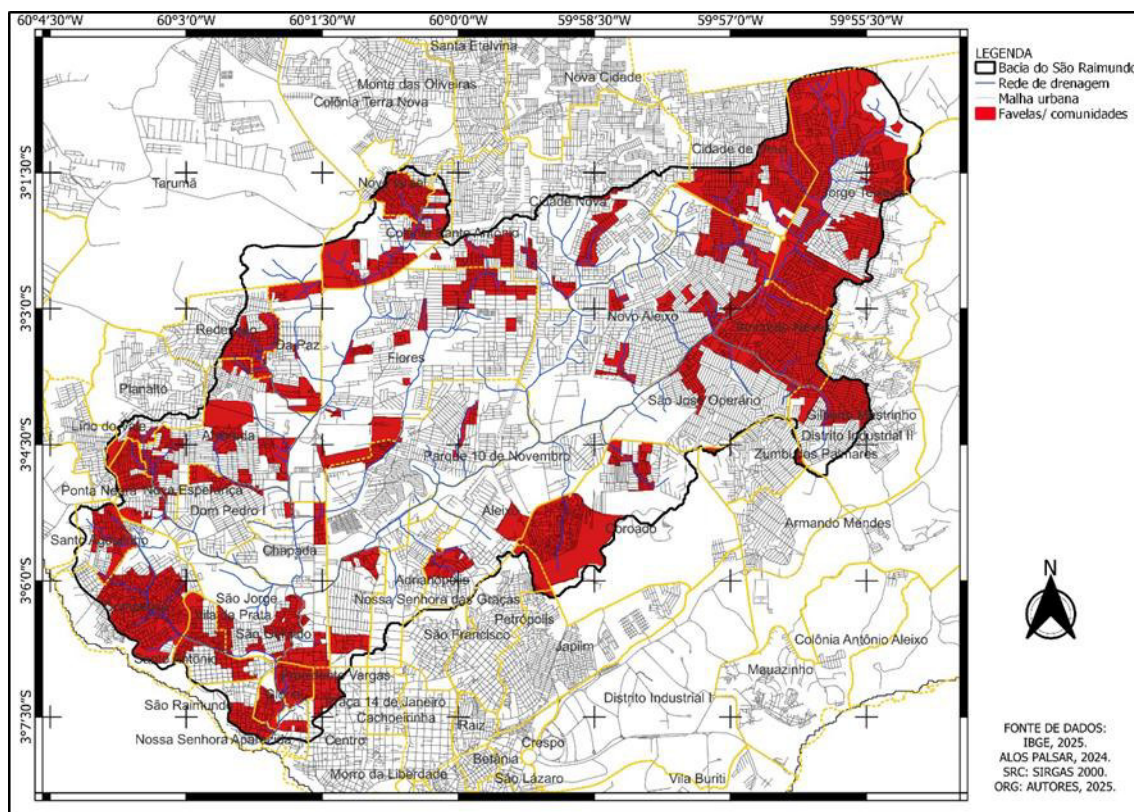


Segundo dados do IBGE, por meio do Censo Demográfico de 2022, foram identificadas em Manaus, cerca de 236 áreas de favelas, equivalente a 55,8% municipal está habitando essas regiões.

O IBGE classifica essas áreas como localidades com unidades habitacionais, que apresentem ocupação irregular e ausência ou precariedade de serviços públicos essenciais, como saneamento básico, coleta regular de lixo doméstico, fornecimento de energia elétrica e água potável.

Conforme demonstra a figura 8, a área urbana de Manaus, as favelas estão predominantemente localizadas nas zonas Norte e Leste da cidade, abrangendo setores significativos da Bacia Hidrográfica em análise. Os bairros mais populosos são justamente aqueles com maior concentração de moradores em aglomerados subnormais, como Cidade de Deus/Alfredo Nascimento (55.821 habitantes), São Lucas (53.674), Zumbi dos Palmares/Nova Luz (34.706), Santa Etelvina (33.031), Colônia Terra Nova (30.142) e Grande Vitória (26.733).

Figura 8 Áreas de Favelas e Comunidades urbanas na Bacia Hidrográfica do São Raimundo. Fonte: IBGE, 2025

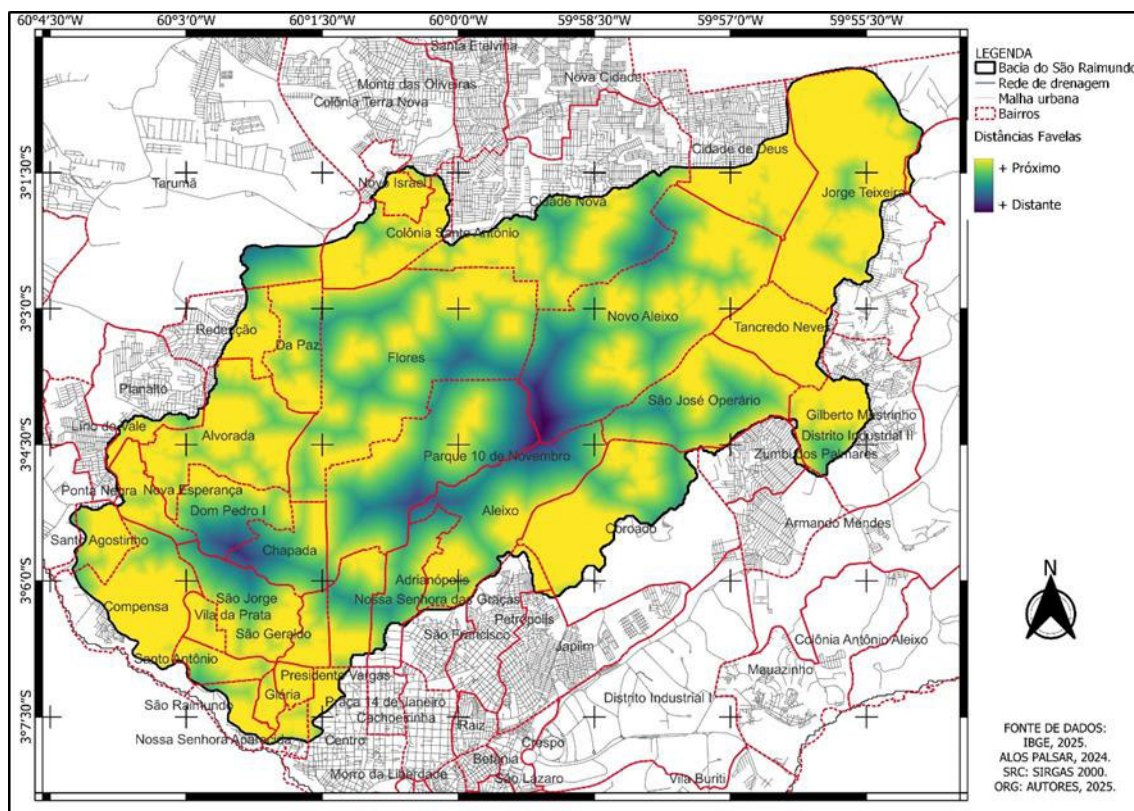


Para a elaboração do mapa de distância euclidiana, figura 8, das favelas no QGIS, foi utilizada uma camada vetorial contendo a delimitação dos aglomerados subnormais identificadas pelo IBGE na área da BH do São Raimundo. Inicialmente, os polígonos das favelas foram revisados e ajustados para garantir precisão geográfica, considerando a base cartográfica e o sistema de projeção utilizados na confecção do mapa.

Em seguida, com o apoio da ferramenta “Proximidade (Distância Euclidiana)”, foi gerado um *raster* de distância, conforme figura 9, uma área de confluência, que calcula, para cada polígono de favela, a menor distância em linha reta até o limite mais próximo entre eles. Esse processo resulta em um gradiente contínuo de distâncias, permitindo visualizar as áreas que estão mais próximas ou mais afastadas das favelas, independentemente de barreiras físicas contidas na região.

Posteriormente, as informações contidas no mapa de distância foram analisadas em conjunto com outras camadas temáticas, como rede de drenagem e áreas de risco à deslizamento de massa. Essa análise integrada possibilita identificar, por exemplo, se as favelas estão concentradas em zonas mais vulneráveis a enchentes ou se existe correlação com áreas de expansão urbana não planejada.

Figura 9 Distância Euclidiana das Favelas e Comunidades Urbanas na BH do São Raimundo. Fonte: IBGE, 2024



Em termos de gestão de riscos, isso demonstra que intervenções técnicas isoladas, como obras de contenção de encostas, não são suficientes: é necessário integrar políticas públicas de saneamento, educação, habitação e inclusão social para reduzir a exposição e aumentar a resiliência dessa população. Nesse contexto, o conhecimento da comunidade sobre a resposta do solo ao descarte irregular de esgoto sanitário, os períodos de chuvas intensas e o reconhecimento de encostas de risco torna-se essencial para orientar práticas preventivas. O fortalecimento da percepção de risco contribui para o engajamento da população em medidas de autoproteção, além de subsidiar intervenções adequadas que minimizem a ocorrência de novos desastres.

Declividade da Bacia Hidrográfica

A pesquisa buscou mapear e identificar as áreas mais vulneráveis a deslizamentos de massa nas zonas Norte e Leste de Manaus, com ênfase na delimitação da Bacia do São Raimundo. Para isso, foi elaborado um Mapa de Declividade (Figura 10) da respectiva bacia, permitindo uma análise detalhada da

variação do relevo na região. Com base nessas informações, é possível identificar áreas de maior inclinação, portanto, áreas mais suscetíveis a processos erosivos e deslizamentos de massa.

Conforme resolução utilizada pela Embrapa, o cálculo da porcentagem de declividade de uma área é definido através da diferença de altitude entre dois pontos do terreno pela distância horizontal entre eles ou equivale a uma diferença de nível par 100m da distância horizontal. O resultado dessa divisão é então multiplicado por 100 para expressar o valor em porcentagem.

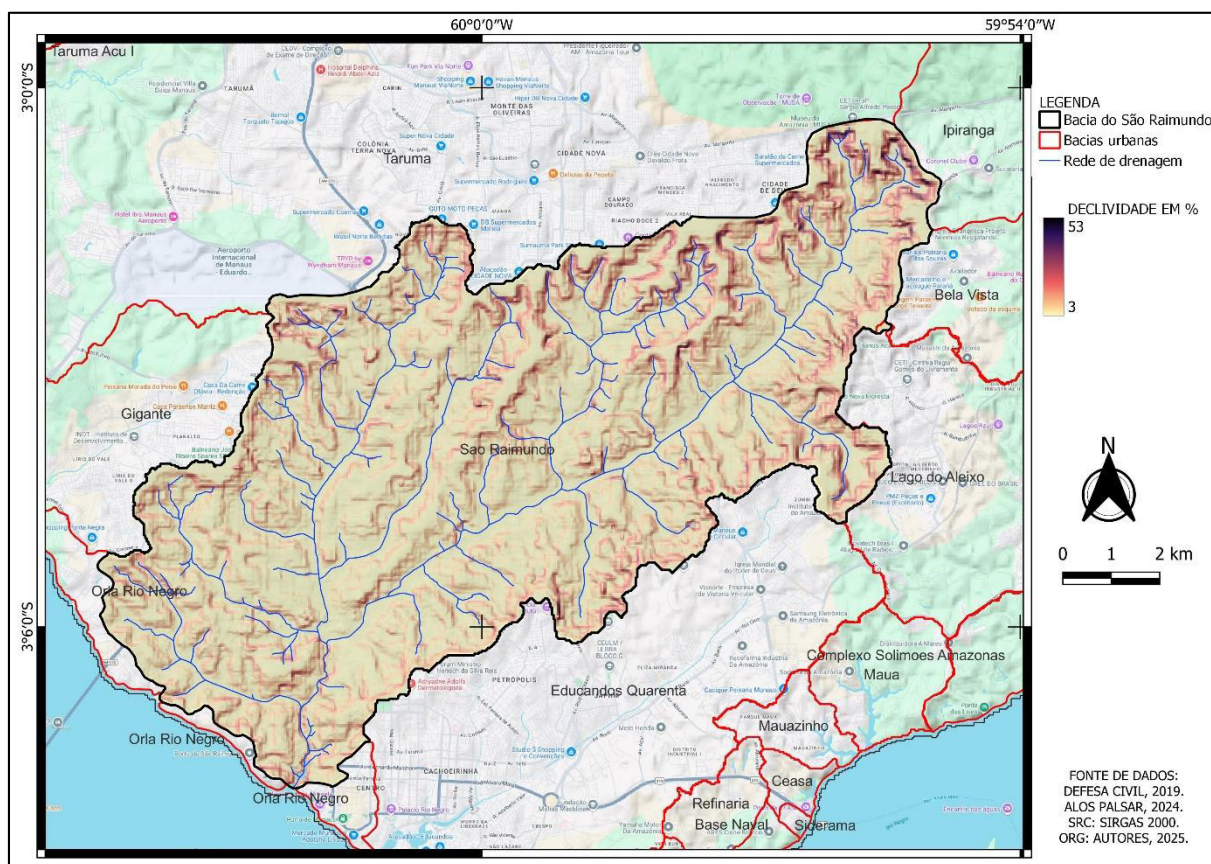
De acordo com Ross (1992), a classificação de declividade é categorizada conforme a Tabela 4:

Tabela 4 Classificação de Declividade de Ross (1992)

Declividade (%)	Classe/Terminologia
0-3%	Plano ou muito suave ondulado
3-8%	Suave ondulado
8-20%	Ondulado
20-45%	Forte Ondulado
Acima de 45%	Montanhoso, escarpado ou muito íngreme

A análise do mapa de declividade da Bacia do São Raimundo, figura 10, indica declividades predominantes entre 0-3 e 3-8%, definidas como Plano A Suave Ondulado, observando-se ainda porções superiores a 45%, denominadas áreas de alta declividade ou encostas escarpadas.

Figura 10 Mapa de Declividade da Bacia do São Raimundo, Elaborado por: Alves, M. N. 2025



Considerando a dinâmica hidrológica da BH em questão, declividades acentuadas favorecem o escoamento superficial pluviométrico, reduzindo a infiltração do solo e aumentando o risco de erosão e assoreamento dos cursos d'água. Esse fator pode comprometer a qualidade da água e a capacidade de drenagem da bacia. Para uma análise mais completa desses fatores da bacia, deve-se considerar os dados socioambientais da localidade, dentre eles está o uso e ocupação desse espaço, presença de habitações regulares ou consideradas subnormais, tipo de saneamento básico utilizado pela população.

Conforme resolução utilizada pela Embrapa, o cálculo da porcentagem de declividade de uma área é definido através da diferença de altitude entre dois pontos do terreno pela distância horizontal entre eles ou equivale a uma diferença de nível par 100m da distância horizontal. O resultado dessa divisão é então multiplicado por 100 para expressar o valor em porcentagem.

Mapa de declividade revela que as bordas da bacia apresentam inclinações significativas, variando entre 20% e 53%, essa característica indica a presença de terrenos íngremes, o que pode gerar impactos ambientais, urbanísticos e geológicos relevantes, no contexto das áreas de risco.

Áreas com declividade acima de 25% (cerca de 14 graus) já apresentam um risco significativo de deslizamentos, entretanto, mesmo áreas com declives menores podem ser vulneráveis se outros fatores de risco estiverem presentes, especialmente quando associados à remoção da vegetação nativa e à ocupação desordenada. A estabilidade do solo pode ser comprometida em decorrência de má gestão de ocupação na área e estratégias inadequadas de drenagem e saneamento básico.

Conforme mapeamento da Figura 10, observa-se que as áreas de maior declividade se concentram, principalmente, nas zonas leste e norte da capital. Essas regiões apresentam relevo mais acidentado, com encostas íngremes e cotas altimétricas mais elevadas em comparação a outras partes do município. Essa característica geomorfológica contribui para a ocorrência de processos erosivos e movimentos de massa, especialmente em locais ocupados e utilizados de forma irregular e sem a infraestrutura adequada da rede de drenagem.

Hipsometria da Bacia do São Raimundo

O mapa hipsométrico da BH do São Raimundo (Figura 11), ilustra a variação altimétrica da área de estudo, permitindo visualizar as diferenças de elevação do terreno em suas diversas porções. Essa representação é essencial para entender a distribuição do relevo e assim, identificar as zonas de maior ou menor potencial de risco geológico.

Conforme escala regional e do tipo de relevo, a amplitude altimétrica, calculada pela diferença entre a cota mais alta e a mais baixa da bacia, se dá de acordo com a Tabela 5:

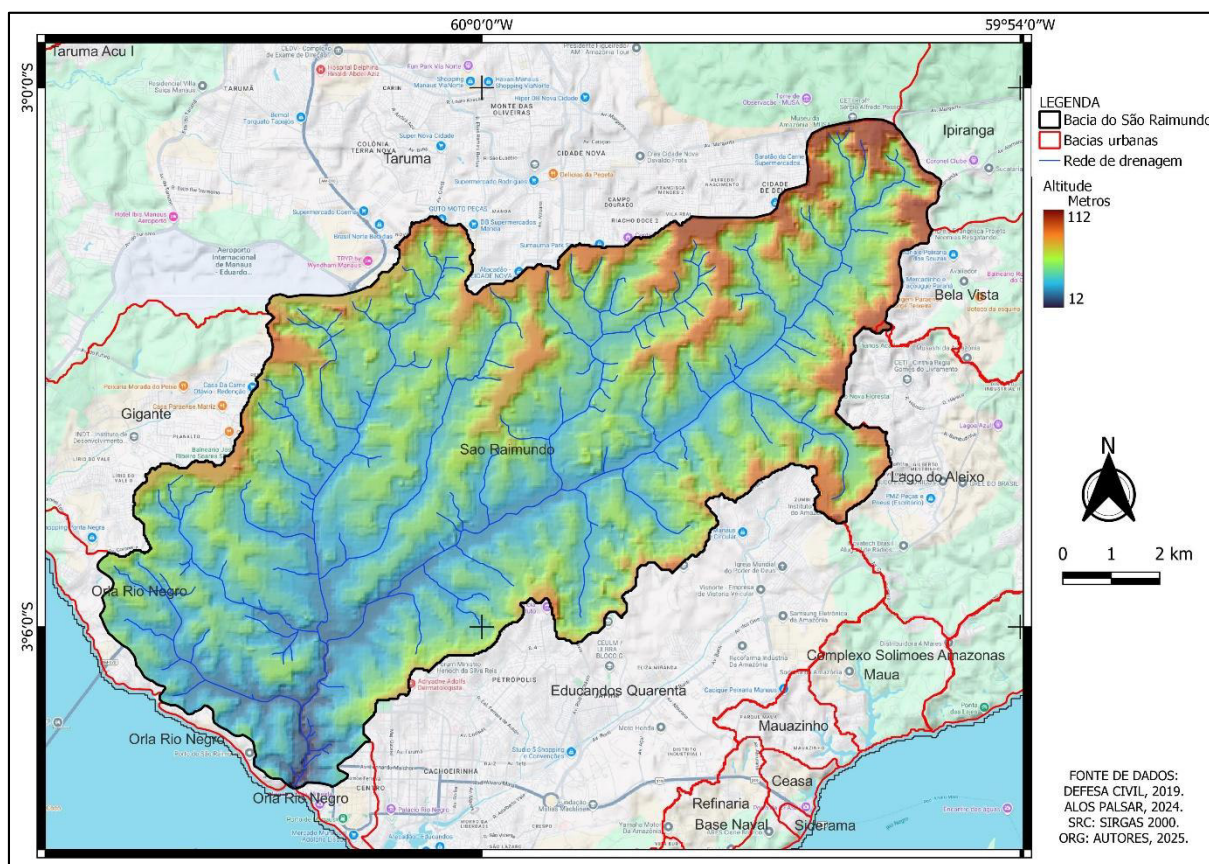
Tabela 5 Classificação de Amplitude Altimétrica. Fonte: Adaptado de ROSS, J.L.S. (1992)

Amplitude Altimétrica	Interpretação Geral
0-50m	Baixa (plano a suavemente ondulado)
50-200m	Média (ondulado a forte ondulado)
Acima de 200m	Alta (terreno montanhoso, escarpado e serrano)

A bacia do São Raimundo, por sua vez, apresenta altitudes que variam de 12 a 112 metros, caracterizando uma média amplitude altimétrica. No entanto, as áreas de maior altitude, associadas a declividades mais acentuadas, podem apresentar um maior grau de vulnerabilidade ambiental para deslizamentos (figura 11).

Considerando a média amplitude altimétrica da bacia, sabe-se que a mesma apresenta principalmente terrenos planos ou suavemente ondulados, com encostas menos íngremes, tendo a velocidade de escoamento influenciada pela declividade geral do terreno, fazendo com que o escoamento superficial ocorra de maneira mais lenta, aumentando o tempo de concentração das águas pluviais no solo.

Figura 11 Mapa de Hipsometria da Bacia do São Raimundo. Alves, M.N. (2025)

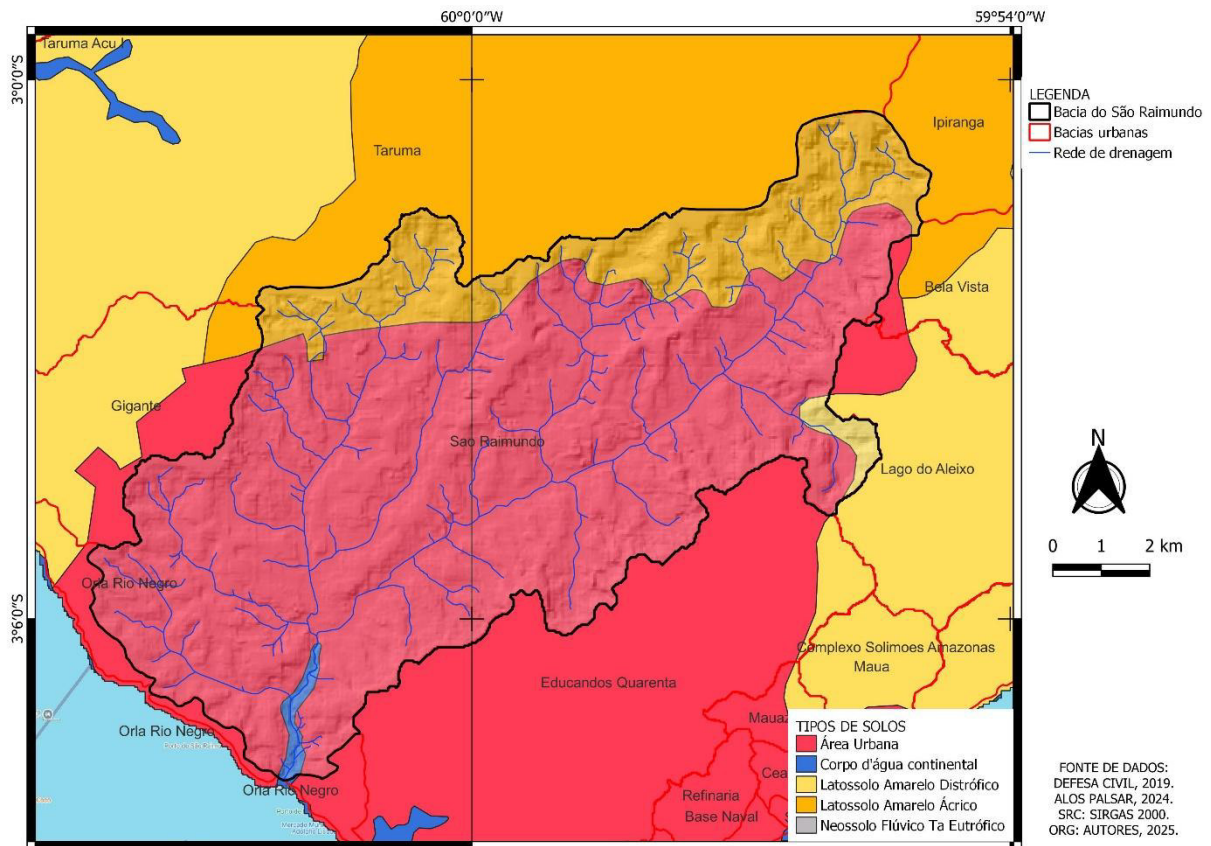


Considera-se que as áreas com declividades (figura 10) maiores apresentam mais susceptibilidade a deslizamentos de massa, principalmente quando associadas a solos arenosos e siltsos ou a remoção da vegetação natural e exposição do solo, fazendo com que este solo desestabilize e por consequência intensifique os processos erosivos, comprometendo a estabilidade dos terrenos e colocando em risco estruturas e populações localizadas nas encostas das elevações.

Pedologia da Bacia do São Raimundo

Em contribuição ao estudo, foi elaborado Mapa de Pedologia da Bacia do São Raimundo (figura 12), o qual apresenta a distribuição e as características dos solos na região, fornecendo informações essenciais para a análise de sua composição, permeabilidade, resistência e suscetibilidade a processos erosivos. Esse mapa auxilia na identificação de áreas mais vulneráveis a deslizamentos de massa, no manejo adequado do solo e no desenvolvimento de estratégias para a ocupação sustentável da bacia.

Figura 12 Mapa das Classes de Solo da Bacia do São Raimundo. Alves, M.N. (2025)



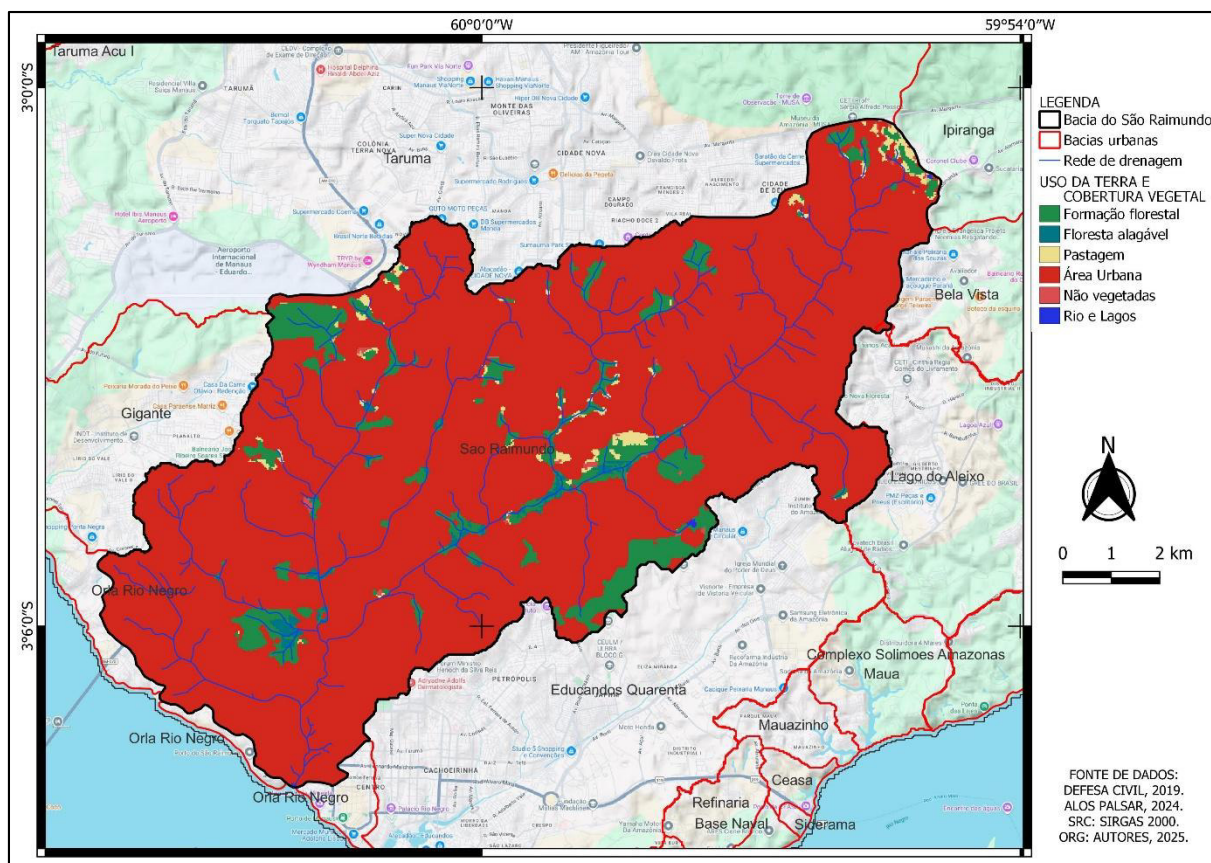
A região que compõe a Bacia São Raimundo, é em sua maior parte da área composta por uma paisagem urbana antropizada, resultado da ocupação e modificação do solo pelo desenvolvimento urbano ao longo das últimas décadas. No entanto, ainda são encontradas feições de Latossolo Amarelo Ácrico e Distrófico preservadas, solos característicos da região amazônica.

Os Latossolos Amarelos da Bacia do São Raimundo possuem uma mineralogia predominantemente composta por caulinita, óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio com elevado grau de intemperismo. Esses minerais conferem aos solos baixa reserva de nutrientes, o que limita sua fertilidade natural. Além disso, a predominância de óxidos de ferro e alumínio influencia a estabilidade estrutural do solo, tornando-o mais resistente à erosão, mas também contribuindo para sua acidez elevada. Essas características influenciam a estabilidade do solo e sua vulnerabilidade a processos erosivos e deslizamentos de massa, especialmente em áreas de alta declividade e ocupação irregular (EIA – Ponte do Rio Negro, 2023).

Uso e Ocupação do Solo na Bacia do São Raimundo

Conforme Mapa de uso e ocupação do solo, figura 13, a área da Bacia do São Raimundo é predominantemente urbana, refletindo a intensa modificação da paisagem pela expansão da cidade de Manaus. No entanto, ainda existem algumas áreas de preservação florestal, que desempenham um papel essencial na manutenção da biodiversidade, na proteção dos recursos hídricos e manutenção das áreas de encostas. Além disso, há pequenas concentrações de áreas de pastagem, geralmente associadas a usos rurais e periurbanos, que podem influenciar a dinâmica do solo e dos recursos naturais da região.

Figura 13 Mapa de Uso da terra e cobertura vegetal na Bacia do São Raimundo em 2023. Alves, M.N. (2025)



As feições observadas no mapa de ocupação do solo apresentado, mostra que essa configuração é típica de bacias hidrográficas situadas em áreas metropolitanas, onde sofreram influência direta do crescimento populacional e da expansão urbana, muitas vezes, de forma desordenada, com ocupação das encostas, margens das redes de drenagem e outras áreas consideradas ambientalmente frágeis.

Os fragmentos florestais preservados no território urbano, desempenham papel fundamental na manutenção dos ecossistemas locais, como por exemplo, a preservação e proteção de nascentes hídricas, o controle da erosão nas áreas de encostas, incluindo a diminuição da formação de voçorocas, a recarga adequada de aquíferos e a mitigação do escoamento superficial. Além disso, os fragmentos florestais contribuem para a biodiversidade local e atuam como zonas de amortecimento em áreas de risco, atenuando processos de assoreamento e deslizamentos de encostas.

Rede de Drenagem na Bacia Hidrográfica

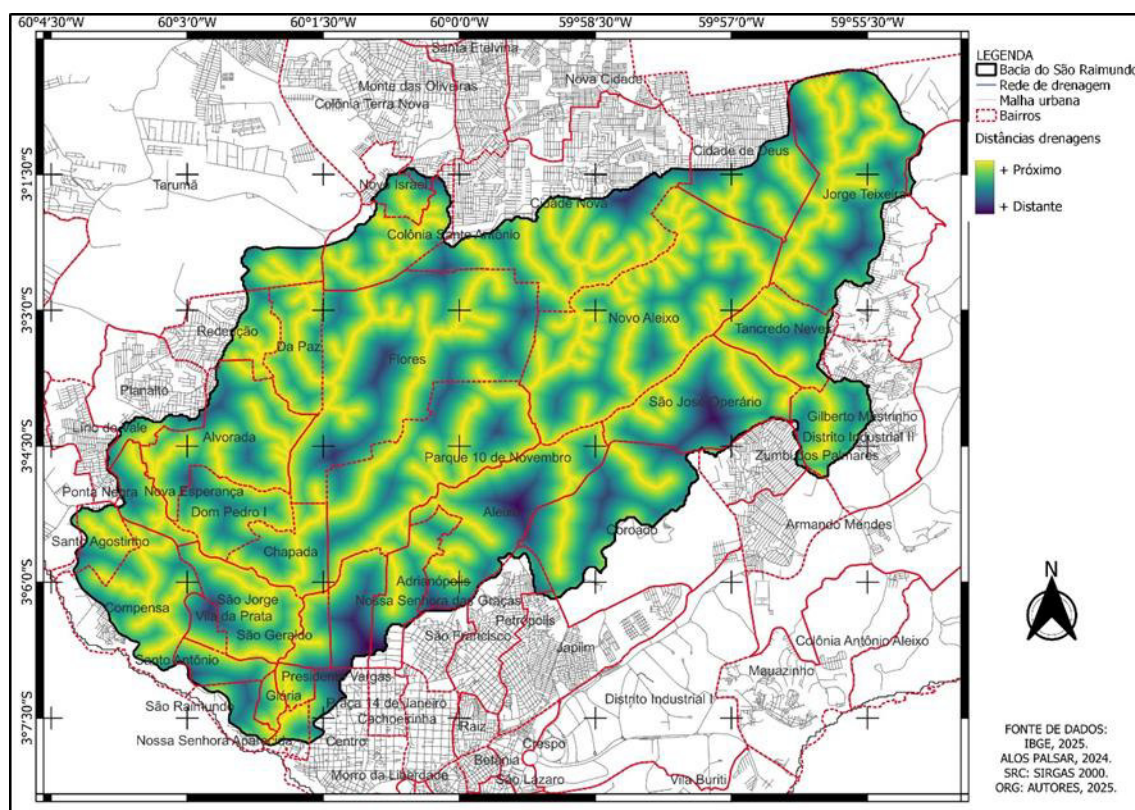
A rede de drenagem da Bacia Hidrográfica do Igarapé do São Raimundo, objeto de estudo da pesquisa, é composta por um sistema hidrográfico denso, formado por pequenos cursos d'água que deságuam no principal igarapé, o São Raimundo, afluente direto do rio Negro. Essa rede possui um padrão de drenagem predominantemente ramificado e dendrítico, típico de áreas de relevo suave a ondulado e solos sujeitos à intensa ocupação urbana (Souza e Costa, 2004).

Ao longo das últimas décadas, o processo acelerado de urbanização na bacia, marcado por ocupações irregulares e precariedade de infraestrutura adequada, contribuiu para a modificação das redes de drenagem de menor porte da BH, resultando em assoreamento, canalizações improvisadas e obstruções. Esses fatores impactam negativamente a vazão natural, aumentam o risco de alagamentos e intensificam problemas socioambientais, como a contaminação das águas e a ocorrência de processos erosivos nas margens.

A distância euclidiana é uma ferramenta útil para analisar a proximidade entre elementos da rede de drenagem e outras feições dentro de uma bacia hidrográfica. Por meio dela, é possível calcular a menor distância em linha reta entre qualquer ponto da bacia e o curso d'água mais próximo, permitindo gerar mapas que indicam zonas de maior ou menor influência hídrica.

Na BH do São Raimundo, a distância euclidiana da rede de drenagem, figura 14, demonstra a proximidade entre os rios e igarapés da cidade, com as áreas urbanizadas, ressaltando a influência direta no processo de expansão da cidade e na dinâmica de uso e ocupação do solo na região.

Figura 14 Distância Euclidiana da Rede de Drenagem na Bacia Hidrográfica do São Raimundo.



A aplicação desse método é particularmente importante para identificar áreas suscetíveis a processos erosivos, alagamentos ou assoreamento, pois a distância até os cursos d'água influencia diretamente a dinâmica de escoamento superficial. Além disso, os mapas de distância euclidiana em relação à rede de drenagem podem ser integrados a dados de uso do solo, declividade e tipo de solo, apoiando o planejamento ambiental, o manejo conservacionista e a definição de áreas prioritárias para preservação ou recuperação.

Concentração das Áreas de Risco na Bacia Hidrográfica

No desenvolvimento deste estudo, tornou-se essencial a criação de indicadores e índices de vulnerabilidade que representem tanto a exposição física quanto a suscetibilidade social. Esses índices serão elaborados a partir de dados do Censo do IBGE e outras fontes públicas, os quais serão processados e integrados para estabelecer a relação ambiental da pesquisa.

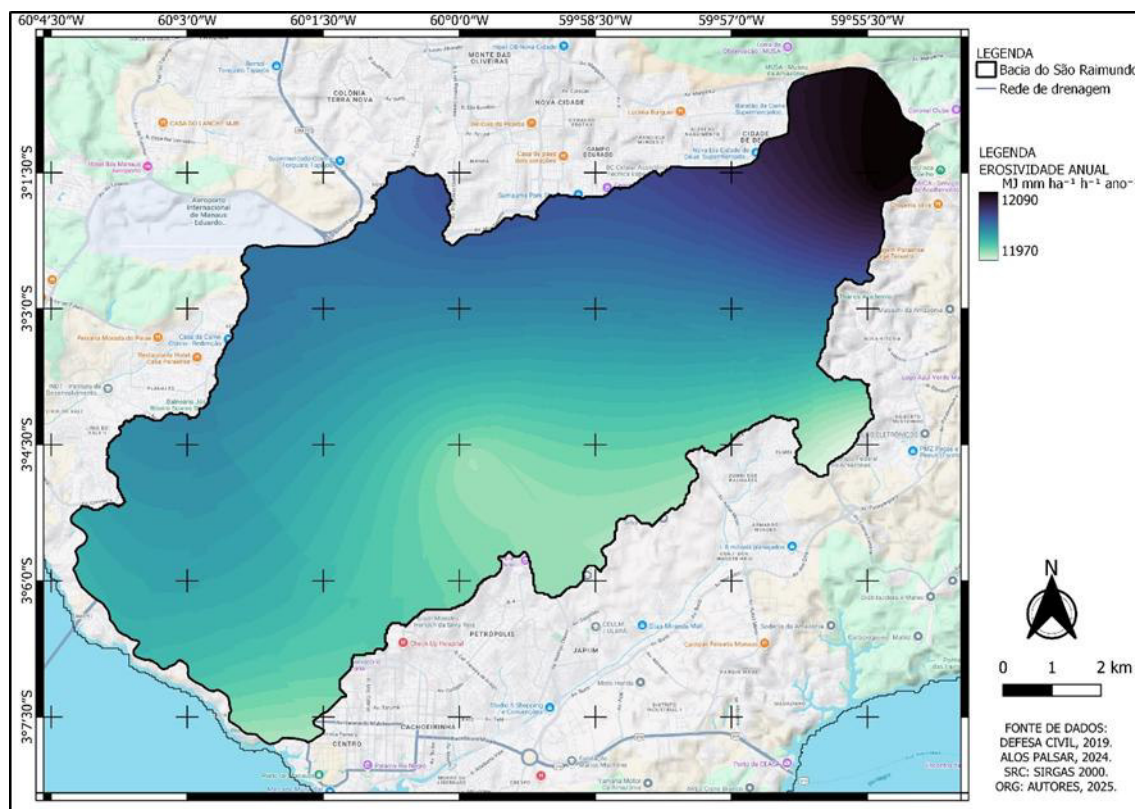
Os dados de erosividade anual são indicadores fundamentais para avaliar o potencial das chuvas em provocar processos erosivos em uma bacia hidrográfica. Ela

representa a capacidade de desagregação física e transporte de sedimentos de solo causada pelo impacto das gotas de chuva, levando em consideração influências de sua intensidade e frequência.

Na Bacia Hidrográfica em estudo, o cálculo da erosividade anual permite identificar áreas mais vulneráveis à erosão hídrica, uma vez que chuvas mais intensas e frequentes aumentam o risco de remoção de sedimentos superficiais do solo. Essa informação é ainda mais relevante quando associada a outros fatores físicos da bacia, como declividade, tipo de solo, cobertura vegetal e uso do solo, pois essas variáveis interferem diretamente na suscetibilidade à erosão.

A análise do Mapa de Erosividade Anual (figura 15) da bacia hidrográfica evidencia que as áreas com maior susceptibilidade de ocorrência de processos erosivos estão concentradas principalmente na porção leste da bacia. Essa região se destaca por apresentar os índices mais elevados de erosividade, resultado da combinação de chuvas intensas e características físicas do relevo, que favorecem o escoamento superficial e a desagregação do solo.

Figura 15 Erosividade Anual das Chuvas na Bacia Hidrográfica do São Raimundo. Fonte: CHIRPS, 2024.

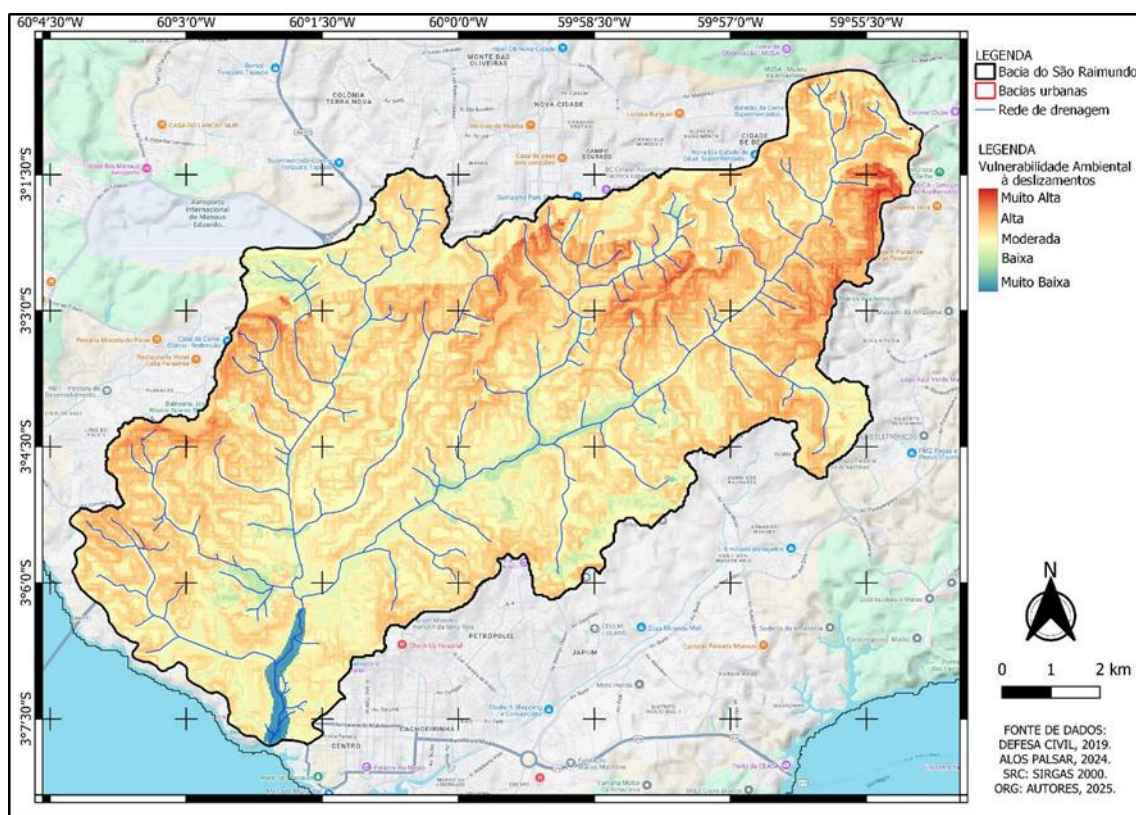


A análise da erosividade anual é essencial para embasar modelagens de perda de solo, incluindo o mapeamento de áreas crítica. No contexto urbano, como é o caso da Bacia do São Raimundo, essa informação também subsidia o planejamento de obras de drenagem para manejo e conservação adequados das áreas de preservação permanente (APPs).

Destaca-se que, além dos fatores naturais, observa-se que essa mesma área corresponde também à zona de maior concentração populacional, onde se localizam diversos bairros com ocupação urbana densa, ditas irregulares, que são submetidas à ausência de infraestrutura adequada.

A coleta e sistematização desses dados possibilitará a hierarquização das áreas vulneráveis, classificando-as em diferentes níveis de risco (muito baixo, baixo, médio, alto e muito alto). Essa categorização auxiliará na definição de prioridades para ações de mitigação e gestão de riscos nas regiões mais críticas, conforme figura 16.

Figura 16 Vulnerabilidade Ambiental a Deslizamentos na Bacia Hidrográfica do São Raimundo. Fonte: Autores, 2025.



A análise integrada da vulnerabilidade combinará fatores físicos, como geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e clima, com aspectos sociais, como escolaridade, tipo de moradia e renda. Essa abordagem abrangente permitirá uma compreensão detalhada das interações entre os elementos naturais e sociais que influenciam a vulnerabilidade da região.

A tabela 6, apresenta a porcentagem de áreas de acordo com a classificação de risco fornece uma visão quantitativa essencial para compreender a distribuição espacial das zonas mais suscetíveis a processos de instabilidade na bacia hidrográfica. Essa tabela demonstra como o território se reparte entre áreas de risco muito alto, alto, médio e baixo, permitindo identificar as porções da bacia que demandam maior atenção do poder público e das comunidades locais.

Tabela 6 Vulnerabilidade Ambiental a Deslizamentos por Bairros na Bacia Hidrográfica do São Raimundo

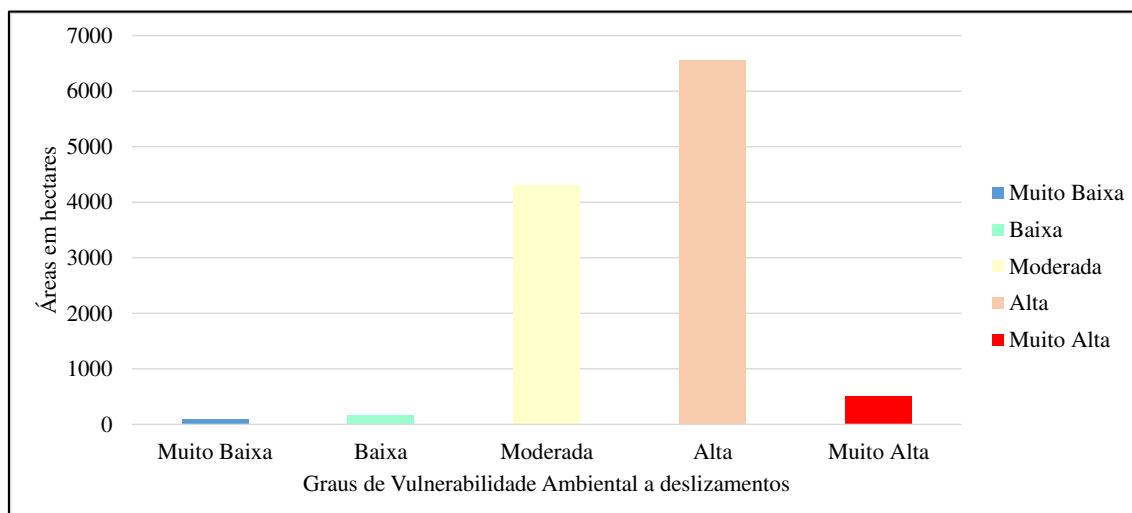
Vulnerabilidade ambiental	Área em hectares	Área em %
Muito Baixa	85,59	0,74
Baixa	161,46	1,39
Moderada	4299,66	37,02
Alta	6554,7	56,44
Muito Alta	512,46	4,41

Quando esses dados são analisados em conjunto com o Mapa de Vulnerabilidade a Deslizamentos (Figura 16), é possível visualizar com maior clareza a localização geográfica dessas áreas de risco.

A integração entre a tabela de porcentagem e o mapa de vulnerabilidade é fundamental para validar os resultados obtidos na análise espacial, além de subsidiar estratégias de prevenção, mitigação de riscos geotécnicos e planejamento urbano. Essas informações orientam a definição de áreas prioritárias para ações de monitoramento, implementação de obras de contenção, realocação de famílias em áreas de risco iminente e elaboração de políticas públicas mais eficazes para redução de desastres.

O gráfico 1, visa proporcionar uma visualização mais clara e objetiva dos dados. A representação gráfica facilita o entendimento da distribuição das classes de risco nos bairros que compõem a bacia, permitindo identificar de forma rápida quais categorias predominam e quais bairros exigem maior atenção.

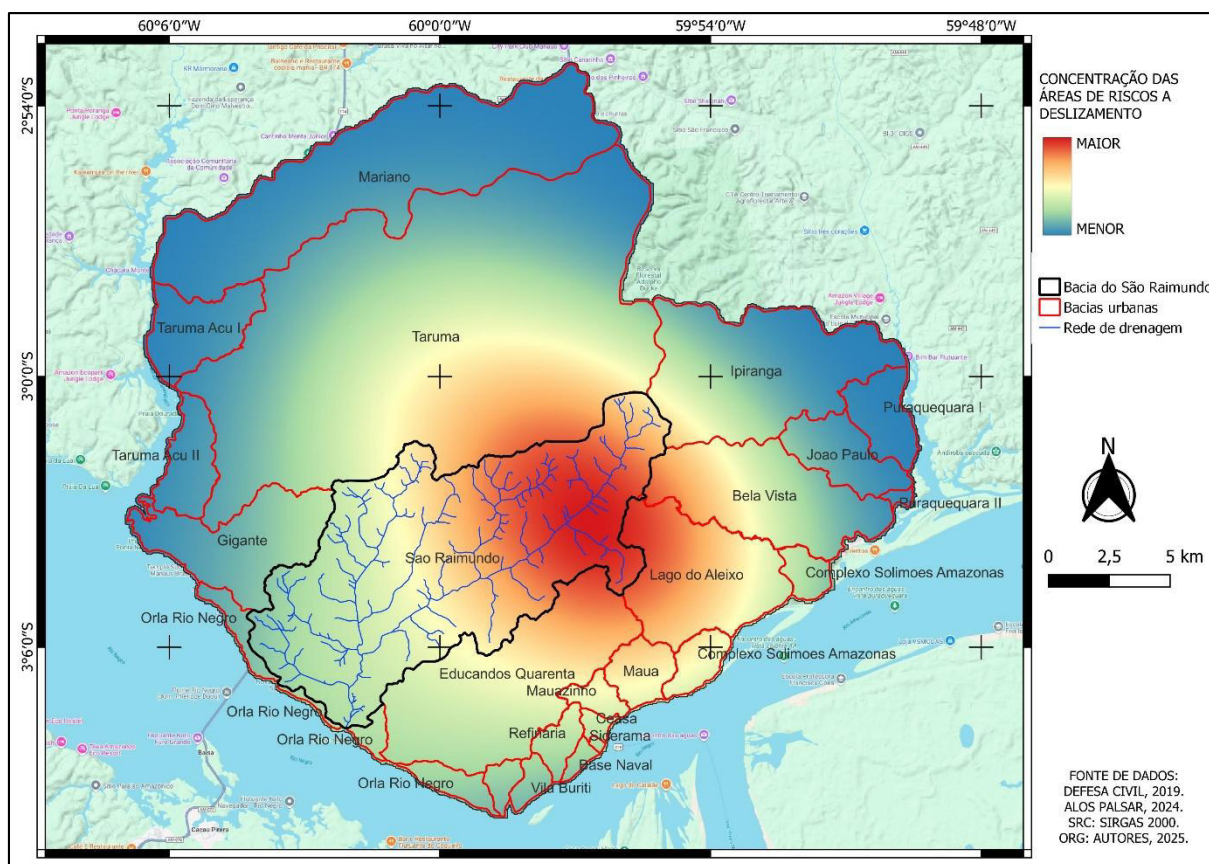
Gráfico 1 Gráfico de Vulnerabilidade Ambiental a Deslizamentos por bairros na Bacia Hidrográfica do São Raimundo



De acordo com dados coletados pela Defesa Civil do Estado, as áreas com maior incidência de deslizamentos de massa no território da Bacia do São Raimundo estão concentradas, principalmente na porção leste da bacia, em regiões de maior declividade, localizadas nas bordas da bacia. Essas porções apresentam características topográficas que favorecem processos erosivos e instabilidades geológicas, especialmente em locais onde há ocupação irregular e supressão de vegetação.

Conforme demonstra o Mapa de densidade Kernel, figura 17, possibilita a identificação espacial das áreas de risco na Bacia Hidrográfica do São Raimundo, destacando padrões de concentração relevantes. Observa-se que a porção leste da bacia apresenta a maior concentração de setores classificados como de risco elevado a movimentos de massa. Essa área corresponde também à região de maior densidade populacional, o que amplia significativamente o grau de vulnerabilidade socioambiental. A sobreposição entre alta concentração populacional e maior incidência de áreas de risco evidencia a pressão exercida pelo crescimento urbano desordenado, refletindo diretamente na intensificação da exposição da população aos deslizamentos de terra.

Figura 17 Mapa de Kernel das áreas de Risco do Deslizamento em Manaus, AM. Org.Autores (2025)



Com base na classificação de risco a deslizamentos de massa adotada pela SGB, foi elaborado um mapa temático (figura 15) que delimita as áreas vulneráveis no território analisado. Esse mapa segue os critérios estabelecidos pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) e pelo Ministério das Cidades (IPT, 2004), classificando as áreas de risco nos níveis **R2** (médio), **R3** (alto) e **R4** (muito alto).

A análise das áreas de risco identificadas pela Defesa Civil do estado revela uma distribuição dos níveis de risco à deslizamento dentro da bacia hidrográfica, especialmente nas bordas da delimitação geomorfológica da bacia hidrográfica. Nessas regiões, predominam classificações de risco muito alto (R4), resultado de uma combinação de fatores naturais e antrópicos que aumentam significativamente a vulnerabilidade do território.

Um dos principais elementos que contribuem para essa situação é a maior declividade do terreno nas extremidades da bacia. O relevo acidentado favorece processos erosivos e deslizamentos de massa, tornando essas áreas naturalmente mais susceptíveis a desastres ambientais. Além disso, o tipo de solo predominante, o

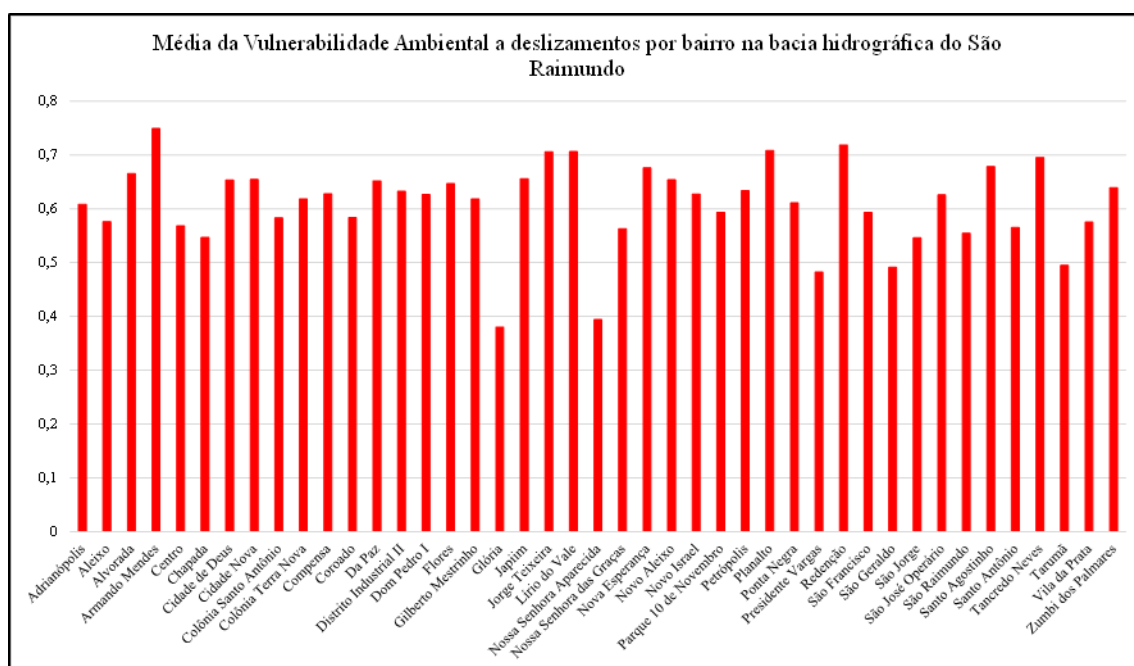
latossolo amarelo apresenta composição argilosa, onde o solo possui baixa permeabilidade, o que dificulta a infiltração da água e pode favorecer processos de encharcamento e instabilidade do terreno.

Outro fator determinante é a baixa preservação de vegetação nativa e áreas naturais nessas regiões. A cobertura vegetal exerce um papel fundamental na proteção do solo, reduzindo a erosão e contribuindo para a estabilidade geotécnica do terreno. A ausência dessa cobertura, seja por desmatamento ou ocupação subnormal, potencializa os riscos de deslizamento e outros processos geodinâmicos.

A situação se agrava com a presença de ocupações residenciais irregulares, comuns em áreas de risco elevado. Essas ocupações, muitas vezes construídas sem planejamento adequado, comprometem ainda mais a estabilidade da região, pois podem sobrecarregar o solo, alterar o escoamento superficial das águas pluviais e aumentar a vulnerabilidade da população residente. Além disso, a falta de infraestrutura adequada, como sistemas de drenagem eficientes, contribui para a intensificação dos processos erosivos e da instabilidade do terreno.

O gráfico 2, mostra a média da vulnerabilidade ambiental calculada para os bairros que compõem a bacia hidrográfica, permitindo uma análise comparativa entre as diferentes regiões de vulnerabilidade inseridas na região de estudo. Essa representação sintetiza os níveis de risco, destacando quais bairros concentram maiores fragilidades socioambientais, seja em função de fatores físicos da BH ou de aspectos relacionados à ocupação urbana e infraestrutura.

Gráfico 2 Média da Vulnerabilidade Ambiental a Deslizamentos por Bairros na Bacia Hidrográfica do São Raimundo

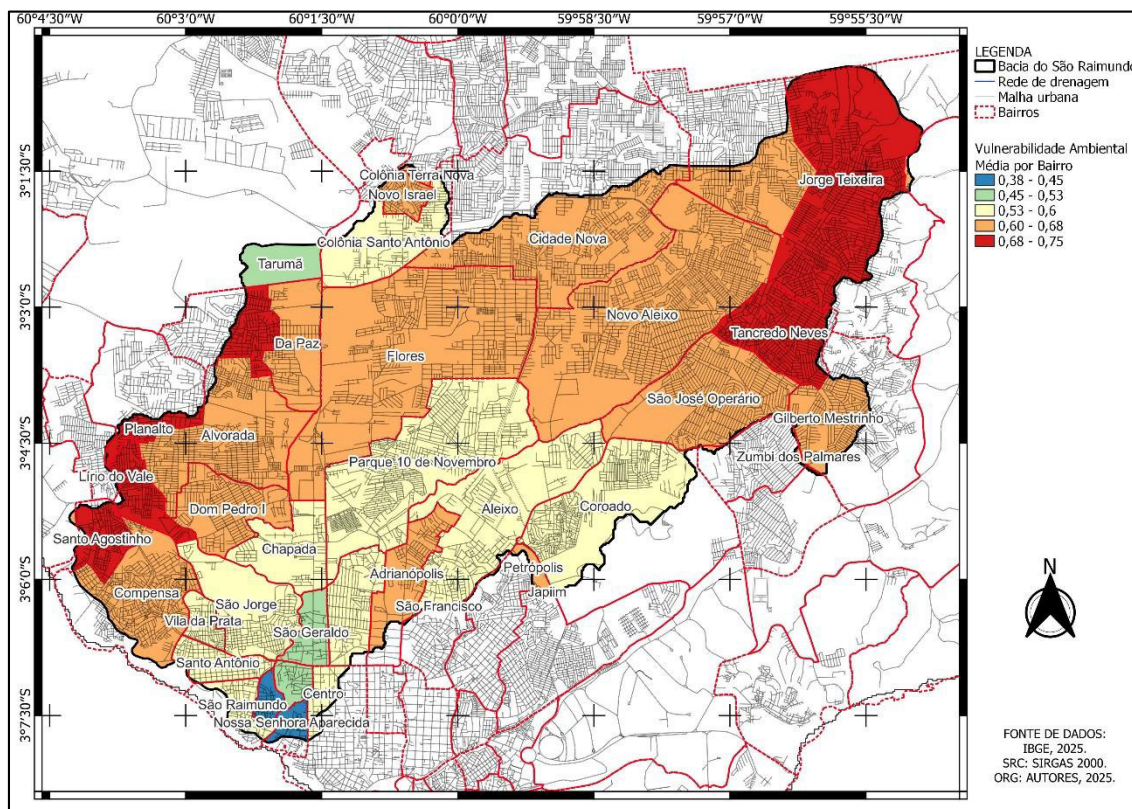


A representação espacial dessas zonas de risco permite uma melhor visualização da distribuição dos deslizamentos potenciais, auxiliando na identificação de áreas críticas e na formulação de estratégias de prevenção e mitigação de impactos geológicos.

O mapa elaborado (Figura 18), apresenta a média de vulnerabilidade ambiental calculada para cada bairro que compõe a bacia hidrográfica, permitindo uma visualização espacial clara das áreas mais suscetíveis a impactos ambientais e riscos geotécnicos. Por meio dessa representação, é possível identificar como a vulnerabilidade se distribui entre os bairros, considerando fatores como declividade, tipo de solo, uso e ocupação do território, presença de áreas de risco de deslizamentos e deficiências em infraestrutura urbana.

Essa abordagem facilita a compreensão das diferenças entre os setores da bacia, evidenciando bairros que concentram maiores fragilidades ambientais e que, portanto, demandam ações prioritárias de monitoramento, intervenção e planejamento urbano mais sustentável. Além disso, o mapa permite integrar as informações socioambientais com outros indicadores do estudo, fortalecendo a análise de áreas críticas e subsidiando políticas públicas voltadas à redução de riscos e à melhoria da qualidade de vida da população residente.

Figura 18 Média da Vulnerabilidade Ambiental a Deslizamentos por Bairros na Bacia Hidrográfica do São Raimundo. Fonte: Os autores (2025)



Por fim, espera-se que a pesquisa forneça uma análise integrada e detalhada das vulnerabilidades físico-espaciais e sociais, contribuindo com informações essenciais para a gestão de riscos e a formulação de políticas públicas mais eficazes e inclusivas.

Análise de Áreas de Vulnerabilidade e Risco *in loco*

Para fins de análise e comprovação dos dados coletados em gabinete, foi realizado trabalho de campo em algumas localidades situadas na Bacia Hidrográfica do Igarapé do São Raimundo, onde foram registradas ocorrências de deslizamentos de massa. As visitas permitiram observar de forma direta as condições físicas do terreno, a ocupação do solo e as características das encostas mais suscetíveis, além de registrar evidências fotográficas e coletar informações adicionais junto à comunidade local. Essa etapa foi fundamental para validar as informações espaciais

obtidas previamente, contribuindo para uma análise mais precisa da vulnerabilidade ambiental da área de estudo.

Durante o trabalho de campo, realizado no em junho de 2024, foi visitada uma área de risco localizada no bairro Cidade de Deus, inserida na Bacia Hidrográfica do Igarapé do São Raimundo (Figura 19). Trata-se de uma área de aterro de inertes situada à beira de uma via pública, cuja ocupação irregular e retirada desordenada de bens minerais resultaram em um terreno com inclinações extremamente íngremes. Essa conformação topográfica acentua o risco de escorregamentos de massa, principalmente em períodos de chuvas intensas, colocando em situação de vulnerabilidade algumas edificações construídas nas proximidades.

Figura 19 Aterro de Inertes, bairro Cidade de Deus. Fonte: Alves, Manoela. 2024



Além da instabilidade das encostas, observou-se que o local apresenta significativo risco de assoreamento de corpos d'água situados no entorno, uma vez que os materiais soltos e mal compactados tendem a ser carregados para o leito do igarapé adjacente. Soma-se a esse cenário o descarte irregular de esgoto sanitário diretamente no solo, sem qualquer tratamento prévio, o que contribui para o encharcamento do assoalho de terra. Essa condição de solo saturado potencializa

processos erosivos, como a formação de ravinas e voçorocas, ampliando ainda mais a degradação ambiental e os prejuízos às moradias do entorno, conforme figura 20.

Figura 20 Aterro de Inerte, no bairro Cidade de Deus. Fonte: Alves, Manoela, 2024.



Outra área em que o trabalho de campo abrangeu, foi uma ocorrência de deslizamento, ocorrida em fevereiro de 2025, foi noticiada no bairro Novo Aleixo, especificamente na área do Núcleo 23. O evento resultou na abertura de uma grande cratera, com profundidade estimada em aproximadamente 30 metros, conforme evidenciam as Figura 21. O deslizamento afetou diretamente algumas residências localizadas no entorno imediato, comprometendo a estabilidade do solo e das edificações próximas.

Figura 21 Área de Deslizamento de massa, Bairro Novo Aleixo



Em resposta ao ocorrido, a área foi demarcada pela Defesa Civil como zona de risco, visando alertar moradores e evitar novos acidentes. No entanto, de acordo com os dados coletados durante as visitas de campo, ocorrida em julho de 2025, constatou-se que as residências mais atingidas ainda permanecem habitadas, mesmo diante da situação de vulnerabilidade e do risco de novos deslizamentos.

A situação observada na área do Núcleo 23 (Figura 22) reforça a importância do monitoramento contínuo de áreas instáveis, bem como da adoção de medidas preventivas que aliem intervenções estruturais, planejamento urbano e ações de educação ambiental junto à comunidade local.

Figura 22 Deslizamento de Massa no Bairro Novo Aleixo. Fonte: Autores, 2025.



Conforme evidencia a figura 23, essa permanência reflete não apenas a carência de alternativas habitacionais para as famílias, mas também evidencia a necessidade de políticas públicas mais efetivas voltadas à remoção segura e reassentamento de populações expostas a riscos geotécnicos.

Figura 23 Residências habitadas próximo a Deslizamento de Massa, bairro Novo Aleixo. Fonte: Autores, 2025.



Durante as atividades de campo, foram identificados dois pontos de deslizamento de massa em áreas residenciais localizadas no bairro Distrito Industrial II, demonstrados nas figuras 24 e 25. Esses pontos foram previamente classificados pela Defesa Civil como de risco R2, categoria que indica a possibilidade de ocorrência de deslizamentos com baixa a média probabilidade e potencial moderado de danos.

No entanto, as evidências observadas em campo indicam que esses deslizamentos apresentam características significativas, tanto em extensão quanto em impacto potencial, revelando uma situação de instabilidade mais severa do que a inicialmente atribuída. Diante disso, considera-se que os eventos possuem capacidade real de provocar danos materiais expressivos e até mesmo comprometer a integridade física dos moradores das áreas afetadas, sendo, portanto, necessário uma reavaliação mais detalhada do grau de risco envolvido.

Figura 24 Área de Deslizamento de massa, no bairro Distrito Industrial II



Figura 25 Área de Deslizamento de massa, no bairro Distrito Industrial II



Ainda na área do bairro Distrito Industrial II, foi identificada uma terceira área de deslizamento de massa (Figura 26), localizada em uma porção do terreno que se caracteriza por apresentar um vale profundo e com declividade acentuada. A configuração topográfica do local, marcada por encostas íngremes e instabilidade natural do relevo, contribui de forma significativa para a suscetibilidade a processos de movimentos de massa. A presença desse vale, com profundidade e inclinação consideráveis, agrava o risco de novos deslizamentos, apesar da preservação da porção vegetal local, esse risco se apresenta especialmente em períodos de chuvas intensas, sendo necessária atenção especial quanto ao monitoramento e à adoção de medidas preventivas.

Figura 26 Área de Deslizamento em encosta íngreme, no bairro Distrito Industrial II



CONSIDERAÇÕES FINAIS

Compreender os desafios de identificar e classificar as áreas de vulnerabilidade ambiental associadas aos riscos de deslizamentos é essencial para a formulação de políticas públicas eficazes. A complexidade dessa tarefa reside na sobreposição de fatores naturais, como relevo e tipo de solo, com aspectos sociais, como renda, acesso a serviços básicos e qualidade das habitações. Populações de baixa renda, frequentemente residentes em áreas irregulares e de encostas íngremes, são as mais atingidas e apresentam maior dificuldade de reação e adaptação a esses eventos, devido à limitada capacidade de acesso a informações, recursos financeiros e apoio institucional.

A influência estrutural da geologia nas zonas de maior declividade da bacia hidrográfica é um fator determinante na configuração do relevo e na dinâmica dos processos erosivos e de instabilidade das encostas. As estruturas geológicas, como fraturas e falhas, condicionam a orientação e a forma das encostas, facilitando o escoamento superficial e a concentração de tensões que favorecem deslizamentos. Nessas áreas, a disposição dos estratos rochosos e a exposição do solo à agentes intempéricos em decorrência da supressão vegetal primária, aumentando, então, a suscetibilidade a movimentos de massa.

Diante da compreensão das principais estruturas geológicas e como se deu o processo de crescimento populacional e a consequente expansão da zona urbana, a ampliação das zonas de risco a deslizamento na bacia hidrográfica é evidente diante das diversas zonas demarcadas pela cidade.

À medida que houve aumento populacional, a ocupação avançou sobre áreas de encostas, muitas vezes desconsiderando as restrições naturais do terreno, ela acaba se sobrepondo a zonas marcadas por estruturas geológicas frágeis, como fraturas e falhas, que já predispunham o terreno à instabilidade, esses fatores somados à ocupação irregular, provocam esses riscos. A urbanização desordenada intensifica essa vulnerabilidade ao modificar o equilíbrio natural das encostas e agravar os processos erosivos. Assim, a interação entre fatores antrópicos e estruturais torna as áreas de maior declividade ainda mais suscetíveis a deslizamentos, revelando a importância de integrar o conhecimento geológico ao

planejamento urbano para reduzir riscos e promover ocupações mais seguras e sustentáveis.

A compreensão dos fatores socioambientais da população que habita a bacia hidrográfica é essencial para o enfrentamento eficaz dos riscos associados aos deslizamentos de massa. Trata-se, em grande parte, de uma população em situação de vulnerabilidade, com renda per capita inferior a um salário mínimo, o que limita o acesso a moradias seguras e serviços básicos. Em média, apenas 10% dos moradores contam com acesso a esgoto sanitário, o que agrava os problemas de saúde pública e contribui para a degradação ambiental. A porção leste da bacia concentra boa parte dessa população, configurando um cenário de alta densidade demográfica, marcado pela presença significativa de favelas dispostas de maneira próxima. Coincidentemente, essa é também a área com maior incidência de deslizamentos, evidenciando a sobreposição de fragilidades sociais e ambientais.

A desigualdade social exerce um papel fundamental no entendimento de como os desastres naturais, como os deslizamentos de massa, impactam as populações vulneráveis. Famílias de menor renda e baixa escolaridade enfrentam condições de moradia precárias, muitas vezes em áreas de encostas instáveis, por não terem acesso a alternativas mais seguras. A falta de conhecimento técnico e de informação dificulta o reconhecimento dos sinais de risco e a adoção de medidas preventivas, tornando essas comunidades mais expostas e com menor capacidade de resposta diante de situações de emergência. Além disso, a ausência de acesso a políticas públicas eficazes e serviços essenciais aprofunda ainda mais essa vulnerabilidade. Assim, os deslizamentos não apenas revelam as fragilidades do meio físico, mas também expõem, de forma contundente, as injustiças sociais e a necessidade de inclusão ambiental no planejamento urbano.

Portanto, propõe-se um plano integrado de prevenção de deslizamentos de massa que articule ação política e tecnológica. Inicialmente, é necessário que as autoridades municipais e estaduais reforcem a fiscalização urbanística, promovendo a regularização fundiária e coibindo novas ocupações em áreas de risco. Paralelamente, a aplicação de geotecnologias, como sensoriamento remoto, SIG, drones, permitirá o monitoramento contínuo da topografia, uso do solo e mudanças da cobertura vegetal, possibilitando a identificação precoce de áreas suscetíveis a

deslizamentos. Combinando, então, gestão política efetiva e monitoramento geotecnológico, sendo possível a redução de riscos, planejamento de reassentamentos e implementação de medidas preventivas de forma estratégica e sustentável.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AB'SÁBER, Aziz Nacib. *A Amazônia: do discurso à práxis*. 2. ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2004.

AB'SÁBER, A. N. A cidade de Manaus. In: *Boletim Paulista de Geografia*, n. 15, São Paulo: AGB/Seção Regional de São Paulo, 1953. p. 18-45.

ABREU, N. R. P.; VIEIRA, A. F. G.; FROTA FILHO, A. B. *A relação do controle estrutural com processos de voçorocamentos em Manaus (AM): uma análise preliminar*. In: *9º SINAGEO - Simpósio Nacional de Geomorfologia*, 2012, Rio de Janeiro. *Geomorfologia e eventos catastróficos: passado, presente e futuro*, 2012.

ALMEIDA, L. Q. *Socioambientais de rios urbanos: Bacia hidrográfica do rio Maranguapinho, Região Metropolitana de Fortaleza, Ceará*. Pós-Graduação em Geografia: Instituto de Geociências e Ciências Exatas/UNESP, Rio Claro, 2010.

ALVES, H. P. F. *Vulnerabilidade socioambiental na metrópole paulistana*. *Revista Brasileira de Estudo de População*, v. 23, p. 43-59, 2006.

ANDRADE, M. C. *A federação brasileira: uma análise geopolítica e geo-social*. São Paulo: Contexto, 1999.

ARAÚJO, M. I. de; SOUSA, S. G. A. de; ROÇODA, L. C. C.; TEIXEIRA, M. V.; ANJOS, L. C. C. dos. *A problemática socioambiental nas APP da cidade de Manaus*. São Paulo: Reunião anual SBPC, 2014.

BECK, U. *Sociedade de risco: rumo a uma outra modernidade*. 2. ed. São Paulo: 34, 2011.

BERTRAND, G. *Uma geografia transversal e de travessias: o meio ambiente através dos territórios e das temporalidades*. Org. Messias Modesto dos Passos. Maringá: Massoni, 2007.

BENTO, A. H. *Mapeamento geotécnico da área urbana de Manaus-AM*. Manaus: UFAM, 1998.

BOTELHO, Antônio José. *Redesenhando o projeto ZFM – um estudo de alerta (uma década depois)*. Manaus: Editora Valer, 2006.

CALDEIRA, T. P. *Cidade de muros*. São Paulo: Edusp, 2000.

CAMPOS, A. S. *Educación y prevención de desastre*. LA RED: Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina - LA RED, 1999.

CAPUTO, M. V. *Stratigraphy, tectonics, paleoclimatology and paleogeography of northern basins of Brazil*. Santa Barbara: University of California, 1984. 583 p. PhD Thesis.

CARDONA, A. O. D. *La necesidad de repensar de manera holística los conceptos de vulnerabilidad y riesgo: una crítica y una revisión necesaria para la gestión*. Centro de Estudios sobre Desastres e Riesgos - CEDERI, 2001.

CARVALHO, A. T. F. *Bacia hidrográfica como unidade de planejamento: discussão sobre os impactos da produção social na gestão de recursos hídricos no Brasil*. *Caderno Prudentino de Geografia*, Presidente Prudente, v. 1, p. 140-161, 2020.

CHRISTOFOLETTI, A. *Caracterização de indicadores geomorfológicos para a análise da sustentabilidade ambiental*. *Sociedade e Natureza*, 1996.

SGB, Serviço Geológico do Brasil. *Mapeamento das áreas de risco geológico da zona urbana de Manaus (AM)*. Manaus: SGB, 2012.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S.; HERNANEZ FILHO, P.; FLORENZZANO, T. G.; DUARTE, V.; BARBOSA, C. *Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial*. São José dos Campos: INPE, 2001.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. *Procedimentos para elaboração de mapas de declividade e comprimento de rampa: estudo de caso no estado de Santa Catarina*. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2012. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/950150/1/Procedimentos-para-elaboracao-de-mapas-de-declividade-2012.pdf>. Acesso em: fev. 2025.

FERREIRA, A.; RIGUETI, A.; BASTOS, G. *Bacia do Amazonas – Sumário geológico e setores em oferta*. Relatório técnico da 13ª Rodada de Licitações de Petróleo e Gás, Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), 2015.

FILHO, A. O. *Caracterização geológico-geotécnica voltada à estabilização de encostas: uma proposta metodológica*. 1. ed. Rio de Janeiro: Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas, 1992. p. 721-733.

FORTES, M. R. *Diagnóstico morfodinâmico aplicado ao planejamento ambiental na microbacia hidrográfica do rio Puraquequara*. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Sociedade e Cultura) – UFAM, 2001.

GASPARI, F. J. et al. *Elementos metodológicos para el manejo de cuencas hidrográficas*. La Plata: Universidad Nacional de la Plata, 2013. 188 p.

GOMES, R. C.; BIANCHI, C.; OLIVEIRA, V. P. V. de. *Análise da multidimensionalidade dos conceitos de bacia hidrográfica*. *GEOgraphia*, v. 23, n. 51, 25 ago. 2021.

GUERRA, A. J. T.; MARÇAL, M. S. *Geomorfologia ambiental*. 7. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2015. 192 p.

GUIDICINI, G. E.; NIEBLE, C. M. *Estabilidade de taludes naturais e de escavações*. São Paulo: Blucher, 1984. 170 p.

HAESBAERT, R. et al. *Concepções de território para entender a desterritorialização*. Rio de Janeiro: DP&A, 2006. 170 p.

HORTON, R. E. et al. *Erosional development of streams and their drainage basins: a hydrophysical approach to quantitative morphology*. 3. ed. Am. Bull.: Geol. Soc., 1945. v. 56, p. 275-370.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Estimativas da população residente para os municípios e unidades da federação brasileiras com data de referência em 1º de julho de 2019*. Rio de Janeiro: IBGE, 2019. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br>. Acesso em: jan. 2025.

IGREJA, H.; FRANZINELLI, E.; MELO, A. P. *Analysis of geologic joints and their relationship with geomorphologic features risk of Greater Manaus, Amazonas State, Brazil*. In: *Annals of Geomorphic Hazards: Toward the Prevention of Disasters*. The International Association of Geomorphologists and Mexican Society of Geomorphology Conference, City of Mexico, 2003.

IPT, Instituto de Pesquisas Tecnológicas. *Mapeamento de riscos em encostas e margens de rios*. Brasil: Biblioteca Digital, 2004.

KASPERSEN, J. X. *Global environmental risk*. London: United Nations University Press, 2001. 574 p.

KISTLER, P. *Historical resumé of the Amazon Basin*. Belém: PETROBRAS-RENOR, Relatório Técnico Interno, 104-A, 1954.

LAVELL, A. et al. *Gestión de riesgos ambientales urbanos*. La Red: Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales e La Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina, 1999.

LEFEBVRE, H. *O direito à cidade*. São Paulo: Documentos LTDA, 1969.

LEPSH, I. F. *Formação e conservação dos solos*. São Paulo: Oficina de Textos, 2002. 178 p.

LIMA, W. de P. et al. *Hidrologia florestal aplicada ao manejo de bacias hidrográficas*. 2. ed. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2008. 253 p.

MACEDO, E. S. de et al. *Mortes por deslizamentos no Brasil: 1988 a 2022*. 1. ed. São Paulo: Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, 2022. v. 12, p. 110-117.

MAGNAGO, H.; BARETO, R. A. A.; PASTORE, U. *Vegetação Folha AS.20 – Manaus*. In: *Projeto RADAMBRASIL (Levantamento de Recursos Naturais)*. DNPM/SGB, Rio de Janeiro, v. 18, 1978.

MARINHO, R. R. *Interação de dados de campo e sensoriamento remoto no estudo do fluxo de água e matéria no Arquipélago de Anavilhanas, Rio Negro – Amazonas, Brasil.* Manaus: INPA, 2019.

MENDES, A. C.; TRUCKENBRODT, W. H. W.; NOGUEIRA, A. C. R. *Análise faciológica da Formação Alter do Chão (Cretáceo, Bacia do Amazonas), próximo à cidade de Óbidos, Pará, Brasil.* *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, v. 42, n. 1, p. 39-57, mar. 2012.

MENIN, F. A.; REIS, F. A. G. V.; GIORDANO, L. C.; AMARAL, A. M. C.; GABELINI, B. M.; CERRI, R. I. *Crítérios de delimitação de áreas de influência em estudos de impacto ambiental de rodovias: abordagem de processos de dinâmica superficial.* *Sér. Cient.*, São Paulo, v. 17, p. 210-224, 2017.

MOSER, C. *The asset vulnerability framework: reassessing urban poverty reduction strategies.* New York: *World Development*, 1998. v. 26.

NIMER, E. *Climatologia do Brasil.* Rio de Janeiro: IBGE, 1989.

NOVEMBER, V. *Les territoires du risque: le risque comme objet de réflexion géographique.* Berna: Lang, 2002.

PELLING, M. *Natural disasters and development in a globalizing world.* London: Routledge, 2003.

QUEIROZ, M. S. *Análise geomorfométrica da Bacia Hidrográfica do Mindu – Manaus – Amazonas.* 2. ed. Manaus: Geopauta, 2020. v. 4, p. 109-123. ISBN 2594-5033.

REIS, N. J.; ALMEIDA, M. E.; RIKER, S. R. L.; FERREIRA, A. L. (org.) *Geologia e recursos minerais do estado do Amazonas.* Manaus: SGB/CIAMA, 2006. Escala 1:1.000.000. Programa Geologia do Brasil – PG.

RIBEIRO, W. C. *Riscos e vulnerabilidade urbana no Brasil.* *Scripta Nova. Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*, Barcelona: Universidad de Barcelona, 2010. Disponível em: <http://www.ub.es/geocrit/sn/sn-331/sn-331-65.htm>.

ROCHA, W. V. *Mapeamento geoambiental da área urbana de Manaus-AM.* Brasília: UNB, 2006.

SANTOS, W. S. *Geotecnologias aplicadas à gestão de recursos hídricos no Igarapé do São Raimundo na cidade de Manaus/AM.* Amazonas: Escola Normal Superior, UEA, 2022. 207 p.

SEDECTI – Secretaria de Estado de Desenvolvimento Econômico, Ciência, Tecnologia e Inovação. Disponível em: https://www.seducti.am.gov.br/wp-content/uploads/2021/09/mapa_da_populacao_por_bairro_de_manaus.pdf. Acesso em: jan. 2025.

SILVA, C. L. *Análise da tectônica cenozóica da região de Manaus e adjacências.* Rio Claro: UNESP, 2002.

SILVA, A. J. P.; LOPES, R. C. L.; VASCONCELOS, A. M.; BAHIA, R. B. C. *Bacias sedimentares paleozóicas e meso-cenozoicas interiores*. In: BIZZI, L. A.; SCHOBHENHAUS, C.; VODOTTI, R. M.; GONÇALVES, J. H. (eds.), *Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil*. Brasília: SGB, 2003. p. 55-85.

SILVA, C. L. *Análise da tectônica cenozoica da região de Manaus e adjacências*. (Tese de Doutorado). Rio Claro – SP: UNESP, 2005. 309 p.

SILVA, F. M. *Análise da vulnerabilidade ambiental no estuário do Rio Curimataú/Cunhaú, Baía Formosa e Canguaretama – RN*. Natal: Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2013.

SOUZA, E. B.; COSTA, M. H. *Análise da rede de drenagem e padrões de escoamento em áreas urbanas de Manaus*. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 5, n. 2, 2004.

SUERTEGARAY, D. M. A. *Espaço geográfico uno e múltiplo*. 93. ed. Nova Barcelona: Scripta, 2001.

TRICART, J. *Ecodinâmica*. 93. ed. Rio de Janeiro: Supren, 1977. 91 p.

TUCCI, C. E. M. *Hidrologia: ciência e aplicação*. 2. ed. Local: Editora da Universidade, 1993. v. 4. ISBN 8570252986, 9788570252982.

TUCCI, C. E. M.; BERTONI, J. C. *Inundações urbanas na América do Sul*. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2003.

TURNER, B. L. et al. *A framework for vulnerability analysis in sustainability science*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 100, n. 14, 2003.

VAZ PENHA, T. et al. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <https://www.esensing.org/papers/paper_82.pdf>. Acesso em: 1 dez. 2025.

VEYRET, Y. (org.) *Os riscos: o homem como agressor e vítima do meio ambiente*. São Paulo: Contexto, 2015. 320 p.

University of California, Santa Barbara (UCSB). *CHIRPS: Estimativas de precipitação a partir de pluviômetros e observação por satélite*. Website: <https://www.chc.ucsb.edu/data/chirps>. Acesso em: ago. 2025.

VIEIRA, A. F. G. *Desenvolvimento e distribuição de voçorocas em Manaus (AM): principais fatores controladores e impactos urbano-ambientais*. Florianópolis: Programa de Pós-graduação em Geografia, UFSC, 2008.

VILAÇA, M. F.; GOMES, I.; MACHADO, M. L.; VIEIRA, E. M.; SIMÃO, M. L. R. *Bacia hidrográfica como unidade de planejamento e gestão: o estudo de caso do ribeirão Conquista no município de Itaguara/MG*. 93. ed. Viçosa-MG: Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 2006. 471 p.

WSTANE, C. *Gestão de áreas urbanas: mobilização social em torno de rios invisíveis*. [Dissertação de Mestrado]. Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

ZANIRATO, S. H.; RAMIRES, J. Z. S.; AMICCI, A. G. N.; ZULIMAR, M. R.; RIBEIRO, W. C. *Sentidos do risco: interpretações teóricas*. Barcelona: *Revista Bibliográfica de Geografía y Ciencias Sociales*, 2008. Disponível em: <http://www.ub.es/geocrit/b3w-785.htm>.