



Universidade Estadual
da Região Tocantina
do Maranhão

UNIVERSIDADE ESTADUAL DA REGIÃO TOCANTINA DO MARANHÃO –
UEMASUL
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS, SOCIAIS, TECNOLÓGICAS E
LETRAS – CCHSTL CAMPUS AÇAILÂNDIA
BACHARELADO ENGENHARIA CIVIL

PAULO ÉRIK SILVA DE ASSIS

EXPANSÃO DA VOÇOROCA NO BAIRRO NOVA AÇAILÂNDIA II: Avaliação
ambiental, social e proposição de medidas de mitigação

Açailândia – MA
2026



Universidade Estadual
da Região Tocantina
do Maranhão

PAULO ÉRIK SILVA DE ASSIS

**EXPANSÃO DA VOÇOROCA NO BAIRRO NOVA AÇAILÂNDIA II: avaliação
ambiental, social e proposição de medidas de mitigação**

Trabalho de conclusão de curso apresentado
ao Curso de Engenharia Civil Bacharelado,
do Centro de Ciências Humanas, Sociais,
Tecnológicas e Letras da Universidade
Estadual da Região Tocantina do Maranhão
(UEMASUL), *Campus Açailândia*, como
requisito para a obtenção do grau de
Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Leonardo de Sousa Leal



Universidade Estadual
da Região Tocantina
do Maranhão

A848e

Assis, Paulo Érik Silva de

Expansão da voçoroca no bairro Nova Açailândia II: avaliação ambiental, social e proposições de medidas de mitigação / Paulo Érik Silva de Assis. – Açailândia: UEMASUL, 2026.

78 f. ; il.

Monografia (Curso de Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão – UEMASUL, Açailândia, MA, 2026.

Orientador: Prof. Me. Leonardo de Sousa Leal.

1. Voçoroca. 2. Erosão hídrica urbana. 3. USLE. 4. Geoprocessamento. I. Título.

CDU 624



Universidade Estadual
da Região Tocantina
do Maranhão

PAULO ÉRIK SILVA DE ASSIS

EXPANSÃO DA VOÇOROCA NO BAIRRO NOVA AÇAILÂNDIA II:
AVALIAÇÃO AMBIENTAL E SOCIAL

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil Bacharelado, do Centro de Ciências Humanas, Sociais, Tecnológicas e Letras da Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (UEMASUL), *Campus Açailândia*, como requisito para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Leonardo de Sousa Leal

Aprovado em 12 / 06 / 2026

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente



LEONARDO DE SOUSA LEAL
Data: 15/06/2026 20:11:28-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Me. Leonardo de Sousa Leal (Orientador)

Mestre em Ensino de Física

Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão – UEMASUL

Documento assinado digitalmente



KALLEBE DE OLIVEIRA BRITO
Data: 15/06/2026 21:13:22-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Me. Kallebe de Oliveira Brito

Mestre em Ciências dos Materiais

Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão – UEMASUL

Documento assinado digitalmente



LEONARDO TELLES DE SOUZA PESSOA FILHO
Data: 16/06/2026 10:30:27-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Esp. Leonardo Telles de Souza Pessoa Filho

Especialista em Infraestrutura de Transportes e Rodovias

Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão – UEMASUL



Universidade Estadual
da Região Tocantina
do Maranhão

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha mãe Josileni, por todo amor, apoio e dedicação ao longo da minha vida. Obrigado por acreditar em mim, incentivar meus sonhos e tornar esta conquista possível, esta vitória também é sua.

À memória da minha avó Teonilia, cuja lembrança, carinho e ensinamentos permanecem vivos em meu coração. Com amor, gratidão e muita saudade.



AGRADECIMENTO

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me concedido força, saúde e perseverança ao longo desta caminhada, permitindo que eu alcançasse mais esta importante conquista, à minha família, expresso minha mais sincera gratidão, especialmente à minha mãe, que sempre esteve ao meu lado com amor, dedicação e apoio incondicional. Sua força, preocupação constante e os inúmeros esforços realizados para que eu pudesse me dedicar aos estudos foram fundamentais para a conclusão desta etapa. Ao meu pai e às minhas irmãs, agradeço pelo incentivo, carinho e confiança depositados em mim durante todos esses anos.

Ao meu orientador, Prof. Me. Leonardo de Sousa Leal, pela orientação, paciência, disponibilidade e pelos conhecimentos compartilhados durante o desenvolvimento deste trabalho, contribuindo significativamente para minha formação acadêmica e profissional.

Agradeço também aos membros da banca examinadora, Prof. Me. Kallebe de Oliveira Brito, Prof. Esp. Leonardo Telles de Souza Pessoa Filho e Prof. Esp. Mário Silva de Lucena, pela disponibilidade e pelas valiosas contribuições para o aprimoramento desta pesquisa.

À Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (UEMASUL), ao Centro de Ciências Humanas, Sociais, Tecnológicas e Letras (CCHSTL) e ao curso de Engenharia Civil, bem como a todos os professores que contribuíram para minha formação, deixo meu reconhecimento pelos ensinamentos e oportunidades proporcionados ao longo da graduação.

À CIVIRMITA Jr., agradeço pelas experiências adquiridas como membro, diretor e conselheiro, as quais contribuíram significativamente para meu desenvolvimento pessoal e profissional.

Por fim, agradeço aos amigos e colegas que compartilharam comigo esta jornada, pelos momentos de aprendizado, parceria, desafios superados e também pelas risadas que tornaram essa trajetória mais leve e especial.



RESUMO

A erosão hídrica em áreas urbanas representa um dos principais problemas ambientais associados ao crescimento desordenado das cidades, especialmente em municípios que passaram por rápida expansão urbana sem planejamento adequado, nesse contexto, o presente trabalho realizou o diagnóstico técnico de uma voçoroca localizada no bairro Nova Açailândia II, no município de Açailândia-MA, com o objetivo de analisar os fatores geotécnicos, hidrológicos e antrópicos relacionados ao seu desenvolvimento, além de subsidiar futuras medidas de controle e recuperação da área degradada. Os resultados demonstraram que a voçoroca apresentou crescimento expressivo entre 2004 e 2025, passando de 127 metros para 509,73 metros de extensão, evidenciando avanço contínuo da erosão e aumento dos riscos à infraestrutura urbana, a análise geomorfológica identificou áreas de relevo que favorecem a concentração do escoamento superficial e solos com elevada suscetibilidade à erosão, ambos associados à Formação Itapecuru. A aplicação da USLE indicou elevado potencial erosivo, com perda de solo estimada em 3.783,7 t/ha/ano em cenário de solo exposto e presença de lixão a céu aberto. Entre os principais fatores antrópicos observados destacaram-se a ausência de pavimentação e drenagem pluvial, o lançamento inadequado das águas superficiais e o descarte irregular de resíduos sólidos. O levantamento com os moradores também revelou elevada percepção de risco e insatisfação quanto à ausência de intervenções públicas. Com base nos resultados obtidos, foram propostas medidas voltadas ao controle do avanço erosivo e recuperação da área degradada, envolvendo intervenções estruturais de drenagem, revegetação das bordas da voçoroca e ações de gestão territorial. Concluiu-se que o processo erosivo resulta da combinação entre a elevada vulnerabilidade física do terreno e a intensificação provocada pelas ações antrópicas, tornando necessária a atuação integrada entre engenharia, recuperação ambiental e planejamento urbano para minimizar os impactos da voçoroca na área estudada.

Palavras-chave: Voçoroca; Erosão hídrica urbana; USLE; Geoprocessamento; Açailândia/Ma



ABSTRACT

Water erosion in urban areas represents one of the main environmental problems associated with disorderly urban growth, especially in municipalities that have experienced rapid expansion without proper urban planning, in this context, the present study carried out a technical diagnosis of a gully erosion located in the Nova Açailândia II neighborhood, in the municipality of Açailândia, Maranhão, aiming to analyze the geotechnical, hydrological, and anthropogenic factors related to its development, as well as to support future control and recovery measures for the degraded area. The results showed that the gully erosion experienced significant growth between 2004 and 2025, expanding from 127 meters to 509.73 meters in length, demonstrating the continuous advancement of erosion and increasing risks to urban infrastructure, the geomorphological analysis identified relief areas that favor the concentration of surface runoff and soils with high susceptibility to erosion, both associated with the Itapecuru Formation. The application of the USLE indicated a high erosive potential, with estimated soil loss of 3,783.7 t/ha/year under conditions of exposed soil and the presence of an open-air dumpsite. Among the main anthropogenic factors identified were the absence of paving and stormwater drainage systems, inadequate discharge of surface runoff, and irregular disposal of solid waste. The survey conducted with residents also revealed a high perception of risk and dissatisfaction regarding the lack of public interventions. Based on the obtained results, measures were proposed to control erosive advancement and recover the degraded area, involving structural drainage interventions, revegetation of the gully edges, and territorial management actions. It was concluded that the erosive process results from the combination of the terrain's high physical vulnerability and the intensification caused by anthropogenic actions, making integrated actions involving engineering, environmental recovery, and urban planning necessary to minimize the impacts of the gully erosion in the studied area.

Keywords: Gully erosion; Urban water erosion; USLE; Geoprocessing; Açailândia.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Cidade de Açailândia - MA.....	17
Figura 02 – Bacias hiddrográficas.....	18
Figura 03 – Biomas Açailândia/Ma	20
Figura 04 – Dashboard da área de risco.....	21
Figura 05 – Surgimentos de voçorocas	23
Figura 06 – Surgimento Laminar	24
Figura 07 – Surgimento dos Sulcos	24
Figura 08 – Erosão em Ravinas	25
Figura 09 – Voçoroca em Açailândia/Ma	26
Figura 10 – Tipologias de feições erosivas segundo sua origem.....	27
Figura 11 – Resumo de riscos CPRM.....	29
Figura 12 – Microdrenagem em perfil transversal.....	31
Figura 13 – Macrodrenagem Vitória-ES	32
Figura 14 – Variáveis climáticas do município de Açailândia-MA	33
Figura 15 – Cidade de Açailândia.....	38
Figura 16 – Fluxograma Metodológico	39
Figura 17 – Tela Inicial do software QGIS.....	41
Figura 18 – Carta geomorfológica do município de Açailândia-Ma	42
Figura 19 – Localização da área de estudo	44
Figura 20 – Morfologia da voçoroca na área de estudo no ano de 2004 e 2025.....	45
Figura 21 – Avanço longitudinal da voçoroca no ano de 2011 e 2014.....	46
Figura 22 – Expansão da feição erosiva no ano de 2017 e 2018	46
Figura 23 – Intensificação do avanço longitudinal da voçoroca em 2019 e 2020	47
Figura 24 – Intervenções de drenagem associadas à voçoroca no ano de 2021 e 2022...47	
Figura 25 – Reativação do processo erosivo na área aterrada em 2023 e 2024.....	48
Figura 26 – Estado morfológico de 2025.....	49
Figura 27 – Plano Altimétrico na área de estudo	50
Figura 28 – Tabela da carta geomorfológica Açailândia–MA(2024)	51
Figura 29 – Mapas do Modelo Digital de Elevação, declividade e fator LS	52
Figura 30 – Presença de lixão a céu aberto	52
Figura 31 – Mapa de perda de solo anual (USLE)	54

Figura 32 – Resumo dos fatores para a área da voçoroca.....	55
Figura 33 – Simulação tridimensional da recuperação da voçoroca.....	63

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 01 – Gráfico evolutivo da área (2004-2025).....	49
Gráfico 02 – Tempo de permanência dos moradores na área	56
Gráfico 03 – Percepção dos moradores sobre o avanço da voçoroca	57
Gráfico 04 – Drenagem nas proximidades da área de estudo	57
Gráfico 05 – Impactos urbanos à voçoroca.....	58
Gráfico 06 – Impactos dos resíduos sólidos.....	58
Gráfico 07 – Ação do poder público.....	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Equação Universal de Perda de Solo (USLE).....	36
Tabela 02 – Fator K para os solos predominantes na área de estudo.....	38
Tabela 03 – Geomorfológica e susceptibilidade erosiva da área de estudo.....	51
Tabela 04 – Estimativa de perda de solo anual (A) pela USLE para a localidade.....	53
Tabela 05 – Medidas estruturais e vegetativas propostas de controle	61
Tabela 06 – Medidas de gestão territorial.....	61

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	13
2. OBJETIVOS	16
2.1 OBJETIVO GERAL	16
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
3.1 Contextualização histórica de Açailândia Maranhão.....	17
3.2 Processos de Erosão Hídrica e Desenvolvimento de Voçorocas	22
3.3 Efeitos Ambientais, Urbanos e Sociais Associados às Voçorocas	26
3.4 Órgãos de gestão ambiental e monitoramento de áreas degradadas	27
3.5 Sistemas de Microdrenagem e Macrodrenagem Urbana	30
3.6 Síntese das variáveis climáticas de Açailândia-MA	32
3.7 A Equação Universal de Perda de Solo (USLE): Origem	34
3.8 Estimativa da Perda de Solo pela Equação Universal (USLE).....	35
4.8.1 Fator R (Erosividade da Chuva).....	36
4.8.2 Fator K (Erodibilidade do Solo)	36
4.8.3 Fator LS (Comprimento e Grau de Declive).....	37
4. METODOLOGIA	38
4.1 Local de estudo	38
4.2 Estratégia de pesquisa.....	39
4.3 Questionários e entrevistas.....	40
4.4 Análise espacial e cartográfica.....	40
4.5 A Equação Universal de Perda de Solo (USLE) aplicada à voçoroca do bairro Nova Açailândia II.....	41
4.6 Fatores geomorfológicos associados ao desenvolvimento da voçoroca	42
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	44
5.1 Caracterização geológica e geomorfológica da área.....	44
5.1.1 Fator P (Práticas Conservacionistas).....	53
5.1.2 Resultados (Perda de Solo Anual (A)	53
5.2 Impactos da voçoroca sobre a infraestrutura urbana e população local.....	55
5.2.1 Percepção dos moradores e diagnóstico urbano da área afetada	55
6. PROPOSIÇÃO DE MEDIDAS TÉCNICAS PARA CONTROLE DO AVANÇO EROSIVO E RECUPERAÇÃO DA ÁREA DEGRADADA.....	60
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	64



REFERÊNCIAS	68
-------------------	----

1. INTRODUÇÃO

A erosão hídrica em áreas urbanas constitui um importante desafio ambiental, especialmente em contextos marcados pela ocupação desordenada do solo e pela ausência de sistemas adequados de drenagem pluvial, com isso o acúmulo de água superficial, associado à retirada da cobertura vegetal e às características geotécnicas dos solos, favorece o surgimento e a expansão de voçorocas, feições erosivas que comprometem a estabilidade do terreno e a segurança das áreas urbanizadas (Rizzo *et al.*, 2023).

De modo geral, o crescimento urbano acelerado e desprovido de planejamento adequado gera uma série de impactos ambientais e sociais, sobretudo quando associado à ocupação de áreas ambientalmente frágeis e à deficiência de infraestrutura básica, e a ausência de sistemas eficientes de drenagem e de políticas adequadas de uso e ocupação do solo contribui para a degradação do ambiente urbano, favorecendo a formação de áreas instáveis e ampliando a exposição da população a situações de risco (Ramos, 2024).

Com isso o processo tende a se intensificar progressivamente, ocasionando perda de solo, danos à infraestrutura urbana e riscos às edificações adjacentes, configurando um problema relevante para o planejamento e a gestão ambiental das cidades (Moura *et al.*, 2025).

Conforme Rodrigues *et al.*, (2022) o compreender da dinâmica nas áreas degradadas sob uma perspectiva integrada entre aspectos ambientais, urbanos e sociais é fundamental para subsidiar ações de planejamento territorial e gestão ambiental capazes de mitigar riscos e promover maior segurança e sustentabilidade nas cidades.

Além disso, a intensificação dos processos erosivos urbanos evidencia desigualdades socioespaciais, uma vez que comunidades socialmente mais vulneráveis tendem a ocupar áreas de maior fragilidade ambiental e menor infraestrutura urbana, tornando-se as principais afetadas pelos impactos da degradação do solo (Nachtigall *et al.*, 2020).

No município de Açailândia, o processo de urbanização apresenta estreita relação com sua formação histórica e expansão econômica, o surgimento do município está diretamente vinculado à construção da rodovia Belém–Brasília (BR-010), iniciada em 1958, que impulsionou a ocupação regional por trabalhadores e migrantes atraídos pelas oportunidades geradas durante a execução da obra (Açailândia, 2025).

Por consequência o núcleo inicial de povoamento surgiu na localidade conhecida como Trecho-Seco, onde foram erguidas as primeiras habitações com palha de açaí, fato que originou a denominação do município (Açailândia, 2025). Posteriormente, o crescimento econômico foi impulsionado pela expansão agropecuária, pela atividade madeireira, pelo setor siderúrgico e pela implantação de importantes eixos logísticos, como a Estrada de Ferro Carajás e a Ferrovia Norte-Sul (IBGE, 2025).

Todavia, o rápido crescimento urbano e econômico de Açailândia ocorreu de forma acelerada e, em diversos momentos, sem o devido planejamento territorial e ambiental, favorecendo a ocupação de áreas ambientalmente frágeis e a expansão desordenada do tecido urbano, e como consequência, o município passou a apresentar diversos problemas ambientais, dentre os quais se destaca a intensificação da erosão hídrica e a formação de voçorocas (Açailândia, 2025).

Entre os anos de 1985 e 2020, o município de Açailândia apresentou intensa redução da cobertura vegetal nativa ou seja desmatamento, passando de aproximadamente 332.893,66 hectares de formações florestais para cerca de 171.444,96 hectares, representando perda de aproximadamente 48,5% da vegetação original. Paralelamente, observou-se crescimento expressivo das atividades agropecuárias, das áreas agrícolas e da silvicultura, especialmente relacionadas à pecuária, cultivo de soja e plantio de eucalipto, processos associados à expansão econômica, industrialização e abertura de importantes rodovias, como a BR-010 e BR-222, e essas transformações contribuíram significativamente para alterações ambientais no município, favorecendo degradação do solo, fragmentação da vegetação e intensificação dos processos erosivos (Bezzer, 2024).

A retirada da cobertura vegetal nativa, a impermeabilização do solo, a ocupação de áreas suscetíveis à instabilidade geotécnica e a deficiência histórica nos sistemas de drenagem pluvial contribuíram significativamente para o agravamento desses processos erosivos (Rodrigues *et al.*, 2023).

De acordo com Quadros (2026), os processos erosivos urbanos no município de Açailândia apresentou elevada gravidade, especialmente no bairro Nova Açailândia II, onde a expansão das voçorocas tem provocado danos estruturais, riscos à população e sucessivas intervenções paliativas sem eficácia significativa no controle da erosão.

No bairro Nova Açailândia II, essa problemática se manifesta de forma evidente por meio da presença de uma voçoroca em expansão próxima a áreas residenciais, cuja evolução é potencializada pela instabilidade do solo e pela ausência de um sistema

eficiente de drenagem urbana a proximidade da feição erosiva em relação às moradias representa risco direto aos habitantes e à infraestrutura local, agravando-se especialmente durante os períodos chuvosos, quando o aumento do escoamento superficial acelera o avanço do processo erosivo (Quadros, 2026).

Já em períodos chuvosos o aumento da vazão superficial intensificou os mecanismos de desagregação e transporte de partículas, promovendo a progressão lateral e regressiva da feição erosiva, e por consequência a voçoroca representou uma condição crítica de instabilidade geotécnica e risco urbano, demandando intervenções estruturais e não estruturais voltadas ao controle hidrológico, estabilização de taludes, contenção do avanço erosivo e recuperação ambiental da área degradada (Siqueira *et al.*, 2023).

Portanto, a voçoroca configura-se como um importante problema socioambiental urbano, pois seus impactos vão além da degradação do terreno, comprometendo a infraestrutura, a segurança da população e a qualidade de vida dos moradores (Nachtigall *et al.*, 2020).

A presente pesquisa foi desenvolvida por meio de um estudo de caso sobre a voçoroca localizada no bairro Nova Açailândia II, adotando procedimentos de pesquisa bibliográfica, descritiva e explicativa para compreender os fatores físicos e antrópicos associados ao desenvolvimento do processo erosivo. O levantamento bibliográfico (Capítulo I) forneceu o embasamento teórico da pesquisa, enquanto a caracterização da área de estudo e a análise das causas e consequências da erosão foram abordadas no Capítulo II.

No Capítulo III, foram realizados levantamentos documentais e atividades de campo, incluindo análise de imagens, bases cartográficas, documentos oficiais e coleta de informações ambientais e sociais. A integração desses dados permitiu, no Capítulo IV, elaborar propostas de controle do avanço erosivo e recuperação da área degradada, contribuindo para o planejamento de intervenções voltadas à mitigação dos impactos ambientais e urbanos da voçoroca.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Realizar o diagnóstico técnico da voçoroca existente no bairro Nova Açailândia II, em Açailândia-MA, por meio da análise de seus condicionantes geotécnicos, hidrológicos e antrópicos, visando subsidiar futuras medidas de controle e recuperação da área degradada.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Elaborar o mapeamento georreferenciado da voçoroca e de sua área de influência por meio de softwares de geoprocessamento e imagens de satélite.
- Analisar os principais fatores físicos e antrópicos associados ao desenvolvimento e avanço da voçoroca.
- Avaliar os impactos da voçoroca sobre a infraestrutura urbana e a população local.
- Propor medidas técnicas para controle do avanço erosivo e recuperação da área degradada.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Contextualização histórica de Açailândia Maranhão

Com construção da rodovia Belém–Brasília (BR-010) em 1958 está estritamente voltada ao surgimento do município de Açailândia, quando grupos de imigrantes se adentraram na área no período a construção da estrada e durante esse tempo a região de Trecho-Seco foi o local onde foram construídos os primeiros habitações feitos de palha de açaí, pois esse material era de grande abundância nas proximidades do riacho que dando início assim as primeiras condições de trabalho, de acordo com registros históricos municipais a palha da palmeira deu origem ao nome Açailândia dando o marco inicial do povoamento da região (Açailândia, 2025).

Figura 01 - Cidade de Açailândia – MA.



Fonte: IPSEMA (2026)

As condições naturais favoráveis como a presença de água, solo fértil e abundância de madeira contribuíram para a fixação dos trabalhadores, e esses elementos ajudaram para que o núcleo inicial ainda ligado ao município de Imperatriz onde firmaram um espaço como zona estratégico para contribuir ao desenvolvimento à obra e nesse período também foi marcado pela presença de construtora Rodobrás, atualmente conhecido como Casa da Memória um dos principais marcos históricos do surgimento do município (Açailândia, 2025).

De acordo com informações do IBGE a região acolheu aproximadamente 1,2 mil trabalhadores envolvidos nas obras da BR-010 e isso que agravou o fluxo migratório e impulsionou o progresso local e foi na década de 1960 que a economia rural se

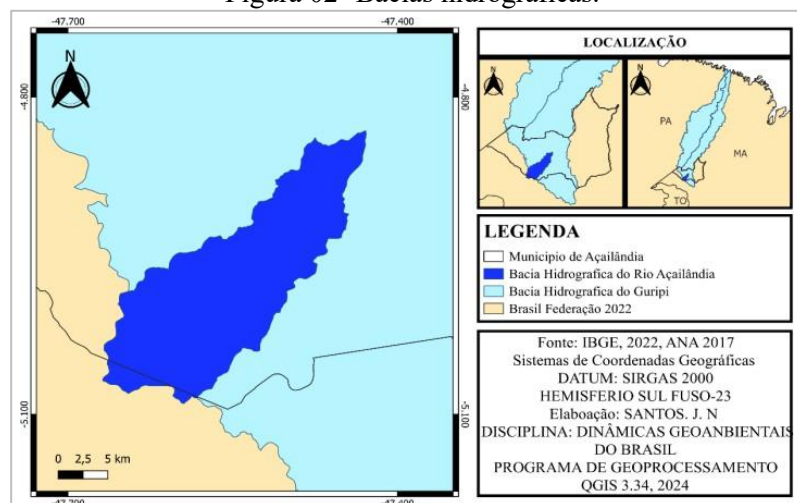
consolidou com o assentamento de famílias do Ceará na Colônia Gurupi, processo que fez de Açailândia um dos principais produtores de arroz, feijão com inúmeros alimentos ricos e básicos para a região do Maranhão além de impulsionar o crescimento da pecuária(Açailândia, 2025).

A emancipação política do município aconteceu em 1981, onde aconteceu a divisão de Imperatriz, com isso tiveram início uma nova era administrativos, na década seguinte a cidade experimentou um notável crescimento econômico, impulsionado pela expansão da indústria madeireira e pela chegada das primeiras empresas voltadas ao ramo siderurgico, com esses avanços foram facilitados pela construção da Estrada de Ferro Carajás e da Ferrovia Norte-Sul, que melhoraram a integração logística e industrial da área (IBGE, 2025).

Açailândia teve uma parte de seu território desmembrada para a formação dos municípios de São Francisco do Brejão e Itinga do Maranhão, e isso consolidou o processo de reorganização territorial e reafirmou sua relevância na dinâmica econômica e regional do Maranhão (IBGE, 2025).

O município de Açailândia está inserido em três bacias hidrográficas (Figura 02), com destaque para a bacia do rio Mearim, que ocupa a maior extensão territorial e apresenta maior contribuição para o escoamento superficial da região, no município, essa bacia abrange diferentes setores do território e é representada pelo afluente rio Pindaré e diversos cursos d'água secundários, desempenhando importante papel na dinâmica hídrica local (Prefeitura Municipal de Açailândia, 2017).

Figura 02- Bacias hidrográficas.



Fonte: ANA (2017).

A bacia do rio Gurupi é a de maior expressão territorial dentro de Açailândia e

tem conexão direta com a identidade do próprio município, o rio Gurupi forma a fronteira natural entre os estados do Maranhão e do Pará, tendo suas nascentes nas serras que separam sua bacia da bacia do rio Tocantins ao sul, e desaguardo no Oceano Atlântico. A Serra do Tiracambu situa-se a leste, separando a bacia do Gurupi da bacia do rio Pindaré. A drenagem maranhense, incluindo o rio Gurupi, realiza-se predominantemente no sentido sul-norte, por meio de rios independentes que se dirigem para o Atlântico (Prefeitura Municipal de Açailândia, 2017).

O rio Pindaré delimita o território de Açailândia a leste e representa um dos principais sistemas hídricos do Maranhão, o rio Mearim tem como principais afluentes o rio Pindaré e o rio Grajaú, que deságua no rio Mearim a cerca de 20 km da sua foz. O município de Açailândia é parcialmente drenado pela bacia hidrográfica do rio Pindaré, que juntamente com os rios Munim, Itapecuru e Mearim constitui um conjunto de bacias que deságua no Golfão Maranhense, drenando uma área de aproximadamente 44.250 km². As nascentes do Pindaré localizam-se na Serra do Gurupi, em cotas acima de 300 m de altitude, percorrendo aproximadamente 436 km até desaguar no rio Mearim. Dentre os afluentes originários de Açailândia destacam-se os rios Ararandeuá, Tucamandui e Azul, e os córregos Três Lagoas, Boa Sorte, Brejão, Pequiá e Macaúba (Prefeitura Municipal de Açailândia, 2017).

A bacia do rio Capim ocupa a porção oeste do município de Açailândia e, embora seja a de menor expressão local, integra um dos sistemas fluviais mais extensos da região Norte do Brasil. A Bacia do Rio Capim é uma das microbacias da Região Hidrográfica Costa Atlântica Nordeste, com área total de 37.485,75 km², dividida em 25 sub-bacias, banhando municípios do Estado do Pará que corresponde a 95,22% da bacia e do Maranhão, onde Açailândia, Cidelândia e Vila dos Marítimos respondem por 4,78% da área total. Na porção de Açailândia pertencente à bacia do rio Capim, o principal curso d'água permanente é o rio Ararandeuá (Prefeitura Municipal de Açailândia, 2017).

A sazonalidade climática em Açailândia configura dois períodos bem definidos: uma estação chuvosa concentrada entre novembro e abril, com intensidade máxima nos meses de fevereiro a março, e uma estação seca pronunciada entre junho e setembro. Essa concentração temporal das chuvas é um fator condicionante crítico para os processos erosivos, pois eventos de alta intensidade sobre solos com baixa cobertura vegetal comuns em áreas de pastagem degradada elevam significativamente o potencial de saturação hídrica e geração de escoamento superficial (Bertoni e Lombardi

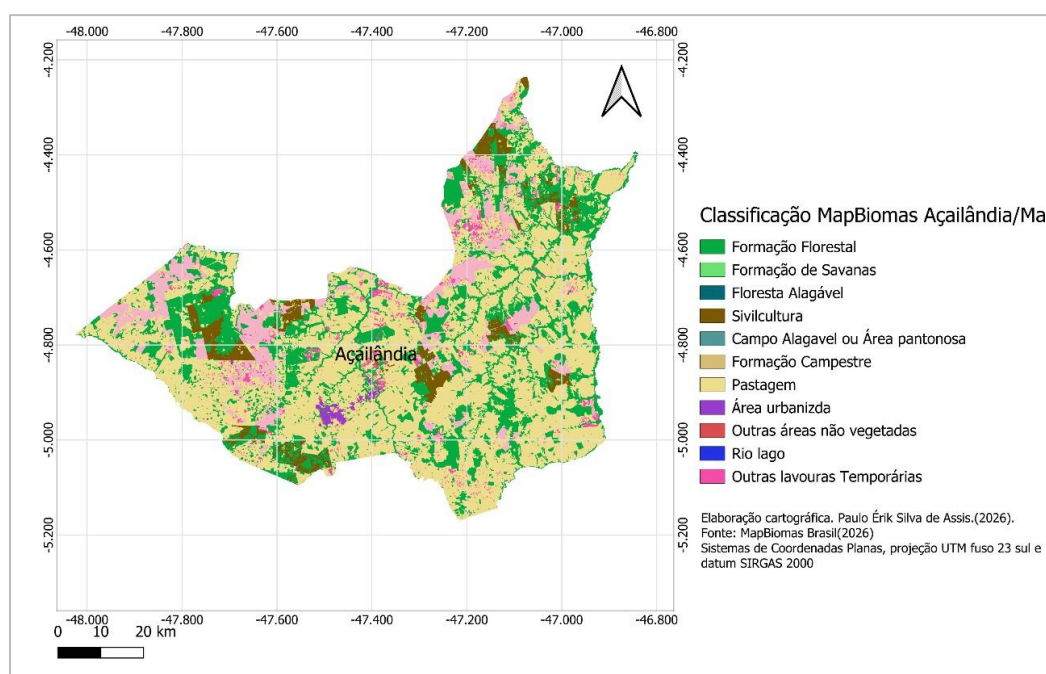
Neto, 2012).

As águas superficiais do município sofrem impactos associados ao lançamento de esgotos domésticos, efluentes industriais, atividades agrícolas e disposição inadequada de resíduos sólidos, comprometendo a qualidade ambiental das bacias hidrográficas (Prefeitura Municipal de Açaílândia, 2017).

Além disso, Açaílândia apresenta deficiências relacionadas ao saneamento básico, especialmente nos sistemas de abastecimento de água, esgotamento sanitário, drenagem urbana e manejo de resíduos sólidos, fatores que contribuem para o agravamento de problemas ambientais e urbanos no município (Prefeitura Municipal de Açaílândia, 2017).

Conforme (Almeida *et al.*, 2024) intensa transformação da paisagem no município de Açaílândia esteve diretamente associada ao avanço das atividades agropecuárias, industriais e da silvicultura, fatores que contribuíram significativamente para redução da cobertura vegetal nativa ao longo das últimas décadas. De acordo com Almeida *et al.* (2024), as áreas de formação florestal reduziram de 3.021,40 km² em 1990 para 1.423,58 km² em 2020, enquanto as áreas de pastagem passaram de 2.766,96 km² para 3.779,79 km² no mesmo período, evidenciando substituição progressiva da vegetação natural por atividades antrópicas(Figura 03).

Figura 03- Biomas Açaílândia/Ma.



Fonte: Autor (2026).

A análise do dashboard de risco geológico do Serviço Geológico do Brasil identificou que o município de Açailândia-MA (Figura 04) possui sete áreas classificadas como áreas de risco, sendo cinco enquadradas como risco muito alto e duas como risco alto, envolvendo aproximadamente 1.088 pessoas e 373 domicílios em áreas suscetíveis a processos erosivos e instabilidades geotécnicas (SGB, 2022).

Figura 04- Dashboard da área de risco.



Fonte: SGB (2022).

Para o levantamento dos dados referentes às áreas de risco geológico no município de Açailândia (MA), foram consultadas as informações disponíveis na plataforma digital de Mapeamento de Áreas de Risco do Serviço Geológico do Brasil e Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (SGB/CPRM), (SGB, 2022). O sistema reúne informações sobre áreas com alto risco e muito alto risco de processos geológicos como deslizamentos de terra, inundações, enxurradas e erosões em mais de 1.600 municípios brasileiros, constituindo uma base de dados utilizada por gestores públicos, defesas civis, comunidade acadêmica e pesquisadores (SGB, 2022).

A plataforma funciona como um visualizador de mapa online, contendo todos os levantamentos realizados pelo SGB desde 2012, com atualizações periódicas que refletem a dinâmica das condições de risco nos municípios mapeados (SGB, 2022). Os estudos são denominados Cartografias de Risco Geológico e informam a localização das edificações com potencial de sofrer danos causados por processos geológicos, classificando os setores como de risco alto ou muito alto (SGB, 2022).

Os documentos indicam também a quantidade aproximada de pessoas e domicílios nesses locais, além de recomendações de medidas estruturais e não estruturais para erradicação ou redução dos riscos. As publicações integram o Plano Plurianual 2024–2027 do Governo Federal, e já foram produzidas Cartografias de Áreas de Risco para mais de 1.700 municípios, beneficiando aproximadamente 92 milhões de pessoas (SGB, 2022).

Os dados obtidos para Açailândia indicaram a existência de 2 áreas de risco alto, com 1.088 pessoas em situação de risco e 373 domicílios em risco segundo o Censo de 2022, conforme identificado na plataforma. Dentre os processos mapeados, predominam as erosões (71,43% das ocorrências), seguidas pelas inundações (28,57%), totalizando 4 setores de erosão e 1 setor de inundação mapeados na área urbana do município (SGB/CPRM, 2022), esses dados foram capturados por meio de consulta direta ao sistema online e registrados em imagem para fins de documentação e análise neste trabalho.

3.2 Processos de Erosão Hídrica e Desenvolvimento de Voçorocas

Nas metrópoles e periurbanas afetadas pela expansão descontrolada a criação e desenvolvimento de voçorocas é incentivada pela junção de elementos naturais como alta intensidade de chuvas, solos residuais com baixa coesão e declives acentuados e elementos humanos ligados ao uso impróprio do solo e a remoção da vegetação, o tráfego de veículos, a abertura de caminhos e a falta de sistemas de drenagem eficazes que elevam a vulnerabilidade do solo ao escoamento superficial Costa (2004).

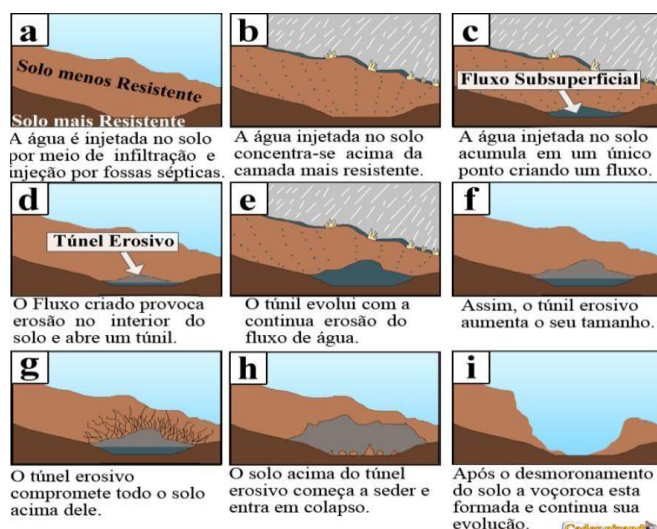
Conforme Alves *et al.*, (2024) esse processo se inicia com a erosão pela remoção das partículas mais finas do solo e, por consequência evolui para os chamados sulcos, ravinas, e em locais onde o solo está exposto com as chuvas fortes esse escoamento vai ganhando energia, ou seja força suficiente para criar caminhos profundos no solo, com esse surgimento de solicitações com o solo ela aumenta de forma bem expressiva, e através do tempo o seu comprimento desenvolve, e por fim inicia-se os primeiros indícios erosivos

Os fenômenos erosivos lineares constituem uma das formas mais graves de degradação do solo, começando com a remoção superficial de partículas em processos laminares e progredindo para a formação de sulcos e ravinas à medida que o escoamento superficial se intensifica e amplia sua capacidade de desagregação, com

isso o aparecimento das voçorocas surge quando o rompimento dos canais atinge camadas superficiais e a água começa a atuar também através do lençol freático, essa formação é marcada pela grande instabilidade das paredes do solo e pelo rápido avanço do seu desenvolvimento como exemplo Costa (2004) indicado na figura 05.

[...] registaram-se em áreas onde não tinham sido implantadas medidas de conservação dos solos, em vertentes extensas, com declive acentuado e onde era fácil a concentração da drenagem. Salientou-se que a sulcagem era mais frequente que o ravinamento, dado que este se confinava a canais que se reactivam em chuvadas sucessivas (Costa, 2004).

Figura 05 – Surgimentos de voçorocas



Fonte: Cadernizando (2017)

Conforme Moraes (2018), o risco desse tipo de erosão está associado a elementos em aspectos geológicos como, a inclinação e aspectos relacionados a precipitação que causam modificações diretamente na habilidade do solo em resistir ao escoamento concentrado, e a ausência de vegetação juntamente com o tratamento inadequado do solo e a sua ocupação sem práticas conservacionistas.

Com isso contribuem para o aprofundamento dos canais erosivos, potenciando a produção de sedimentos, favorecendo o assoreamento de drenagens e reduzindo a produtividade do solo portanto, é essencial identificar precocemente as áreas propensas e planejar o uso do solo para evitar a propagação dessas características erosivas (Alves *et al.*, 2024).

Figura 06 – Surgimento Laminar

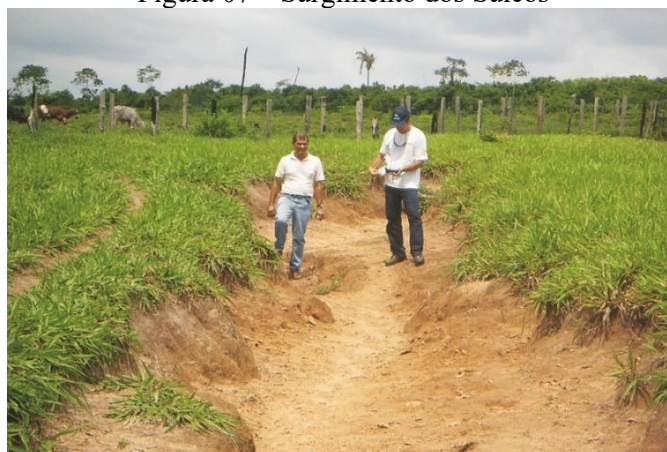


Fonte: Almeida (2021)

A erosão laminar (Figura 06) corresponde à remoção uniforme e progressiva das partículas superficiais do solo pela ação do escoamento difuso das águas pluviais, constituindo um dos estágios iniciais dos processos erosivos hídricos, e esse processo caracteriza-se pela desagregação e deslocamento superficial do material sem a formação de sulcos definidos (Pinese *et al.*, 2008). Seus principais impactos incluem a perda da camada fértil do solo, redução da infiltração de água, assoreamento de corpos hídricos e intensificação de processos erosivos mais avançados (Pinese *et al.*, 2008).

Estudos baseados na aplicação da Equação Universal de Perda de Solo (USLE) demonstram que fatores topográficos exercem forte influência sobre a estimativa das perdas de solo, sobretudo em terrenos inclinados e submetidos ao uso inadequado do solo (Carvalho *et al.*, 2019).

Figura 07 – Surgimento dos Sulcos



Fonte: Silva (2006)

Segundo Miranda (2019) a erosão em sulcos (Figura 07) constitui-se na segunda fase evolutiva do processo físico da erosão hídrica do solo, que é marcada pela mudança

da forma do escoamento a figura 06 demonstra, e isso porque aparentemente destruir o solo em etapas organizadas era uma necessidade da natureza e da ocupação humana mal planejada.

Já as ravinas (Figura 08) são formadas pelo aumento progressivo das dimensões dos sulcos erosivos em decorrência da ação contínua do escoamento superficial, que intensifica o desgaste do solo por meio da força cisalhante da água, diferentemente das voçorocas, nas ravinas ocorre apenas o escoamento superficial, apresentando comportamento hidráulico semelhante ao observado nos sulcos de erosão (Lafayette *et al.*, 2011).

Esse processo tende a ser ainda mais acelerado em locais onde a cobertura vegetal foi removida, o solo permanece exposto e inexistem estruturas capazes de disciplinar o escoamento das águas pluviais, permitindo que a energia da água atue continuamente sobre a superfície do terreno (Lafayette *et al.*, 2011)

Figura 08 – Erosão em ravinas



Fonte: Vecteezy (2026)

Conforme Coelho *et al.*, (2023), ampliando os impactos ambientais e comprometendo a estabilidade do relevo da paisagem, quando não há intervenções de controle e as condições favoráveis ao avanço erosivo permanecem atuantes, as ravinas podem evoluir para voçorocas, caracterizadas por dimensões mais expressivas, maior complexidade geomorfológica e elevado potencial de degradação ambiental, tornando sua recuperação significativamente mais difícil e onerosa.

Com isso a medida que o escoamento superficial permanece concentrado sobre um mesmo trajeto ao longo do tempo, ocorre o aprofundamento gradual dos canais erosivos e o aumento de suas dimensões laterais, intensificando a remoção de partículas do solo e favorecendo a instabilidade das áreas adjacentes (Miranda, 2019).

As voçorocas são consideradas feições erosivas lineares de grande dimensão, originadas principalmente pela ação concentrada do escoamento hídrico sobre o terreno, e esse processo erosivo ocorre com maior frequência em regiões tropicais úmidas e subúmidas, podendo provocar alterações significativas na dinâmica ambiental, como o desvio de cursos d'água, o assoreamento de fundos de vale e a degradação de áreas úmidas (Coelho *et al.*, 2023). Além disso, as voçorocas impactam diretamente os solos, a cobertura vegetal e diversos ecossistemas, comprometendo inclusive a qualidade da água e os habitats da fauna aquática (Coelho *et al.*, 2023) Figura 09.

Figura 09 – Voçoroca em Açailândia/Ma.

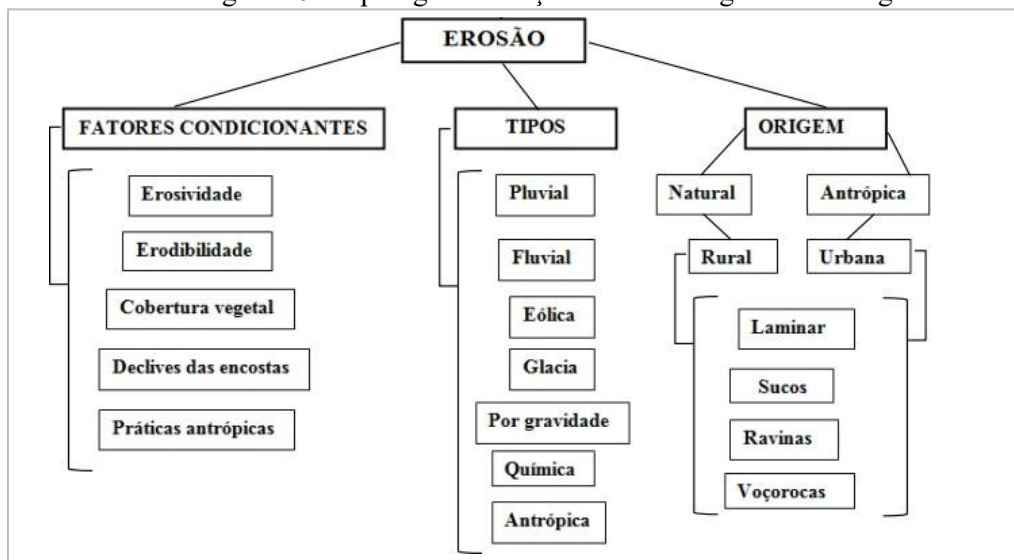


Fonte: Autor (2026)

3.3 Efeitos Ambientais, Urbanos e Sociais Associados às Voçorocas

As voçorocas constituem feições erosivas lineares associadas à atuação conjunta de processos naturais e intervenções antrópicas, resultando em impactos ambientais, econômicos e sociais significativos, a presença de voçorocas intensifica riscos geomorfológicos e amplia problemas relacionados ao manejo inadequado do território pois evidencia a necessidade de estudos voltados à compreensão de sua gênese, evolução e controle (Rodrigues, 2023), a figura 10 demonstra a destruição.

Figura 10 - Tipologias de feições erosivas segundo sua origem.



Fonte: Miranda (2019)

De modo geral, Brandão *et al.*, (2017) denota que o crescimento urbano desordenado é caracterizado pela remoção da vegetação nativa com a abertura de lotes e ruas e impermeabilização do solo com isso agrava processos erosivos como ravinas, e destaca que a urbanização inadequada é um fator significativo para a formação de voçorocas em áreas urbanas, e além disso fica evidente que solos de textura média e rochas subjacentes frágeis, como xistos e gnaisses, tornam-se mais propensos à erosão quando há intervenção humana.

Isso mostra a magnitude do estudo previo de um planejamento capaz de adequar para o uso e a ocupação do solo esses processos acarretam efeitos ambientais, como perda das primeiras camadas do solo e instabilidade do relevo, além de impactos sociais, como riscos às moradias, deterioração da paisagem e maior vulnerabilidade das comunidades próximas a regiões propensas à erosão (Costa, 2004.).

3.4 Órgãos de gestão ambiental e monitoramento de áreas degradadas

O controle de processos erosivos urbanos depende da atuação integrada de órgãos ambientais e de planejamento como IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis), com isso o IBAMA é responsável pelo licenciamento ambiental de empreendimentos de competência federal, especialmente aqueles relacionados à infraestrutura, recursos hídricos, atividades minerárias e grandes obras que possam gerar impactos significativos ao meio ambiente (IBAMA, 2024).

Além disso a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA)

desempenha papel fundamental na gestão dos recursos hídricos no Brasil, sendo responsável pela implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e pela regulação do uso das águas em âmbito federal(ANA, 2020).

A instituição atua no monitoramento hidrológico, na segurança de barragens e no desenvolvimento de normas voltadas ao saneamento básico, contribuindo para a prevenção de impactos ambientais associados ao escoamento superficial, enchentes e processos erosivos, a agência produz e disponibiliza informações técnicas essenciais para o planejamento territorial e para a gestão ambiental sustentável, auxiliando no controle de áreas suscetíveis à degradação ambiental (ANA, 2020).

A Agência tem como missão garantir a segurança hídrica para o desenvolvimento sustentável no país e atua:

- “Na articulação com setores e esferas de governo;”
- “Na produção e disseminação de informações e conhecimentos;”
- e • “No estabelecimento de normas que visam garantir o direito ao uso da água, minimizar os efeitos de eventos críticos (secas e inundações), a prestação de serviço de adução de água bruta, garantir a segurança de barragens e dar referência para a regulação dos serviços públicos de saneamento básico (ANA, 2020).”

Além disso, a Lei Complementar nº 140/2011 definiu as competências da União, estados e municípios nos processos de fiscalização e licenciamento ambiental, enquanto o Decreto nº 8.437/2015 estabeleceu os critérios para os empreendimentos sujeitos ao licenciamento ambiental federal conduzido pelo IBAMA, essas legislações possuem papel fundamental no planejamento territorial e no controle de impactos ambientais causados por atividades potencialmente degradadoras (IBAMA, 2024).

Com isso o Serviço Geológico do Brasil(SGB), anteriormente denominada Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, é a instituição federal responsável pela produção de estudos geológicos, hidrológicos e geotécnicos no Brasil, o órgão atua no monitoramento de áreas suscetíveis a processos erosivos, movimentos de massa e demais riscos ambientais, fornecendo informações técnicas fundamentais para o planejamento territorial e a gestão ambiental(SGB, 2025).

Além disso, o Serviço Geológico do Brasil desenvolve levantamentos relacionados à caracterização do solo, recursos hídricos e vulnerabilidades geológicas,

contribuindo para a prevenção de desastres naturais e para o controle da degradação ambiental em áreas urbanas e rurais (SGB, 2025)

Conforme a CPRM (2026), o avanço de processos erosivos em áreas urbanas está diretamente relacionado à ocupação inadequada do solo, à ausência de planejamento territorial e à deficiência da infraestrutura urbana, especialmente dos sistemas de drenagem pluvial. Segundo o órgão, a expansão urbana desordenada em áreas suscetíveis à instabilidade geomorfológica favorece a concentração do escoamento superficial, intensificando processos de desagregação do solo, erosão linear e formação de voçorocas, o órgão também ressalta que a ausência de controle sobre parcelamentos urbanos, retirada da cobertura vegetal e ocupação de áreas ambientalmente.

Nesse contexto, a CPRM (2026) destaca que a utilização da Carta de Aptidão à Urbanização constitui um importante instrumento técnico para prevenção de riscos geológicos e ordenamento territorial, pois permite identificar áreas inadequadas para ocupação urbana, além de subsidiar o planejamento de obras de infraestrutura e drenagem compatíveis com as características físicas do terreno.

De acordo com a CPRM (2026), a classificação do grau de risco é definida a partir da identificação de características observadas em campo, variando entre risco baixo (R1) e risco muito alto (R4), entretanto apenas os setores classificados como risco alto (R3) e muito alto (R4) são efetivamente mapeados em campo, devido ao maior potencial de ocorrência de eventos destrutivos e impactos à população e à infraestrutura urbana a figura mostra de forma adaptativa o uso da base de classificação(Figura 10).

Figura 11 – Resumo de riscos CPRM.

ASPECTOS DE ANÁLISE	R1 (BAIXO)	R2 (MÉDIO)	R3 (ALTO)	R4 (MUITO ALTO)
Condicionantes	Baixo ou nenhum	Média Potencialidade	Alta Potencialidade	Muito Alta Potencialidade
Nível de Intervenção antrópica	Baixo ou nenhum	Incipiente ou média	Alta	Muito Alta
Sinais de Instabilidade	Nenhum	Estágio Inicial	Bem significativos, porém é possível monitorar	Estágio Avançado impossível monitorar
Magnitude do Dano, considerando a densidade de ocupação	Baixo, ou improvável	Reduzida, porém possível	Alta e com grande concentração de população	Muito alta, com grande concentração de população
Tempo estimado para desastre (Estação Chuvosa)	> 1 ano	1 ano	1 ano	< 1 ano

Fonte: CPRM (2026).

A comunicação de informações técnicas relacionadas à gestão de riscos e desastres ambientais constitui um dos principais desafios enfrentados pelos profissionais das geociências e pelos órgãos de Defesa Civil, principalmente em áreas suscetíveis a processos erosivos e demais instabilidades geotécnicas, onde a compreensão das informações pela população torna-se fundamental para redução da vulnerabilidade social e prevenção de desastres (Menezes *et al.*, 2021).

Segundo Menezes *et al.* (2021), a comunicação de risco deve estar associada não apenas à transmissão de dados técnicos, mas também à forma como essas informações são interpretadas e assimiladas pela sociedade, sendo considerada um importante instrumento preventivo dentro da gestão de riscos ambientais.

Os autores destacam ainda que a atuação da Defesa Civil ocorre predominantemente nas fases de prevenção e resposta aos desastres, havendo limitações quanto às ações voltadas à preparação da população para situações de risco. Além disso, o estudo evidencia a importância da utilização de ferramentas tecnológicas, como mapas de risco disponibilizados em plataformas digitais e aplicativos colaborativos, visando ampliar o acesso às informações e fortalecer a comunicação entre poder público e comunidade (Menezes *et al.*, 2021).

3.5 Sistemas de Microdrenagem e Macrodrenagem Urbana

O sistema de drenagem urbana pode ser compreendido como o conjunto de infraestruturas existentes em uma cidade destinadas à coleta, ao transporte e ao lançamento final das águas superficiais provenientes das precipitações pluviométricas, constituindo-se em elemento essencial do saneamento ambiental (Oliveira, 2018).

A microdrenagem (Figura 12) compreende o sistema de condutos pluviais em lotes urbanos e redes primárias, destinado a receber e conduzir as águas das chuvas provenientes de construções, lotes, ruas e praças até o sistema de macrodrenagem (Nicolau *et al.*, 2022). Em uma área urbana, a microdrenagem é essencialmente definida pelo traçado das ruas e seus principais elementos são, sarjetas, meios-fios, bocas de lobo, poços de visita, condutos forçados, galerias e sarjetões (Nicolau *et al.*, 2022).

A eficiência dos sistemas de drenagem pluvial depende da capacidade hidráulica das estruturas de condução, uma vez que o subdimensionamento ou a ausência desses

dispositivos favorece a concentração do escoamento superficial e intensifica processos erosivos em áreas urbanizadas (Campos *et al.*, 2015).

A macrodrenagem urbana exerce papel fundamental no controle do escoamento superficial em áreas urbanizadas, contribuindo para redução de enchentes, transporte de sedimentos e processos erosivos associados à concentração das águas pluviais (Ribeiro, 2025).

Segundo Birgani e Azdandoost (2018), o planejamento da drenagem urbana deve considerar não apenas a capacidade hidráulica das estruturas, mas também critérios relacionados à sustentabilidade e à resiliência dos sistemas frente aos impactos provocados pela urbanização e pelos eventos hidrológicos extremos.

Figura 12 – Microdrenagem em perfil transversal.



Fonte: Diário online (2121).

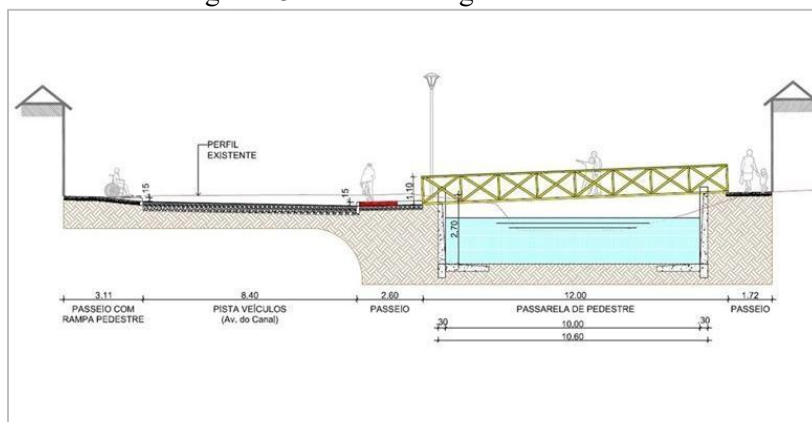
Na área de estudo, a ausência de uma microdrenagem eficiente contribuiu diretamente para a concentração do fluxo hídrico em determinados pontos do terreno, principalmente nas áreas de ruptura de declive (Nicolau *et al.*, 2022). Esse acúmulo e direcionamento inadequado da água intensificaram o desgaste da superfície e facilitaram a incisão do solo, criando condições favoráveis ao desenvolvimento e ao avanço da voçoroca (Souza, 2018). Assim, a microdrenagem, ou sua carência, não deve ser analisada apenas como um componente de infraestrutura urbana, mas como um fator determinante para a dinâmica erosiva observada no bairro Nova Açailândia II.

Conforme Souza (2018) a macrodrenagem urbana corresponde ao conjunto de estruturas responsáveis pela captação e condução de grandes volumes de águas pluviais, como canais, galerias e reservatórios de detenção, atuando na redução de picos de vazão e prevenção de inundações em áreas urbanas, onde a eficiência desses sistemas está

diretamente relacionada à análise adequada de parâmetros hidrológicos (Figura 13).

Nesse sentido já destaca Amaral *et al.*(2023), que a macrodrenagem é um complemento essencial à microdrenagem, lidando com fluxos que não são captados localmente e ajudando a prevenir erosão em áreas urbanas em crescimento descontrolado, e sempre buscando um equilíbrio entre segurança hídrica, eficiência econômica e um planejamento urbano integrado.

Figura 13 - Macrodrenagem Vitória-ES.



Fonte: Sedurb(2026).

A macrodrenagem é responsável por receber o escoamento disciplinado pela microdrenagem e conduzi-lo de forma segura até o corpo receptor final, seja ele um rio, lago ou represa (Souza, 2018). No Brasil, institucionalmente, a competência sobre a microdrenagem é atribuída aos municípios, ao passo que a macrodrenagem, por envolver bacias hidrográficas que frequentemente ultrapassam os limites municipais, demanda articulação com os governos estaduais e federal, o que frequentemente resulta em lacunas de planejamento e execução nas cidades de médio e pequeno porte (Oliveira, 2018).

Segundo Ribeiro *et al.*, (2025), os sistemas de macrodrenagem urbana são fundamentais para o controle das vazões geradas pelo escoamento superficial, contribuindo para redução de impactos associados a enchentes, erosão e degradação ambiental em áreas urbanizadas.

Dessa forma, a insuficiência da macrodrenagem não apenas compromete a eficiência do escoamento pluvial, mas também reforça a instabilidade geomorfológica da área, contribuindo para a expansão da feição erosiva já instalada(Abrhidro, 2017).

3.6 Síntese das variáveis climáticas de Açailândia-MA

De acordo com os dados da Figura 14 Açailândia/MA possui clima tropical do tipo Aw (savânico), com temperatura média anual de 25,9°C e precipitação média anual em torno de 1.334 mm, concentrada entre os meses de outubro e março (NUGEO/UEMA, 2016), esse regime pluviométrico é determinante para o desencadeamento dos processos erosivos, pois as voçorocas são mais comuns em áreas de expansão urbana recente, sobre uma litologia sedimentar frágil, associadas às fortes chuvas concentradas no período de janeiro a junho (NUGEO/UEMA, 2016).

Figura 14 -Variáveis climáticas do município de Açailândia-MA.

	Janeiro	Fevereiro	março	abril	maio	junho	Julho	Agosto	Setembro	outubro	Novem- bro	Dezembro
Temperatura média °C	24.6	24.3	24.4	24.5	25	25.7	26.6	27.5	28	27.9	26.9	25.6
Temp. mín. °C	22	21.9	21.9	22	21.9	21.5	21.6	22.1	23	23.5	23.2	22.6
Temperatura máx. °C	28.5	28.1	28.2	28.3	29	30.4	31.8	33.1	33.5	33	31.5	29.7
Precipitação / Chuva mm	257	268	306	215	110	18	13	5	18	46	105	175
Umidade(%)	86%	88%	88%	88%	83%	70%	58%	51%	56%	62%	71%	80%
Dias chuvosos (d)	20	19	21	18	11	3	2	1	2	6	11	16
Média de horas de sol (horas)	6.7	5.6	5.1	5.4	6.9	8.7	9.6	10.0	9.3	8.8	8.3	7.8

Fonte: ClimaTempo (2026).

Estudos realizados especificamente na Bacia do Córrego Pequiá, em Açailândia, evidenciam a gravidade do fenômeno onde o fator de erosividade médio calculado com base em 23 anos de dados de precipitação (1996–2018) foi de 7.941 MJ.mm.h⁻¹.ha⁻¹, sendo que as chuvas ocorridas no período chuvoso responderam por 95,09% do total da erosividade. Esse valor elevado demonstra que a chuva, além de volumosa, possui alta capacidade de desagregar e transportar partículas do solo, atuando como principal agente deflagrador das erosões urbanas (NUGEO/UEMA, 2016).

A intensidade e a duração das chuvas determinam diretamente a taxa de infiltração e o volume de escoamento superficial gerado. O excesso de precipitação que escoar para as áreas mais baixas do terreno é o principal mecanismo de formação de erosão laminar, que pode evoluir progressivamente para sulcos, ravinas e, nos estágios mais avançados, voçorocas (Tonello, 2023).

Já destaca Tucci(2012) Quando a taxa de precipitação supera a capacidade de infiltração do solo condição frequente durante os eventos de chuva intensa, o excedente escoar pela superfície com velocidade crescente, adquirindo energia suficiente para destacar e transportar partículas sólidas. A erosividade da chuva é a força dirigente dos agentes de erosão, responsável pela desagregação do solo por impacto direto das gotas

(splash) e pelo escoamento superficial gerado, sendo ambos os mecanismos fundamentais para a iniciação e o desenvolvimento dos processos erosivos (Miranda, 2019).

Com a expansão urbana desordenada de já destaca Tucci(2012) que Açaílândia-MA agrava o quadro erosivo ao promover a impermeabilização progressiva do solo, à urbanização tende a impermeabilizar o solo e a acelerar o escoamento por tubulações e canais, produzindo aumento da vazão máxima e da frequência de inundações, além de incremento da velocidade do escoamento, o que leva à erosão do solo e à geração de sedimentos no sistema.

Esse fenômeno é quantificável onde as simulações hidrológicas demonstram que para um aumento de 54% de área impermeável, a vazão de pico pode sofrer acréscimo de 59,40% em relação à vazão de pico anterior à urbanização, tornando necessário o uso de medidas alternativas para o controle das cheias (Miranda, 2019).

Em termos diretos, a impermeabilização do solo reduz a infiltração da água da chuva, aumentando o volume de escoamento superficial e causando acúmulo de água, erosão do solo, inundações e assoreamento de leitos de rios (Tonello, 2023).

3.7 A Equação Universal de Perda de Solo (USLE): Origem.

A Equação Universal de Perda de Solo (Equação 01) (USLE, do inglês *Universal Soil Loss Equation*) surgiu como resposta à crescente preocupação norte-americana com a degradação dos solos agrícolas nas décadas de 1930 e 1940, a USLE foi desenvolvida nos Estados Unidos com base em dados de erosão do solo coletados a partir da década de 1930 pelo Serviço de Conservação do Solo do Departamento de Agricultura dos EUA (USDA), sendo utilizada por décadas no planejamento conservacionista tanto no país de origem quanto em todo o mundo, tendo subsidiado programas multibilionários de conservação(Wischmeier, 1978).

Sua formulação matemática definitiva foi consolidada por Wischmeier e Smith em 1978, na publicação *Agriculture Handbook n. 537*, que se tornou referência mundial para estudos de erosão hídrica (Wischmeier, 1978), A USLE e suas derivadas figuram entre os modelos de erosão mais citados da literatura científica mundial, com revisões recentes apontando tanto as oportunidades quanto os desafios e limitações do uso do modelo no contexto atual da modelagem de erosão do solo.

Eq.01- Equação Universal de Perda de Solo (USLE)

$$A = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P$$

Fonte: (Lima *et al.*, 2018).

A = perda média anual de solo;

R = fator de erosividade da chuva;

K = fator de erodibilidade do solo;

LS = fator topográfico;

C = fator de cobertura e manejo do solo;

P = fator de práticas conservacionistas.

No Brasil, a aplicação da USLE ganhou ampla relevância devido à sua capacidade de estimar quantitativamente as perdas de solo em diferentes condições ambientais, tornando-se uma importante ferramenta para estudos de erosão, planejamento ambiental e conservação dos recursos naturais. Sua utilização tem sido frequente em pesquisas voltadas à identificação de áreas suscetíveis à degradação, avaliação de impactos do uso e ocupação do solo e definição de práticas conservacionistas, especialmente quando associada a técnicas de geoprocessamento e Sistemas de Informações Geográficas (SIG), que permitem representar espacialmente os fatores responsáveis pela intensificação dos processos erosivos (Bertoni e Lombardi Neto, 2012) e Silva *et al.*, (2017).

4.8 Estimativa da Perda de Solo pela Equação Universal (USLE)

A quantificação da perda de solo na área da voçoroca foi realizada por meio da Equação Universal de Perda de Solo (USLE), desenvolvida por Wischmeier e Smith (Lima *et al.*, 2018) e amplamente utilizada na literatura brasileira para avaliar o potencial erosivo de bacias hidrográficas e áreas urbanas degradadas. A equação integra cinco fatores que representam os principais condicionantes físicos e antrópicos do

processo erosivo hídrico, permitindo estimar a perda média anual de solo em toneladas por hectare por ano (Tabela 01).

Tabela 01: Equação Universal de Perda de Solo (USLE)

Fator	Descrição	Unidade	Valor adotado	Fonte
A	Perda média anual de solo	t/ha/ano	3.783,7 (R4f2 — solo exposto)	<i>Calculado — USLE</i>
R	Erosividade da chuva	MJ.mm.h ⁻¹ .ha ⁻¹ .ano ⁻¹	7.941	<i>Rizzo et al. (2023)</i>
K	Erodibilidade do solo	t.ha.h / ha.MJ.mm	0,0529 (R4f2) / 0,0424 (R2b1)	<i>Mannigel et al. (2002)</i>
LS	Fator topográfico (comprimento e declividade)	Adimensional	47,58	<i>MDE TOPODATA/INPE</i>
C	Uso e manejo do solo	Adimensional	0,1893 (solo exposto) / 0,000 (urbano)	<i>Rizzo et al. (2023)</i>
P	Práticas conservacionistas	Adimensional	1,0 (sem práticas)	<i>Rodrigues et al. (2017)</i>

Fonte: Autor (2026)

4.8.1 Fator R (Erosividade da Chuva)

O fator R representou a capacidade erosiva das chuvas sobre o solo, sendo calculado a partir da série histórica pluviométrica da região, para a área de estudo, foi adotado o valor obtido por Rizzo *et al.*, (2023) para a bacia da região do córrego do Pequiá em Açailândia–MA, utilizando 23 anos de dados da estação pluviométrica de Açailândia (código 447004) da Agência Nacional de Águas (ANA), pela equação de Bertoni e Lombardi Neto (2012). O valor encontrado foi de $R = 7.941 \text{ MJ.mm.h}^{-1}.\text{ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, classificado como de erosividade forte, com 95,09% da erosividade concentrada no período chuvoso (novembro a abril), meses de janeiro a abril respondendo por 81,8% do total anual.

A adoção desse valor é metodologicamente justificada pela proximidade das áreas, pois as estações de Açailândia distam apenas 12,17 km do bairro Nova Açailândia II e pela inexistência de posto pluviométrico mais próximo com série histórica equivalente.

4.8.2 Fator K (Erodibilidade do Solo)

O fator K expressa a susceptibilidade intrínseca do solo à erosão hídrica, sendo determinado pelas propriedades físicas e químicas dos horizontes pedológicos, os valores foram obtidos por compilação bibliográfica de Mannigel *et al.*, (2002) e Moraes

e Sales (2017), conforme metodologia adotada por Rizzo *et al.* (2023) para os mesmos tipos de solo identificados na área de estudo para as duas unidades geomorfológicas presentes no polígono delimitado, foram adotados os seguintes valores:

Tabela 02 – Fator K para os solos predominantes na área de estudo.

Unidade	Solo (SiBCS)	Fator K (t.ha.h/ha.MJ.mm)
R2b1 — Baixos Platôs	Latossolo Amarelo Distrófico	0,0424
R4f2 — Vales Abertos	Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico	0,0529

Fonte: Autor (2026)

O Argissolo Vermelho-Amarelo, predominante na unidade R4f2 onde a voçoroca está instalada, apresenta o maior valor de K da série, indicando maior susceptibilidade à desagregação e ao transporte de partículas pelo escoamento superficial. Esse resultado é coerente com o gradiente textural abrupto entre os horizontes superficial e subsuperficial, que reduz a estabilidade dos agregados do solo sob impacto da chuva.

4.8.3 Fator LS (Comprimento e Grau de Declive)

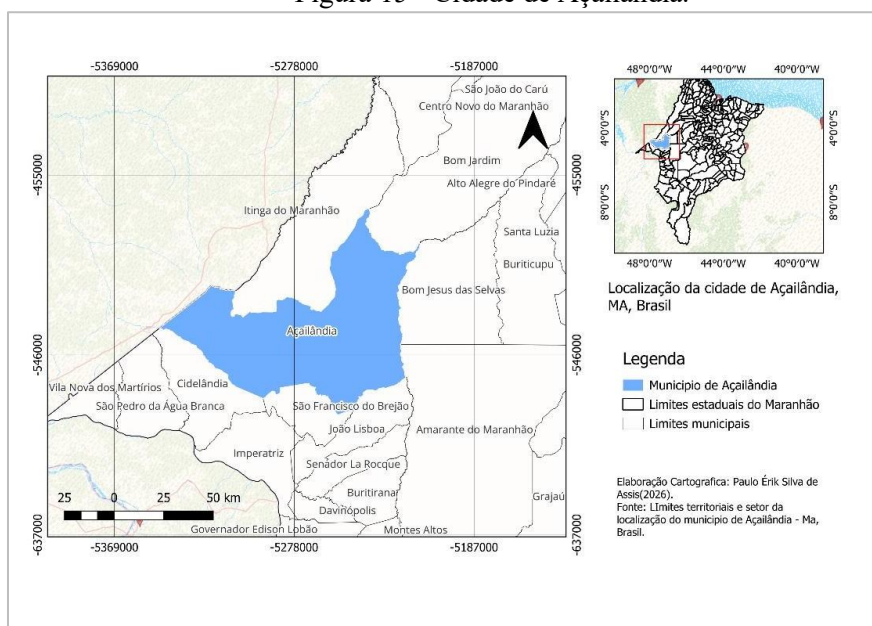
O fator topográfico LS, que integra o comprimento de rampa (L) e o grau de declive (S), foi calculado a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE) disponibilizado pelo projeto TOPODATA do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), com resolução espacial de 30 metros, cartas 04S48 e 05S48. O fator S foi calculado pela equação de McCool *et al.* (1987), e o fator L pelo método de Bertoni e Lombardi Neto (2012), conforme adotado por Rizzo *et al.* (2023).

4. METODOLOGIA

4.1 Local de estudo

O estudo de caso foi realizado no bairro Nova Açailândia II, situado no município de Açailândia, no Maranhão, localizada na mesorregião do Oeste Maranhense, Açailândia encontra-se na região Nordeste do Brasil, a uma altitude média de cerca de 240 metros acima do nível do mar (IBGE, 2025). O município abrange uma área de aproximadamente 5.805,159 km² (Figura 15), e conforme o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2025) a população registrada no censo de 2022 era de 106.550 habitantes, resultando em uma densidade populacional de 18,35 habitantes por km².

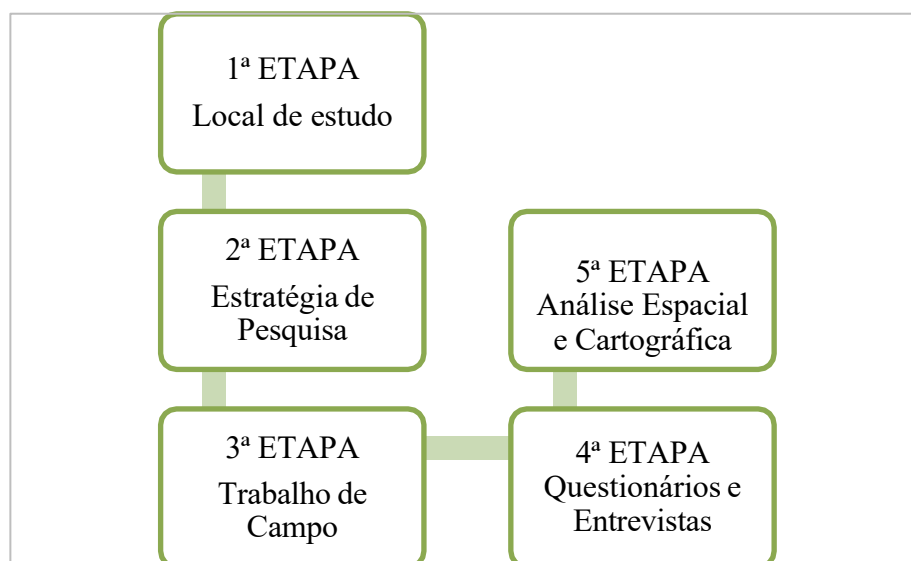
Figura 15 - Cidade de Açailândia.



Fonte: Autor(2026).

A área de estudo está localizada na entre a Avenida Radial Norte e Rua Tertuliano Sampaio, coordenadas (-4.932286°S, -47.495342°O) está inserida em uma região de crescimento urbano da cidade e nesta área a infraestrutura ainda está em desenvolvimento Juntamente com o acompanhamento do crescimento urbano nas periferias. Segundo a Classificação de Köppen (2025) e dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2025). O clima da região é classificado como tropical úmido, com precipitações concentradas no verão e um período seco no inverno, as temperaturas médias oscilam entre 26,8°C e a estação das chuvas vai de dezembro a maio, com uma média anual de precipitação em torno de 1.500 mm.

Figura 16- Fluxograma Metodológico



Fonte: Autor(2026)

O fluxograma metodológico (Figura 16) apresentado sintetizou as principais etapas desenvolvidas na pesquisa, organizando de forma sequencial os procedimentos adotados para a realização do estudo. Inicialmente, foi definida a área de estudo, seguida pela elaboração da estratégia de pesquisa e pela execução das atividades de campo.

4.2 Estratégia de pesquisa

A primeira fase da pesquisa constituiu-se na revisão da literatura e a coleta de documentos da Secretaria Municipal de Infraestrutura e Urbanismo da Prefeitura Municipal de Açailândia - MA, na qual foram escolhidos e examinados estudos, artigos e documentos que abordam os processos de erosão, impactos ambientais e sociais, bem como legislações relevantes.

Essa fase possibilitou o embasamento teórico do estudo, por meio da identificação de conceitos fundamentais, de variáveis significativas e de metodologias apropriadas para a coleta e a análise de dado, também incluiu a procura por documentos oficiais, mapas e registros institucionais de Açailândia - Maranhão para situar a área em questão, levando em consideração suas particularidades ambientais e as normas em vigor do projeto diretor da cidade essas informações auxiliaram na definição do cenário

da voçoroca, apoiando o planejamento das próximas etapas.

Segundo Kozenieski, Lindo e Souza (2021), o trabalho de campo é essencial para a produção do conhecimento geográfico, uma vez que promove a interação direta com os fenômenos estudados, garantindo maior consistência às análises e às interpretações da realidade.

O trabalho de campo envolveu visitas frequentes ao local para observar e documentar as propriedades físicas da voçoroca, incluindo dimensões, profundidade e extensão quando-se possível, foram realizadas medições para determinar os limites das áreas degradadas e avaliar a taxa de progressão da erosão, como também as análises do uso do solo e as condições ambientais circundantes, a fim de compreender a interação entre elementos naturais e humanos que contribuem para a intensificação do problema.

4.3 Questionários e entrevistas

Os questionários e entrevistas (Apêndice A) constituíram um importante instrumento metodológico na pesquisa científica, pois possibilitou a coleta sistematizada de informações sobre percepções e condições sociais dos participantes, permitindo análises que auxiliaram na compreensão da realidade estudada (Bastos *et al.*, 2023).

Para entender as percepções, conhecimentos e experiências dos moradores do Bairro Nova Açailândia 2 sobre a expansão da voçoroca, foi essencial realizar entrevistas e aplicar questionários estruturados para reunir dados quantitativos a respeito do impacto social, econômico e ambiental da erosão, bem como para registrar o grau de conscientização da comunidade em relação às causas e possíveis soluções.

Essas informações auxiliaram na compreensão dos impactos diretos e indiretos da voçoroca na vida das pessoas, abrangendo riscos à infraestrutura, saúde e qualidade de vida, ademais eles forneceram contribuições significativas para a análise integrada dos efeitos ambientais e sociais, reforçando a compreensão do contexto local.

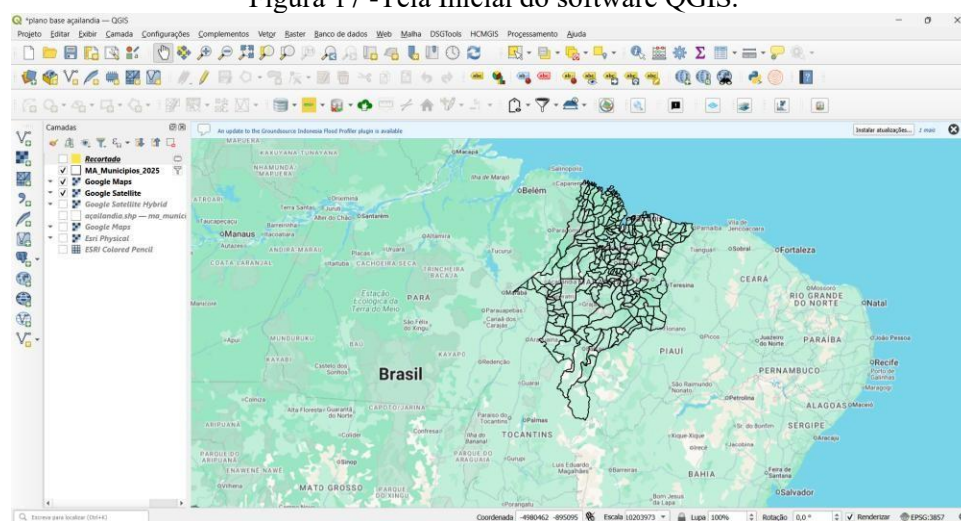
4.4 Análise espacial e cartográfica

A análise espacial constituiu uma abordagem fundamental nos estudos geográficos, pois permitiu compreender a distribuição, organização e dinâmica dos fenômenos no espaço, além de possibilitar a identificação de padrões e relações entre variáveis ambientais, físicas e territoriais, contribuindo significativamente para interpretação dos processos naturais e antrópicos presentes na paisagem (ROSA, 2011).

Nesse contexto, as técnicas de análise espacial associadas ao geoprocessamento tornaram-se importantes ferramentas para estudos ambientais, especialmente em pesquisas relacionadas ao monitoramento de áreas degradadas, expansão urbana e evolução de processos erosivos.

A análise cartográfica e espacial desenvolvida nesta pesquisa foi essencial para identificar a evolução linear da voçoroca no bairro Nova Açailândia II, bem como compreender sua distribuição territorial e os impactos causados nas áreas adjacentes. Por meio da utilização de imagens aéreas, fotografias de satélite e mapas temáticos elaborados em ambiente SIG, foi possível delimitar as áreas mais afetadas pela erosão, analisar a expansão da feição erosiva ao longo dos anos e identificar características relacionadas ao relevo, drenagem superficial e ocupação urbana da área estudada. Para isso, foram utilizados softwares de geoprocessamento, com destaque para o Quantum Geographical Information System (QGIS) representada pela figura 17 e imagens disponibilizadas pelo Google Earth/Google Maps, ferramentas que possibilitaram maior precisão na análise espacial e na representação cartográfica da voçoroca.

Figura 17 -Tela Inicial do software QGIS.



Fonte: QGIS DEVELOPMENT TEAM e Autor (2026).

4.5 A Equação Universal de Perda de Solo (USLE) aplicada à voçoroca do bairro Nova Açailândia II

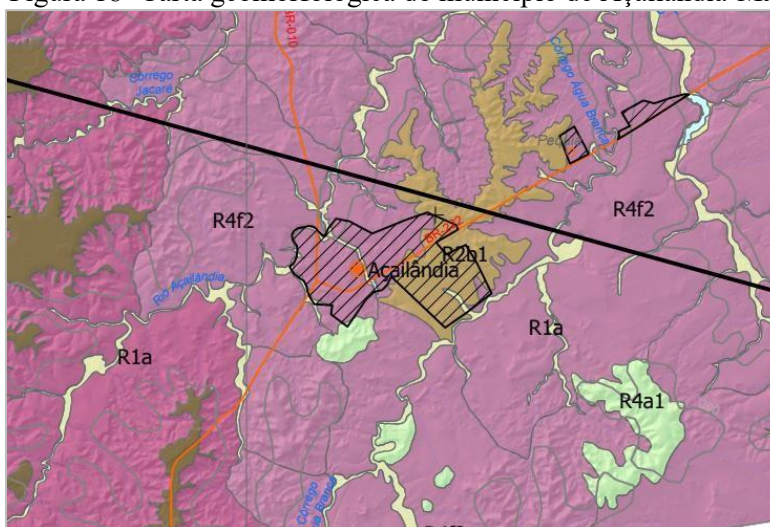
A Equação Universal de Perda de Solo (USLE) consistirá em um modelo empírico amplamente utilizado para estimar as perdas médias anuais de solo causadas pela erosão hídrica na região de Açailândia-MA no bairro Nova Açailândia II nas

proximidades da voçoroca, considerando a interação entre fatores climáticos, características do solo, relevo, cobertura vegetal e práticas conservacionistas. A equação permitirá avaliar o potencial erosivo de determinada área por meio da relação entre erosividade da chuva (R), erodibilidade do solo (K), fator topográfico (LS), uso e cobertura do solo (C) e práticas de manejo conservacionista (P), sendo amplamente aplicada em estudos ambientais e geotécnicos voltados ao planejamento e controle de processos erosivos (Lima *et al.*, 2018).

4.6 Fatores geomorfológicos associados ao desenvolvimento da voçoroca

O mapeamento geomorfológico da área tracejada foi realizado com base na classificação de padrões de relevo do Google Maps Pro e nos dados geológicos da Folha Açailândia SB.23-V-A (CPRM, 2024), tendo sido identificadas duas unidades predominantes: os Baixos Platôs (R2b1) e os Vales Abertos (R4f2), ambas foram assentadas sobre substrato da Formação Itapecuru (Cretáceo), constituído por arenitos e argilitos com cobertura detrito-laterítica. Essa associação entre substrato geológico, morfologia do terreno e uso do solo urbano configurou o conjunto de condicionantes físicos responsáveis pela evolução da feição erosiva.

Figura 18- Carta geomorfológica do município de Açailândia-Ma.



Fonte: Autor com auxílio a partir da Carta Geomorfológica de Açailândia-MA, CPRM (2024).

A unidade R2b1, correspondente à porção central e leste da área delimitada, caracterizou-se por superfícies tabulares com declividades entre 0 e 5%, sobre as quais se desenvolveram Latossolo Amarelo Distrófico e Plintossolo Pétrico Concrecionário. A

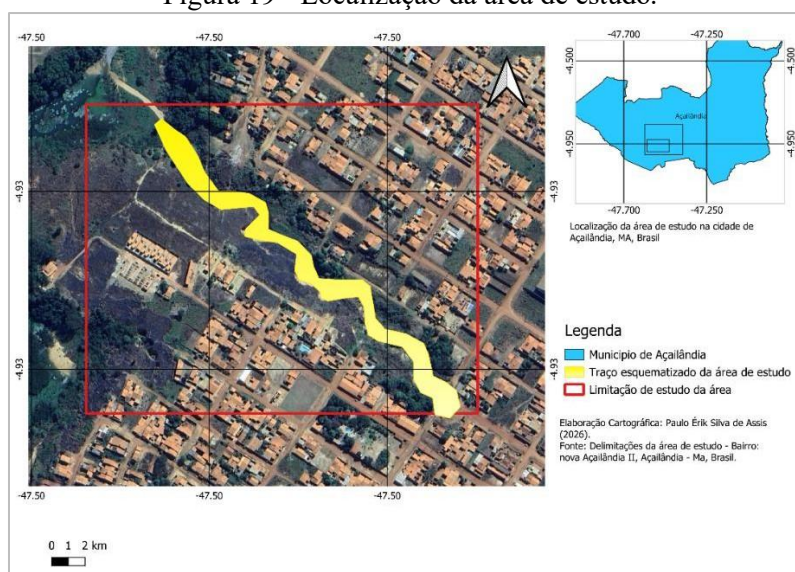
presença de plintita em subsuperfície constituiu camada de baixa permeabilidade onde tende a impedir a infiltração vertical das águas pluviais, direcionando o escoamento lateralmente em direção às bordas do platô.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Caracterização geológica e geomorfológica da área

A área de estudo apresenta elevada dinâmica erosiva associada à concentração do escoamento superficial e às condições morfológicas do terreno, fatores que contribuíram para o desenvolvimento e avanço progressivo da voçoroca ao longo do período analisado, evidenciando alterações significativas na configuração da feição erosiva e na estabilidade superficial da área. Inserida em ambiente urbano, a voçoroca encontra-se diretamente relacionada às modificações promovidas pela ocupação antrópica, interferindo na dinâmica hídrica local e intensificando processos de degradação do solo e instabilidade geomorfológica.

Figura 19 - Localização da área de estudo.



Fonte: Autor(2026).

A partir da análise das imagens subsequentes, verifica-se que o processo erosivo manteve um padrão contínuo de expansão, acompanhando as alterações ocorridas no entorno da área estudada, com aumento da ocupação urbana e a modificação das condições naturais de drenagem contribuíram para a intensificação do escoamento superficial, elevando o volume de água direcionado para o interior da voçoroca e favorecendo o aprofundamento dos canais erosivos. Esse comportamento evidencia a influência das intervenções antrópicas na dinâmica geomorfológica local, uma vez que a impermeabilização gradual do solo e a concentração dos fluxos pluviais tendem a acelerar os processos de degradação.

Além dos impactos sobre o relevo, a evolução da voçoroca representa um fator

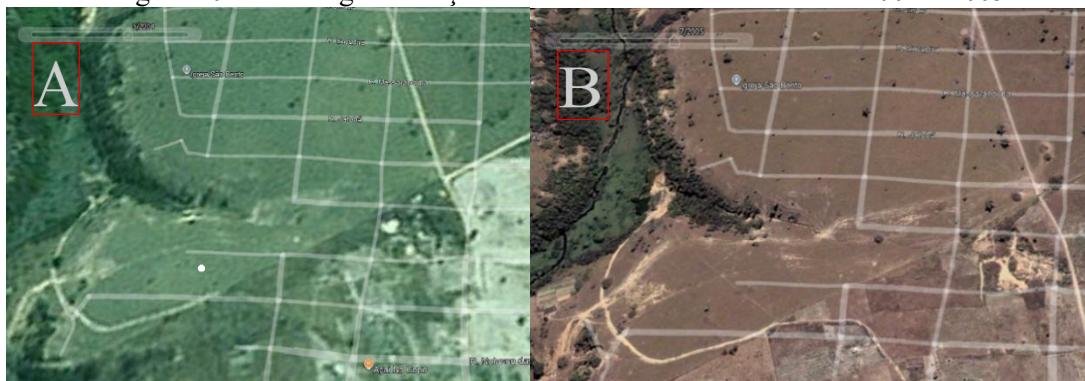
de preocupação para a estabilidade ambiental da bacia hidrográfica, considerando sua conexão direta com o córrego do Rio Açailândia, o transporte contínuo de sedimentos para o sistema de drenagem contribui para o assoreamento do curso d'água, reduzindo sua capacidade hidráulica e potencializando a ocorrência de problemas ambientais associados à alteração da dinâmica fluvial.

Dessa forma, a análise histórica da área permite compreender não apenas o crescimento da feição erosiva, mas também os reflexos desse processo sobre a paisagem urbana e os recursos hídricos locais.

Com base nisso, foram realizadas análises temporais e morfológicas da voçoroca entre os anos de 2004 e 2025, permitindo avaliar o comportamento evolutivo da feição erosiva por meio das alterações dimensionais, expansão longitudinal e mudanças na geometria superficial observadas ao longo do período monitorado, bem como identificar modificações associadas às intervenções antrópicas executadas na área.

Em 2004, a voçoroca apresentava aproximadamente 127m de extensão linear, largura inferior de 58,84m e superior de 13,37m, caracterizando uma feição erosiva ainda concentrada em um único setor da área, porém já demonstrando elevado potencial de expansão devido às dimensões observadas na base do canal erosivo e à configuração do relevo local (Figura 20.a).

Figura 20- Morfologia da voçoroca na área de estudo no ano de 2004 e 2005.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de imagens do Google Earth Pro (2026).

No ano de 2005 (Figura 20.b), apesar da manutenção da extensão linear da voçoroca de, observou-se aumento expressivo da largura inferior, atingindo aproximadamente 73,82m, evidenciando intensificação do alargamento lateral da feição erosiva e aumento da instabilidade nas margens do canal.

Em 2011 (Figura 21.a), a voçoroca apresentou avanço longitudinal significativo, alcançando aproximadamente 218,49m de extensão linear, acompanhado pelo aumento

das dimensões inferiores da feição erosiva, indicando maior desenvolvimento espacial do processo erosivo e intensificação da atuação do escoamento superficial concentrado.

Figura 21- Avanço longitudinal da voçoroca no ano de 2011 e 2014.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de imagens do Google Earth Pro(2026).

No ano de 2014(Figura 21.b), a feição erosiva atingiu aproximadamente 231,79m lineares, apresentando largura inferior de 74,7m, largura média de 9,8m e superior de 9,15m, demonstrando continuidade do avanço longitudinal e alterações progressivas na geometria superficial da voçoroca.

Em 2017 (Figura 22.a) a voçoroca alcançou aproximadamente 300,80m de extensão linear, configurando uma das fases de maior crescimento observadas até o período, além de apresentar aumento das dimensões médias da feição erosiva, evidenciando expansão significativa da área degradada.

Figura 22 -Expansão da feição erosiva no ano de 2017 e 2018.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de imagens do Google Earth Pro (2026).

No ano de 2018(Figura 22.b) observou-se continuidade superficial da voçoroca em diferentes segmentos da área, atingindo aproximadamente 291,06m lineares inicialmente e prolongando-se por mais 75,47m superficiais, atravessando trecho viário urbano e continuando por cerca de 100,65m adicionais, evidenciando elevada capacidade de propagação do processo erosivo sobre a área urbanizada.

Em 2019 (Figura 23.a) ocorreu uma das fases mais críticas da evolução erosiva, quando a voçoroca atingiu aproximadamente 486,16m de extensão linear, representando um dos maiores avanços registrados durante toda a série temporal analisada, além de apresentar alterações nas dimensões médias e superiores da feição erosiva.

Figura 23- Intensificação do avanço longitudinal da voçoroca em 2019 e 2020.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de imagens do Google Earth Pro (2026).

No ano de 2020 (Figura 23.b) a voçoroca manteve comportamento evolutivo ativo, alcançando aproximadamente 487,20m lineares e demonstrando continuidade da instabilidade geomorfológica da área, principalmente em relação às dimensões médias da feição erosiva.

Em 2021 (Figura 24.a) a voçoroca atingiu aproximadamente 497,92m de extensão linear, mantendo o avanço longitudinal observado nos anos anteriores, aonde nesse período foram executadas obras de drenagem utilizando parte do canal erosivo como deságue pluvial, promovendo alterações temporárias na geometria superficial da feição erosiva.

Figura 24- Intervenções de drenagem associadas à voçoroca no ano de 2021 e 2022.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de imagens do Google Earth Pro (2026).

No ano de 2022 (Figura 24.b) observou-se redução parcial da extensão linear da voçoroca para aproximadamente 455,66m, em decorrência das intervenções de aterro

realizadas pela gestão municipal de Açailândia, promovendo diminuição temporária das dimensões da feição erosiva em determinados setores da área.

Em 2023 (Figura 25.a) os registros demonstraram comprometimento parcial das áreas aterradas, evidenciado pelo aumento gradual das dimensões médias e inferiores da voçoroca, indicando retomada progressiva da dinâmica erosiva e aumento da instabilidade superficial na área estudada para 472m.

Figura 25- Reativação do processo erosivo na área aterrada em 2023 e 2024.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de imagens do Google Earth Pro (2026).

Em relação à profundidade da voçoroca, o laudo técnico de 2023 (Figura 25.a) feito pela Secretaria Municipal de Planejamento de Açailândia identificou altura média aproximada de 7,00 m, atingindo profundidade máxima estimada em 12,00 m em determinados trechos da feição erosiva.

Esses valores evidenciaram elevado grau de aprofundamento do processo erosivo, indicando intensificação dos mecanismos de remoção de material superficial e instabilidade das vertentes adjacentes.

A expressiva profundidade observada também sugeriu aumento da capacidade de concentração do escoamento superficial no interior da voçoroca, favorecendo processos contínuos de desagregação do solo, recuo das margens e ampliação vertical da feição erosiva ao longo da área urbana afetada.

A magnitude dessas profundidades é um indicativo da elevada energia envolvida no processo erosivo, uma vez que o aprofundamento progressivo da voçoroca reflete a atuação contínua do escoamento concentrado sobre materiais mais suscetíveis à erosão. Em ambientes urbanos, feições com essas dimensões passam a representar não apenas um problema ambiental, mas também um fator de risco à infraestrutura e às ocupações localizadas em suas proximidades, pois favorecem a ocorrência de desmoronamentos localizados, instabilidade dos taludes e ampliação da área diretamente afetada pela

erosão.

No ano de 2024(Figura 25.b) a voçoroca voltou a apresentar valores próximos a 500 m de extensão linear, atingindo aproximadamente 496,88m, além de aumento das dimensões superiores da feição erosiva, demonstrando continuidade do avanço morfológico e reativação do processo erosivo em diferentes setores da área.

Figura 26 - Estado morfológico de 2025.

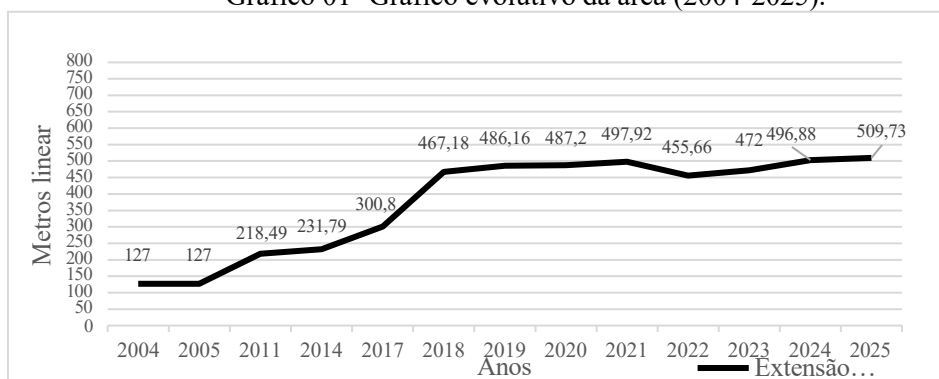


Fonte: Elaborado pelo autor a partir de imagens do Google Earth Pro (2026).

Em 2025 (Figura 26), os dados demonstraram permanência ativa da evolução erosiva, com aumento linear de aproximadamente 503,73m e ampliação das dimensões superiores para cerca de 14,77m, evidenciando continuidade dos processos de instabilidade geomorfológica e expansão progressiva da voçoroca na área de estudo.

A análise do gráfico 01 de evolução linear da voçoroca evidenciou tendência progressiva de crescimento da feição erosiva ao longo do período monitorado, demonstrando permanência ativa dos processos erosivos na área estudada, onde os dados indicaram comportamento evolutivo não linear, marcado por períodos de aceleração erosiva intercalados por intervalos de relativa estabilização e intervenções antrópicas.

Gráfico 01- Gráfico evolutivo da área (2004-2025).

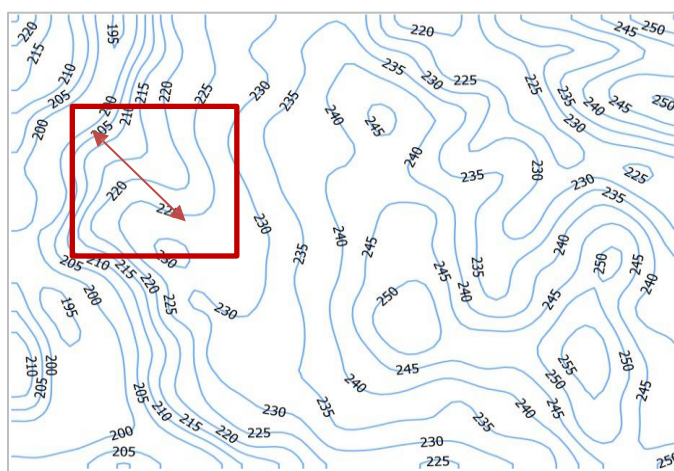


Fonte: Autor (2026).

Observou-se maior intensificação do avanço erosivo após 2017, período em que ocorreu crescimento expressivo da extensão linear da voçoroca, evidenciando aumento da instabilidade geomorfológica local e ampliação da área degradada, e em contrapartida, a redução registrada em 2022 esteve associada às intervenções de aterro executadas na área, embora os registros posteriores tenham demonstrado retomada gradual da evolução erosiva, indicando permanência da dinâmica de instabilidade superficial na área monitorada.

A figura 27 evidenciou que a declividade do terreno atuou como um dos principais condicionantes da dinâmica erosiva na área de estudo, uma vez que a inclinação do relevo favoreceu o escoamento superficial concentrado e o consequente desgaste da superfície. Observou-se que, no intervalo topográfico entre 205 m e 225 m de altitude, as curvas de nível indicaram maior aproximação entre si, o que revelou setores de maior inclinação e, portanto, mais suscetíveis à ação da água sobre o terreno. Essa condição contribuiu para a formação e o avanço da voçoroca identificada no bairro Nova Açailândia II, demonstrando que a configuração topográfica não apenas condicionou a perda de solo, mas também ampliou a suscetibilidade da área ao aprofundamento e ao alargamento da feição erosiva.

Figura 27: Plano Altimétrico na área de estudo.



Fonte: Base cartográfica elaborada no QGIS com suporte do Google Maps (2026).

Com essas condições relacionou-se diretamente com o adensamento das curvas de nível observado na análise hipsométrica e com a concentração do fluxo nos setores de maior declividade, onde a borda oeste e noroeste do polígono, onde foi localizada a

voçoroca, predominou a unidade R4f2 denominados Vales Abertos, com declividades entre 10 e 25%, solos do tipo Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico e Cambissolo Háplico.

O gradiente textural abrupto entre o horizonte arenoso superficial e o horizonte argiloso subsuperficial do Argissolo representou o principal fator pedológico de susceptibilidade(Figura 28), favorecendo a erosão subsuperficial por *piping* mecanismo que promoveu o aprofundamento interno da feição e o colapso progressivo das bordas.

Figura 28 - Tabela da carta geomorfológica Açailândia–MA(2024).

Padrão Relevo	Foto Ilustrativa	Características Predominantes	Amplitude (m)	Declividade Graus	Declividade %
R2b1 Baixos Platôs		Superfícies ligeiramente mais elevadas que os terrenos adjacentes, pouco dissecadas em formas tabulares. Sistema de drenagem principal com fraco entalhamento, resultantes de dissecação fluvial recente em rochas sedimentares litificadas.	2 a 20 m	0-3°	0-5%
R4f2 Vales Abertos		Relevo acidentado, com predomínio de vertentes de gradientes elevados e amplos fundos de vales com relevo mais suave, ocupados por rampas e colinas em cotas mais baixas. Sistema de drenagem principal ajustado ao nível de base local apresentando um franco processo de recuo de vertentes e alargamento do vale. Trata-se de um processo de evolução geomorfológica elaborado a partir de um vale encaixado.	> 50 m	10-25°	18-47%

Fonte: CPRM (2024).

A interação entre as duas unidades no contato R2b1/R4f2 constituiu, portanto, o condicionante geomorfológico central da voçoroca em estudo, onde o platô urbanizado concentrou e direcionou o escoamento, enquanto as vertentes com solos de alta erodibilidade receberam esse fluxo com energia suficiente para deflagrar e sustentar o processo erosivo linear, conforme sintetizado na Tabela 3.

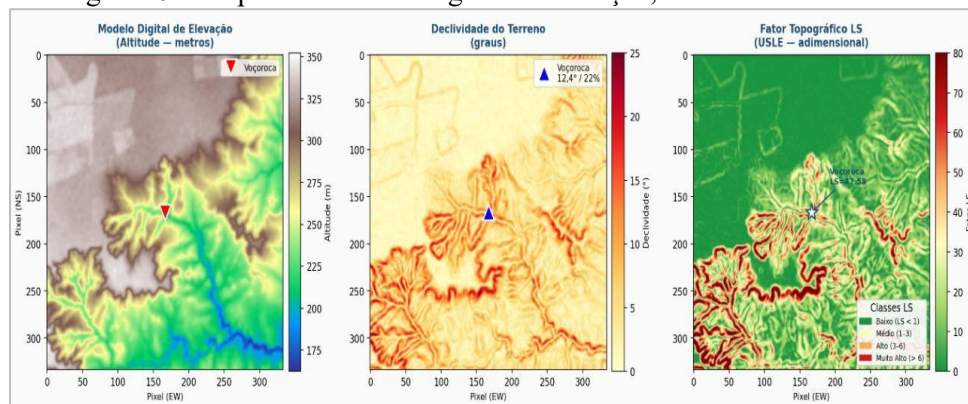
Tabela 03 –Geomorfológica e susceptibilidade erosiva da área de estudo.

Padrão	nidade	Substrato Geológico	Decliv.	Solo (SiBCS)	Papel na Voçoroca	FatoreU SLE	Risco
R2b1	Baixos Platôs (platô urbano)	Formação Itapecuru Arenitos/ar gilitos + laterita	0–3° 0–5%	Latosso-lo Amarelo Distrófico + Plintosso lo Pétrico	Zona geradora Impermeabiliza-ção concentra escoamento para as bordas do platô	C = 0,000 K = 0,0424	Alto
R4f2	Vales Abertos (local da voçoroca)	Formação Itapecuru dissecada + colúvio	10–25° 18–47%	Argisso-lo Verm.-Amarelo Distrófico + Cambi-ssoolo Háplico	Zona de erosão Gradiente textural favorece piping; alta declividade amplifica energia erosiva	LS = 47,58 K = 0,0529 A = 3.783,7 t/ha/ano	Muito Alto

Fonte: CPRM com adaptação do Autor (2026).

Sínteses das informações da Tabela 03 :Interação r2b1 → r4f2 o escoamento concentrado no platô urbanizado atinge as vertentes de alta declividade com energia suficiente para deflagrar e sustentar a erosão. *Substrato regional: formação itapecuru — folha sb.23-v-a (cprm, 2024).*

Figura 29 - Mapas do Modelo Digital de Elevação, declividade e fator LS.



Fonte: MDE c/INPE, elaborado pelo autor (2026).

O ponto de localização da voçoroca (Figura 29) apresentou declividade de $12,39^\circ$ (21,97%), resultando nos fatores $S = 3,1055$ e $L = 15,3214$, com fator LS combinado de 47,58. Esse valor é expressivamente superior ao máximo de 10,02 encontrado por Rizzo *et al.* (2023), evidenciando que o ponto da voçoroca concentra as condições topográficas mais severas da região, com energia hidráulica suficiente para sustentar e acelerar o processo erosivo linear.

Figura 30 - Presença de lixão a céu aberto.



Fonte: Autor (2026).

A presença de tubulações despejando águas pluviais diretamente na cabeceira da voçoroca intensifica a concentração do escoamento superficial e acelera o avanço

erosivo. Associado a isso, o descarte irregular de resíduos sólidos no interior da feição compromete a estabilidade do terreno e dificulta sua recuperação, evidenciando a influência direta da deficiência de drenagem e da inadequada gestão ambiental sobre a evolução da erosão

A condição crítica identificada em campo (Figura 30) com a presença de lixão a céu aberto e solo completamente exposto nas bordas e cabeceira da voçoroca foi representada pelo valor $C = 0,1893$, correspondente à classe de lavouras temporárias e solo nu, que constitui o maior fator C da classificação adotada. O descarte irregular de resíduos sólidos inibe o estabelecimento de cobertura vegetal espontânea, mantendo o solo desprotegido e maximizando o impacto erosivo das chuvas.

5.1.1 Fator P (Práticas Conservacionistas)

O fator P relaciona a perda de solo com determinada prática conservacionista em comparação com o solo sem nenhuma intervenção, foi adotado $P = 1,0$ para toda a área de estudo, uma vez que não foram identificadas quaisquer práticas de conservação de solo como terraceamento, revegetação induzida, contenções físicas ou obras de drenagem nas áreas da voçoroca e seu entorno imediato. Essa adoção é metodologicamente consistente com a abordagem de Rizzo *et al.*, (2023), Rodrigues *et al.* (2017) para áreas sem práticas conservacionistas.

5.1.2 Resultados (Perda de Solo Anual (A))

A aplicação da USLE com os fatores levantados para as diferentes condições da área de estudo resultou nos valores de perda de solo anual apresentados na tabela 04, os cálculos foram realizados para três cenários representativos das condições observadas em campo, considerando as variações de solo (K) e uso do solo (C) entre as unidades geomorfológicas identificadas.

Tabela 04 – Estimativa de perda de solo anual (A) pela USLE para a localidade.

Cenário	K	LS	C	P	A (t/ha/ano)	Classificação
Platô urbano impermeável (R2b1)	0,0424	21,57	0,0000	1,0	0,00	Tolerável
Vertente — vegetação pioneira (R4f2)	0,0529	47,58	0,0091	1,0	181,9	Alta

Solo exposto / lixão (R4f2)	0,0529	47,58	0,1893	1,0	3.783,7	CRÍTICA
--	---------------	--------------	---------------	------------	----------------	----------------

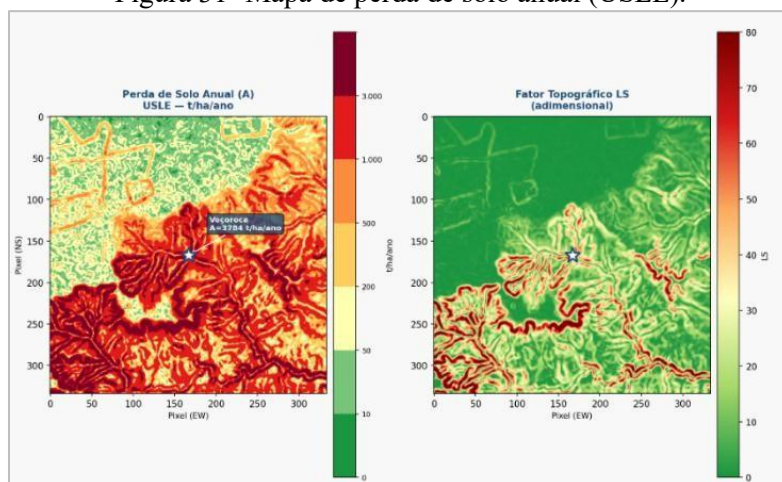
Fonte: Autor (2026)

O cenário crítico do solo exposto com presença de lixão a céu aberto nas bordas e cabeceira da voçoroca resultou em perda estimada de 3.783,7 t/ha/ano, valor que supera em 540 vezes a tolerância de perda de solo estabelecida para o Argissolo Vermelho-Amarelo, fixada em aproximadamente 7.941 t/ha/ano (Bertoni e Lombardi, 2012). Mesmo no cenário com vegetação pioneira escassa, a perda de 181,9 t/ha/ano ainda representa 26 vezes acima da tolerância, evidenciando que qualquer condição de cobertura precária é insuficiente para conter o processo erosivo nas condições topográficas e pluviométricas identificadas.

A aplicação da Equação Universal de Perda de Solo (USLE) com os fatores levantados para a área de estudo resultou nos valores de perda de solo anual apresentados na Figura 31, que exhibe a distribuição espacial da variável A e do fator topográfico LS em toda a janela analisada ao redor da voçoroca de Nova Açailândia II.

Conforme evidenciado no mapa de perda de solo anual (Figura 29), a área da voçoroca concentra os maiores valores de A da janela analisada, com predominância da classe crítica representada pelas tonalidades vermelho-escuro e bordô ao longo das vertentes da unidade R4f2. O ponto de localização da voçoroca, identificado pela estrela branca no mapa, registrou a maior perda estimada no cenário de solo exposto com presença de lixão a céu aberto, conforme detalhado anteriormente, valor muito acima da tolerância estabelecida para o Argissolo Vermelho-Amarelo (Bertoni e Lombardi, 2012).

Figura 31- Mapa de perda de solo anual (USLE).



Fonte: MDE TOPODATA/INPE e elaborado pelo autor (2026).

Essa concentração de perda de solo nas vertentes de alta declividade confirma que o processo erosivo está ativamente sustentado pelas condições físicas e antrópicas identificadas no diagnóstico.

Figura 32 - Resumo dos fatores para a área da voçoroca.

RESULTADOS — PERDA DE SOLO ($A = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P$)	
Solo exposto / lixão (R4f2)	3.783,7 t/ha/ano
Vertente sem vegetação	181,9 t/ha/ano
Platô urbano (R2b1)	0,0 t/ha/ano
Vertente vegetação escassa	363,8 t/ha/ano
Tolerância de perda de solo para Argissolo: ~7 t/ha/ano (Bertoni & Lombardi Neto, 2012) Valor calculado é 540x acima da tolerância	

Fonte: MDE TOPODATA/INPE e elaborado pelo autor (2026).

A área da voçoroca de Nova Açailândia II (Figura 29), embora apresente valor inferior ao máximo regional, encontra-se entre os 10% de maior perda de solo da janela analisada (percentil 90 = 43.030 t/ha/ano estimado para o grid), reforçando a classificação como área de risco erosivo muito alto e a necessidade imediata de medidas de controle e recuperação.

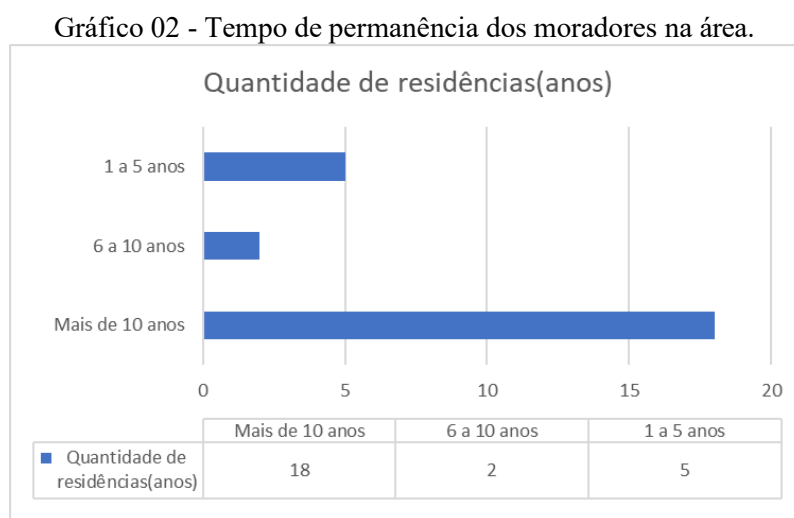
5.2 Impactos da voçoroca sobre a infraestrutura urbana e população local

5.2.1 Percepção dos moradores e diagnóstico urbano da área afetada

A análise dos impactos urbanos e sociais associados à voçoroca foi complementada por meio da aplicação de questionários com 22 perguntas, (APÊNDICE A) dos quais foram escolhidas apenas 6 foram detalhadas para esta pesquisa, junto aos moradores residentes nas proximidades da área erosiva, sendo entrevistadas 25 residências localizadas no entorno da feição, com isso o levantamento buscou compreender a o tempo de residencia do moradores como mostra o gráfico 02, percepção da população em relação ao avanço da voçoroca, às condições de drenagem urbana, aos impactos sobre a infraestrutura local e aos riscos associados à evolução do processo erosivo, permitindo integrar as observações de campo aos aspectos sociais

identificados durante a pesquisa.

Os resultados obtidos (Gráfico 02) demonstraram que a maior parte dos moradores entrevistados residia há mais de 10 anos nas proximidades da voçoroca, correspondendo a aproximadamente 70% das residências analisadas, e esse resultado indicou que parcela significativa da população acompanhou diretamente a evolução temporal da feição erosiva ao longo dos últimos anos, permitindo maior confiabilidade às informações relacionadas às alterações observadas na área estudada.

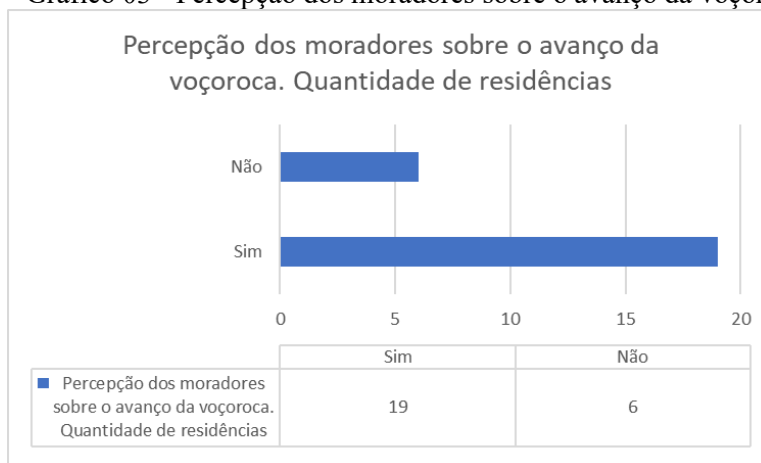


Fonte: Autor (2026).

Também foi verificado que parte dos entrevistados residia no local entre 1 e 10 anos (Gráfico 02), embora em menor proporção, evidenciando que o avanço da voçoroca continuou sendo percebido mesmo por moradores com menor tempo de permanência no bairro, através dessa informação pode observar que esse comportamento reforçou a permanência ativa dos processos erosivos e a continuidade das transformações geomorfológicas observadas na área urbana afetada.

A percepção dos moradores (Gráfico 03) demonstrou predominância de respostas associadas ao avanço progressivo da voçoroca, uma vez que a maior parte dos entrevistados afirmou ter observado crescimento da feição erosiva nos últimos anos, onde estes associava o avanço da erosão por fatores climáticos como as fortes chuvas, e através disso os resultados apresentaram compatibilidade com as análises multitemporais desenvolvidas durante a pesquisa, reforçando a continuidade da evolução erosiva na área estudada.

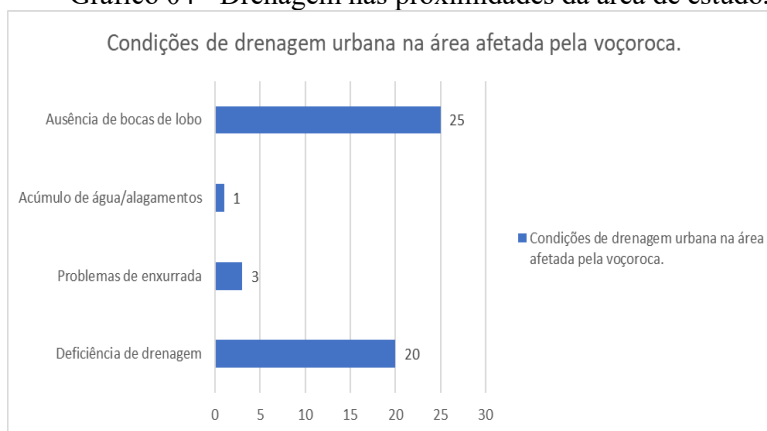
Gráfico 03 - Percepção dos moradores sobre o avanço da voçoroca.



Fonte: Autor (2026).

Os resultados relacionados às condições de drenagem urbana (Gráfico 04) evidenciaram predominância de respostas associadas à deficiência estrutural do sistema de escoamento superficial na área estudada, com isso a maior parte dos moradores relatou ausência de mecanismos adequados de drenagem pluvial, especialmente em função da inexistência de bocas de lobo e dispositivos eficientes de captação das águas superficiais, condição que favoreceu o direcionamento concentrado do escoamento para o interior da voçoroca, destacando a ineficiência das redes de drenagem.

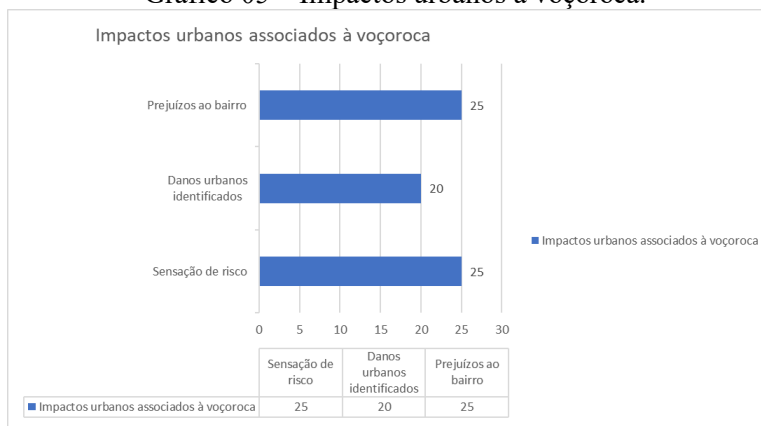
Gráfico 04 - Drenagem nas proximidades da área de estudo.



Fonte: Autor(2026).

Embora os registros diretos de alagamentos e enxurradas tenham ocorrido em menor proporção, observou-se que a deficiência da drenagem superficial contribuiu significativamente para o aumento da energia hidráulica incidente sobre as margens erosivas, intensificando processos de desagregação do solo, aprofundamento da feição e instabilidade geomorfológica das vertentes adjacentes.

Gráfico 05 – Impactos urbanos à voçoroca.

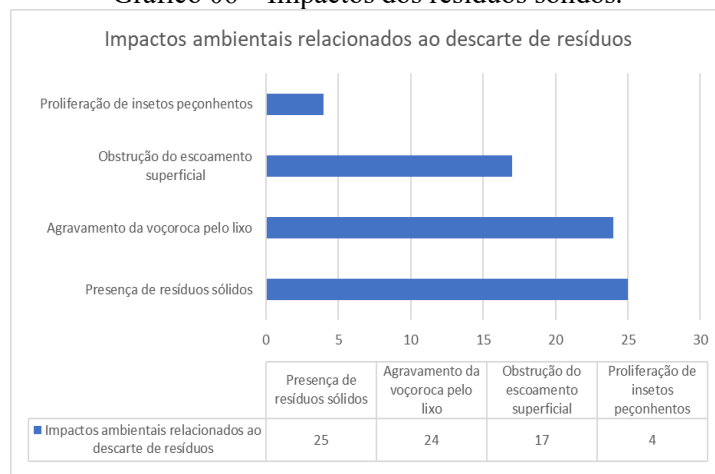


Fonte: Autor (2026).

Os impactos urbanos associados à voçoroca (Gráfico 05) apresentaram elevada percepção entre os moradores entrevistados, sobretudo em relação à sensação de risco decorrente da proximidade entre a feição erosiva e as áreas residenciais, com isso a totalidade dos entrevistados reconheceu existência de prejuízos ao bairro, enquanto parcela significativa relatou ocorrência de danos associados à infraestrutura urbana local, evidenciando comprometimento progressivo das condições de estabilidade superficial e segurança da área afetada.

No gráfico 06 com aspectos de proximidade da voçoroca em relação às vias urbanas e residências indicou ampliação da vulnerabilidade estrutural e ambiental da área estudada é um fator bem relevante, principalmente em função do contínuo recuo das margens erosivas e da ausência de medidas efetivas de contenção, e o comportamento reforçou o caráter ativo do processo erosivo e sua influência direta sobre a dinâmica urbana do entorno.

Gráfico 06 – Impactos dos resíduos sólidos.



Fonte: Autor(2026).

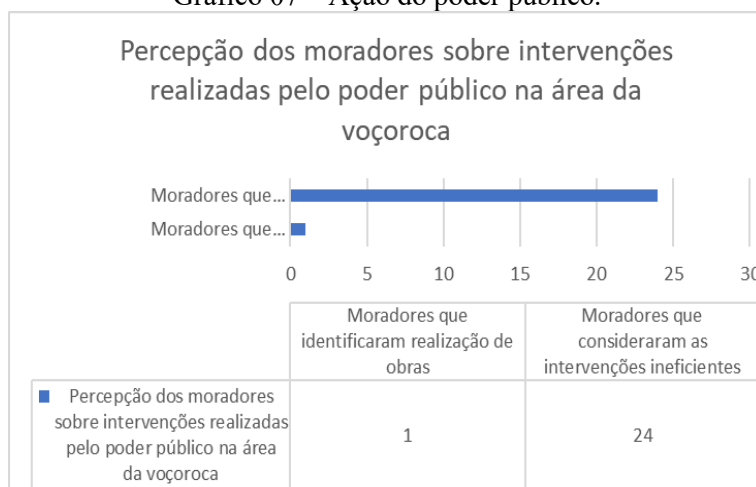
Os resultados obtidos (Gráfico 06) evidenciaram ocorrência significativa de descarte irregular de resíduos sólidos no interior e nas margens da voçoroca, condição identificada pela totalidade dos moradores entrevistados, as análises das respostas demonstraram que o acúmulo de resíduos foi diretamente associado ao agravamento do processo erosivo, principalmente devido à obstrução parcial do escoamento superficial e à alteração das condições naturais de drenagem da área.

Grande parte dos entrevistados também relacionou a presença constante de resíduos sólidos ao aumento da instabilidade das bordas da voçoroca, uma vez que o descarte inadequado favorece o desagregamento do solo e dificulta o estabelecimento de cobertura vegetal nas áreas degradadas.

Além dos impactos geomorfológicos, observou-se comprometimento das condições ambientais e sanitárias do entorno urbano, especialmente em razão da degradação paisagística e da presença de insetos e animais peçonhentos nas proximidades das residências. Embora a menor parcela dos moradores tenha associado diretamente esses impactos à ocorrência de doenças, os dados demonstraram percepção recorrente de insegurança ambiental causada pela utilização inadequada da voçoroca como área de descarte.

Nesse sentido, o comportamento observado indicou que a deposição irregular de resíduos sólidos contribuiu não apenas para intensificação dos processos erosivos, mas também para ampliação da vulnerabilidade socioambiental da população residente nas áreas adjacentes à feição erosiva.

Gráfico 07 – Ação do poder público.



Fonte: Autor(2026).

As respostas obtidas (Gráfico 07) demonstraram que a população reconhece a necessidade de intervenções estruturais mais eficazes para contenção da voçoroca, sendo frequentemente citadas pelos moradores as obras executadas no bairro Laranjeiras, em Açailândia-MA, consideradas referência recente de controle erosivo no município. A predominância desse posicionamento evidenciou percepção coletiva de que medidas paliativas ou intervenções isoladas não são suficientes para estabilização da área degradada, principalmente diante do avanço contínuo da erosão observado nos últimos anos.

Nesse contexto, os moradores associaram a solução do problema à implantação de sistemas adequados de drenagem superficial, estabilização dos taludes e recuperação geomorfológica da voçoroca, destacando a necessidade de maior atuação do poder público na execução de obras permanentes de infraestrutura urbana e controle ambiental.

Os dados obtidos também demonstraram que os moradores não identificaram a realização de manutenções periódicas ou acompanhamento contínuo das intervenções executadas na área da voçoroca, inclusive em intervalos de um, três ou cinco anos, esse resultado evidenciou percepção predominante de ausência de monitoramento técnico e de ações permanentes de controle erosivo por parte do poder público.

Com isso a inexistência de manutenção recorrente foi associada pelos entrevistados ao reaparecimento de problemas estruturais, continuidade do avanço erosivo e comprometimento gradual das intervenções anteriormente realizadas na área degradada.

6. PROPOSIÇÃO DE MEDIDAS TÉCNICAS PARA CONTROLE DO AVANÇO EROSIVO E RECUPERAÇÃO DA ÁREA DEGRADADA

Com base no diagnóstico realizado, foram propostas medidas voltadas ao controle do avanço erosivo e recuperação da área degradada no bairro Nova Açailândia II, considerando principalmente a ausência de drenagem pluvial, o descarte irregular de resíduos sólidos e a elevada suscetibilidade erosiva da área, e através disso as intervenções estruturais buscaram reduzir a concentração do escoamento superficial por meio da implantação de sistemas de microdrenagem, canaletas de interceptação, dissipadores de energia e pavimentação das vias urbanas, visando diminuir a velocidade

do fluxo hídrico e minimizar os impactos erosivos sobre os taludes da voçoroca.

Também foram propostas medidas vegetativas voltadas à estabilização superficial do solo e proteção das bordas da feição erosiva, incluindo revegetação com espécies de rápido crescimento e recomposição da cobertura vegetal em áreas próximas ao canal de drenagem.

As medidas estruturais e vegetativas, por atuarem diretamente sobre os fatores topográfico (LS), de uso do solo (C) e de práticas conservacionistas (P) da Equação Universal de Perda de Solo, são apresentadas de forma sistematizada na Tabela 05.

Tabela 05 – Medidas estruturais e vegetativas propostas de controle.

Medida	Eixo	Prioridade
Substituição da rede unitária de drenagem	Estrutural	Imediata
Implantação de microdrenagem pluvial (sarjetas e bocas de lobo)	Estrutural	Curto prazo
Canaletas de interceptação e dissipadores de energia	Estrutural	Curto prazo
Pavimentação das vias do bairro	Estrutural	Médio prazo
Revegetação das bordas com capim vetiver e espécies nativas	Vegetativa	Curto prazo
Recomposição da mata ciliar a jusante	Vegetativa	Médio prazo

Fonte: Autor (2026).

Além das intervenções físicas, destacaram-se ações de gestão territorial relacionadas ao controle do descarte irregular de resíduos sólidos, ao monitoramento contínuo da área degradada e à elaboração de um Plano de Intervenção Municipal, buscando eliminar os fatores antrópicos que sustentam o avanço da erosão e garantir a sustentabilidade das obras realizadas, conforme Tabela 06.

Tabela 06 - Medidas de gestão territorial.

Ação de Gestão	Prioridade
Remoção do lixo e destinação adequada dos resíduos sólidos	Imediata
Monitoramento periódico da voçoroca (GPS + satélite)	Contínua
Elaboração de Plano de Intervenção Municipal	Médio prazo

Fonte: Autor (2026).

Conforme demonstrado pelos resultados da USLE, o fator topográfico LS = 47,58 não pode ser alterado por intervenção humana; portanto, a estratégia de controle deve concentrar-se na redução máxima dos fatores controláveis C e P, que respondem diretamente pelas condições de cobertura e manejo do solo e pelas práticas

conservacionistas adotadas na área.

A simulação tridimensional da área (Figura 33) permitiu visualizar de forma integrada os principais elementos associados à proposta de contenção e recuperação da voçoroca no bairro Nova Açailândia II, observou-se que a implantação das estruturas de drenagem superficial e dissipação de energia contribuiu para o direcionamento controlado do escoamento pluvial, reduzindo a concentração das águas nas bordas da feição erosiva e minimizando a ação dos processos de erosão regressiva na cabeceira.

A proposta contempla uma cabeceira estabilizada com dissipador hidráulico (1), associada a taludes retaludados e revegetados (2), favorecendo a redução da instabilidade das encostas e o controle do transporte de sedimentos. O sistema também prevê a implantação de um canal principal revestido em concreto armado (3), complementado por escadas hidráulicas de dissipação de energia (4), destinadas à condução segura das águas pluviais e à redução da velocidade do fluxo ao longo do percurso.

Adicionalmente, a utilização de estruturas de gabiões para estabilização lateral (5) contribui para a proteção dos taludes contra processos erosivos, enquanto a galeria de drenagem sob a via urbana (6) garante a continuidade do sistema hidráulico sem comprometer a mobilidade local. Por fim, o deságue controlado no Rio Açailândia (7) possibilita a descarga das vazões de forma tecnicamente adequada, reduzindo os riscos de erosão a jusante.

De maneira geral, a simulação evidencia que a integração entre obras de drenagem, estruturas de dissipação de energia, estabilização geotécnica e revegetação pode representar uma alternativa eficiente para o controle do avanço erosivo e recuperação ambiental da área degradada. A atuação conjunta dessas medidas contribui para a redução da velocidade do escoamento superficial, diminuição do transporte de sedimentos e aumento da estabilidade dos taludes, promovendo condições mais favoráveis à recuperação do equilíbrio geomorfológico local.

Além disso, a implantação dessas intervenções tende a reduzir os riscos associados à expansão da voçoroca, protegendo áreas adjacentes, infraestrutura urbana e a população residente no entorno. Dessa forma, os resultados obtidos reforçam a importância da adoção de soluções integradas de engenharia e conservação ambiental como estratégia para mitigação dos impactos erosivos e garantia da sustentabilidade da área estudada a longo prazo.

Figura 33 - Simulação tridimensional da recuperação da voçoroca.



Fonte: Manus e produzido pelo Autor (2026).

Com isso a representação também evidenciou a importância da reorganização da drenagem urbana e da integração entre obras estruturais e medidas ambientais, especialmente devido à proximidade das residências e da rede hidrográfica conectada à área degradada. Dessa forma, a proposta simulada apresentou-se como alternativa técnica voltada à redução da instabilidade geomorfológica e mitigação dos impactos ambientais e urbanos associados ao processo erosivo.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho realizou o diagnóstico técnico da voçoroca localizada no bairro Nova Açailândia II, em Açailândia-MA, por meio da análise integrada de condicionantes geotécnicos, hidrológicos e antrópicos, atendendo ao objetivo geral proposto. Os resultados obtidos evidenciaram que o processo erosivo em estudo não constitui um fenômeno exclusivamente natural, mas resultou da combinação de alta suscetibilidade física do terreno com fatores antrópicos diretamente relacionados ao modelo de urbanização desordenada adotado no município, sem o devido planejamento territorial e a implantação de infraestrutura básica adequada.

Em relação ao primeiro objetivo específico, o mapeamento georreferenciado da voçoroca e de sua área de influência revelou uma evolução linear expressiva ao longo do período analisado, com extensão de 127 metros em 2004 e 509,73 metros em 2025, representando crescimento de 301%. A análise do Modelo Digital de Elevação obtido do TOPODATA/INPE permitiu identificar e delimitar a área de influência topográfica da feição erosiva, evidenciando que o ponto de localização da voçoroca concentra as condições topográficas mais severas da região, com fator topográfico LS de 47,58 com esse valor aproximadamente cinco vezes superior ao máximo encontrado por Rizzo *et al.* (2023). A representação gráfica da evolução temporal, acompanhada de registro georreferenciado dos marcos históricos da feição, demonstrou o avanço contínuo e progressivo da voçoroca em direção às edificações do bairro, evidenciando o risco crescente para a população residente.

A análise dos condicionantes físicos e antrópicos, desenvolvida com base na Equação Universal de Perda de Solo (USLE), demonstrou que o processo erosivo é produto da interação entre dois condicionantes físicos determinantes, onde temos a unidade geomorfológica R2b1 (Baixos Platôs), sobre Latossolo Amarelo Distrófico, que concentra e direciona o escoamento superficial do platô urbanizado e a unidade R4f2 (Vales Abertos), sobre Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico de alta erodibilidade ($K = 0,0529$), onde a voçoroca está instalada

Ambas as unidades assentam-se sobre substrato da Formação Itapecuru (Cretáceo), constituído por arenitos e argilitos com cobertura detrito-laterítica, a aplicação da USLE resultou em perda de solo estimada em 3.783,7 t/ha/ano para o cenário crítico de solo exposto com presença de resíduos sólidos valor que supera em

540 vezes a tolerância estabelecida para o Argissolo Vermelho-Amarelo (7 t/ha/ano), confirmando a classificação da área como de risco erosivo muito alto. Dentre os fatores antrópicos identificados, destacaram-se a ausência total de pavimentação e microdrenagem pluvial no bairro, o direcionamento de rede de drenagem unitária como ponto de deságue na cabeceira da voçoroca e o descarte irregular de resíduos sólidos na porção superior da feição erosiva condições que atuam de forma sinérgica na intensificação do processo.

O resultado obtido, com perda estimada em 3.783,7 t/ha/ano no cenário de solo exposto e presença de lixão a céu aberto, confirmou o elevado potencial erosivo já identificado nas análises geomorfológicas e pedológicas. Esse valor evidenciou que a área apresentava fragilidade intrínseca associada às características do relevo, ao tipo de solo e à concentração do escoamento superficial, fatores que favoreceram a atuação contínua da erosão hídrica.

Além disso, a USLE permitiu demonstrar que o processo erosivo não foi resultado apenas da ação da chuva, mas da interação entre a vulnerabilidade natural do terreno e o uso antrópico inadequado, com a ausência de pavimentação, drenagem pluvial e cobertura vegetal contribuiu-se para a ampliação da energia do escoamento e para a intensificação da perda de solo, criando condições propícias ao aprofundamento e alargamento da voçoroca.

Com a avaliação dos impactos da voçoroca sobre a infraestrutura urbana e a população local realizada por meio de levantamento de campo e aplicação de questionário junto aos moradores do bairro, confirmou a gravidade da situação identificada pelos dados técnicos. Os resultados evidenciaram que a feição erosiva compromete diretamente a segurança das edificações próximas, a mobilidade urbana e a qualidade de vida dos moradores, com percepção de risco amplamente relatada pelos entrevistados, especialmente nos períodos de chuvas intensas.

Com base no diagnóstico realizado, foram propostas medidas técnicas de controle do avanço erosivo e recuperação da área degradada, organizadas em três eixos complementares, medidas estruturais de drenagem e contenção com destaque para a substituição imediata do ponto de deságue da rede unitária e a implantação de microdrenagem pluvial, medidas vegetativas de estabilização, com ênfase na revegetação das bordas com espécies de sistema radicular profundo capazes de reduzir a perda de solo em até 95%, e medidas de gestão e ordenamento territorial, incluindo a remoção dos resíduos sólidos, o monitoramento periódico e a elaboração de Plano de

Intervenção Municipal. A proposição das medidas fundamentou-se nos resultados quantitativos da USLE, reconhecendo que o fator topográfico LS não pode ser alterado por intervenção humana e que, portanto, a estratégia de controle deve concentrar-se na redução dos fatores controláveis C e P.

Sobre as entrevistas com questionários os resultados evidenciaram baixa percepção dos moradores quanto à realização de intervenções efetivas pelo poder público na área afetada pela voçoroca, uma vez que apenas uma residência entrevistada relatou identificação de obras ou ações de controle erosivo nas proximidades da feição. Paralelamente, a totalidade dos entrevistados considerou que as medidas executadas não apresentaram eficiência suficiente para contenção do avanço erosivo ou mitigação dos impactos urbanos observados na área estudada.

Mantidas as condições atuais, a tendência é de continuidade do avanço erosivo, com ampliação das dimensões da voçoroca, aumento da perda de solo, intensificação do assoreamento do Rio Açailândia e agravamento dos riscos à população residente, especialmente em relação à perda de infraestrutura urbana e à ocupação de áreas vulneráveis. Nesse contexto, torna-se indispensável a adoção de medidas integradas de mitigação e controle, envolvendo a implantação de sistemas adequados de drenagem superficial e subterrânea, obras de dissipação de energia, estabilização dos taludes, revegetação das áreas degradadas e ações permanentes de gestão territorial e educação ambiental

Como limitações do presente estudo, destaca-se que a Equação Universal de Perda de Solo possui caráter estimativo e não substitui ensaios laboratoriais de caracterização geotécnica do perfil de solo nas paredes da voçoroca, os quais permitiriam refinar os valores dos fatores K e C para a área específica. Para trabalhos futuros, recomenda-se a realização de ensaios de granulometria, limites de Atterberg e permeabilidade nos horizontes expostos da voçoroca, a aplicação de modelagem hidrológica com dados pluviométricos de alta resolução temporal para dimensionamento das obras de drenagem propostas, e o monitoramento sistemático pós-intervenção para avaliação da eficácia das medidas implantadas. A atualização periódica do mapeamento georreferenciado da extensão linear da feição, com uso de imagens de satélite de alta resolução, também é recomendada como instrumento de acompanhamento da evolução do processo erosivo e de suporte à tomada de decisão pelo poder público municipal.

Por fim, os dados levantados reforçam que a voçoroca de Nova Açailândia II é

resultado direto do modelo de urbanização desordenada adotado no bairro, e que sua reversão depende fundamentalmente da atuação do poder público municipal na implantação de infraestrutura básica de drenagem, no ordenamento do uso do solo e na recuperação ambiental da área degradada. O custo da inação evidenciado pelo crescimento de 301% registrado entre 2004 e 2025 e pelo risco crescente para as edificações do bairro é significativamente superior ao custo das intervenções técnicas propostas, o que torna o diagnóstico realizado não apenas uma contribuição acadêmica, mas um instrumento concreto de subsídio à gestão pública municipal.

REFERÊNCIAS

ABRHIDRO. **Drenagem urbana: análise de escoamento superficial em diferentes pavimentos**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 22., 2017, Florianópolis. Anais eletrônicos [...]. Florianópolis: ABRHidrológica, 2017. Disponível em: <https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=2919>. Acesso em: 26 maio 2026.

AÇAILÂNDIA. Prefeitura Municipal. **História do Município**. Disponível em: <https://www.acailandia.ma.gov.br/o-municipio/historia>. Acesso em: 2 dez. 2025.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **Carta de Serviços da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico**. Brasília, DF, 2020. Disponível em: https://www.gov.br/ana/pt-br/centrais-de-conteudos/publicacoes/carta_relatorio_ana_2020_v6.pdf. Acesso em: 12 fev. 2026.

ALMEIDA JÚNIOR, Joaquim Paulo de; SOUSA, Ísis da Rocha; SILVA NETO, Arabutan Maracaipe da; SILVA, Marcelo Francisco da. **Dinâmica de uso e ocupação do solo gerado pelo desenvolvimento agropecuário e industrial em Açailândia-MA, na Amazônia Oriental Brasileira**. *Caderno Pedagógico*, Curitiba, v. 21, n. 8, p. 1-21, 2024. DOI: 10.54033/cadpedv21n8-031.

ALMEIDA, Newton. **Erosão laminar**. Geografia Newton Almeida, 28 dez. 2021. Disponível em: <https://geografianewtonalmeida.blogspot.com/2021/12/erosao-laminar.html>. Acesso em: 2 fev. 2026.

ALVES, João Pedro Inacio; HARTWIG, Marcos Eduardo; ESPINOZA, Juan Alfredo Ayala. Processos erosivos e dinâmica de duas voçorocas desenvolvidas em solo residual em uma encosta íngreme (Estado do Espírito Santo, Brasil). *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 25, n. 1, 2024.

AMARAL, Deivid Jaime do *et al.* Avaliação do impacto da urbanização sobre o sistema de drenagem: estudo de caso no município de Viana/ES. *Revista Esfera Acadêmica Tecnologia*, v. 8, n. 2, 2023.

BASTOS, Letícia Martins; SILVA, Renata Aparecida da; OLIVEIRA, Marcos Vinícius de. **O uso do questionário como ferramenta metodológica em pesquisas científicas**. *Revista Multidisciplinar do Conhecimento*, v. 8, n. 2, p. 45–58, 2023.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. 8. ed. São Paulo: Ícone, 2012. 355 p.

BEZERRA, Jhonatan Santo. **Análise da perda de vegetação nativa no município de Açailândia-MA entre 1985 e 2020 utilizando a plataforma MapBiomass**. 2024. 15 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Ciências Ambientais) – Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (UEMASUL), Imperatriz, 2024

BIRGANI, Y. T.; AZDANDOOST, F. **An integrated framework to evaluate resilient**

and sustainable urban drainage management plans using a combined-adaptive MCDM technique. *Water Resources Management*, v. 32, p. 2817-2835, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11269-018-1960-2>.

BRANDÃO, F. J. C. *et al.* Erosion characterization in urban area in the municipality of Itabira, MG. **Research, Society and Development**, v. 4, n. 5, p. 1–22, 2017. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/109/134>. Acesso em: 03 dez. 2025.

CADERNIZANDO. **Formação de uma voçoroca**. 31 ago. 2017. Disponível em: <https://cader nizando.blogspot.com/2017/08/formacao-de-uma-vocoroca.html>. Acesso em: 14 mar. 2026.

CAMPOS, R.; NUNES, J.; OLIVEIRA, G. **Avaliação da eficiência hidráulica de galerias de drenagem pluviais com seções retangulares e circulares.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 21., 2015. *Anais [...]*. Disponível em: <https://files.abrhidro.org.br/Eventos/Trabalhos/4/PAP020901.pdf>. Acesso em: 14 jan. 2026.

CARVALHO, Homero Jorge Matos de; RIBEIRO, Carlos Alberto de Mendonça; SANTOS, Marconi Antão dos; CARVALHO, Paulo Victor Rodrigues de. Estimativa de perda de solo por erosão laminar em Lucena-PB. **Revista do CERES/REGNE**, Natal, v. 5, n. especial, 2019.

Classificação Climática de Köppen-Geiger para Açailândia: **clima tropical com estação seca (Aw)**. Fonte: dados climáticos consolidados conforme metodologia KöppenGeiger, amplamente usada para caracterizar o clima regional. <https://koppenbrasil.github.io/> Acesso em: 21 nov. 2025.

COELHO NETTO, Ana Luiza; AUGUSTIN, Cristina Helena Ribeiro Rocha; CASTRO, Selma Simões de. Editorial para o número especial “Voçorocas: processos, métodos de estudo e de controle”. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 24, n. especial, 2023. Disponível em: <https://rbgeomorfologia.org.br>. Acesso em: 03 maio 2026.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS (CPRM). GeoSGB: Sistema de Informações Geográficas da CPRM. Brasília, 2026. Disponível em: <https://geosgb.cprm.gov.br/>. Acesso em: 12 jan. 2026.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS (CPRM). **Projeto Cadastro de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea, Estado do Maranhão: relatório diagnóstico do município de Açailândia**. Brasília, DF: Serviço Geológico do Brasil, 2011. 31 p. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/bitstream/doc/15425/1/rel-carolina.pdf>.

COSTA, Fernando L. **Contribuições para o conhecimento dos processos erosivos em Cabo Verde**. Lisboa: Centro de Geografia – Instituto de Investigação Científica Tropical (IICT), n. 9, p. 215–244, 2004.

CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Carta Geomorfológica do Município de Açailândia - MA**. Escala 1:200.000. Brasília: Ministério de Minas e Energia, Secretaria de Geologia, Departamento de Gestão Territorial, 2024.

CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Setorização de riscos geológicos**. Brasília, 2017. Disponível em: <https://www.sgb.gov.br/setorizacao-de-riscos-geologicos>. Acesso em: 22 abr. 2026.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Histórico do Município de Açailândia– MA**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/ma/acailandia.html>. Acesso em: 21 nov. 2025.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. **Dados meteorológicos e climáticos oficiais para a região de Açailândia**, MA. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br>. Acesso em: 21 de nov. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS (IBAMA). **Sobre o Licenciamento Ambiental Federal**. Brasília, DF, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/licenciamento-ambiental/sobre-o-licenciamento-ambiental-federal>. Acesso em: 12 jan. 2026.

INSTITUTO DE PREVIDÊNCIA SOCIAL DOS SERVIDORES DO MUNICÍPIO DE AÇAILÂNDIA (IPSEMA). **Conheça a cidade**. Disponível em: <https://ipsema.acailandia.ma.gov.br/institucional/conheca-a-cidade/>. Acesso em: 8 fev. 2026.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). TOPODATA: **banco de dados geomorfométricos do Brasil**. São José dos Campos: INPE, 2008. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/topodata>.

KOZENIESKI, Éverton de Moraes; LINDO, Paula Vanessa de Faria; SOUZA, Reginaldo José de. O trabalho de campo como produção de conhecimento: contribuições metodológicas à práxis geográfica. **Revista Brasileira de Educação em Geografia**.

LAFAYETTE, Kalinny Patrícia Vaz; CANTALICE, José Ramon Barros; COUTINHO, Roberto Quental. Resistência à erosão em ravinas, em Latossolo argiloarenoso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 2167-2174, 2011.

LIMA, Mayara da Silva; FARIAS, Teresa Raquel Lima; ELOI, Waleska Martins; SOARES, Francisco das Chagas. **Aplicação da Equação Universal de Perda de Solos (USLE) em estrada vicinal no município de Aquiraz-CE**. In: XIII Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos, 2018, Vitória. *Anais...* Vitória: ENES, 2018.

MANNIGEL, A. R.; CARVALHO, M. P.; MORETI, D.; MEDEIROS, L. R. **Fator erodibilidade e tolerância de perda dos solos do Estado de São Paulo**. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v. 24, p. 1335-1340, 2002.

MANUS. **Manus Platform**. Disponível em: <https://manus.im/app/zKhz6JBbkQ3ACF2bjVKw68>. Acesso em: 26 abr. 2026.

MAPBIOMAS. Projeto MapBiomas: **Coleção 5 da série anual de mapas de cobertura e uso de solo do Brasil**. 2019. Disponível em: <https://mapbiomas.org>.

MCCOOL, D. K.; BROWN, L. C.; FOSTER, G. R.; MUTCHLER, C. K.; MEYER, L. D. **Revised slope steepness factor for the Universal Soil Loss Equation**. *Transactions*

of the ASAE, v. 30, n. 5, p. 1387-1396, 1987.

MENEZES, Luciene Oliveira *et al.* Comunicação em geociências na gestão de riscos e desastres ambientais. **Anuário do Instituto de Geociências**, Rio de Janeiro, v. 44, 2021. DOI: https://doi.org/10.11137/1982-3908_2021_44_37273. Acesso em: 14 abril 2026.

MIRANDA, A. C. da S. **Erosões urbanas para percepção de risco: o caso das voçorocas na cidade de Açailândia-MA**. 111 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Gestão de Risco e Desastre na Amazônia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufpa.br/server/api/core/bitstreams/09a0b92c-f521-4f05-a43c-e82fe3fec3b/content>.

MORAES, Aline da Silva. **Processos erosivos lineares em área urbana: estudo de caso em boçoroca em Santa Bárbara d'Oeste**. 2018. 105 f. Trabalho de Formatura (Bacharelado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.

MORAIS, R. C. S.; SALES, M. C. L. Estimativa do potencial natural de erosão dos solos da bacia hidrográfica do Alto Gurguéia, Piauí-Brasil, com uso de Sistema de Informação Geográfica. **Caderno de Geografia**, v. 27, n. 1, p. 84-105, 2017.

MOURA, Rodrigo De Oliveira.; ALMEIDA, Julio Cesar Raposo de. Análise da evolução espacial de voçorocas e seus impactos socioambientais em área urbana. **Revista de Gestão Social e Ambiental**, Miami, v. 19, n. 7, p. 1–17, 2025. DOI: 10.24857/rgsa.v19n7-066.

NACHTIGALL, Stefan Domingues *et al.* **Modelagem espacial da erosão hídrica do solo associada à sazonalidade agroclimática na região sul do Rio Grande do Sul, Brasil**. Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, v. 25, n. 6, p. 1129–1140, nov./dez. 2020. DOI: 10.1590/S1413-4152202020190136.

NICOLAU, R. F.. *et al.*. Análise integrada da eficiência da microdrenagem e evolução do uso do solo em área urbana. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.12, n.8, p.553-567, 2021. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.008.0044> .

NUGEO/UEMA – Núcleo Geoambiental da Universidade Estadual do Maranhão. Caracterização climática do Estado do Maranhão. São Luís: SEMA/MA, 2016. Disponível em: <https://www.sema.ma.gov.br/noticias/as-chuvas-no-maranhao>.

OLIVEIRA, Antonio Krishnamurti Beleño de. **O sistema de drenagem como eixo estruturante do planejamento urbano: caso da bacia hidrográfica do rio Acari**. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

PINESE JÚNIOR, José Fernando; CRUZ, Lísia Moreira; RODRIGUES, Sílvia Carlos. **Monitoramento de erosão laminar em diferentes usos da terra, Uberlândia – MG**. 2008. Artigo científico.

PREFEITURA MUNICIPAL DE AÇAILÂNDIA. Secretaria Municipal de Saúde

(SEMUS). **Prognóstico e alternativas para a universalização, condicionantes, diretrizes, objetivos e metas.** Açailândia: Prefeitura Municipal de Açailândia, 2017.

QGIS DEVELOPMENT TEAM. QGIS Geographic Information System (versão 3.40). Open Source Geospatial Foundation Project, 2026. Disponível em: <https://www.qgis.org/en/site/>. Acesso em: 15 mar. 2026.

QUADROS, Jorge. **Em Açailândia as erosões ameaçam casas, cortam as ruas e podem dividir bairros.** Marconi FM 101.9, Açailândia, 2026. Disponível em: <https://www.marconifm.com.br/noticias/em-acailandia-as-erosoes-ameacam-casas-cortam-as-ruas-e-podem-dividir-bairros/>. Acesso em: 12 maio 2026.

RAMOS, Tallita Siade. **Gestão pública e planejamento urbano: um estudo sobre o crescimento do espaço urbano de Anápolis (GO) e os desafios para os gestores públicos.** 2024. Monografia (Especialização em Gestão Pública Municipal) – Departamento de Administração, Faculdade de Economia, Administração, Contabilidade e Gestão de Políticas Públicas, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2024.

RIBEIRO, Lucas de Oliveira; SOUSA, Matheus Henrique da Silva; SILVA, João Victor Ferreira. Planejamento e dimensionamento de sistemas de macrodrenagem urbana. **Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro**, v. 14, n. 1, 2025. Disponível em: <https://remunom.ojsbr.com/multidisciplinar/article/view/5282>.

RIZZO, Felipe Alexandre; SILVA, Darllan Collins da Cunha e; TONELLO, Paulo Sergio. Análise da vulnerabilidade dos solos quanto à erosão hídrica na bacia do Córrego Pequiá, Açailândia, Maranhão. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, v. 43, e192740, 2023. DOI: <https://doi.org/10.11606/eISSN.2236-2878.rdg.2023.192740>.

RODRIGUES, Silvio Carlos; CONFESSOR, Jefferson Gomes; PEREIRA, Juliana Sousa. **Técnicas de manejo voltadas à recuperação de áreas degradadas por erosão: análise de 15 anos de estudos na voçoroca da Fazenda Experimental do Campus Glória – UFU.** **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 24, n. especial, 2023. DOI: <https://doi.org/10.20502/rbg.v24i00.2317>.

RODRIGUES, Aline Rocha; KAUCHAKJE, Samira; OLIVEIRA, Francisco Henrique de. Mapas, fome e planejamento territorial. **Revista Katálisis**, Florianópolis, v. 26, n. 1, p. 32–42, jan./abr. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1590/1982-0259.2023.e88237>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rk/a/8Tn6Xv9m6nM5fJ7g9xj6cXt/>. Acesso em: 03 abr. 2026.

RODRIGUES, J. A. M.; MELLO, C. R.; VIOLA, M. R.; RODRIGUES, M. C. **Estimativa da vulnerabilidade dos solos à erosão hídrica na bacia hidrográfica do Rio Cervo–MG.** *Geociências*, São Paulo, v. 36, n. 3, p. 531-542, 2017.

ROSA, Roberto. Análise espacial em geografia. **Revista da ANPEGE**, v. 7, n. 1, número especial, p. 275–289, out. 2011. ISSN 1679-768X. DOI:

10.5418/RA2011.0701.0023.

SECRETARIA DE ESTADO DE SANEAMENTO, HABITAÇÃO E DESENVOLVIMENTO URBANO (SEDURB). **Projeto de macrodrenagem do Canal Guaranhus à comunidade**. Vitória, 2026. Disponível em: <https://sedurb.es.gov.br/Not%C3%ADcia/sedurb-apresenta-projeto-de-macrodrenagem-do-canal-guaranhus-a-comunidade#prettyPhoto>. Acesso em: 14 mar. 2026.

SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS NATURAIS DO MARANHÃO (SEMA-MA). **Página institucional**. São Luís, MA. Disponível em: <https://www.sema.ma.gov.br/>. Acesso em: 11 maio 2026.

SECRETARIA MUNICIPAL DE PLANEJAMENTO DE AÇAILÂNDIA. **Relatório técnico de contenção, recuperação e urbanização de erosões localizadas na cidade de Açailândia – Maranhão**. Açailândia, Prefeitura Municipal de Açailândia. 19 p.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (SGB). **Dashboard Risco Geológico**. Disponível em: <https://geoportal.sgb.gov.br/portal/apps/dashboards/c338199dee3a4d4bb0e43738b424a298>. Acesso em: 18 abr. 2026.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (SGB/CPRM). **Carta de Serviço ao Usuário 2025**. Brasília, DF, 2025. Disponível em: https://www.sgb.gov.br/documents/d/guest/carta_de_servico_ao_usuario_2025-pdf. Acesso em: 18 jan 2026.

SILVA, D. C. C.; ALBUQUERQUE FILHO, J. L.; SALES, J. C. A.; LOURENÇO, R. W. **Identificação de áreas com perda de solo acima do tolerável usando NDVI para o cálculo do fator C da USLE**. Raega. O Espaço Geográfico em Análise, [S.l.], v. 42, p. 72-85, 2017.

SILVA, Luiz Guilherme Teixeira; PONTE, Tereza Maria Ferreira Ximenes; HOMMA, Alfredo Kingo Oyama; MATOS, Grimoaldo Bandeira de; LIMA, Aílton Pires de. **Manejo comunitário de micro-bacias hidrográficas em áreas de assentamento do sudeste paraense**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2009.

SIQUEIRA, Matheus Morioka; ROCHA, Willian Thomas; VIEIRA, Amanara Potykytã de Sousa Dias; DÖLL, Maria Magdalena Ribas; VUITIK, Guilherme Araujo. Métodos de cálculo de vazão de escoamento superficial em bacias rurais de diferentes escalas. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, v. 15, n. 1, p. 2–15, 2023. Disponível em: <https://revistas.uepg.br/index.php/ret/article/view/20864>. Acesso em: 17 jan. 2026.

SOUZA, Ítalo Giulliano Ozório de; SILVA, Lucas Tavares da; OLIVEIRA JÚNIOR, Zedequias de. **Análise jurídica dos impactos socioambientais e urbanos das obras de macrodrenagem: igarapé Caxangá em Boa Vista, Roraima**. Análise Jurídica dos Impactos, v. 1, n. 1, jan./jun. 2018.

TONELLO, P. S. Análise da vulnerabilidade dos solos quanto à erosão hídrica na bacia do Córrego Pequiá, Açailândia, Maranhão. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 43, e192740, 2023. DOI: 10.11606/eISSN.2236-2878.rdg.2023.192740. Disponível em: <https://revistas.usp.br/rdg/article/view/192740>.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: ABRH/UFRGS, 2012. (*apud* REVISTAFT, 2023*)* — referência ao mecanismo de impermeabilização e aumento de vazão.

VECTEEZY. **Solo erosão profundo ravina dentro a distância**. Disponível em: <https://pt.vecteezy.com/foto/24764272-solo-erosao-profundo-ravina-dentro-a-distancia>. Acesso em: 12 maio 2026.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning**. Washington: USDA, 1978. 58 p. (Agriculture Handbook, n. 537).

APENDICE A

QUESTIONÁRIO APLICADO AOS MORADORES DA ÁREA AFETADA PELA VOÇOROCA

Bairro Nova Açailândia II – Açailândia/MA

Objetivo: Levantar informações sobre os impactos urbanos, sociais e estruturais associados ao avanço da voçoroca na área estudada.

IDENTIFICAÇÃO

1. Há quanto tempo o(a) senhor(a) reside no local?

☐ Menos de 1 ano

☐ 1 a 5 anos

☐ 6 a 10 anos

☐ Mais de 10 anos

2. A residência está localizada próxima à voçoroca?

☐ Sim

☐ Não

PERCEPÇÃO SOBRE A EVOLUÇÃO DA VOÇOROCA

3. O(a) senhor(a) percebeu aumento da voçoroca nos últimos anos?

☐ Sim

☐ Não

4. Em sua percepção, o avanço da voçoroca ocorreu:

☐ Lentamente

☐ Moderadamente

☐ Rapidamente

5. O período chuvoso intensificou o avanço da voçoroca?

☐ Sim

☐ Não

☐ Não soube informar

INFRAESTRUTURA E DRENAGEM

6. O(a) senhor(a) observou ausência ou deficiência de drenagem pluvial na área?

☐ Sim

☐ Não

7. Foram observados problemas de enxurrada nas ruas próximas?

☐ Sim

☐ Não

8. Existe ocorrência de alagamentos ou acúmulo de água durante chuvas intensas?

☐ Sim

☐ Não

9. O(a) senhor(a) identificou presença de bocas de lobo ou sistemas de captação pluvial próximos?

☐ Sim

☐ Não

☐ Em quantidade insuficiente

IMPACTOS SOBRE OS MORADORES

10. O avanço da voçoroca gerou sensação de risco para os moradores?

☐ Sim

☐ Não

11. Foram observados danos em ruas, calçadas ou residências próximos à voçoroca?

☐ Sim

☐ Não

12. O(a) senhor(a) acredita que a voçoroca trouxe prejuízos para o bairro?

☐ Sim

☐ Não

13. Quais impactos foram mais percebidos?

☐ Risco às residências

☐ Danos às ruas

☐ Dificuldade de mobilidade

☐ Medo durante períodos chuvosos

☐ Acúmulo de lixo ou sedimentos

☐ Outros: _____

AÇÕES DO PODER PÚBLICO

14. O(a) senhor(a) observou realização de obras ou intervenções na voçoroca?

☐ Sim

☐ Não

15. Se sim, de quanto em quanto tempo é feita problema?

☐ 1 ano

☐ 3 anos

☐ Mais de 5 anos

CONSIDERAÇÕES FINAIS

16. Na sua opinião, quais medidas poderiam ajudar no controle da voçoroca?

17. O(a) senhor(a) observou descarte de lixo ou entulho na voçoroca?

☐ Sim

☐ Não

18. Quais tipos de resíduos foram mais frequentemente observados na área?

☐ Resíduos domésticos

☐ Entulho de construção

☐ Galhadas e vegetação

☐ Plásticos e embalagens

☐ Móveis ou eletrodomésticos

☐ Outros: _____

19. Em sua percepção, o descarte de resíduos contribuiu para o agravamento da voçoroca?

☐ Sim

☐ Não

☐ Não soube informar

19. O acúmulo de resíduos provocou obstrução da passagem da água durante o período chuvoso?

☐ Sim

☐ Não

☐ Não soube informar

20. O(a) senhor(a) observou presença de mau cheiro, insetos ou outros problemas ambientais associados ao descarte de resíduos na área?

☐ Sim

☐ Não

21. Houve limpeza ou retirada dos resíduos por parte do poder público?

☐ Sim

☐ Não

☐ Parcialmente

22. Na sua opinião, a ausência de fiscalização contribuiu para o descarte irregular de resíduos na voçoroca?

☐ Sim

☐ Não

Pesquisa acadêmica desenvolvida para análise da evolução da voçoroca urbana.