



UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS  
INSTITUTO DE FILOSOFIA, CIÊNCIAS HUMANAS E SOCIAIS  
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA

**VOÇOROCA DO CONJUNTO HABITACIONAL SÃO SEBASTIÃO – RIO PRETO  
DA EVA/AM: DINÂMICA EVOLUTIVA.**

Carla Maria Rodrigues de Lima

Prof. Dr. Antonio Fábio Sabbá Guimarães Vieira

Orientador

Manaus, 06 de junho de 2025.

Carla Maria Rodrigues de Lima

**VOÇOROCA DO CONJUNTO HABITACIONAL SÃO SEBASTIÃO – RIO PRETO  
DA EVA/AM: DINÂMICA EVOLUTIVA.**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação Universidade Federal do Amazonas (UFAM), como requisito para a obtenção do título de Mestre em Geografia.

Área de concentração: Domínio da Natureza na Amazônia.

Manaus – AM, 06 de junho de 2025.

Ficha Catalográfica

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

---

L732v Lima, Carla Maria Rodrigues de  
Voçoroca do conjunto habitacional São Sebastião - Rio Preto da  
Eva: dinâmica evolutiva. / Carla Maria Rodrigues de Lima. - 2025.  
104 f. : il., color. ; 31 cm.

Orientador(a): Antonio Fábio Sabbá Guimarães Vieira.  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Amazonas,  
Instituto de Filosofia, Ciências Humanas e Sociais, Curso de  
Geografia, Manaus, 2025.

1. Erosão do solo. 2. Voçoroca. 3. Dinâmica evolutiva. 4. Granulometria.  
5. Impactos ambientais. I. Vieira, Antonio Fábio Sabbá Guimarães. II.  
Universidade Federal do Amazonas. Instituto de Filosofia, Ciências  
Humanas e Sociais. Curso de Geografia. III. Título

---

**VOÇOROCA DO CONJUNTO HABITACIONAL SÃO SEBASTIÃO – RIO PRETO  
DA EVA/AM: DINÂMICA EVOLUTIVA.**

**Banca Examinadora**

---

Prof. Dr. Antonio Fábio Sabbá Guimarães Vieira - Orientador  
PPGEOG/UFAM

---

Prof. Dr. Marcelo Accioly Teixeira de Oliveira – Membro Externo  
PPGG/UFSC

---

Prof. Dr. Deivison Carvalho Molinari – Membro Interno  
PPGEOG/UFAM

Manaus, 06 de junho de 2025

A minha mãe Vânia Maria Ribeiro Rodrigues.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, que me guiou durante todo esse processo.

Agradeço à minha mãe, Vânia Maria Ribeiro Rodrigues, por estar ao meu lado em todos os momentos, oferecendo seu amor incondicional, apoio constante e sabedoria que tanto me inspiram. Sou grata também ao meu pai, Carlos Pereira de Lima, por me proporcionar a oportunidade de me dedicar plenamente aos meus estudos, sempre me apoiando em tudo o que precisei. Amo muito vocês!

Agradeço ao meu grande orientador, Antonio Fábio Sabbá Guimarães Vieira, cuja presença iluminou minha jornada acadêmica. Mais do que um orientador, foi um amigo e, nos momentos necessários, um pai. Sou imensamente grata por sua orientação e apoio.

À família Latossolo-UFAM, que verdadeiramente representa o significado de união e apoio. Sempre prontos a estender a mão, seja nas atividades laboratoriais, no trabalho de campo ou nos momentos em que um ombro amigo se faz necessário.

Ao laboratorista Francisco Weliton Rocha Silva, sempre tão solícito e disposto a ajudar nas análises laboratoriais, meu sincero agradecimento.

Meu agradecimento especial à professora Gabriela Mendonça, que, durante o meu primeiro PIBIC, segurou minha mão e não me deixou desistir, sendo uma verdadeira amiga. Serei eternamente grato por todas as suas orientações, conselhos valiosos e pela inestimável ajuda na elaboração de mapas. Admiro muito você!

A banca de qualificação composta pelos professores doutores Deivison Carvalho Molinari (PPGEOG/UFAM) e Solange dos Santos Costa (DEGEO/UFAM) pelas orientações e ensinamentos.

Ao meu querido amigo e irmão de orientação, Ângelo Gabriel, cuja amizade tornou minha jornada acadêmica muito mais leve e alegre. Você esteve ao meu lado em todos os momentos, sempre disposto a ajudar, seja nas atividades de campo, no laboratório ou simplesmente oferecendo companhia nos dias difíceis. Suas palavras de apoio e seu “sim” constante fizeram toda a diferença. Nossa amizade vai muito além da universidade, e sou profundamente grata por cada conversa, cada sorriso compartilhado e todos os conselhos trocados. Amo você.

Aos meus amigos e familiares, que estiveram ao meu lado em todos os momentos,

oferecendo apoio e incentivo, especialmente nas fases mais desafiadoras, meu sincero agradecimento. Um agradecimento especial ao Gabriel Abreu, que me ouviu com paciência e compreensão nos momentos de dificuldade. Sou profundamente grato pela amizade e pelo suporte de cada um de vocês.

Ao programa de Pós-Graduação em Geografia da UFAM por todo apoio nessa jornada. E à CAPES e FAPEAM pelo incentivo a pesquisa.

Por fim, agradeço a todos que, de alguma forma, contribuíram para a minha caminhada. Levo comigo um profundo sentimento de aprendizado e gratidão ao encerrar mais um ciclo dessa jornada.

“Carrego em mim a certeza de que ainda vou explorar o mundo, mergulhando em novas culturas e colecionando experiências que transformarão minha alma e expandirão meus horizontes”.

## RESUMO

A erosão do solo, intensificada quando a chuva incide sobre encostas desmatadas, tornou-se uma ameaça constante nas franjas urbanas da Amazônia Central. No Conjunto Habitacional São Sebastião, em Rio Preto da Eva (AM), essa pressão deu origem a uma voçoroca — uma incisão profunda e em rápida expansão — que serve de estudo de caso para compreender como relevo, solo, água e uso antrópico interagem e agravam a degradação ambiental. A pesquisa busca suprir duas lacunas: a falta de séries de monitoramento multianuais de feições erosivas em ambientes tropicais úmidos e a escassa quantificação de seus custos ambientais e econômicos. O objetivo central foi acompanhar a evolução morfológica da voçoroca entre 2011 e 2024, identificar os fatores que condicionam seu avanço e estimar as repercussões físicas e patrimoniais da erosão. A metodologia combinou técnicas geomáticas, laboratório de solos e informação socioeconômica. Seis levantamentos com veículo aéreo não tripulado (VANT) geraram ortomosaicos e modelos digitais do terreno que permitiram medir área, volume e avanço linear da incisão. No laboratório foram analisadas amostras de solo colhidas em dez profundidades da parede da voçoroca, textura, densidade, porosidade, infiltração e resistência à penetração e sedimentos depositados no igarapé Agripino. Dados diários de precipitação (CHIRPS) foram correlacionados às etapas de crescimento, e entrevistas com moradores subsidiaram o cálculo de danos patrimoniais. Todo o conjunto foi interpretado à luz da teoria sistêmica, que considera as retroalimentações entre subsistemas geomorfológicos, hidrológicos, pedológicos e humanos. Os resultados mostram progresso ininterrupto da feição. A área saltou de 3.611 m<sup>2</sup> em 2019 para 4.910 m<sup>2</sup> em 2024; o volume erodido, de 64.600 m<sup>3</sup> para 103.600 m<sup>3</sup>. O avanço linear acumulado na cabeceira atingiu 31 m, com pico de 8,5 m no biênio 2020-2021, período de chuvas intensas. Camadas superficiais (0–6 m) apresentam teor de argila >55 % e porosidade >40 %, facilitando desagregação pelo impacto das gotas e selamento superficial. Abaixo de 10 m, o perfil torna-se franco-arenoso, mais denso e menos poroso, predispondo o solo a quedas em bloco e a escoamento subsuperficial. No leito do igarapé, a Área de Deposição Antiga reúne 72 % de areia em média, indicando retrabalhamento hidráulico, enquanto a Área de Deposição Recente preserva frações mais finas, refletindo deposição recente e pouco retrabalhada. Os impactos são evidentes: assoreamento do curso d'água, represamento, morte de árvores ribeirinhas e perda de lotes edificáveis. A estimativa de dano patrimonial por perda de área ultrapassa R\$ 113 mil. Já o custo projetado para estabilização completa da incisão supera R\$ 1,7 milhão, revelando que adiar ações corretivas onera cada vez mais o poder público e a comunidade. A progressão média anual de 0,5–1 m na cabeceira traduz-se não só em solo perdido, mas também em riscos à segurança habitacional e em agravamento da qualidade da água a jusante. Conclui-se que a voçoroca resulta da convergência entre relevo íngreme, litologia friável (arenitos Alter do Chão) e práticas urbanas que concentram escoamento — terraplanagem, redes pluviais mal desenhadas e remoção da mata secundária. A leitura sistêmica adotada permitiu traduzir o ritmo de degradação em métricas ambientais e financeiras tangíveis e evidencia a necessidade de integrar obras de engenharia (dissipadores de energia, revegetação, drenagem adequada) a normas de ocupação que respeitem as limitações do terreno. Somente com planejamento urbano preventivo e gestão ambiental proativa será possível conter a expansão da voçoroca e mitigar seus impactos socioambientais

**Palavras-chave:** erosão do solo, voçoroca, dinâmica evolutiva, granulometria, impactos ambientais.

## ABSTRACT

Soil erosion, intensified when rain falls on deforested slopes, has become a constant threat on the urban fringes of Central Amazonia. In the São Sebastião Housing Complex, in Rio Preto da Eva (AM), this pressure gave rise to a gully — a deep and rapidly expanding incision — which serves as a case study to understand how topography, soil, water, and human use interact and exacerbate environmental degradation. The research aims to address two gaps: the lack of multi-year monitoring series of erosive features in humid tropical environments, and the limited quantification of their environmental and economic costs. The main objective was to monitor the morphological evolution of the gully between 2011 and 2024, identify the factors driving its advancement, and estimate the physical and financial repercussions of the erosion. The methodology combined geomatic techniques, soil laboratory analysis, and socioeconomic information. Six surveys using unmanned aerial vehicles (UAVs) generated orthomosaics and digital terrain models that enabled measurement of area, volume, and linear progression of the incision. In the lab, soil samples collected from ten depths along the gully wall were analyzed for texture, density, porosity, infiltration, and penetration resistance, along with sediments deposited in the Agripino stream. Daily precipitation data (CHIRPS) were correlated with growth phases, and interviews with residents supported the estimation of property damage. All results were interpreted through a systemic theory lens, which considers feedback loops between geomorphological, hydrological, pedological, and human subsystems. The results show uninterrupted progression of the feature. The area increased from 3,611 m<sup>2</sup> in 2019 to 4,910 m<sup>2</sup> in 2024; the eroded volume grew from 64,600 m<sup>3</sup> to 103,600 m<sup>3</sup>. The cumulative linear advance at the head reached 31 meters, peaking at 8.5 meters during the 2020–2021 biennium, a period of intense rainfall. Surface layers (0–6 m) showed clay content >55% and porosity >40%, facilitating disaggregation by raindrop impact and surface sealing. Below 10 meters, the profile becomes sandy-loam, denser and less porous, predisposing the soil to block falls and subsurface flow. In the streambed, the Old Deposition Area contains an average of 72% sand, indicating hydraulic reworking, while the Recent Deposition Area retains finer fractions, reflecting recent and minimally reworked deposition. The impacts are evident: stream sedimentation, damming, death of riparian trees, and loss of buildable lots. The estimated property damage from land loss exceeds R\$113,000. The projected cost for complete stabilization of the incision surpasses R\$1.7 million, revealing that delaying corrective actions increasingly burdens public authorities and the community. The average annual progression of 0.5–1 meter at the head translates not only into lost soil, but also into risks to housing security and deteriorating downstream water quality. It is concluded that the gully results from the convergence of steep topography, friable lithology (Alter do Chão sandstones), and urban practices that concentrate runoff — earthworks, poorly designed stormwater networks, and removal of secondary forest. The adopted systemic approach allowed the pace of degradation to be translated into tangible environmental and financial metrics, highlighting the need to integrate engineering works (energy dissipators, revegetation, proper drainage) with land use regulations that respect terrain limitations. Only with preventive urban planning and proactive environmental management will it be possible to contain the gully's expansion and mitigate its socio-environmental impacts.

**Keywords:** soil erosion, gully, evolutionary dynamics, grain size distribution, environmental impacts.

## LISTA DE FIGURAS E GRÁFICOS

<b>Figura 1:</b> Tipos de voçorocas (I - conectada; II - desconectada; III - integrada)	27
<b>Figura 2:</b> Forma das voçorocas - classificação.	28
<b>Figura 3:</b> Mapa de localização da área de estudos	36
<b>Figura 4:</b> Unidades geológicas da área de estudos	38
<b>Figura 5:</b> Mapa de hipsometria da microbacia do igarapé do Agripino	39
<b>Figura 6:</b> Mapa de declividade da microbacia do igarapé do Agripino	40
<b>Figura 7:</b> Mapa de compartimentação geomorfológica da área de estudos	40
<b>Figura 8:</b> Classes de solos predominantes no município em estudo	43
<b>Figura 9:</b> Mapa de hipsometria da microbacia do igarapé do Agripino	45
<b>Figura 10:</b> VANT – DJI Phantom 4.	47
<b>Figura 11:</b> Interface do aplicativo PIX4D, pronto para uso.	48
<b>Figura 12:</b> Interface de opção de missão	48
<b>Figura 13:</b> VANT em missão, acompanhamento de voo por aplicativo.	49
<b>Figura 14:</b> Construindo o Ortomosaico (Build Orthomosaic).	49
<b>Figura 15:</b> Triângulo Textural do Solo	58
<b>Figura 16:</b> Diagrama de Shepard (1994)	59
<b>Figura 17:</b> Linha temporal da construção do conjunto com o surgimento da voçoroca	63
<b>Figura 18:</b> Linha do tempo da expansão da voçoroca	66
<b>Figura 19:</b> Crescimento linear da voçoroca	67
<b>Figura 20:</b> Igarapé Agripino e área assoreada	70
<b>Figura 21:</b> Depósitos de colúvio/alúvio à jusante da voçoroca	71
<b>Figura 22:</b> Perfil da encosta da voçoroca	74
<b>Figura 23:</b> Diferentes níveis de resistência à penetração (Platô, Encosta e Depósito)	85
<b>Figura 24:</b> (A) Residências regulares e (B) residências irregulares. Rio Preto da Eva-AM	88
<b>Gráfico 01:</b> Taxas de infiltração na encosta	83
<b>Gráfico 02:</b> Taxa de Infiltração no platô	83
<b>Gráfico 03:</b> Taxa de Infiltração no depósito de sedimentos	83

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1:</b> Classificação para o tamanho da voçoroca por volume	26
<b>Quadro 2:</b> Dados das Imagens do VANT	46
<b>Quadro 3:</b> Escala de risco erosivo	49
<b>Quadro 4:</b> Classificação granulométrica de Wentworth (1922).	53
<b>Quadro 5:</b> Lei de Stokes.	54
<b>Quadro 6:</b> Modelo de Ficha Cadastral.	59

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1:</b> Classes de declividade na bacia do Igarapé do Inferno em área (km <sup>2</sup> )	41
<b>Tabela 2:</b> Dados morfométricos da voçoroca	64
<b>Tabela 3:</b> Taxas de crescimento linear da voçoroca	67
<b>Tabela 4:</b> Volume erodido por monitoramento	68
<b>Tabela 5:</b> Distância da residência, taxa de crescimento e previsão de risco da voçoroca	69
<b>Tabela 6:</b> Dados métricos dos depósitos de sedimentos	70
<b>Tabela 7:</b> Classe textural das amostras de solo	73
<b>Tabela 8:</b> Granulometria das amostras de solo	73
<b>Tabela 9:</b> Teor de agregados das amostras de solo	74
<b>Tabela 10:</b> Densidade do solo, Densidade de partículas e porosidade total das amostras de solo	77
<b>Tabela 11:</b> Classe textural – área de deposição antiga (ADA)	78
<b>Tabela 12:</b> Classe textural – área de deposição recente (ADR)	78
<b>Tabela 13:</b> Teor de agregados da área de deposição antiga - ADA	79
<b>Tabela 14:</b> Teor de agregados da área de deposição recente – ADR	80
<b>Tabela 15:</b> Densidade do solo, densidade de partículas e porosidade total da área de deposição antiga – ADA	81
<b>Tabela 16:</b> Densidade do solo, densidade de partículas e porosidade total da área de deposição recente - ADR	82
<b>Tabela 17:</b> Danos ambientais correlacionadas a voçoroca	87
<b>Tabela 18:</b> Dano por área	88
<b>Tabela 19:</b> Custo da contenção	88

## SUMÁRIO

<b>1.INTRODUÇÃO</b>	<b>16</b>
<b>2.CAPÍTULO I - EROSÃO, FATORES CONTROLADORES, PROCESSOS, FORMAS, DEPOSITO E IMPACTOS AMBIENTAIS</b>	<b>18</b>
<b>2.1.Erosão</b>	<b>18</b>
<b>2.2.Fatores controladores</b>	<b>19</b>
2.2.1.Erosividade da chuva	19
2.2.2.Propriedades do Solo	20
2.2.3.Cobertura Vegetal	21
2.2.4.Características da Encosta	21
<b>2.3.Processos hidrológicos</b>	<b>22</b>
2.3.1.Infiltração	22
2.3.2.Escoamento superficial e subsuperficial	24
<b>2.4.Formas de erosão hídrica</b>	<b>25</b>
2.4.1.Erosão em Laminar	25
2.4.2.Erosão em Sulcos	26
2.4.3.Erosão em Ravinas	26
2.4.4.Erosão em Voçorocas	26
<b>2.5.Depósito de sedimentos e sua classificação</b>	<b>32</b>
<b>2.6.Impactos ambientais correlacionados a voçoroca</b>	<b>35</b>
<b>3.CAPÍTULO II - CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO</b>	<b>37</b>
<b>3.1.Geologia</b>	<b>37</b>
<b>3.2.Geomorfologia</b>	<b>39</b>
<b>3.3.Clima</b>	<b>42</b>
<b>3.4.Solos</b>	<b>43</b>
<b>3.5.Vegetação</b>	<b>44</b>
<b>3.6.Hidrografia</b>	<b>45</b>
<b>4.CAPÍTULO III – METODOLOGIA</b>	<b>47</b>
<b>4.1.Monitoramento das taxas de evolução da voçoroca e a produção de sedimentos</b>	<b>47</b>
<b>4.2.Caracterização dos depósitos de sedimentos oriundos da voçoroca monitorada</b>	<b>52</b>
<b>4.3.Descrição das características físicas das amostras de solo e sedimentos</b>	<b>52</b>
4.3.1.Análise de campo e secagem	52

4.3.2. Teor de Agregados	53
4.3.3. Densidade do solo	54
4.3.4. Densidade das partículas	54
4.3.5. Porosidade Total	55
4.5.6. Granulometria	55
4.3.7. Sedimentos Finos	55
4.3.8. Dispersão e pipetagem	56
4.3.9. Sedimentos Grossos	57
4.3.10. Teste de resistência à penetração	59
4.3.11. Teste de Infiltração	59
<b>4.4. Caracterização dos impactos ambientais correlacionados às voçorocas.</b>	<b>61</b>
<b>5. CAPÍTULO IV - RESULTADOS</b>	<b>63</b>
<b>5.1. Monitoramentos das taxas de evolução da voçoroca e a produção de sedimentos</b>	<b>63</b>
<b>5.2. Caracterização os depósitos de sedimentos oriundos da voçoroca monitorada</b>	<b>70</b>
<b>5.3. Descrições das características físicas das amostras de solo e sedimentos</b>	<b>72</b>
5.3.1. Granulometria das amostras coletadas na parede da voçoroca	72
5.3.2. Teor de agrgado das amostras coletadas na parede da voçoroca	76
5.3.3. Densidade do solo (Ds); densidade de partículas (Dp) e porosidade total das amostras coletadas na parede da voçoroca	76
5.3.4. Granulometria das amostras de sedimentos	77
5.3.5. Teor de agregado das amostras de sedimentos	79
5.3.6. Densidade do solo (Ds); densidade de partículas (Dp) e porosidade total das amostras de sedimentos	80
5.3.7. Capacidade de infiltração	82
5.3.8. Resistência à penetração	84
<b>5.4. Caracterização dos impactos urbano-ambientais correlacionados às voçorocas</b>	<b>86</b>
<b>6. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>90</b>
<b>7. REFERÊNCIAS</b>	<b>94</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Os sistemas ambientais, relevo, cursos d'água, solos e vegetação, funcionam como um grande organismo em movimento constante. Quando esse organismo é perturbado, ele responde, e nem sempre de forma suave (Vieira, 2008). Ross (1995) já chamava a atenção para isso: a industrialização concentrada nas cidades, a agricultura mecanizada em enormes monoculturas e o consumo voraz de energia e matéria-prima vêm redesenhando a Terra em um ritmo difícil de reverter.

Nesse cenário, o uso intensivo e muitas vezes desordenado dos recursos naturais tem deixado um rastro visível: solos impermeabilizados, matas derrubadas, águas poluídas, canais assoreados e, sobretudo, relevo profundamente remodelado por feições erosivas. Molinari (2023) lembra que estudar geomorfologia hoje implica observar de perto essa dança entre sociedade e natureza, pois as marcas humanas já fazem parte da própria paisagem.

Entre os processos que esculpem o terreno, a erosão se destaca. Como explica Silva (2021), o desgaste e o transporte de partículas são naturais, mas se tornam evidentes em sulcos, ravinas e, principalmente, nas voçorocas, enormes cortes que devoram o solo fértil e jogam sedimento nos rios. Foi exatamente isso que aconteceu em Manaus. Molinari (2023) mostrou que, após 1970, a cidade cresceu de forma rápida e desigual, alterando o uso do solo e desencadeando impactos como a contaminação dos igarapés e o surgimento de voçorocas profundas. Vieira (2008) reforça que essas feições surgem quando se somam relevo acentuado, desmatamento e terraplanagem: juntos, esses fatores explicam mais de 58% dos casos mapeados na capital.

Os estudos de Manaus ilustram bem a força dessas incisões: elas roubam área útil, entopem canais, criam zonas de risco e agravam a impermeabilização urbana. Em Rio Preto da Eva, Silva (2021) mapeou situação semelhante: as voçorocas brotam onde o terreno já é frágil, mas se desenvolvem principalmente devido às intervenções humanas.

Essa pesquisa, portanto, nasce da necessidade de observar mais de perto uma dessas feições em Rio Preto da Eva. Trabalhos anteriores, de Silva (2021), Vieira, Lima e Silva (2022), e Lima e Vieira (2023), abriram caminho, mas não explicaram, em detalhes, como a voçoroca se formou como evolui nem o quanto impacta o ambiente a jusante, especialmente no assoreamento de canais.

Para entender essas questões, decidimos analisar a evolução morfométrica da voçoroca, suas taxas de crescimento, tipo, forma e tamanho, e os processos erosivos que a alimentam.

Assim, nosso objetivo geral é desvendar a dinâmica da voçoroca urbana em Rio Preto da Eva (AM). Especificamente, propomos: (i) monitorar suas taxas de expansão e a produção de sedimentos; (ii) caracterizar os depósitos formados a jusante; (iii) descrever as propriedades físicas dos solos e sedimentos envolvidos; e (iv) identificar os impactos ambientais associados à feição.

A relevância do estudo está em gerar informações práticas para orientar ações de contenção e manejo, reduzindo danos tanto ao ambiente quanto às famílias vizinhas. Ao mesmo tempo, ampliamos o conhecimento científico sobre voçorocas urbanas na Amazônia e oferecemos subsídios para políticas públicas de prevenção e mitigação de processos erosivos em realidades semelhantes.

## **2. CAPÍTULO I - EROSÃO, FATORES CONTROLADORES, PROCESSOS, FORMAS, DEPOSITO E IMPACTOS AMBIENTAIS**

### **2.1 Erosão.**

A erosão é um fenômeno natural de desagregação e transporte de material (solo ou rocha), executado por algum agente, podendo ser intensificado por ações humanas a partir da retirada da vegetação, terraplanagem, impermeabilização de vias e canalização da água pluvial, entre outras ações (Guerra et al., 2014; Guerra et al., 2020; Vieira et al., 2022).

Do ponto de vista geomorfológico, Dirane e Vieira (2020) afirmam que a erosão é o processo que envolve o destacamento e o transporte de solos e fragmentos de rochas de um lugar para outro (distante ou próximo do local de origem).

O solo é um elemento natural que passa por alterações ao longo dos anos, envolvendo vários processos, incluindo adição, transformação, translocação e remoção. Segundo o Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE, 1990), quando a erosão se intensifica e supera a velocidade dos processos de formação do solo, ela passa a ser classificada como erosão acelerada.

O processo de erosão pode ser classificado de duas formas: erosão natural e erosão acelerada. A erosão acelerada tem sua magnitude relacionada às características do solo, às condições climáticas e ao uso e manejo dos recursos naturais (Hernani et al., 2002). No entanto, conforme Vieira (1998), além de receber influência dos aspectos naturais, a erosão acelerada também pode ser intensificada por atividades humanas. Determinadas formas de uso do solo, como a agricultura convencional, frequentemente levam ao desmatamento de grandes áreas, deixando-as expostas e acelerando o processo erosivo. Além disso, como destacam Silva Neto e Aleixo (2020), alterações nas dinâmicas naturais, quando os limites físicos e naturais são desrespeitados, tendem a gerar impactos diretos, os quais influenciam e são influenciados pelo uso e ocupação da terra. Portanto, a erosão é um processo natural, mas pode ser intensificada pela ação humana, tornando suas consequências mais significativas.

Os agentes que podem causar erosão são: a água (erosão hídrica) e o vento (erosão eólica); porém, no Brasil, a erosão hídrica é a mais importante (Hernani et al., 2002; Lepsch, 2010).

O processo de erosão hídrica se inicia quando ocorre o contato direto entre as gotas de água e o solo desprotegido de cobertura vegetal. O impacto gerado por essas gotas de chuva no solo pode ou não causar a perda de partículas. Dependendo da intensidade, da velocidade e do tamanho das gotas da chuva, essa perda pode ocorrer. Caso haja coalescência das gotas de chuva, estas poderão adquirir energia suficiente para desencadear uma das duas etapas da erosão hídrica, que é o transporte de partículas. As duas etapas são: desagregação do solo e transporte de partículas (sedimentos). Vieira e Frota Filho (2023) afirmam que a erosão dos solos se refere à ação exercida pelo vento e pela água

sobre este, desagregando e transportando partículas de um lugar para outro. Quando os agentes perdem energia a ponto de não conseguirem mais transportar a matéria solta, os sedimentos são depositados, cessando temporariamente o processo erosivo (Vieira; Frota, 2023).

As principais causas da erosão, segundo Wild (1993) apud Guerra *et al.*, 2020):

1. Desmatamento, deixando os solos desprotegidos; 2. Agricultura e pecuária, sem adoção de práticas conservacionistas; 3. Cultivo e pecuária em encostas de elevada declividade, às vezes superior a 45°, sem adoção de práticas conservacionistas; 4. Trilhas abertas por animais e por homens, compactando os solos, por onde a água se escoou com facilidade; 5. Construção de rodovias sem cuidados especiais, o que faz aumentar o escoamento superficial, causando ravinas que podem evoluir para voçorocas; 6. Mineração e outras atividades econômicas, que deixam o solo desprotegidos, sem recuperação dessas áreas (p. 77).

Como mencionado anteriormente, a ocupação humana desempenha papel decisivo no desencadeamento de processos erosivos, embora fatores naturais também influenciem diretamente o surgimento e a evolução da erosão.

## **2.2. Fatores controladores.**

Os fatores controladores determinam as variações nas taxas de erosão, sendo subdivididos em: erosividade, propriedades do solo, cobertura vegetal e características da encosta (Vieira, 1998; Lepsch, 2010; Guerra, 2015).

### **2.2.1 Erosividade da chuva**

Conforme Pereira e Rodrigues (2022), os fatores climáticos que interferem na erosão dos solos são: a precipitação, a velocidade do vento, o balanço hídrico, as temperaturas médias anuais e sazonais. Contudo, entre todos esses fatores, a precipitação é o principal agente responsável pelo desencadeamento do processo de erosão. Silva (2004) conceitua o termo “erosividade da chuva” como sendo a capacidade potencial da chuva de causar perda de solo.

A capacidade de impacto da chuva no solo pode provocar o desprendimento de suas partículas. Lepsch (2010) e Guerra (2015) afirmam que, para investigar esse impacto, é necessário considerar alguns parâmetros, como a intensidade, a quantidade e a distribuição das chuvas. Se a chuva ocorrer de forma suave, com gotas pequenas e por tempo prolongado, haverá mais tempo para sua infiltração no solo (Lepsch, 2010), o que reduz o escoamento superficial e, conseqüentemente, o transporte de partículas. Guerra (2015) ressalta que a

intensidade da chuva é um parâmetro crucial para o estudo da perda de solo, além de influenciar diretamente as taxas de infiltração.

Outro aspecto a ser considerado é a distribuição das chuvas, pois o globo terrestre apresenta zonas climáticas distintas, resultando em diferentes padrões de precipitação. Como exemplifica Lepsch (2010), em regiões com longos períodos de seca, a chuva atinge solos extremamente secos e com pouca vegetação, tornando-os mais suscetíveis à erosão.

### 2.2.2 Propriedades do Solo.

As propriedades do solo afetam diretamente a sua suscetibilidade à erosão (Pereira; Rodrigues, 2022). Porém, para o estudo dessa suscetibilidade, é necessário considerar algumas propriedades do solo, tais como: textura, teor de matéria orgânica, densidade, porosidade e estabilidade dos agregados (Vieira, 1998; Guerra, 2015). O conjunto dessas características define o tipo de solo, o qual determinará sua suscetibilidade à erosão (DAEE, 1990).

A textura afeta a erosão devido ao fato de algumas frações granulométricas (areia, silte e argila) serem removidas mais facilmente que outras (Guerra, 2015). Por exemplo, solos arenosos, que apresentam espaços porosos grandes, podem, durante chuvas de baixa intensidade, absorver toda a água e, com isso, evitar o escoamento superficial. No entanto, em solos com baixa proporção de partículas argilosas, até mesmo enxurradas pouco intensas podem ser suficientes para arrastar grande quantidade de partículas superficiais (Ahmed, 2009).

O teor de matéria orgânica (húmus e serrapilheira) tem papel importante na mitigação da erosão, pois auxilia na diminuição dos impactos das gotas de chuva diretamente no solo, evitando a desagregação das partículas. Além disso, a matéria orgânica é fonte primária de nutrientes para as plantas, influenciando na infiltração, na retenção de água e na estabilidade dos agregados (Conceição et al., 2005). A estabilidade dos agregados também está relacionada às taxas de erodibilidade, pois, conforme Guerra (2010), se essa estabilidade for baixa, os agregados se rompem facilmente, criando crostas que dificultam a infiltração e, conseqüentemente, aumentam a possibilidade de escoamento superficial.

Vieira (1998) ressalta ainda a importância da densidade do solo no estudo dos processos erosivos, já que está relacionada à compactação e influencia diretamente o processo de infiltração.

### 2.2.3 Cobertura Vegetal.

A cobertura vegetal é um fator determinante no processo de erosão. Segundo Guerra (2015), a vegetação influencia os processos erosivos de várias maneiras: atenuando a energia cinética da chuva, proporcionando cobertura espacial que protege o solo e contribuindo para a formação de húmus e matéria orgânica.

A vegetação atua como proteção do solo, diminuindo o impacto causado pelo vento e pelas gotas de chuva (Sá et al., 2020). As copas das árvores auxiliam no amortecimento do impacto direto da água sobre o solo.

As raízes também contribuem para o aumento da infiltração, evitando o escoamento superficial e o transporte dos minerais presentes no solo. Além disso, ajudam na produção de matéria orgânica e na estabilidade dos agregados, bem como no equilíbrio térmico do solo (Sá et al., 2020).

É importante destacar que a influência da vegetação na erosão depende do percentual de cobertura vegetal (Guerra, 2015). Esse efeito é evidente em regiões de florestas densas, como a Amazônia, onde as taxas de erosão e escoamento são reduzidas devido à elevada cobertura vegetal. No entanto, Vieira (2008) questiona essa relação ao reavaliar a afirmação de Fournier (1975), que estabelecia ser necessária uma queda livre superior a 20 metros para que uma gota de chuva atingisse sua velocidade crítica. Com base nisso, Vieira (2008) argumenta que, na Amazônia, a interceptação pelas copas altas resulta em gotas que atingem o solo com velocidade próxima à original. Dessa forma, embora a cobertura vegetal atue como proteção, Vieira (2010) ressalta que o elemento mais eficaz no controle da erosão em florestas tropicais como a Amazônia é a espessa camada de serrapilheira.

### 2.2.4 Características da Encosta.

Os fatores relacionados às encostas podem afetar a erodibilidade dos solos de diferentes maneiras, por meio da declividade, do comprimento e da forma (Vieira, 2008; Guerra, 2015).

Quanto maior a declividade da encosta, maior será a probabilidade de ocorrência de processos erosivos, uma vez que o escoamento superficial será mais veloz, dificultando o processo de infiltração e favorecendo o transporte de partículas do solo. No entanto, Guerra e Botelho (1996) ressaltam que, apesar de a declividade ainda ser considerada uma das variáveis mais relevantes nos processos erosivos, vários pesquisadores demonstraram que, em

encostas mais íngremes, a erosão pode ser menor. Poesen e Govers (1986 apud Guerra e Botelho, 1996) mostraram que, à medida que a declividade aumenta, a erosão pode diminuir devido à redução do processo de selamento superficial, responsável pela formação de crostas no solo.

Outro fator determinante para os processos erosivos é o comprimento das encostas. Quanto mais longas forem, maior será a concentração dos fluxos de água, o que, conseqüentemente, aumenta os riscos de erosão (Guerra e Botelho, 1996). Entretanto, Guerra (2015) salienta que, embora o comprimento da encosta afete a erosão dos solos, esse é um parâmetro de difícil avaliação, pois outras características, como declividade, forma da encosta e propriedades do solo, também influenciam o escoamento superficial.

A forma da encosta também é relevante para o processo erosivo. Encostas côncavas são mais suscetíveis aos processos erosivos, enquanto as convexas e retilíneas exercem menor influência (Guerra e Botelho, 1996). Hadley et al. (1985 apud Guerra, 2015) chamam a atenção para o fato de que a forma das encostas pode ser até mais importante do que a declividade nos processos de erosão dos solos.

As ocupações antrópicas em áreas elevadas e com declividade acentuada também contribuem para a erosão, uma vez que exigem desmatamento, expondo o solo. O solo exposto pode sofrer compactação, impedindo a infiltração da água e contribuindo para o aumento do escoamento superficial.

## **2.3 Processos hidrológicos.**

Entender os processos hidrológicos básicos é importante para compreender como a erosão ocorre e quais suas conseqüências, portanto, é preciso que se conheça a dinâmica erosiva desde a sua origem (Guerra, 2010; 2015). Assim, dentre os processos que envolvem a água como agente principal, destacam-se neste trabalho a infiltração, o escoamento superficial (laminar e concentrado) e o escoamento subsuperficial, já que eles apresentam relação direta com o processo de erosão (desagregação e transporte de partículas).

### **2.3.1. Infiltração**

A infiltração da água da chuva no solo é um dos meios que permite a circulação da água pela terra (Alves, 2007). No processo de infiltração, a água que não penetra no solo pode

escoar pela superfície do terreno, originando o escoamento superficial (laminar ou concentrado). Quando o solo retém água por meio de seus poros, dificulta-se o escoamento superficial e, conseqüentemente, o transporte de partículas, diminuindo a possibilidade de processos erosivos. Brandão (2003) destaca a importância do conhecimento desse processo, visto que ele é um dos principais determinantes do escoamento superficial.

Alguns fatores interferem na capacidade de infiltração, sendo eles: propriedades do solo, cobertura vegetal, uso e manejo do solo e características da encosta (Alves, 2007; Carvalho et al., 2007; Guerra et al., 2010; Guerra, 2015).

As propriedades do solo, principalmente a textura e a estrutura, influenciam diretamente o processo de infiltração (Carvalho et al., 2007). O tamanho das partículas do solo — maiores (areia e cascalho) e menores (argila e silte) — determina características importantes, como: tamanho e quantidade de poros, permeabilidade, grau de plasticidade, pegajosidade e resistência à erosão (Lepsch, 2010). A quantidade de poros no solo é determinante no processo de infiltração, sendo que solos com textura predominantemente arenosa apresentam condutividade hidráulica superior se comparados aos solos com predominância argilosa ou siltosa (Lepsch, 2010).

A cobertura vegetal também exerce influência no processo de infiltração, pois protege o solo dos efeitos diretos do impacto das gotas de chuva (splash), além de formar uma camada de restos orgânicos (serrapilheira) que atua como proteção adicional.

Segundo Carvalho et al. (2007) e Alves (2007), as raízes da vegetação favorecem a formação de poros no solo, criando caminhos para a circulação da água. Além disso, a serrapilheira estimula a atividade de organismos vivos que também auxiliam na abertura desses caminhos.

O uso e manejo do solo é outro fator importante para a infiltração, visto que o tratamento dado ao solo, especialmente na agricultura, influenciará diretamente nesse processo. Segundo Lepsch (2010), a desagregação e o transporte de partículas, sob condições idênticas de chuva e solo, variam conforme o tipo de cultivo. Ou seja, dependendo da prática agrícola adotada, o solo pode ou não se tornar mais suscetível à erosão.

As características das encostas, como declividade, comprimento e forma, também influenciam a infiltração. Dentre esses três fatores, a declividade é determinante, pois quanto maior ela for, menor será o tempo de contato da água com o solo, dificultando sua infiltração e favorecendo o escoamento superficial. Entretanto, vários autores discordam dessa relação

direta, mostrando que, em algumas encostas íngremes, a erosão pode ser menor (Guerra e Botelho, 1996).

### 2.3.2 Escoamento superficial e subsuperficial

O escoamento superficial ocorre durante um evento chuvoso quando a capacidade de armazenamento de água no solo é saturada (Silva, 2000; Guerra, 2015), ou quando a intensidade da chuva é superior à capacidade de infiltração. Para entender sua relação com os processos erosivos, é necessário vinculá-lo à compactação e à saturação do solo.

Ao entrarem em contato com solos desprovidos de cobertura vegetal, as gotas de chuva exercem impacto considerável. Isso provoca o desprendimento de partículas e a formação de crostas, dificultando a infiltração e favorecendo o escoamento superficial. Conforme Assouline (2004) forma-se uma camada dura na superfície do solo — denominada “selo” — que interfere diretamente na relação entre chuva e infiltração, promovendo o escoamento superficial. Essa quebra dos agregados e a consequente formação de crostas somente ocorrem quando os agregados têm baixa resistência ao impacto das gotas (Vieira, 1998).

O solo é capaz de receber, reter e armazenar água por um período, utilizando seus poros (Lepsch, 2010). No entanto, ao atingir a saturação, ele perde a capacidade de infiltração, e o excedente de água se acumula em pequenas depressões. Quando esse acúmulo atinge determinado limite, a água passa a escoar pela superfície, lavando-a e originando o escoamento superficial por saturação (Vieira, 1998).

Outra forma de escoamento superficial é o hortoniano. Esse processo ocorre quando a água da chuva atinge o solo com velocidade superior à sua capacidade de infiltração (Vieira, 2008). Devido à forte intensidade da precipitação, o ar presente nos poros do solo não consegue escapar a tempo, o que dificulta a penetração da água e favorece o escoamento.

O escoamento superficial pode ocorrer sob a forma de lâminas d'água que percorrem de forma difusa toda a superfície do terreno (escoamento superficial difuso) (DAEE, 1990). No entanto, quando a água se concentra em caminhos preferenciais, forma-se o escoamento superficial concentrado, com maior capacidade erosiva que o difuso (Vieira, 1998).

O escoamento subsuperficial também contribui para os processos erosivos. Segundo Guerra (2015), além de controlar o intemperismo, ele afeta diretamente a erodibilidade dos solos por meio de suas propriedades hidráulicas, influenciando o transporte de minerais em

solução. Esse tipo de escoamento pode ocorrer por meio de fluxos concentrados em dutos ou túneis que, conforme a intensidade do fluxo de água subterrânea, transportam grandes volumes de sedimentos, ampliando o diâmetro desses dutos e provocando o colapso do material na superfície (Oliveira et al., 1996; Oliveira e Camargo, 1996; Paisani e Oliveira, 2001; Guerra, 2015; Pereira e Rodrigues, 2022). Guerra (2015) acrescenta que esse colapso pode dar origem a voçorocas.

Coelho Netto (1994) diz que os fluxos d'água subsuperficiais associados aos mecanismos de erosão são:

A erosão de vazamento, onde a força do fluxo exfiltrante, tem nesse caso, a capacidade de deslocar partículas no meio poroso e a lavagem em túnel que ocorre quando uma força cisalhante atua nas margens de um macroporo sem, no entanto, ter recebido influência do fluxo d'água, proporcionando desta forma uma lavagem interna (p.137).

## **2.4 Formas de erosão hídrica.**

O surgimento de feições erosivas, nas quais a água é o agente principal, depende das variações nas taxas de erosão, as quais estão ligadas aos fatores controladores já descritos anteriormente. Neste trabalho, destacam-se quatro tipos de erosão hídrica mais conhecidos: erosão por escoamento laminar, erosão em sulcos, erosão por ravinas e erosão por voçorocas (Lepsch, 2010; Guerra, 2015; Pereira e Rodrigues, 2022). Incisões erosivas provocam uma série de impactos ao meio ambiente, como o assoreamento de canais, a inutilização da área afetada e de seu entorno, a destruição de estruturas urbanas, a degradação do solo, entre outros (Silva e Vieira, 2020).

### **2.4.1 Erosão Laminar.**

A erosão laminar ocorre por meio do escoamento superficial, quando o solo fica saturado e sua capacidade de infiltração é excedida, formando um lençol de água disperso sobre o terreno. Devido ao impacto direto das gotas de chuva sobre o solo, caso este não esteja protegido por cobertura vegetal, ocorre a desagregação das partículas, e os grãos menores são facilmente arrastados pela enxurrada. De acordo com Guerra (2015), quanto maior a turbulência do fluxo de água, maior será sua capacidade erosiva.

Lepsch (2010) ressalta que esse tipo de erosão é sutil, pois agricultores e pecuaristas muitas vezes não percebem a remoção de finas lâminas do solo. Conforme Bertoni e

Lombardi Netto (2012), a desagregação e o deslocamento das partículas na erosão laminar ocorrem superficialmente, sem formar sulcos ou formando apenas sulcos muito rasos.

#### 2.4.2 Erosão em Sulcos.

A erosão em sulcos é causada pela concentração do escoamento superficial em determinados pontos do terreno, resultante de sua irregularidade (Vieira, 2008; Lepsch, 2010; Bertoni e Lombardi Netto, 2012). Os sulcos podem ser desfeitos com o uso de máquinas agrícolas e, quando isso ocorre, são denominados sulcos rasos (Lepsch, 2010).

Segundo Vieira (2010), os sulcos se formam a partir do momento em que a água da chuva começa a escoar pela superfície do terreno por caminhos preferenciais, que vão sendo aprofundados pela força da água, podendo atingir profundidades de até 50 cm.

#### 2.4.3 Erosão em Ravinas.

A ravina apresenta profundidade superior a 0,5 m, é formada pelo escoamento superficial, tem forma retilínea, alongada e estreita, com perfil transversal em “V” (Canil et al., 1995 apud Vieira, 2008). Embora não seja objeto de estudo neste trabalho, utilizam-se os seguintes parâmetros para essas incisões: profundidade entre 0,05 m e 0,50 m para os sulcos e de 0,50 m a 1,5 m para as ravinas (Vieira, 2010).

#### 2.4.4 Erosão em Voçorocas.

Vieira (2010) define as voçorocas como incisões erosivas que apresentam queda em bloco das camadas do solo, paredes verticais e fundo plano, formando seção transversal em “U”, com profundidade superior a 1,5 m — definição adotada neste trabalho. Conforme Vieira (1998), a diferença básica entre uma ravina e uma voçoroca está na forma da calha por onde escoar a água: na ravina, essa calha tem formato em “V”, enquanto na voçoroca tem formato em “U”. Além disso, a ravina não apresenta desmoronamentos nas paredes expostas da incisão, como ocorre nas voçorocas.

Segundo Guerra (2015), as voçorocas são feições erosivas relativamente permanentes em encostas, com paredes íngremes e fundo plano, nas quais ocorre fluxo de água durante eventos chuvosos. Bertoni e Lombardi Netto (2012) definem a voçoroca como o estágio

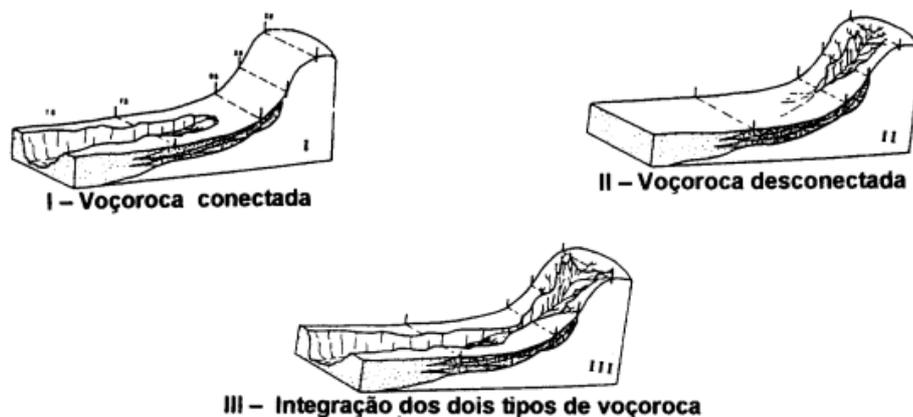
evolutivo da erosão em sulcos, resultante do aprofundamento contínuo dessas feições. A Soil Science Society of America (1975 apud Vieira, 2008) conceitua as voçorocas como incisões com profundidade superior a 30,48 cm, podendo atingir de 22,86 m a 30,48 m.

A voçoroca é a feição erosiva que recebe maior atenção devido à sua magnitude, sendo considerada a etapa mais avançada da erosão dos solos. Segundo o DAEE (1990), a voçoroca é palco de diversos processos, como: erosão superficial, erosão interna, solapamentos, desabamentos e escorregamentos. Parte do surgimento dessas feições deve-se ao escoamento concentrado da chuva sobre solos desprotegidos de vegetação (Silva e Vieira, 2020). Além disso, processos como o escoamento superficial difuso, a erosão por percolação (seepage erosion), os movimentos de massa e a erosão em dutos também são considerados relevantes para a gênese e evolução dessas incisões erosivas (Oliveira et al., 1996, p. 1).

Segundo Oliveira (1989), as voçorocas podem ser classificadas em três tipos: conectadas, desconectadas e integradas (Figura 1). A respeito dessa tipologia, Vieira (2008) descreve de forma simplificada a classificação de Oliveira (1989):

As conectadas se associam ao escoamento hipodérmico e/ou subterrâneo nas partes baixas da encosta, podendo ser consideradas canais de primeira ordem; as desconectadas, encontrando-se na parte superior da encosta, estão ligadas ao escoamento superficial e/ou a movimentos de massa e não poderiam ser consideradas canal de primeira ordem por não estarem ligadas a nenhuma rede de drenagem; as integradas, são na verdade a junção das duas formas anteriores (voçorocas conectadas e voçorocas desconectadas), formando uma só incisão erosiva (p. 54).

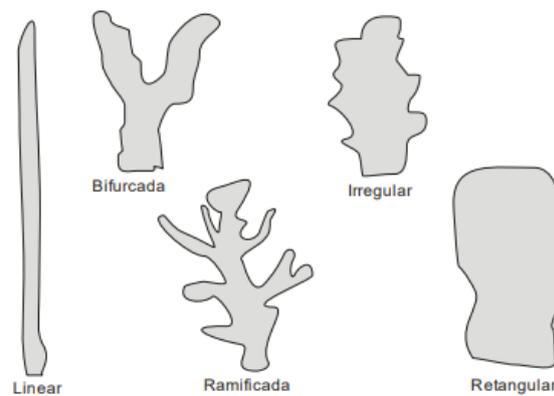
**Figura 1:** Tipos de voçorocas (I - conectada; II - desconectada; III - integrada).



**Fonte:** Oliveira et al. (1996).

As voçorocas também podem ser classificadas quanto à forma (Figura 2), sendo divididas em: linear, bifurcada, ramificada, irregular e retangular (Vieira, 2008). Cada forma resulta de processos específicos e das condições ambientais locais, como a geologia, o relevo, o tipo de solo, a cobertura vegetal e o sistema de drenagem, tanto superficial quanto subsuperficial (Vieira, 2008).

**Figura 2:** Forma das voçorocas - classificação.



**Fonte:** Vieira (2008).

Já a classificação em relação ao tamanho (Quadro 1), pode ser realizada por meio do volume erodido, podendo ser: muito pequena, pequena, média, grande e muito grande (Vieira e Albuquerque, 2004). Vale destacar, que através desta classificação, é possível obter uma melhor visualização da feição e do volume erodido (Vieira, 2008).

**Quadro 1:** Classificação para o tamanho da voçoroca por volume.

VOLUME ERODIDO	TAMANHO ERODIDO
Até 900 m <sup>3</sup>	Muito pequena
De 1.000 até 9.999 m <sup>3</sup>	Pequena
Entre 10.000 e 19.999 m <sup>3</sup>	Média
Entre 20.000 e 40.000 m <sup>3</sup>	Grande
Mais de 40.000 m <sup>3</sup>	Muito grande

**Fonte:** Vieira e Albuquerque (2004).

Guerra *et al.* (2020) ressaltam que a erosão dos solos vem sendo estudada por pesquisadores, no Brasil e no mundo, há muito tempo. Em se tratando dos estudos no Brasil,

muitos trabalhos têm sido desenvolvidos, dando ênfase às feições erosivas geradas pelo processo de erosão. Como por exemplo, Marchioro *et al.* (2016) trabalhando com a análise da evolução espaço-temporal de algumas voçorocas no estado do Espírito Santo, uma localizada na Bacia Hidrográfica do Córrego das Flores, município de Afonso Claudio e a outra, na rodovia ES-482, no município de Alegre. Os autores utilizaram fotografias aéreas de 1970, 2007 e 2012 para realizar a análise temporal das feições.

Nesse estudo a voçoroca da Bacia do Córrego das Flores apresentou significativa expansão entre 1970 e 2012. Em 1970, tinha área de 332 m<sup>2</sup>, perímetro de 140 m e formato bulbiforme, com um único filete erosivo. Em 2007, sua área aumentou para 6.642 m<sup>2</sup>, com perímetro de 691 m e formato dendrítico. Em 2012, a área cresceu ligeiramente para 6.727 m<sup>2</sup>, com perímetro de 677 m, mantendo o formato dendrítico. Quanto ao Córrego Varjãozinho, na rodovia ES-482, não havia voçoroca em 1970. Em 2007, surgiram quatro voçorocas com áreas de 56 m<sup>2</sup>, 89 m<sup>2</sup>, 118,6 m<sup>2</sup> e 42 m<sup>2</sup> e perímetros de 37 m, 62 m, 56,55 m e 36 m, respectivamente, todas com formato linear. Em 2012, essas voçorocas se uniram formando uma única voçoroca com área de 1.469 m<sup>2</sup> e perímetro de 356 m. Os autores observaram que a gênese da voçoroca do Córrego das Flores está associada às mudanças no uso e cobertura da terra, bem como à ocorrência de *pipes* em seu interior. Já a gênese das voçorocas da Bacia do Córrego Varjãozinho está associada aos desvios de água superficial da rodovia ES-482, sem a implantação de escadas dissipadoras de energia até o sopé da encosta.

Frota Filho *et al.* (2020) caracterizaram a voçoroca e suas feições secundárias no bairro Nova Cidade, Manaus (AM), de acordo com seus parâmetros morfométricos (tipo, forma e tamanho) e das feições de retrabalhamento, identificando seus impactos e utilizando parâmetros como o modelo de Oliveira (1996) e Vieira (2008) para classificar a voçoroca quanto ao tipo e à forma, respectivamente, assim como também o tamanho da incisão pelo modelo de Vieira e Albuquerque (2004). Os autores chegaram à conclusão de que a voçoroca é do tipo conectada, apresentando forma irregular e com volume erodido de 119.981,52 m<sup>3</sup>, o que a classifica como sendo muito grande. As principais feições secundárias em seu interior são marmitas e alcovas de regressão. Eles destacam que, dentre os diversos impactos gerados pela voçoroca, estão a perda de solo e o assoreamento do canal a jusante.

Vieira e Frota Filho (2023), ao avaliarem as técnicas de monitoramento de voçorocas na região metropolitana da cidade de Manaus, buscaram abordar e descrever como estas eram utilizadas. A análise dos autores permitiu constatar que as técnicas de monitoramento podem ser agrupadas em quatro categorias, segundo os instrumentos e materiais utilizados: 1) trena,

bússola, ficha cadastral e croqui; 2) poligonais planimétricas; 3) imagens de satélite e do Google Earth; 4) imagens de alta resolução espacial via veículos aéreos não tripulados (VANTs). Eles chegaram à conclusão de que a utilização de técnicas de monitoramento mais modernas, como o uso de imagens de VANTs, não necessariamente exclui o uso de procedimentos mais simples, como fichas cadastrais, trena e bússola. Além disso, a combinação de diferentes técnicas pode auxiliar no melhor detalhamento e caracterização morfométrica da voçoroca monitorada.

Na área de estudo do presente projeto, podem ser citados trabalhos como o de Silva e Vieira (2020), que mapearam as voçorocas do perímetro urbano da cidade de Rio Preto da Eva, no Amazonas. Utilizaram como ferramentas a ficha cadastral e as imagens geradas por VANT, processadas pelo *software Agisoft Metashape*. Para a extração dos dados geomorfométricos, os autores utilizaram a imagem *Alos Palsar*, processada no *software ArcGIS 10.5* para obtenção de hipsometria, curvas de nível e declividade. Eles apontaram a existência de três voçorocas, que somavam a área de mais de 5.254,42 m<sup>2</sup> e volume erodido de mais de 89.000 m<sup>3</sup> naquele momento. Pelas características observadas em campo, verificou-se que essas estavam bastante ativas e indicavam riscos para a população de seu entorno.

Guerra et al. (2020) ressaltam que a erosão dos solos vem sendo estudada por pesquisadores no Brasil e no mundo há muito tempo. No contexto brasileiro, diversos trabalhos têm sido desenvolvidos, com ênfase nas feições erosivas geradas pelos processos de erosão. Por exemplo, Marchioro et al. (2016) analisaram a evolução espaço-temporal de algumas voçorocas no estado do Espírito Santo: uma localizada na Bacia Hidrográfica do Córrego das Flores, no município de Afonso Cláudio, e outra na rodovia ES-482, no município de Alegre. Os autores utilizaram fotografias aéreas de 1970, 2007 e 2012 para realizar a análise temporal das feições.

No estudo, a voçoroca da Bacia do Córrego das Flores apresentou significativa expansão entre 1970 e 2012. Em 1970, sua área era de 332 m<sup>2</sup>, com perímetro de 140 m e formato bulbiforme, com um único filete erosivo. Em 2007, a área aumentou para 6.642 m<sup>2</sup>, com perímetro de 691 m e formato dendrítico. Em 2012, a área cresceu ligeiramente, alcançando 6.727 m<sup>2</sup>, com perímetro de 677 m, mantendo o formato dendrítico. Quanto ao Córrego Varjãozinho, na rodovia ES-482, não havia voçoroca em 1970. Em 2007, surgiram quatro voçorocas, com áreas de 56 m<sup>2</sup>, 89 m<sup>2</sup>, 118,6 m<sup>2</sup> e 42 m<sup>2</sup>, e perímetros de 37 m, 62 m, 56,55 m e 36 m, respectivamente — todas com formato linear. Em 2012, essas voçorocas se

uniram, formando uma única feição erosiva com área de 1.469 m<sup>2</sup> e perímetro de 356 m. Os autores observaram que a gênese da voçoroca do Córrego das Flores está associada a mudanças no uso e cobertura da terra, bem como à presença de *pipes* em seu interior. Já no caso da voçoroca da Bacia do Córrego Varjãozinho, a origem está relacionada ao desvio das águas superficiais da rodovia ES-482, sem a implantação de escadas dissipadoras de energia até o sopé da encosta.

Frota Filho et al. (2020) caracterizaram uma voçoroca e suas feições secundárias no bairro Nova Cidade, em Manaus (AM), com base em seus parâmetros morfométricos (tipo, forma e tamanho), além de feições de retrabalhamento, identificando seus impactos. Utilizaram os modelos de Oliveira (1996) e Vieira (2008) para classificar a voçoroca quanto ao tipo e à forma, respectivamente, e aplicaram o modelo de Vieira e Albuquerque (2004) para determinar o volume da incisão. Os autores concluíram que se trata de uma voçoroca do tipo conectada, com forma irregular e volume erodido de 119.981,52 m<sup>3</sup>, o que a classifica como muito grande. As principais feições secundárias identificadas foram marmitas e alcovas de regressão. Entre os diversos impactos gerados pela voçoroca, destacam-se a perda de solo e o assoreamento do canal a jusante.

Vieira e Frota Filho (2023), ao avaliarem as técnicas de monitoramento de voçorocas na Região Metropolitana de Manaus, descreveram os métodos utilizados. A análise indicou que as técnicas de monitoramento podem ser agrupadas em quatro categorias, segundo os instrumentos e materiais utilizados: (1) trena, bússola, ficha cadastral e croqui; (2) poligonais planimétricas; (3) imagens de satélite e do Google Earth; (4) imagens de alta resolução espacial obtidas por veículos aéreos não tripulados (VANTs). Concluíram que o uso de técnicas mais modernas, como imagens de VANTs, não elimina a utilidade de procedimentos mais simples, como o uso de fichas cadastrais, trena e bússola. Além disso, a combinação de diferentes métodos pode proporcionar maior detalhamento e caracterização morfométrica da voçoroca monitorada.

Na área de estudo do presente projeto, podem ser citados os trabalhos de Silva e Vieira (2020), que mapearam as voçorocas no perímetro urbano de Rio Preto da Eva (AM). Utilizaram ficha cadastral e imagens geradas por VANTs, processadas no software Agisoft Metashape. Para a extração dos dados geomorfométricos, foi utilizada imagem Alos Palsar, processada no software ArcGIS 10.5, a fim de obter hipsometria, curvas de nível e declividade. Os autores identificaram três voçorocas, com área total de mais de 5.254,42 m<sup>2</sup> e

volume erodido superior a 89.000 m<sup>3</sup>. Pelas características observadas em campo, verificou-se que essas feições estavam ativas e representavam riscos para a população do entorno.

Outro trabalho de Vieira *et al.* (2022) também se refere ao monitoramento das voçorocas existentes em Rio Preto da Eva-AM, caracterizando o ambiente no entorno das incisões e acompanhando a expansão destas a partir de imagens de alta resolução espacial oriundas de veículos aéreos não tripulados (VANT). Através das imagens geradas pelo VANT, os autores conseguiram calcular as taxas de erosão linear, fazer previsões de risco para cada incisão e estimar os danos materiais e os possíveis custos de contenção para cada uma. Os autores trabalharam com três voçorocas. A primeira foi descrita como tendo forma bifurcada, tipo conectada, área de abrangência de 716,56 m<sup>2</sup>, volume erodido de 7.667,19 m<sup>3</sup> e danos materiais de R\$ 32.424,34. A segunda tinha forma retangular, tipo conectada, área de abrangência de 4.232,33 m<sup>2</sup>, volume erodido de 94.804,19 m<sup>3</sup> e danos materiais de R\$ 98.190,05. A terceira apresentava forma retangular, tipo conectada, área de abrangência de 1.168,31 m<sup>2</sup>, volume erodido de 20.795,91 m<sup>3</sup> e danos materiais de R\$ 38.764,52. As três incisões provocaram, além da perda de área (6.117,20 m<sup>2</sup>) e do volume erodido (123.267,29 m<sup>3</sup>), o assoreamento dos canais a jusante destas. Os danos calculados pelos autores, em termos reais relativos à área, somavam R\$ 169.378,91, ou US\$ 32.953,09, sendo que os custos de contenção totalizaram R\$ 1.886.544,48, ou US\$ 367.032, em 31 de agosto de 2021. Concluíram que, do ponto de vista ambiental e financeiro, as medidas preventivas mostraram-se mais econômicas e eficazes.

Lima e Vieira (2023), ao mapear áreas degradadas no espaço urbano de Rio Preto da Eva (AM), utilizaram imagens do Google Earth Pro e levantamentos de campo para validar os dados. Voos com VANTs foram realizados para obter imagens de alta resolução que permitiram a caracterização detalhada das áreas degradadas. O mapeamento evidenciou que a principal forma de degradação é a erosão dos solos, expressa pela presença marcante de feições erosivas do tipo voçoroca. As três voçorocas identificadas apresentam forte influência sobre as áreas em que ocorrem.

## **2.5 Depósito de sedimentos e sua classificação.**

Conforme mencionado anteriormente, os depósitos de sedimentos oriundos de voçorocas configuram-se como um forte impacto ambiental, visto que tendem a alterar a

dinâmica hídrica do meio, afetando os fluxos e volumes dos canais e a permanência de determinadas espécies vegetais, entre outros efeitos.

O sedimento pode ser definido como um conjunto de partículas inconsolidadas, de natureza e constituição química/mineralógica diversificada, formado por agentes morfogenéticos atuantes na superfície terrestre, que passou pelas três principais fases: erosão, transporte e deposição (Suguio, 2003; Felix e Horn Filho, 2020).

A deposição refere-se à etapa de sedimentação e/ou acúmulo de partículas predominantemente minerais, em ambientes subaquáticos ou subaéreos móveis, sob condições físicas e químicas habituais, ou seja, semelhantes às encontradas na superfície terrestre, com temperaturas e pressões atmosféricas comuns (Suguio, 2003).

O sedimento origina-se a partir do intemperismo, que fragmenta a rocha sã e produz partículas que se acumulam em mantos de alteração. Quando essas partículas são erodidas, transportadas e depositadas em outro local, tornam-se sedimento (Felix e Horn Filho, 2020).

É importante destacar a discussão realizada por Vieira e Frota (2023) sobre a confusão conceitual entre erosão e deposição. Os autores explicam que a erosão dos solos refere-se à ação do vento e da água (pluvial, fluvial, marinha, glacial e nival), que desagregam e transportam partículas do solo de um local para outro. Quando o agente de transporte perde energia e já não consegue mais deslocar essas partículas, ocorre a deposição — momento em que o processo erosivo cessa.

Em ambientes tropicais, o principal agente responsável pelo transporte de partículas de sedimento é a água.

Segundo Laporte (1982), o fluxo de água transporta sedimentos de três maneiras diferentes: primeiro, dissolve diversas substâncias, como íons de cálcio, ferro e carbonato; segundo, carrega materiais de granulação fina e fragmentos de rochas em suspensão no fluxo turbulento do curso d'água; terceiro, move partículas de granulação grossa por tração, fazendo-as saltar e rolar ao longo do leito do rio ou do curso d'água. Esse transporte de sedimentos, resultante da dinâmica hídrica, pode ser significativamente intensificado em cenários de erosão acentuada, especialmente em áreas onde o solo se encontra desprotegido.

A erosão é um fenômeno natural, mas pode ser intensificada pelas ações humanas (Vieira, 2008; Guerra et al., 2015; 2020; Dirane e Vieira, 2020). Conforme destaca Guerra et al. (2020), a intensa exploração dos solos no Brasil, aliada à ausência de planos de conservação, tem contribuído para um grave processo de degradação que afeta diversas

regiões do país. Esse processo resulta em consequências severas, como a perda de solos em encostas, evidenciada pelo surgimento de feições erosivas como ravinas e voçorocas.

A voçoroca, conforme mencionado anteriormente, é a feição erosiva com maior capacidade destrutiva, devido à alta intensidade de remoção de partículas, o que resulta em significativa deposição de sedimentos. Segundo Guerra (2015), o processo de assoreamento em bacias hidrográficas está intimamente relacionado aos processos erosivos, visto que é a erosão que fornece o material que origina o assoreamento.

Em bacias urbanas, segundo Tucci (2002) e Barbosa (2018), as principais consequências da geração de sedimentos incluem o assoreamento dos sistemas de drenagem, a redução da capacidade de escoamento dos canais e o transporte de poluentes associados aos sedimentos, que acabam por contaminar as águas fluviais.

De acordo com Felix e Horn Filho (2020), o sedimento é entendido como um conjunto de partículas inconsolidadas, constituindo-se como a unidade básica dos depósitos sedimentares. Esses depósitos podem ser estudados e classificados com base nas características texturais intrínsecas dos sedimentos, as quais variam conforme a área fonte, o agente de transporte, o mecanismo de deposição, o ambiente sedimentar e o grau de retrabalhamento.

Barbosa (2018) afirma que os sedimentos podem ocorrer na forma de partículas ou grãos, formados por processos naturais, como erosão e intemperismo, ou por processos antrópicos, como a fragmentação causada por atividades humanas. A granulometria desses materiais é uma propriedade física fundamental para compreender a distribuição e o comportamento das partículas.

Os sedimentos podem ser classificados em frações granulométricas, segundo diferentes escalas (Felix e Horn Filho, 2020). A escala escolhida para este trabalho foi a **escala geométrica de Wentworth**, que utiliza 1 mm como base. Para os valores superiores a 1 mm, aplica-se uma progressão geométrica com razão 2 (ou seja, multiplica-se 1 mm por 2 para obter 2 mm, depois 2 mm por 2 para obter 4 mm, e assim por diante). Para os valores inferiores a 1 mm, aplica-se uma progressão geométrica com razão  $\frac{1}{2}$  (ou seja, divide-se 1 mm por 2 para obter 0,5 mm; depois, 0,5 mm por 2 para obter 0,25 mm, e assim sucessivamente).

A escala americana de Wentworth tem seus limites de classe baseados em critérios objetivos e não arbitrários, o que permite distinguir claramente as cargas transportadas em suspensão daquelas transportadas por tração (Barbosa, 2018).

## 2.6 Impactos ambientais correlacionados a voçoroca.

Antes de falar sobre os impactos ambientais correlacionados à voçoroca, é necessário abordar o conceito de impacto ambiental. De acordo com a Resolução CONAMA nº 1, de 23 de janeiro de 1986, impacto ambiental pode ser entendido como qualquer alteração nas propriedades físicas, químicas ou biológicas do meio ambiente, resultante das atividades humanas, que, direta ou indiretamente, afetam aspectos fundamentais para a sociedade e o ecossistema. Entre esses aspectos, destacam-se: 1. a saúde, a segurança e o bem-estar da população; 2. as atividades sociais e econômicas; 3. a biota; 4. as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; 5. a qualidade dos recursos ambientais.

O crescimento urbano intensificou a pressão humana sobre os recursos naturais, afetando os ecossistemas com impactos como a contaminação aquática, o desmatamento e a introdução de espécies exóticas, o que leva à perda de biodiversidade (Diodato, 2004). Outro impacto importante, agravado pelo crescimento urbano, é a degradação do solo, decorrente de seu uso inadequado. Guerra e Cunha (2016), no entanto, ressaltam que a forte concentração populacional nem sempre é a principal causa da degradação, mas sim o manejo inadequado do solo, tanto em áreas urbanas quanto rurais.

Guerra e Cunha (2016) destacam que processos naturais, como a formação do solo, a lixiviação, a erosão, os deslizamentos e a modificação do regime hidrológico e da cobertura vegetal, ocorrem mesmo em ambientes naturais sem intervenção humana. No entanto, quando há interferência antrópica, esses processos, considerados naturais, tendem a ocorrer de forma muito mais intensa e violenta.

A intensificação desses processos, ocasionada pela ação humana, é o que resulta em impactos negativos. Conforme o inciso II do artigo 6º da Resolução CONAMA, o impacto ambiental pode ser classificado como negativo, quando provoca efeitos adversos ao ambiente, ou positivo, quando traz benefícios ao meio.

O solo, enquanto sistema fundamental à biosfera e desempenhando papel crucial na sustentação da vida e na produção agrícola, deveria ser manejado de forma criteriosa e sustentável. Contudo, nem sempre as ações humanas utilizam esse recurso natural de maneira adequada (Lepsch, 2010).

Segundo Guerra (2015), a degradação do solo pode ter diversas causas, sendo a erosão uma delas. No entanto, é importante destacar que a erosão é um processo natural e não deve ser vista apenas como agente de degradação. Como afirma Lepsch (2010), esse fenômeno

desempenha papel fundamental na formação das paisagens ao longo do tempo, sendo responsável por moldar vales e formar planícies fluviais.

Em condições naturais, a vegetação atua como manto protetor sobre o solo, o que torna sua remoção um processo lento na maior parte do planeta (Lepsch, 2010). Assim, o autor afirma que o desgaste erosivo se mantém equilibrado pelos contínuos processos de renovação do solo. Porém, quando atividades agrícolas humanas passam a ser desenvolvidas na área, esse equilíbrio pode ser comprometido.

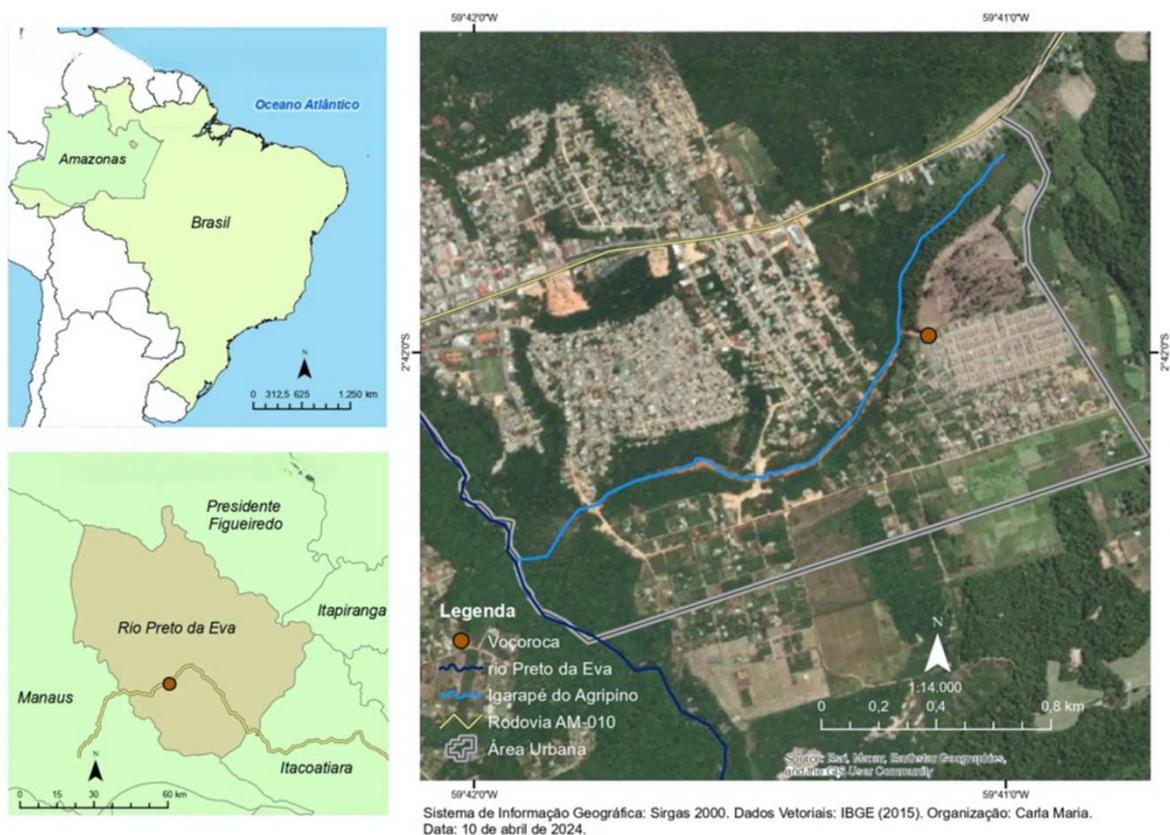
Guerra (2015) destaca que a erosão acelerada causa, quase sempre, uma série de problemas ambientais, seja em nível local ou até mesmo em grandes áreas, como a perda de superfície produtiva, o surgimento de feições erosivas, o assoreamento de rios e reservatórios, entre outros. Esses efeitos, segundo o autor, são gerados principalmente pelo desmatamento, uso agrícola intensivo da terra, superpastoreio e queimadas. Em áreas urbanas, surgem principalmente em decorrência da drenagem artificial, pavimentação de vias, aumento da impermeabilização do solo e ausência de sistemas adequados de escoamento pluvial.

A voçoroca, quando estabelecida e ativa, também gera impactos, comprometendo não apenas o ambiente local, mas também regiões vizinhas. Ela leva à perda de solo, tornando-o, muitas vezes, improdutivo. O material erodido proveniente da feição assoreia rios ou represas, dificultando o fluxo de água e afetando a vegetação próxima a esse fluxo. Albuquerque e Vieira (2014) e Pereira e Rodrigues (2022) afirmam que as áreas atingidas por voçorocas tornam-se praticamente inviáveis para a agricultura, a pecuária ou a implantação de qualquer estrutura urbana. Albuquerque e Vieira (2014) destacam ainda que, nas cidades, essas feições muitas vezes se tornam depósitos de lixo doméstico ou industrial, agravando ainda mais a degradação dos solos e a contaminação do lençol freático.

### 3. CAPÍTULO II - CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.

Rio Preto da Eva é um município do Estado do Amazonas que apresenta uma extensão territorial de aproximadamente 5.815 km<sup>2</sup>, com população de 34.856 habitantes (IBGE, 2021). Localizado a 79 km da capital, Manaus, tem como municípios limítrofes: ao sul, Manaus; ao norte, Presidente Figueiredo; a oeste, Itacoatiara; e ao leste, Itapiranga. A voçoroca, objeto de estudo deste trabalho, está localizada no Conjunto Residencial São Sebastião (Figura 3).

**Figura 3:** Localização da área de estudos.



Org. Carla M.R. de Lima, 2024.

#### 3.1 Geologia.

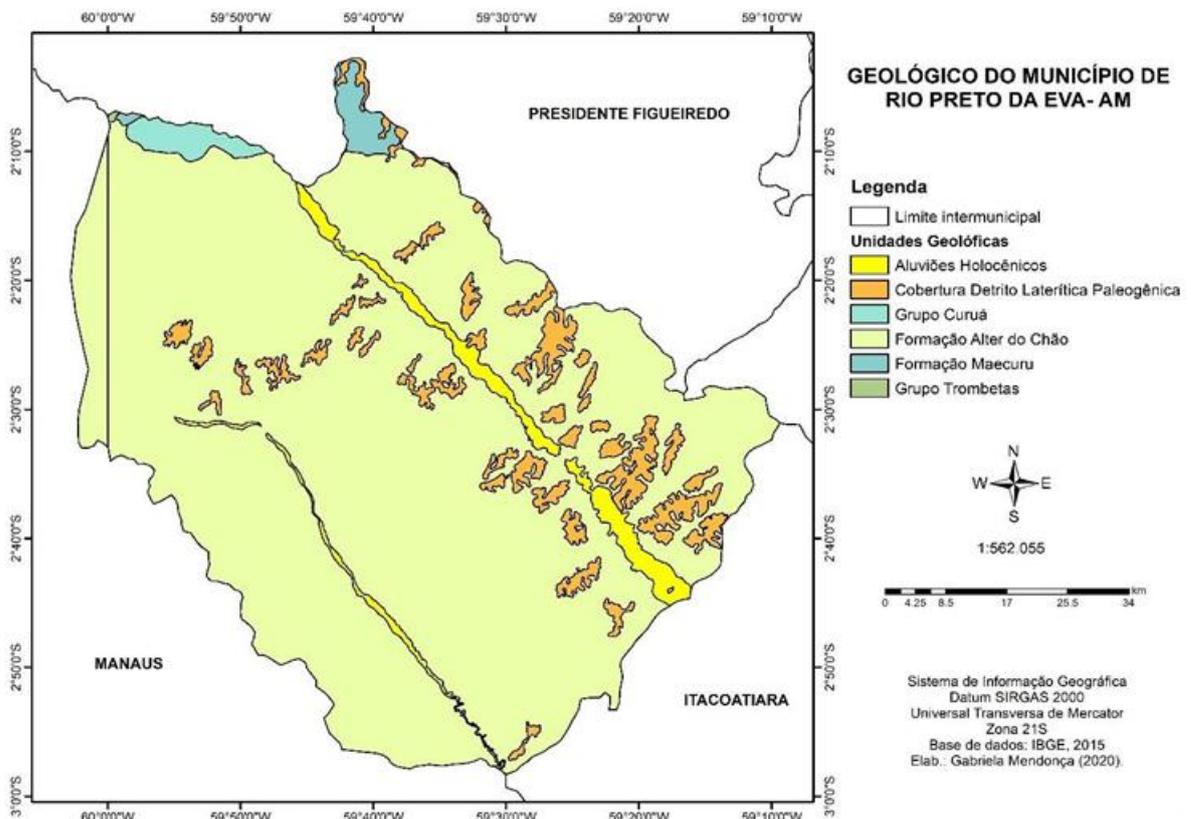
Em termos geológicos, o município de Rio Preto da Eva situa-se sobre as seguintes unidades: Grupo Trombetas (1<sup>a</sup>), Formação Maecuru (2<sup>a</sup>), Formação Alter do Chão (3<sup>a</sup>), Grupo Curuá (4<sup>a</sup>), Depósitos detríticos-lateríticos paleogênicos (5<sup>a</sup>) e Aluviões holocênicos (6<sup>a</sup>) (Figura 4) (IBGE, 2010).

A área de estudo encontra-se integralmente na Formação Alter do Chão, caracterizada principalmente por arenitos grossos e conglomerados caulíníficos, com coloração que varia do branco ao rosado, por vezes silicificados e alterados devido ao desenvolvimento de camadas lateríticas terciárias e/ou quaternárias (Kistler, 1954).

Horbe et al. (2003) definem a Formação Alter do Chão como uma unidade geológica da região amazônica, datada do período Cretáceo (Aptiano/Albiano – Cenomaniano, cerca de 100 milhões de anos), composta principalmente por depósitos de areias brancas, ricas em quartzo e feldspato, que se formaram por meio de processos de intemperismo e lateritização. Em muitos locais, esses sedimentos encontram-se dispostos em estratos horizontalizados, silicificados e, portanto, compactos (IBGE, 2010).

Segundo Mendes et al. (2012), as características sedimentológicas observadas nos depósitos da Formação Alter do Chão incluem a deposição em um sistema fluvial meandrante, com variação de sinuosidade, carga mista e ciclos granodécrescentes ascendentes de 1 a 6 metros de espessura. Os autores também identificaram formas de leito fluvial, erosão na base dos ciclos e limites gradacionais e irregulares entre as litofácies.

**Figura 4:** Unidades geológicas da área de estudo.



### 3.2 Geomorfologia.

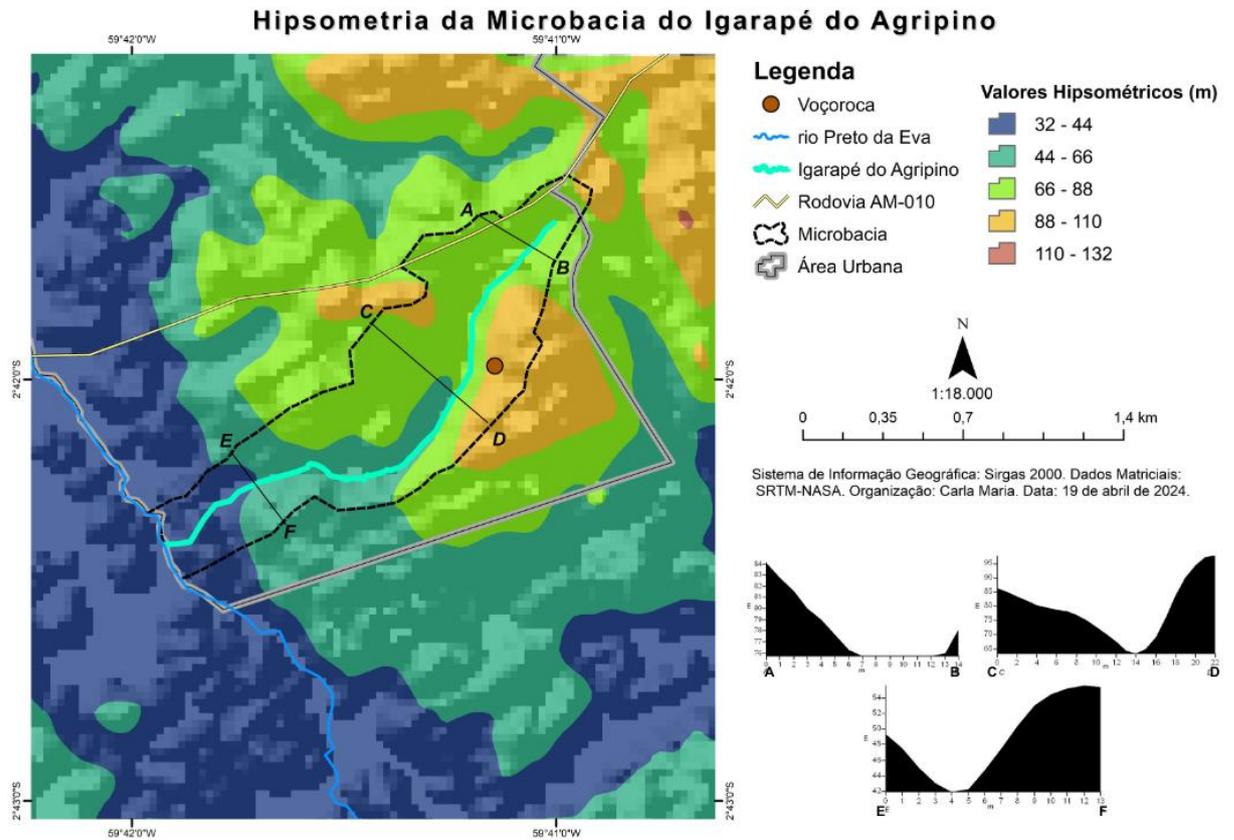
O município de Rio Preto da Eva abrange, segundo o IBGE (2010), três unidades geomorfológicas: Planície Amazônica, Planalto Setentrional da Bacia Sedimentar do Amazonas e Planalto Dissecado dos Rios Uatumã-Jari.

A área de estudo encontra-se no Planalto Uatumã-Jari (Figura 7), o qual apresenta extensa superfície aplainada retocada, desenvolvida sobre litologias paleozoicas do Grupo Trombetas e sedimentos cretáceos da Formação Alter do Chão (Santos, 2022). Essa unidade é formada por interflúvios tabulares de dimensões médias, com setores de topos ocasionalmente convexos, separados por vales alargados e de fraco aprofundamento, com vertentes retilíneas, ravinadas e sujeitas a movimentos de massa e desmoronamentos (IBGE, 2010). Na área de ocorrência da voçoroca estudada, observa-se um vale encaixado por onde corre o canal fluvial denominado Igarapé Agripino.

A altimetria da microbacia do Igarapé Agripino foi classificada em cinco faixas hipsométricas (Figura 5), variando entre 32 e 132 metros. A voçoroca iniciou seu desenvolvimento entre as cotas altimétricas de 66 a 88 metros, avançando em direção à cota de 110 metros.

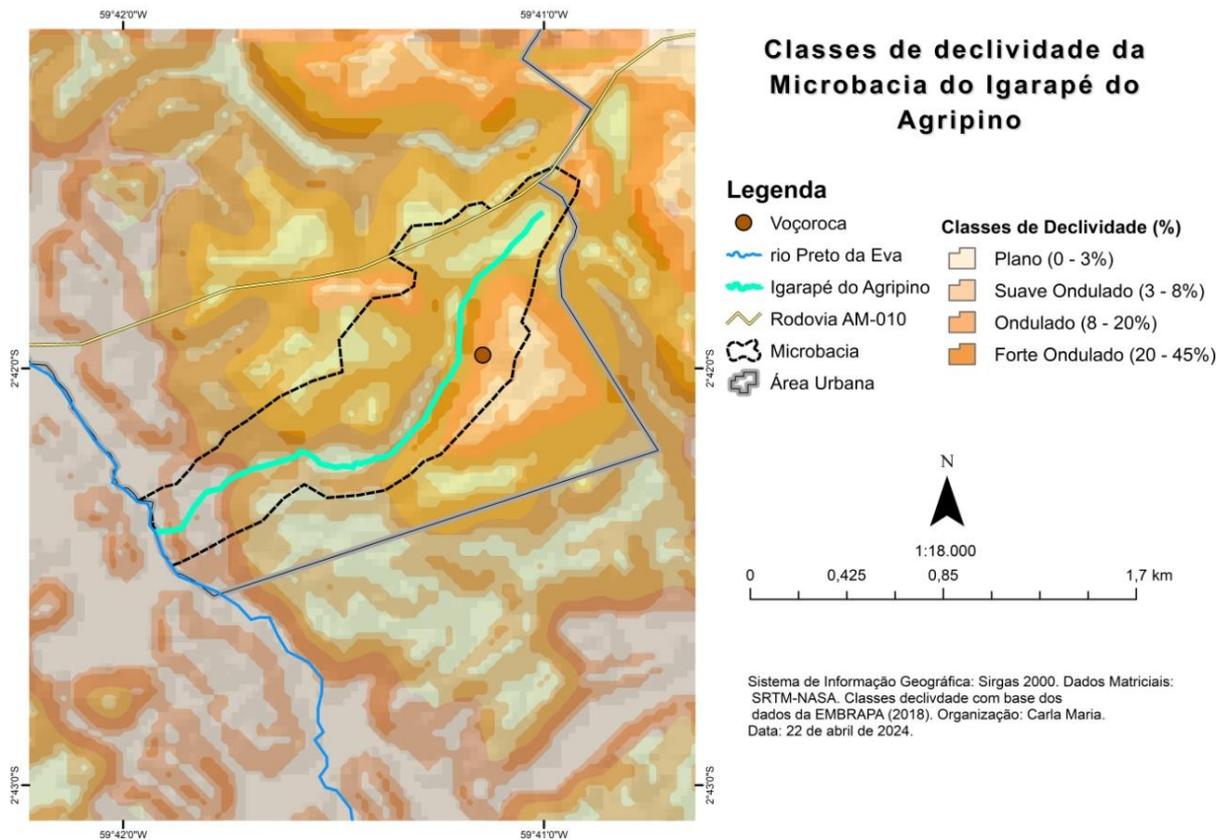
Com base nos dados de hipsometria, foram gerados os perfis topográficos da bacia do Igarapé. Na Figura 5, verifica-se a localização dos perfis transversais, nos quais se traçaram as altitudes no alto, médio e baixo curso do canal. O ponto A tem elevação de 84 m até o ponto B, com elevação de 78 m, totalizando desnível de 7 m. O ponto C tem elevação de 86 m até o ponto D, com 96 m — desnível de 14 m — sendo os dois pontos mais próximos da voçoroca. No baixo curso, os pontos E e F apresentam elevações de 49 m e 55 m, respectivamente, com desnível de 4 m.

**Figura 5:** Hipsometria da microbacia do igarapé do Agripino e arredores.



Um dos principais fatores para a análise da morfometria é a declividade da bacia (Figura 6), uma vez que ela exerce influência direta na perda de solo por erosão (Miguel et al., 2014).

**Figura 6:** Declividade da microbacia do igarapé do Agripino e arredores.



Org. Carla M.R. de Lima (2024).

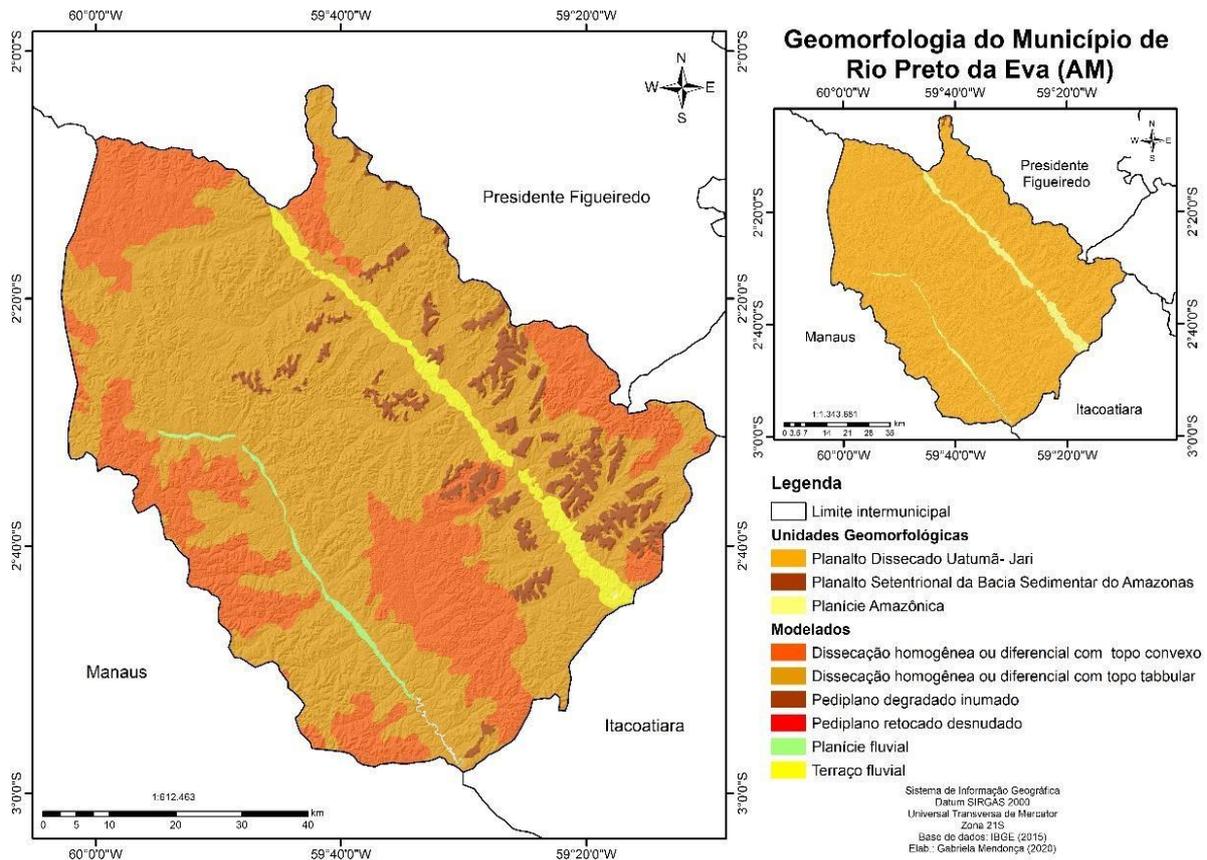
A tabela 1 representa classes de declividade, que foram agrupados segundo os intervalos de classe definidos pela EMBRAPA (1979): 0 – 3% (relevo plano); 3 – 8% (relevo suave ondulado); 8 – 20% (relevo ondulado); 20 – 45% (fortemente ondulado). Ao analisar os dados da Tabela 1 e compará-los com o mapa da Figura 6, observa-se que a microbacia é composta predominantemente por formas planas (0,497 km<sup>2</sup>) e suaves (0,356 km<sup>2</sup>), correspondendo a 72,9% da área total da bacia, que é de 1,169 km<sup>2</sup>.

**Tabela1:** Classes de declividade na bacia do Igarapé do Inferno em área (km<sup>2</sup>).

Classes de Declividade %	Relevo	Área (Km <sup>2</sup> )
0 – 3	Plano	0,497
3 – 8	Suave	0,356
8 – 20	Ondulado	0,225
20 – 45	Forte Ondulado	0,091
	<b>TOTAL:</b>	<b>1.169</b>

Observa-se, conforme indicado na figura 6, que a voçoroca está situada em área classificada como relevo ondulado.

**Figura 7** - Mapa da Compartimentação geomorfológica da área de estudo.



Fonte: Mendonça, 2021.

### 3.3 Clima

O clima da área de estudo é do tipo Equatorial Quente e Úmido, caracterizado por temperaturas altas e estáveis ao longo de todo o ano, precipitações abundantes e alta umidade relativa.

O clima da região amazônica é influenciado por diversos fatores, sendo a disponibilidade de energia solar o mais relevante. Na Amazônia Central, os maiores índices de radiação solar atingem a superfície nos meses de setembro e outubro, enquanto os menores ocorrem entre dezembro e fevereiro (Fisch et al., 1998). Além disso, o período mais chuvoso se estende de novembro a março (Marengo et al., 1998).

A temperatura do ar apresenta pequena variação anual, em razão dos elevados índices de radiação solar. Em Manaus, os meses com temperaturas extremas são setembro (27,9 °C) e abril (25,8 °C) (Marengo et al., 1998). Silva (2021), ao utilizar a classificação de Köppen para definir os Tipos de Climas Anuais (TCA), classificou o clima do município de Rio Preto da Eva como do tipo monções (Am), caracterizado por apresentar precipitação inferior a 60 mm no mês mais seco.

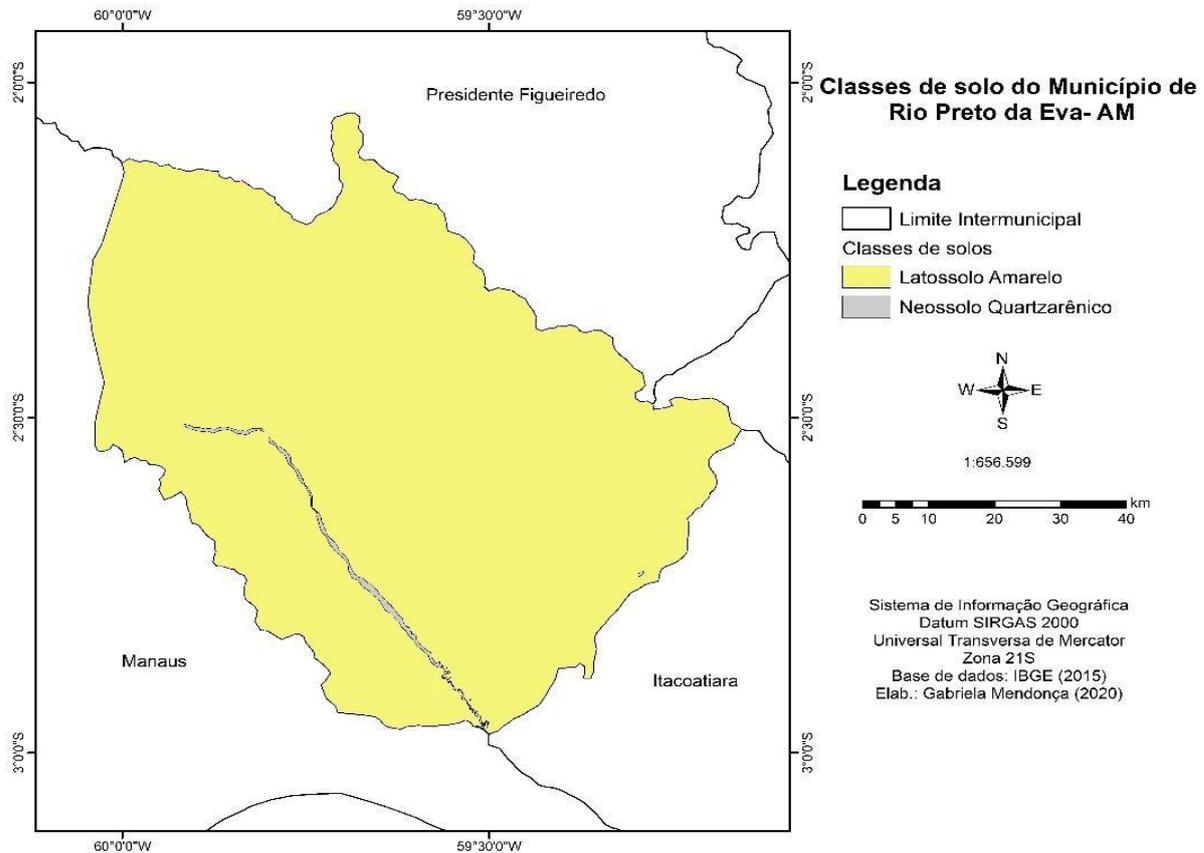
### **3.4 Solos.**

Predomina, na área de estudo, o Latossolo Amarelo — classe de grande abrangência na Amazônia, conforme Vieira e Santos (1987). No município de Rio Preto da Eva, além do Latossolo Amarelo, destaca-se também o Neossolo Quartzarênico (Figura 8).

O Latossolo Amarelo é um solo mineral não hidromórfico que apresenta, normalmente, sequência de horizontes A, B e C, com caráter distrófico ou álico (Maia e Marmos, 2010). Apresenta coloração entre amarela e vermelho-amarelada, textura bastante argilosa, sendo a classe mais representativa no município, abrangendo 99,38% da área (IBGE, 2010).

O Neossolo Quartzarênico abrange uma pequena porção do município (0,55%) e é caracterizado por textura arenosa ao longo do perfil e cor amarelada uniforme abaixo do horizonte A. Ocorre em áreas de relevo plano ou suavemente ondulado (EMBRAPA, 2021).

**Figura 8** - Classes de solos predominante no município em estudo.



Fonte: Mendonça, 2021.

### 3.5 Vegetação.

A vegetação do município de Rio Preto da Eva está inserida na Floresta Amazônica. A região constitui província fitogeográfica bem individualizada, além de apresentar grande variação de local para local (Braga, 1979). A vegetação que corresponde ao município de Rio Preto da Eva, segundo IBGE (2010), constitui-se em cinco classes, sendo elas: Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas, Floresta Ombrófila Densa Aluvial, Floresta Ombrófila Densa Submontanha, Floresta Ombrófila Aberta Aluvial e Vegetação secundária.

A classe que mais abrange o território de Rio Preto da Eva é a Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas, ocupando cerca de 79,43% da área. Essa vegetação caracteriza-se por ser densa, presente em relevo levemente ondulado, sobre solo argiloso, com regeneração de espécies como matamatá, breu, ingá e mangabarana (IBGE, 2010).

Ao longo do alto e médio curso do igarapé Agripino, a vegetação é predominantemente densa, com dossel fechado formado por árvores de grande porte, folhas

largas e colorações variadas. No médio curso, essa vegetação se concentra sobretudo na margem direita, uma vez que a margem esquerda é ocupada pela zona urbana. Também nessa seção do canal inicia-se a ocorrência de palmeiras. No baixo curso do igarapé, a vegetação densa permanece predominante, porém há aumento significativo da presença de buritis, associados ao ambiente mais encharcado conforme o igarapé Agripino se aproxima do rio principal.

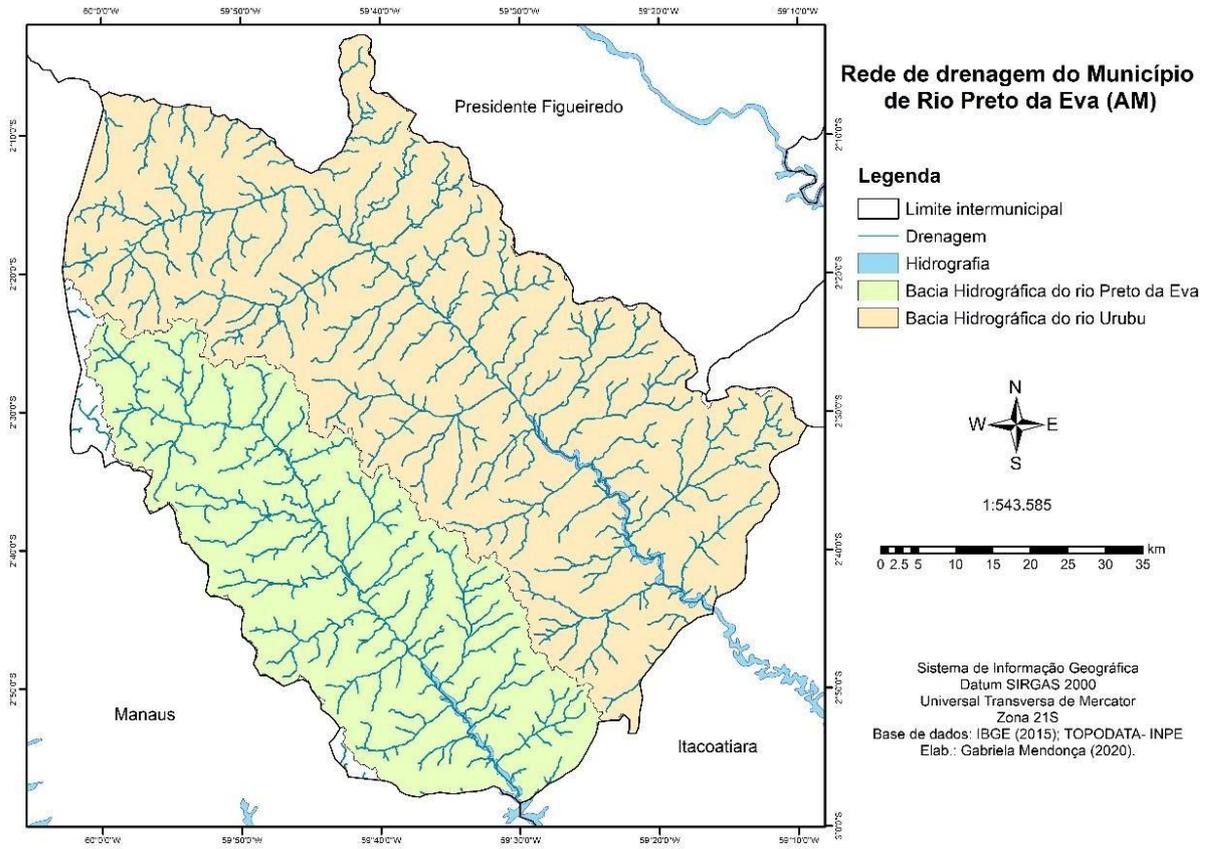
### **3.6 Hidrografia.**

O município de Rio Preto da Eva está inserido na bacia hidrográfica do rio Amazonas, que, conforme Silva (2013), constitui a mais extensa rede hidrográfica do globo terrestre, reconhecida por sua elevada disponibilidade hídrica. Silva (2021) destaca que o município possui densa rede de drenagem, favorecida pela morfologia do relevo. Os rios Preto da Eva e Urubu formam zonas de interflúvio que dissecam os vales da região (Figura 9).

O igarapé Agripino, canal da área de estudo, situa-se totalmente dentro do perímetro urbano do município. Possui aproximadamente 2,5 km de extensão e conecta-se ao rio Preto da Eva (Vieira, 2023).

Algumas intervenções humanas já foram realizadas nesse igarapé. Segundo Vieira (2023), a construção de duas vias pavimentadas que atravessam o canal fez com que sua drenagem fosse desviada nesses pontos por meio de tubulações de 1 metro de diâmetro, o que causou o estrangulamento das águas. Isso alterou significativamente a dinâmica do fluxo e, conseqüentemente, reduziu sua capacidade de transporte, intensificando a deposição de sedimentos.

**Figura 9 - Principal rede de drenagem no município**



Fonte: Mendonça, 2021.

#### **4. CAPÍTULO III – METODOLOGIA.**

A pesquisa foi desenvolvida dentro da perspectiva da teoria sistêmica, que, entre outros aspectos, destaca que, para o entendimento do todo, é necessária sua fragmentação, a fim de compreender como cada parte se desenvolve e, conseqüentemente, como essas se inter-relacionam para o funcionamento do sistema. O objetivo do pensamento sistêmico é lidar com fenômenos que requerem explicação baseada na inter-relação de múltiplas variáveis (Andrade et al., 2006).

Assim, os procedimentos metodológicos consistiram, num primeiro momento, no levantamento bibliográfico da área de estudo, juntamente com a análise dos dados de campo obtidos anteriormente a esta pesquisa (dados secundários). Num segundo momento, foram realizados trabalhos de campo para coleta de dados, visando à análise em laboratório e à futura interpretação dos resultados. Para o entendimento de como cada objetivo foi alcançado, segue a descrição sucinta de cada um, na ordem em que foram apresentados anteriormente.

##### **4.1 Monitoramento das taxas de evolução da voçoroca e a produção de sedimentos.**

Dando continuidade ao monitoramento iniciado em pesquisa anterior, realizada entre agosto de 2020 e julho de 2021 (Lima, 2021), foi conduzido o acompanhamento da voçoroca selecionada para este estudo. Os dados obtidos foram comparados aos monitoramentos prévios, utilizando imagens capturadas por Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT), modelo Phantom 4 da DJI (Figura 10).

Esse drone é equipado com câmera de 12 megapixels, capaz de capturar imagens de alta resolução e vídeos em 4K, com sensor de 1 polegada. Conta também com sistemas de navegação GPS e GLONASS, sensores frontais para detecção de obstáculos e uma bateria de 5.350 mAh, que proporciona até 30 minutos de voo.

Para garantir a segurança do voo, é essencial escolher um local plano e desobstruído, além de condições climáticas favoráveis. O céu deve apresentar baixa cobertura de nuvens, o que contribui para a qualidade das imagens e reduz o risco de colisões durante a decolagem e o pouso.

**Figura 10:** VANT – DJI Phantom 4.

Fonte: Vieira et al., 2022.

Para o início da operação, no próprio software PIX4D (Figura 11), selecionou-se o tipo de Grid (Figura 12). Em seguida, com a aeronave ainda no solo, definiu-se o plano de voo, no qual foram inseridas informações como: área, altitude de voo, velocidade, ângulo da câmera e sobreposição de imagens, tal como realizado por Santana (2018) (Quadro 2, Figura 13). Após a inserção desses parâmetros, foi realizado o checklist entre o rádio controle e o VANT. Com todos os elementos conferidos, o voo foi executado automaticamente.

**Quadro 2:** Dados das Imagens do VANT.

Área	Altitude	Velocidade	Ângulo	Sobreposição das imagens
189 x 75m	50m	Média	75°	Alta

Org. Carla M.R. de Lima, 2024.

Assim que o voo é iniciado, o VANT realiza de forma autônoma o mapeamento conforme os dados inseridos no software e, ao término do trajeto, as imagens de cada monitoramento são transferidas para o computador, onde são processadas utilizando o *Software Agisoft PhotoScan Metashape*, tal como utilizado por Vieira *et al.* (2022).

Para a elaboração das imagens em 3D (altura, largura e profundidade) da voçoroca, o processo ocorre seguindo os seguintes passos, conforme a barra de tarefas de 1 a 9: 1) Fluxo de Trabalho; 2) Adicionar Fotos; 3) Alinhar Fotos; 4) *Build Dense Cloud*; 5) Construir

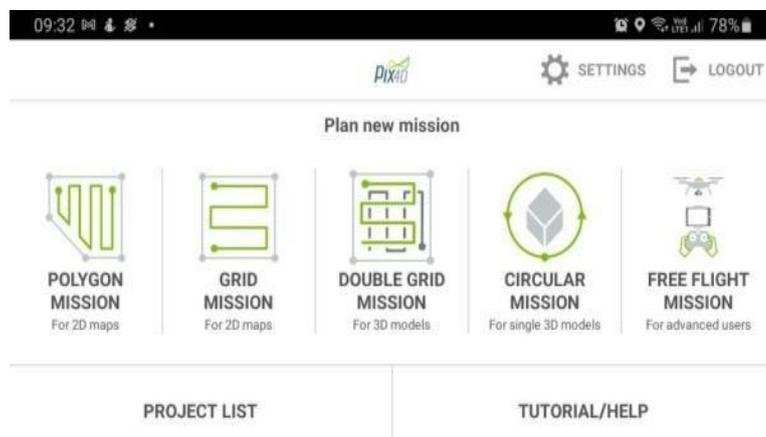
Modelo; 6) Construir Textura; 7) *Build Tiled Model*; 8) *Build DEM*; 9) *Build Orthomosaic* (Figura 14) (Vieira *et al.*, 2022).

**Figura 11:** Interface do aplicativo PIX4D, pronto para uso.



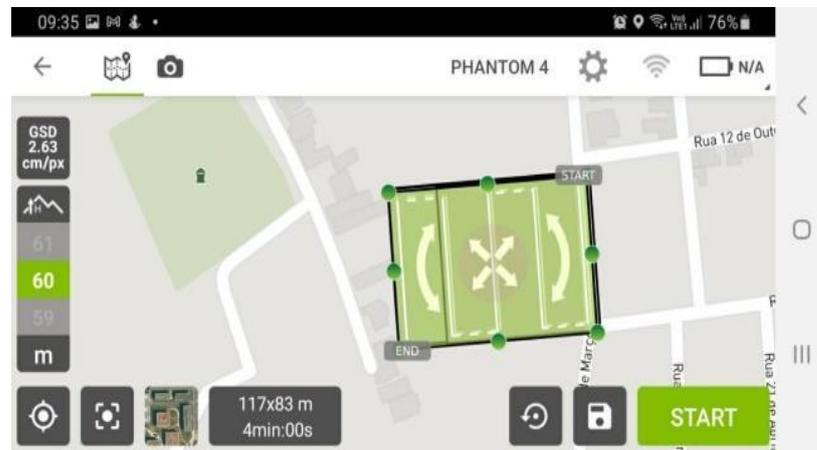
Fonte: PIX4D (2022).

**Figura 12:** Interface de opção de missão.



Fonte: PIX4D (2022).

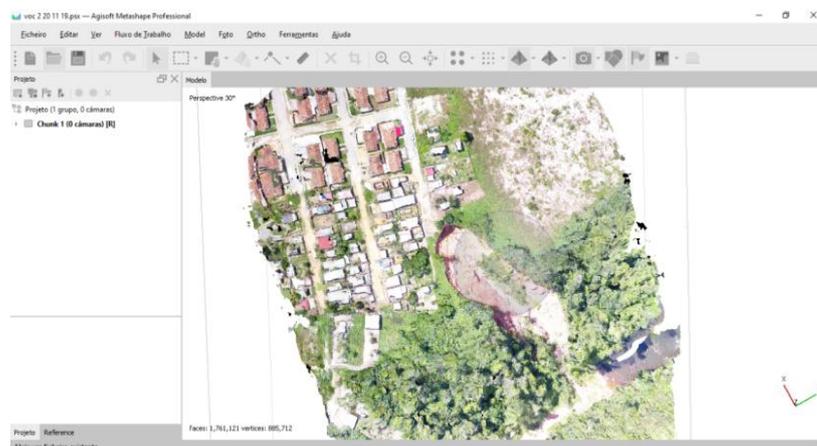
**Figura 13:** VANT em missão, acompanhamento de voo por aplicativo.



Fonte: PIX4D (2022).

A partir das imagens obtidas, são extraídas informações como: comprimento, largura e profundidade (em metros); e, conseqüentemente, a área ( $m^2$ ), volume erodido ( $m^3$ ) e modelo de elevação.

**Figura 14:** Construindo o Ortomosaico (*Build Orthomosaic*).



Fonte: Agisoft Metashape (2020).

Com isso, foi possível medir a incisão em termos de área e volume erodido entre cada monitoramento, determinando o tamanho da feição segundo o modelo de Vieira e Albuquerque (2004). Esses monitoramentos permitiram calcular as taxas de erosão e o crescimento linear da incisão. Segundo Vieira et al. (2022), o crescimento linear permite realizar os cálculos de risco erosivo, conforme a metodologia de Tavares et al. (2010), que

estima a quantidade de meses necessários para a voçoroca atingir um ponto de referência, estabelecendo, assim, uma escala de risco que varia de imediato a longo prazo (Quadro 3).

**Quadro 3:** Escala de risco erosivo.

Nível	Intervalo*	Descrição	Meses
1	0 – 3	risco imediato	0 – 6
2	3 – 6	risco a curto prazo	6 – 15
3	6 – 15	risco a médio prazo	15 – 36
4	> 15	risco a longo prazo	> 36

\*Intervalo em metros. **Fonte:** Tavares et al. (2010).

Seguindo a metodologia de Vieira *et al.*, 2022: no primeiro monitoramento, o risco erosivo é avaliado considerando apenas a distância entre a cabeceira da voçoroca e um ponto de referência. Já no segundo monitoramento, o risco passa a ser estimado pelo tempo, em meses, que a voçoroca levará para alcançar esse ponto, com base na taxa de erosão linear. Para isso, aplica-se a equação:

$$C = (d1 - d2) / t \quad (1)$$

Onde:

C, representa o crescimento linear-mensal (em metros),  
d1, é a distância entre a voçoroca e o ponto de referência no penúltimo monitoramento,  
d2, corresponde à distância no último monitoramento,  
t, é o intervalo de tempo entre as medições.

O resultado dessa equação indica a taxa de erosão linear-mensal. A partir dessa taxa, pode-se calcular a escala de risco erosivo, dada por:

$$R = d / C \quad (2)$$

Onde:

R, corresponde ao tempo necessário (em meses) para que a voçoroca atinja o ponto de referência,  
d, é a distância entre a voçoroca e esse ponto no último monitoramento,  
C, é a taxa de crescimento linear-mensal.

Vieira et al. (2022) ainda ressaltam que quanto maior a frequência dos monitoramentos, mais precisos serão os cálculos dessas taxas, permitindo uma avaliação mais detalhada da progressão da incisão.

Como resultado, o volume erodido representa os sedimentos oriundos da incisão, os quais são mensurados a cada monitoramento e comparados com os anteriores. Complementando essa análise, foram incluídos dados de pluviometria do período, para verificar a relação entre volume precipitado e crescimento linear.

Os dados pluviométricos foram obtidos por meio da plataforma Google Earth Engine, utilizando script em linguagem JavaScript. Esse script acessa dados diários de precipitação da base CHIRPS, que utiliza imagens de satélite com resolução espacial de 0,05°.

#### **4.2 Caracterização dos depósitos de sedimentos oriundos da voçoroca monitorada.**

Essa etapa consistiu em determinar em que porção do terreno os sedimentos estavam sendo acumulados e como se dá a organização das camadas. Para isso, num primeiro momento, foi identificada em campo, com o apoio de imagens de alta resolução geradas pelo VANT, a real abrangência do depósito.

Seguindo a metodologia utilizada por Vieira (2023), após a obtenção das imagens por meio do VANT, os arquivos foram tratados no software Agisoft Photoscan Metashape, com o objetivo de obter os dados de área e volume do depósito, por meio da construção de modelos digitais do terreno.

O volume do depósito foi comparado ao volume erodido da voçoroca, e assim foi determinada a diferença entre eles, por meio do seguinte cálculo: volume erodido relativo à área da voçoroca – volume depositado = volume perdido.

Logo em seguida, as amostras de sedimentos foram comparadas às amostras de solo coletadas ao longo da parede da voçoroca.

#### **4.3 Descrição das características físicas das amostras de solo e sedimentos.**

Para a análise granulométrica foi utilizada a metodologia da EMBRAPA (1997), descrita a seguir:

##### **4.3.1 Análise de campo e secagem.**

Após a coleta das amostras em campo, utilizou-se a ficha de descrição morfológica dos solos do IBGE para o registro das informações. Nela, foram anotadas a cor de cada amostra, conforme a Carta de Cores Munsell (2009), e a espessura das camadas.

No laboratório, deu-se início à etapa de secagem. As amostras foram colocadas sobre um papel e espalhadas até que ficassem completamente secas, sem umidade. Segundo Suguio (1973), garantir que as amostras estejam totalmente secas é fundamental antes de qualquer procedimento no laboratório.

#### 4.3.2 Teor de Agregados.

O teor de agregados mede a quantidade e distribuição dos agregados estáveis à agitação mecânica (EMBRAPA, 1997). Para esse procedimento, utilizou-se o método por “via seca”, que mede a quantidade e distribuição dos agregados que permanecem estáveis à agitação mecânica a seco. Nesse método, um conjunto de peneiras é submetido a movimentos rotatórios com vibração. Caso ocorra estabilidade total, nenhuma partícula passa para as peneiras inferiores (EMBRAPA, 1997).

Inicialmente, foi necessário pesar 100 g de amostra e colocá-la em um jogo de peneiras do tipo Tamis, com malhas de 4 mm, 2 mm, 1 mm, 0,50 mm e 0,250 mm. Em seguida, o conjunto foi levado ao agitador mecânico por 15 minutos. Após esse período, o material foi colocado em béqueres distintos, devidamente identificados. Cada fração retida nas peneiras correspondentes foi pesada separadamente e levada à estufa a 105 °C por 24 horas. Após esse tempo, os béqueres foram retirados da estufa e pesados novamente.

Na sequência, outra amostra, também contendo 100 g, foi levada à estufa a 105 °C, pesada e utilizada no cálculo do teor de agregados. Esse procedimento baseia-se no princípio de que solos bem agregados não se fragmentam facilmente quando submetidos à agitação mecânica, mantendo a estabilidade estrutural dos agregados. Assim, a distribuição do material retido em cada peneira reflete o grau de estabilidade dos agregados presentes na amostra. Solos com estrutura mais estável tendem a preservar agregados maiores, enquanto aqueles com menor coesão estrutural se desagregam, gerando maior proporção de partículas finas.

Essa característica é essencial para avaliar a suscetibilidade do solo à erosão, pois solos com baixa estabilidade estrutural são mais propensos à degradação física e à perda de partículas por escoamento superficial.

Para determinar o teor de agregados, utilizou-se a seguinte equação:

$$TA = 100 ( a / b ) \quad (1)$$

Onde:

*TA* = teor de agregados;

*a* = refere-se ao peso dos agregados secos a 105°C;

*b* = refere-se ao peso da amostra seca a 105°C.

#### 4.3.3 Densidade do solo.

Para determinar a densidade do solo, foram utilizados balões volumétricos de 50 ml. Cada amostra foi colocada em um balão, e pequenas batidas com a palma da mão foram dadas ao redor para compactar ao máximo o conteúdo, reduzindo os espaços entre as partículas. O processo foi finalizado quando a compactação atingiu a marca de 50 ml no balão (EMBRAPA, 1997). Em seguida, o balão foi pesado.

Para saber qual a densidade do solo, aplica-se a seguinte equação:

$$DS = (BCA - BSA) / V \quad (2)$$

Onde:

*DS* = densidade do solo;

*BCA* = peso do balão com a amostra;

*BSA* = peso do balão sem a amostra;

*V* = volume do balão.

#### 4.3.4 Densidade das partículas.

Para determinar a densidade de partículas, pesou-se pouco mais de 20 g de amostra, que foi levada para a estufa, onde permaneceu por 6 horas a 105 °C, até perder toda a umidade (EMBRAPA, 1997). Após a retirada da estufa, o béquer foi colocado no dessecador para resfriamento. Depois, exatamente 20 g da amostra foram transferidas para um balão volumétrico de 50 ml, e adicionou-se álcool 90 ° até atingir a marca de 50 ml. Após esse procedimento, verifica-se o volume de álcool utilizado.

Para calcular a densidade de partículas utiliza-se a seguinte equação:

$$DP = PDA / 50 - VAG \quad (3)$$

Onde:

*DP* = densidade de partículas;

*PDA* = peso da amostra inicial,  
*50* = volume inicial de álcool em ml;  
*VAG* = volume de álcool gasto.

#### 4.3.5 Porosidade Total.

A porosidade total (PT) determina o volume de poros totais do solo ocupado por água e/ou ar (EMBRAPA, 1997). Para calcular a porcentagem de porosidade total, utilizou-se a seguinte equação:

$$PT (\%) = [(DP - DS) / DP] \times 100 \quad (4)$$

Onde:

*PT* = porosidade total;  
*DP* = densidade de partículas;  
*DS* = densidade do solo;  
*X 100* = determinar a porcentagem.

#### 4.3.6 Granulometria.

A análise granulométrica consiste na determinação do tamanho das partículas que compõem uma amostra, ou seja, o tamanho dos grãos. Neste estudo, foi adotada a classificação de Wentworth (1922), apresentada a seguir: (Quadro 4).

**Quadro 4:** Classificação granulométrica de Wentworth (1922) apud Suguio (1973)

Tamanho do grão	Classificação granulométrica
< 0,002 mm	Argila
0,002 – 0,062 mm	Silte
0,0062 – 2 mm	Areia
2 – 4 mm	Grânulo
4 – 64 mm	Seixo
64 – 256 mm	Bloco ou Calhau
>256 mm	Matacão

Org. Carla M.R. de Lima, 2024.

#### 4.3.7. Sedimentos Finos.

De acordo com Suguio (1973), um dos princípios fundamentais da análise granulométrica de sedimentos finos (partículas menores que 0,0062 mm) é que partículas

pequenas decantam com velocidades constantes em água ou outros fluidos. Assim, a velocidade de decantação varia de acordo com características como raio, forma, densidade e textura da partícula.

Essa análise é possível por meio da Lei de Stokes, que permite calcular a resistência friccional exercida sobre uma partícula esférica em queda em meio fluido. Para aplicar essa lei, foi realizado o procedimento de dispersão e pipetagem, descrito no próximo tópico (EMBRAPA, 2017).

#### 4.3.8. Dispersão e pipetagem.

Para esse processo, utilizou-se a metodologia da pipeta, que se baseia na velocidade de queda das partículas do solo (EMBRAPA, 1997). Primeiramente, pesaram-se 20 g de amostra. Em seguida, cada amostra foi colocada isoladamente em um béquer de vidro com capacidade de 250 ml, ao qual foram adicionados 100 ml de água destilada.

Logo após, com auxílio de uma pipeta acoplada a um pipetador, injetaram-se 10 ml de dispersante (hidróxido de sódio – NaOH) na mistura. A mistura foi então agitada com bastão de vidro por 1 minuto. Após isso, o béquer foi tampado e permaneceu em repouso por 24 horas.

Finalizado esse período, com o auxílio de uma pisseta contendo água destilada, a mistura foi transferida do béquer para o copo metálico do agitador elétrico (stirrer), ajustando o volume para aproximadamente 300 ml. Em seguida, a mistura foi agitada por 10 minutos.

Após a agitação, o conteúdo foi passado por uma peneira de malha 0,0062 mm e, em seguida, transferido para uma proveta de 1.000 ml. A amostra foi então lavada até que o volume da proveta atingisse exatamente 1.000 ml. Agitou-se a proveta com bastão por 1 minuto, e a temperatura da amostra foi aferida. Com esse valor, aplicou-se a Lei de Stokes, conforme o Quadro 5, em que cada temperatura corresponde a um tempo específico de repouso para a separação das partículas.

**Quadro 5:** Lei de Stokes.

Temperatura (°C)	Tempo	Temperatura (°C)	Tempo
10	5h 11'	23	3h 43'
11	5h 03'	24	3h 38'
12	4h 55'	25	3h 33'
13	4h 47'	26	3h 28'
14	4h 39'	27	3h 24'
15	4h 33'	28	3h 19'

16	4h 26'	29	3h 15'
17	4h 20'	30	3h 10'
18	4h 12'	31	3h 07'
19	4h 06'	32	3h 03'
20	4h 00'	33	2h 58'
21	3h 54'	34	2h 55'
22	3h 48'	35	2h 52'

Org. Carla M.R. de Lima, 2024.

Durante esse tempo, a argila permanece suspensa, enquanto o silte decanta. A pipetagem é realizada ao final do tempo correspondente à temperatura da amostra.

Decorrido esse tempo, com o auxílio de uma pipeta, retiraram-se 20 ml da amostra a 5 cm de profundidade e transferiram-se para um béquer de 25 ml. Esse béquer foi levado à estufa, onde permaneceu por 24 horas a 105 °C para secagem. Após isso, foi pesado para determinar o peso da argila.

Para saber-se o peso da argila, a equação utilizada foi:

$$PA = BCA - BSA \quad (5)$$

Onde:

*PA* = peso da argila;

*BCA* = peso béquer com a argila (pós-estufa);

*BSA* = peso do béquer sem argila.

O volume da pipeta, sendo de 20ml, correspondeu a 1/50 do volume total da amostra na proveta, logo o resultado encontrado precisa ser multiplicado por 50 para saber o real peso da amostra de argila, proporcional ao volume original (1000ml).

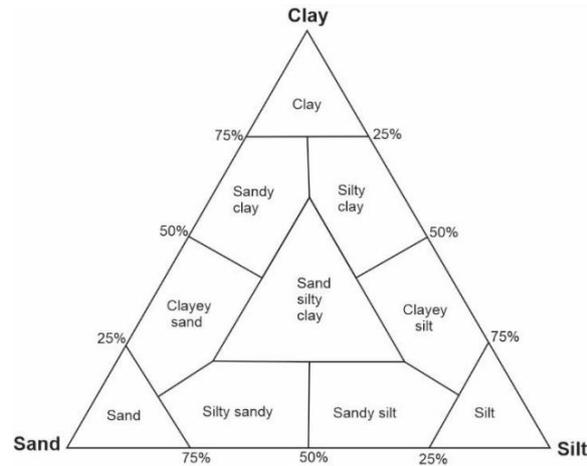
#### 4.3.9. Sedimentos Grossos.

As partículas grossas, segundo a EMBRAPA (1997), referem-se aos grânulos e à areia. Após o método de dispersão, o material retido na peneira de malha 0,0062 mm constitui a fração grossa. Esse material foi transferido para um béquer identificado e levado à estufa a 105 °C por 24 horas.

Em seguida, a amostra foi peneirada em um conjunto com malhas de 1 mm, 0,5 mm, 0,250 mm e 0,125 mm, no agitador mecânico, por 5 minutos. Após esse tempo, as partículas retidas em cada peneira foram pesadas e classificadas como: areia muito grossa, grossa, média, fina e muito fina (esta última, retida abaixo de 0,125 mm).



**Figura 16:** Diagrama de Shepard (1954).



**Fonte:** Vieira, 2023.

#### 4.3.10 Teste de resistência à penetração.

A resistência à penetração foi avaliada conforme os procedimentos descritos por Soares et al. (2022). Os testes foram realizados com um penetrômetro em três pontos distintos: platô, encosta e depósito de sedimentos. O equipamento possui uma haste metálica com ponta de 1 cm<sup>2</sup>, que é inserida verticalmente no solo e submetida a impactos de uma massa de 1 kg, em queda livre de 50 cm.

Registra-se o número de impactos necessários para penetrar 5 cm no solo, até o limite de 50 cm de profundidade. Em cada ponto, foram realizados pelo menos três testes, para obtenção de um valor médio.

#### 4.3.11 Teste de Infiltração.

A infiltração é o processo pelo qual a água (geralmente da chuva) penetra a superfície do solo. O teste foi realizado segundo os procedimentos descritos por Soares et al. (2022), utilizando um infiltrômetro de anel simples (tipo Hills), com 10 cm de diâmetro e 15 cm de altura. O anel foi introduzido 5 cm no solo, permanecendo fixo.

Iniciou-se o teste umedecendo o solo ao redor e, em seguida, despejando água dentro do infiltrômetro. Quando a lâmina infiltrada se estabilizou (valor repetido por três vezes após 20 leituras), a taxa de infiltração foi considerada constante.

Para a confecção do gráfico da taxa de infiltração, realizou-se por meio da equação de Reichardt para a relação da taxa de infiltração e o total de infiltração, conforme equação a seguir:

$$F(T) = f(t)/t \quad (7)$$

Onde:

*F*: Total Infiltrado (infiltração acumulada ou total infiltrado);

*f*: taxa de infiltração;

*t*: tempo.

Para a elaboração da tabela de Umidade Gravimétrica, realizou-se o cálculo conforme EMBRAPA (1997):

$$\text{Umidade Gravimétrica} = 100 (a - b) / b \quad (8)$$

Onde:

*a*: peso da amostra úmida (g)

*b*: peso da amostra seca (g)

#### **4.4. Caracterização dos impactos ambientais correlacionados a voçoroca.**

Para identificar as características dos impactos ambientais, utilizou-se o método de registro de voçorocas por meio da “ficha cadastral” (Quadro 6). Esse método tem como objetivo registrar os dados morfométricos da voçoroca e acompanhar sua evolução, mas também auxilia no entendimento de outros aspectos, como: condições naturais, características urbanas, ações de contenção, danos ambientais, danos materiais, entre outros (Vieira e Frota Filho, 2023).

**Quadro 6:** Modelo de Ficha Cadastral.

VOÇOROCAS NA ÁREA URBANA DE IRANDUBA						
FICHA DE CADASTRAMENTO						
DATA DO 1º CADASTRAMENTO:						
1. LOCALIZAÇÃO E IDENTIFICAÇÃO DA VOÇOROCA: Nº						
ACESSO:			ZONA:			
BAIRRO:						
2. COORDENADAS:						
GPS.:						
3. DADOS DA VOÇOROCA						
DATAS DOS MONITORAMENTOS	1º cad.	2º cad.	3º cad.	4º cad.	5º cad.	6º cad.
COMPRIMENTO (m):						
LARGURA (m):						
PROFUNDIDADE (m):						
DIST. DA PISTA (m)						
ÁREA:	VOLUME:		DIREÇÃO:			
TIPO:	FORMA:		TAMANHO:			
4. GEOLOGIA:						
5. GEOMORFOLOGIA						
<input type="checkbox"/> PLATO			<input type="checkbox"/> BAIXIO		<input type="checkbox"/> ENCOSTA	
CARACTERÍSTICAS DA ENCOSTA						
<input type="checkbox"/> ENCOSTA SUPERIOR		<input type="checkbox"/> ENCOSTA MEDIANA		<input type="checkbox"/> ENCOSTA INFERIOR		
FORMA:		COMPRIMENTO:		DECLIVIDADE:		
6. SOLO:						
<input type="checkbox"/> INALTERADO		<input type="checkbox"/> ALTERADO		<input type="checkbox"/> COMPACTADO		<input type="checkbox"/> CROSTAS
<input type="checkbox"/> LATOSSOLO		<input type="checkbox"/> ESPODOSSOLO		<input type="checkbox"/> ARGISSOLO		<input type="checkbox"/> ATERRO
7. HISTÓRICO DA OCORRÊNCIA						
8. USO E OCUPAÇÃO DA ÁREA A MONTANTE						
9. USO E OCUPAÇÃO DA ÁREA A JUSANTE						
10. DANOS MATERIAIS						
11. DANOS AMBIENTAIS						
12. MEDIDA DE CONTENÇÃO ADOTADA						
13. PREVISÃO DE EVOLUÇÃO						
14. OBSERVAÇÕES GERAIS						

Fonte: Vieira, 2008.

Todos os tópicos da ficha (numerados de 1 a 14) foram utilizados para a caracterização dos impactos ambientais. Contudo, no item “danos ambientais” (11), realizaram-se análises de caráter qualitativo, enumerando os principais impactos observados por meio das imagens obtidas pelo VANT e em campo, como, por exemplo: perda de área, assoreamento do canal a jusante e perda de moradias.

Para mensurar a perda de área, os cálculos tiveram como base o valor do metro quadrado estipulado pela Prefeitura de Rio Preto da Eva para o bairro afetado pela incisão, o Conjunto Residencial São Sebastião, multiplicado pela área total da voçoroca. Em seguida, a esse valor foi somado o custo estimado de contenção da voçoroca, caso essa intervenção fosse realizada.

O custo de contenção por metro quadrado para áreas afetadas por voçorocas, segundo Vieira (1998), é estimado em US\$ 60,00/m<sup>2</sup>. Com base nesse valor, a área atual da voçoroca foi multiplicada pelo custo de contenção em dólares, levando em consideração o valor do

dólar no dia do monitoramento. O resultado obtido foi então convertido para a moeda local, o real.

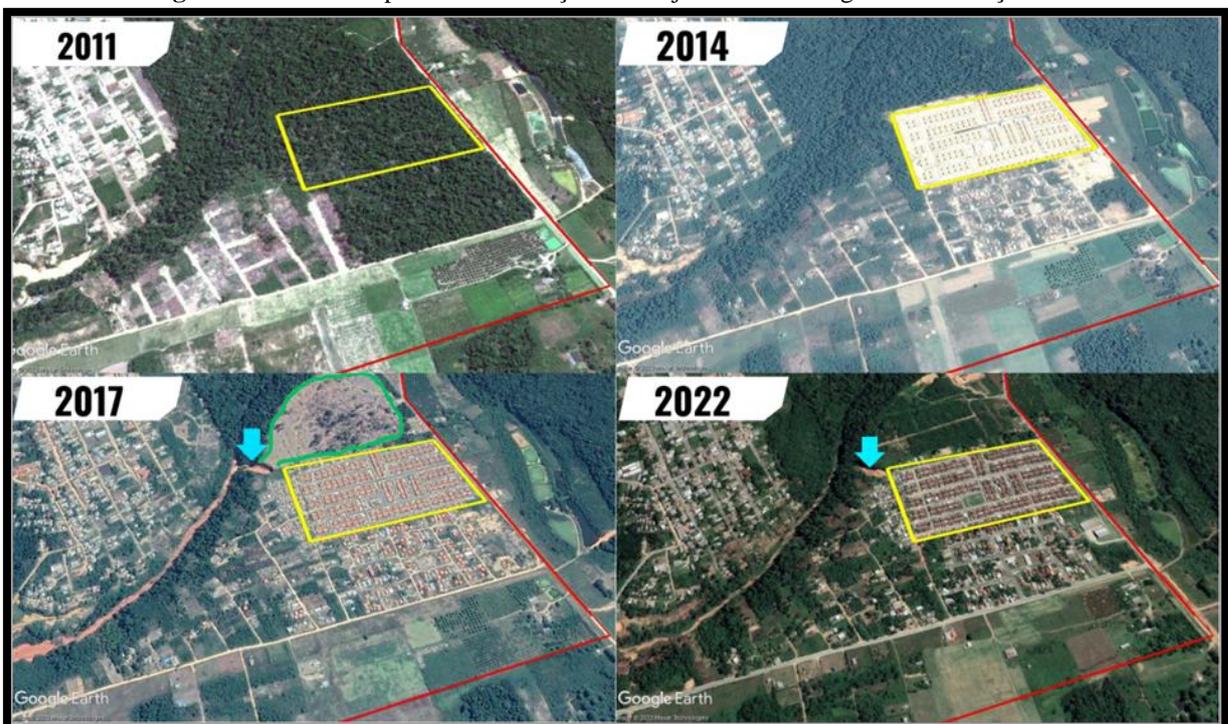
## 5. CAPÍTULO IV – RESULTADOS.

### 5.1 Monitoramentos da evolução da voçoroca e a produção de sedimentos.

A incisão que é objeto de estudo desta pesquisa está localizada no Conjunto Residencial São Sebastião. O surgimento dessa feição está diretamente associado à construção do conjunto habitacional, no qual a drenagem pluvial foi direcionada para uma encosta de forte declividade, juntamente com o desmatamento, a exposição do solo e a terraplanagem, acarretando o seu aparecimento.

Com base em uma sequência cronológica de imagens de satélite (Figura 17), observa-se que, no ano de 2011, a área que atualmente corresponde ao conjunto residencial (delimitada em amarelo) era florestada. A partir da construção do empreendimento, em 2014, é possível notar, nas imagens dos anos de 2017 e 2022, que a voçoroca já se encontra estabelecida (identificada pela seta azul).

**Figura 17:** Linha temporal da construção do conjunto com o surgimento da voçoroca.



**Fonte:** Imagens do *Google Earth Pro*. **Org.** Carla M.R. de Lima, 2024.

Os monitoramentos dessa feição erosiva por meio de VANT vêm sendo realizados desde 2019. Desde então, a área continua em expansão, tanto em comprimento (na direção da cabeceira) quanto em largura (em direção às bordas). A voçoroca é classificada como uma

feição retangular, do tipo conectada, com área de 4.909,8 m<sup>2</sup> e grande potencial de impacto. Como mencionado anteriormente, a voçoroca permanece em processo de expansão, o que é confirmado pelos dados métricos (Tabela 2):

**Tabela 2:** Dados morfométricos da voçoroca.

Monitoramento.	Comp. (m)	Larg. Média (m)	Prof. (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )
Dez./2019	116,0	31,13	17,9	3.611,08	64.638,33
Nov./2020	119,0	33,2	18,6	3.954,37	73.551,28
Ago. /2021	127,48	33,2	22,4	4.232,33	94.804,32
Jul./2022	132	33,2	22,6	4.382,4	99.042,24
Mai./2023	141	33,4	21,5	4.709,4	101.252,1
Jul./2024	147	33,4	21,1	4.909,8	103.596,78

Os dados métricos dos seis monitoramentos indicam que a voçoroca apresentou crescimento em todos os parâmetros analisados, exceto em profundidade (na cabeceira), que diminuiu nos dois últimos monitoramentos (maio/2023 e julho/2024), em relação aos anteriores. Desde o primeiro levantamento, realizado em dezembro de 2019, até o último, em julho de 2024, a área total da voçoroca expandiu de 3.611,08 m<sup>2</sup> para 4.909,8 m<sup>2</sup>, o que representa um crescimento de 1.298,72 m<sup>2</sup> durante os cinco anos de monitoramento.

Entre dezembro de 2019 e novembro de 2020, observou-se um aumento expressivo no volume da voçoroca, que passou de 64.638,33 m<sup>3</sup> para 73.551,28 m<sup>3</sup>, o que corresponde a um acréscimo de 8.912,95 m<sup>3</sup>. Esse período inicial pode ser caracterizado como uma fase de intensa atividade erosiva. No intervalo seguinte, entre novembro de 2020 e agosto de 2021, registrou-se o maior crescimento volumétrico de todo o período analisado, com o volume atingindo 94.804,32 m<sup>3</sup>. O acréscimo de 21.253,04 m<sup>3</sup> nesse curto intervalo sugere um possível pico do processo erosivo.

De agosto de 2021 até julho de 2022, houve uma desaceleração significativa na taxa de crescimento, com o volume aumentando para 99.042,24 m<sup>3</sup>, um acréscimo de 4.237,92 m<sup>3</sup>. Essa redução pode indicar o início de um processo de estabilização parcial da feição. Entre

julho de 2022 e maio de 2023, o avanço erosivo continuou em ritmo reduzido, com o volume alcançando 101.252,10 m<sup>3</sup>, representando um acréscimo de 2.209,86 m<sup>3</sup>.

No último intervalo analisado, de maio de 2023 a julho de 2024, o volume chegou a 103.596,78 m<sup>3</sup>, com um aumento de 2.344,68 m<sup>3</sup>. Apesar da continuidade do crescimento, observa-se uma tendência de estabilização da feição, marcada por variações pouco expressivas em suas dimensões. No entanto, essa estabilização pode ser comprometida devido ao fluxo de água proveniente do conjunto habitacional, que alimenta o processo erosivo. Esse fluxo, ao escorrer pela parede da voçoroca, gera alcovas que contribuem para o avanço da incisão. À medida que essas alcovas se expandem, desestabilizam os pacotes de solo sobrepostos, prejudicando a estabilização da feição.

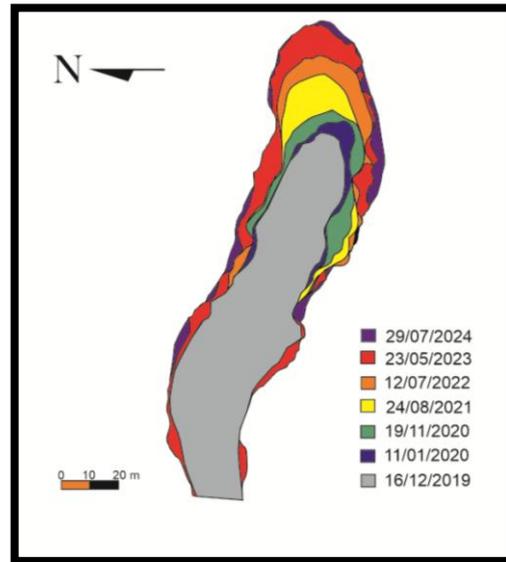
Por meio da linha do tempo de expansão da voçoroca (Figura 18), é possível observar seu crescimento linear em direção à cabeceira (Tabela 3), que foi de 31 metros desde o primeiro monitoramento (16/12/2019) até o último (29/07/2024).

**Figura 18:** Linha do tempo da expansão da voçoroca.



**Org.** Carla M.R. de Lima, 2024.

A Figura 19 ilustra a progressão da feição ao longo de cada monitoramento, com cores distintas. Essa figura inclui um monitoramento adicional, realizado em 2020, não apresentado na Figura 14.

**Figura 19:** Crescimento linear da voçoroca.

**Org.:** Antonio F.S.G. Vieira e Carla M.R. de Lima, 2024.

**Tabela 3:** Crescimento linear da voçoroca.

Ordem	Monitoramento A	Monitoramento B	Comprimento (m)
1*	16/12/2019	11/01/2020	1
2*	12/01/2020	19/11/2020	2
3*	20/11/2020	24/08/2021	8,48
4**	25/08/2021	12/07/2022	4,52
5**	13/07/2022	23/05/2023	9
6***	23/05/2023	29/07/2024	6
<b>Total:</b>			<b>31</b>

\*Dados obtidos a partir de Lima, 2020, 2021, Vieira et al., 2022; Lima e Vieira, 2023; \*\*Vieira, 2023; \*\*\*A partir desse período os dados são combinados de Vieira, 2023 e este trabalho. **Org.** Carla M.R. de Lima, 2024.

No primeiro monitoramento (16/12/2019 a 11/01/2020), o total precipitado foi de 181,91 mm ao longo de 26 dias, com 568,46 m<sup>3</sup> de material erodido (Tabela 4). No monitoramento seguinte (12/01/2020 a 19/11/2020), o total precipitado foi de 1.610,27 mm em 313 dias, resultando em 8.912,95 m<sup>3</sup> de sedimentos erodidos.

O terceiro monitoramento (20/11/2020 a 24/08/2021) foi um dos períodos de maior expansão da feição, com 8,48 m de crescimento linear (Tabela 3) e 21.319,44 m<sup>3</sup> de solo erodido. Essa expansão relaciona-se aos altos índices pluviométricos, uma vez que os meses

mais chuvosos (dezembro a maio) integram o período monitorado, que totalizou 2.123,44 mm em 278 dias (média de 7,6 mm/dia).

O quarto monitoramento (25/08/2021 a 12/07/2022) registrou 2.569,03 mm em 322 dias (média de 7,98 mm/dia), com 4.237,92 m<sup>3</sup> de material erodido, a segunda menor taxa de crescimento, apesar de estar inserido no período mais chuvoso entre os monitorados.

No penúltimo monitoramento (13/07/2022 a 23/05/2023), o maior em expansão linear, registrou-se 2.209,86 mm de precipitação em 315 dias (7,01 mm/dia) e 6.693,12 m<sup>3</sup> de solo erodido. Já o último monitoramento (23/05/2023 a 29/07/2024) teve um índice pluviométrico de 2.509,96 mm em 433 dias, com 2.344,68 m<sup>3</sup> de material erodido.

Com relação ao volume total erodido, a voçoroca apresentou crescimento expressivo: de 64.638,33 m<sup>3</sup> no primeiro monitoramento (16/12/2019) para 103.596,78 m<sup>3</sup> no último (29/07/2024). Segundo a metodologia de Vieira e Albuquerque (2004), a feição se enquadra na categoria “muito grande”, por ter volume superior a 40.000 m<sup>3</sup>.

**Tabela 4:** Volume erodido por monitoramento.

<b>Ord.</b>	<b>Início do monitoramento. A</b>	<b>Fim do monitoramento. B</b>	<b>Volume erodido (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Diferença entre o período anterior e o atual m<sup>3</sup>.</b>
1	17/12/2019	11/01/2020	64.638,33	-
2	12/01/2020	19/11/2020	73.551,28	8.912,95
3	20/11/2020	24/08/2021	94.804,32	21.319,44
4	25/08/2021	12/07/2022	99.042,24	4.237,92
5	13/07/2022	23/05/2023	101.252,1	2.209,86
6	23/05/2023	29/07/2024	103.596,78	2.344,68

**Org.** Carla M.R. de Lima, 2024.

Ao comparar os dados das Tabelas 3 e 4, nota-se que, embora o terceiro monitoramento tenha registrado o maior volume de sedimentos, foi no quinto que ocorreu o maior crescimento linear. Essa diferença decorre da redução da profundidade nos últimos dois monitoramentos, causada pelo acúmulo de material no fundo da voçoroca, o que impede que o aumento em volume reflita diretamente no avanço linear.

Esse processo revela uma tendência natural de estabilização da feição, reforçada pela diminuição da área de contribuição, o que, teoricamente, reduziria a velocidade de crescimento. No entanto, a continuidade da evolução está relacionada à drenagem pluvial do

conjunto habitacional, que é direcionada para a encosta da voçoroca, mantendo a dinâmica erosiva ativa, mesmo em um cenário de aparente estabilização.

Os dados obtidos por meio da análise das imagens 3D da evolução da voçoroca também foram utilizados para calcular as taxas de crescimento linear da feição. Essas taxas serviram de base para estimar a previsão de risco apresentada no Quadro 3, que indica o tempo, em meses, necessário para que a voçoroca atinja um ponto urbano de referência.

O ponto de referência considerado foi uma residência — a estrutura construída mais próxima da voçoroca —, que seria, portanto, uma das primeiras a ser atingida com o avanço da incisão (Tabela 5).

**Tabela 5:** Distância da residência, taxa de crescimento e previsão de risco da voçoroca.

Ord.	Monit. A	Monit. B	Distância da pista. (m)	Cresc. Linear (m)	Tx.Cresc. m/mês	Risco.
1*	16/12/2019	-	13,3	-	-	Risco a médio prazo.
2	16/12/2019	11/01/2020	13,1	2,0	0,19	Risco a longo prazo.
3	20/11/2020	24/08/2021	0,0	8,48	0,92	Risco imediato.
4	25/08/2021	12/07/2022	0,0	4,52	0,44	Risco imediato.
5	13/07/2022	23/05/2023	0,0	9,0	1,10	Risco imediato.
6	23/05/2023	29/07/2024	0,0	6,0	0,5	Risco imediato

\*No 1º monitoramento não é possível estabelecer uma taxa de crescimento. **Org.** Carla M.R. de Lima, 2024.

No terceiro monitoramento (24/08/2021), já houve uma mudança significativa, pois a voçoroca atingiu a residência utilizada como ponto de referência e passou a ser classificada como de “risco imediato”, com distância de 0,0 m da residência e taxa de expansão de 0,92 m/mês.

Apesar da classificação de “risco imediato” com base na metodologia de Tavares (2010), é importante destacar que, na realidade local, esse risco já se concretizou, sendo caracterizado como um risco presente, já que a feição passou a atingir diretamente a edificação.

## 5.2 Caracterização dos depósitos de sedimentos oriundos da voçoroca monitorada.

Para a caracterização dos depósitos de sedimentos oriundos da voçoroca, num primeiro momento, foram utilizadas as imagens obtidas por VANT. Por meio dessas imagens, foi possível identificar que o canal do Igarapé do Agripino está sendo assoreado pelos sedimentos provenientes da voçoroca, sendo represado e originando um pequeno lago (Figura 20). A vegetação ao redor do lago represado apodreceu, em razão do desequilíbrio ecológico causado pelos depósitos de sedimentos.

Com 2,5 km de extensão, o igarapé do Agripino apresenta um ponto de represamento próximo à nascente, como consequência direta do acúmulo de sedimentos oriundos da voçoroca. Conforme Vieira (2023), a área de deposição desses sedimentos pode ser dividida em duas partes: a Área de Deposição Antiga (ADA), com 164,41 m<sup>2</sup>, e a Área de Deposição Recente (ADR), com 33,94 m<sup>2</sup>, totalizando 198,35 m<sup>2</sup> (Figura 21).

Em termos de volume, isso corresponde a cerca de 228,52 m<sup>3</sup> (ADA) e 16,63 m<sup>3</sup> (ADR), somando aproximadamente 245,15 m<sup>3</sup> de sedimentos depositados (Tabela 6). No entanto, esse montante representa apenas 0,24% do total de material erodido pela incisão até 29/07/2024, que foi de 103.596,78 m<sup>3</sup>.

**Tabela 6:** Dados métricos dos depósitos de sedimentos.

Descrição	Área (m <sup>2</sup> )	Espessura do depósito (m)	Volume (m <sup>3</sup> )	Volume Total m <sup>3</sup>
ADA (D)	92,16	1,39	128,10	
ADA (E)	72,25	1,39	100,42	228,52
ADR (D)	18,00	0,49	8,82	
ADR (E)	15,94	0,49	7,81	16,63
Total Geral				245,15

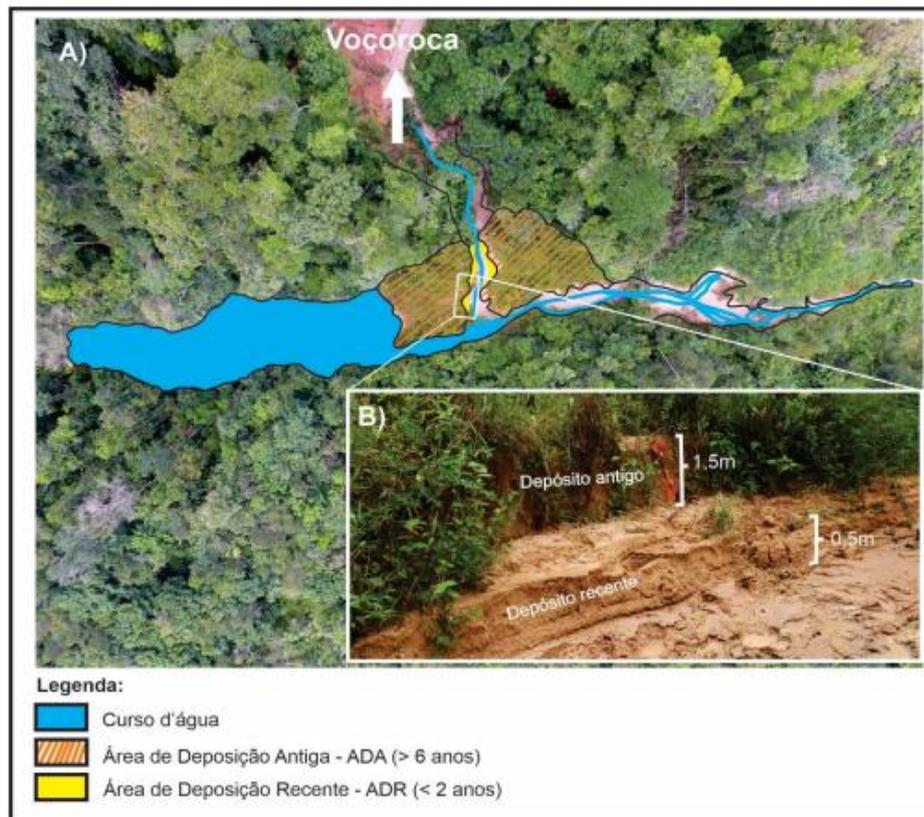
Fonte: Vieira, 2023.

**Figura 20:** Igarapé Agripino e área de deposição.



**Org.** Carla M.R. de Lima, 2024.

**Figura 21:** Depósitos de colúvio/alúvio à jusante da voçoroca



Fonte: A) VANT – LATOSSOLO, 23/05/2023; B) Foto de Antonio F.S.G. Fonte: Vieira (2023).

### 5.3. Descrição das características físicas das amostras de solo e sedimentos.

#### 5.3.1 Granulometria das amostras coletadas na parede da voçoroca.

Para a caracterização das partículas em termos de granulometria, foram coletadas dez amostras. Dentre elas, seis amostras (Voc.1 a Voc.6) foram obtidas nos horizontes A e B, enquanto as outras quatro (Voc.7 a Voc.10) foram coletadas no horizonte C da parede da voçoroca.

As partículas situadas entre 0,0 e 3 metros de profundidade apresentaram textura bastante argilosa, com teores de argila variando entre 61,65% e 78,75%. A partir de 10,80 metros de profundidade, a textura do solo torna-se consideravelmente menos argilosa. Nesse intervalo, entre 10,80 e 11,20 metros, os teores de areia aumentam, variando de 61,40% a 71,75%. Nas profundidades entre 14,2 e 18,0 metros, a fração areia continua aumentando, atingindo seu valor máximo (65,70%) entre 17,8 e 18,0 metros. O solo passa a ser classificado como franco e franco-arenoso, com redução da fração argila e um aumento expressivo da fração silte na profundidade de 14,2 a 14,4 metros (39,80%) (Tabela 7).

**Tabela 7:** Classe textural das amostras de solo.

<b>Amostra</b>	<b>Prof. (m)</b>	<b>Cor (Munsell)</b>	<b>Argila -----</b>	<b>Silte %</b>	<b>Areia -----</b>	<b>Classe Textural</b>
Voc 1	0,0-0,20	7.5 YR 6/4	61,65	15,05	23,30	Muito Argilosa
Voc 2	0,5-0,70	7.5 YR 6/4	65,52	10,58	23,90	Muito Argilosa
Voc 3	1,20 – 1,40	7.5 YR 6/8	65,38	16,32	18,30	Muito Argilosa
Voc 4	1,8 – 2,0	7.5 YR 7/4	69,80	11,00	19,20	Muito Argilosa
Voc 5	2,8- 3,0	7.5 YR 7/6	78,75	12,90	8,35	Muito Argilosa
Voc 6	6,0-6,20	5 YR 7/6	55,00	13,05	31,95	Argila
Voc 7	10,80-11,0	2.5YR 4/8	20,37	7,87	71,75	Franco Argilo Arenoso
Voc 8	11,0-11,2	7.5R 6/4	20,85	17,75	61,40	Franco Argilo Arenoso
Voc 9	14,2-14,4	7.5R 7/4	13,45	39,80	46,75	Franco
Voc 10	17,8 – 18,0	7.5R 7/4	3,0	31,25	65,70	Franco Arenoso

As frações de areia grossa, média e fina também apresentaram variações (Tabela 8), com a maior parte das amostras contendo pouca areia grossa, como observado nas amostras Voc.1 e Voc.2, que são predominantemente argilosas. Já as amostras Voc.7 e Voc.8 destacam-se pela maior quantidade de areia grossa e fina.

**Tabela 8:** Granulometria das amostras de solo

<b>AMOS.</b>	<b>PROF. Cm</b>	<b>ARGILA g/ %</b>	<b>SILTE g/ %</b>	<b>AREIA g/%</b>	<b>AMG G</b>	<b>AG g</b>	<b>AM G</b>	<b>AF G</b>	<b>AMF G</b>
Voc. 1	0,0-0,20	12,33 (61,65)	3,01 (15,05)	4,66 (23,30)	0,00	0,15	1,10	1,83	1,12
Voc. 2	0,5-0,70	13,10 (65,52)	2,12 (10,58)	4,78 (23,90)	0,00	0,13	1,24	1,97	1,34
Voc. 3	1,20 – 1,40	13,75 (65,38)	2,59 (16,32)	3,66 (18,30)	0,00	0,12	0,79	1,36	0,97
Voc. 4	1,8 – 2,0	13,96 (69,80)	2,2 (11,00)	3,84 (19,20)	0,00	3,74	4,03	2,67	0,76
Voc. 5	2,8- 3,0	15,75 (78,75)	2,58 (12,90)	1,67 (8,35)	0,00	0,04	0,35	0,62	0,65
Voc. 6	6,0-6,20	11,00 (55,00)	2,61 (13,05)	6,39 (31,95)	0,00	1,47	2,83	2,40	2,30
Voc. 7	10,80 – 11,0	4,07 (20,37)	1,58 (7,87)	14,35 (71,75)	2,28	5,96	3,89	1,47	0,39
Voc. 8	11,0 – 11,2	4,17 (20,85)	3,55 (17,75)	12,28 (61,4)	0,10	1,56	4,50	5,14	0,97
Voc. 9	14,2 – 14,4	2,69 (13,45)	7,96 (39,8)	9,35 (46,75)	0,04	1,43	3,95	2,84	1,06
Voc. 10	17,8 – 18,0	0,61 (3,05)	6,25 (31,25)	13,14 (65,7)	0,09	2,02	6,62	3,69	0,67

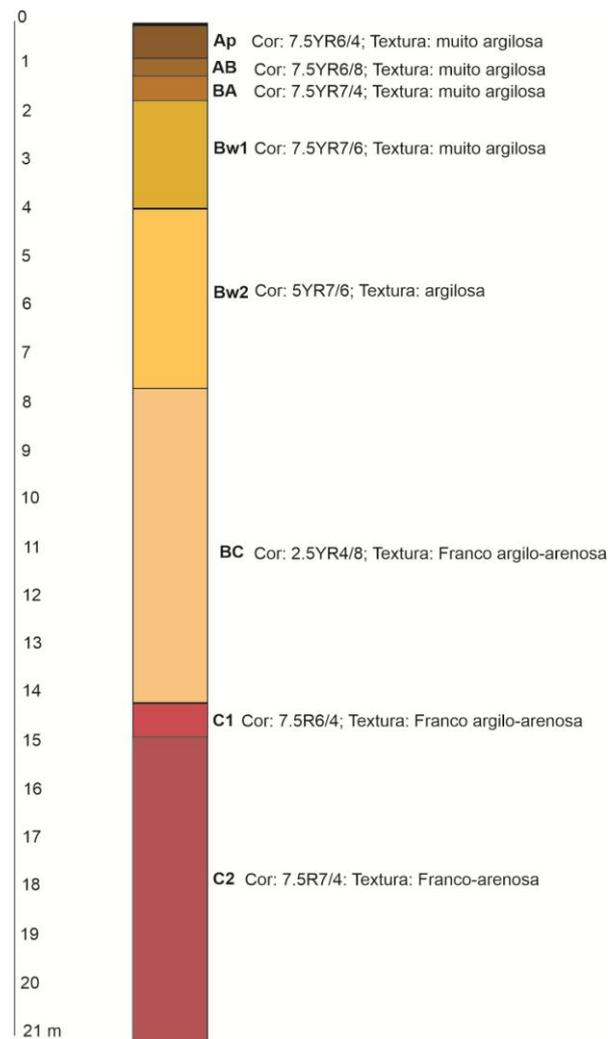
Essas mudanças refletem uma transição textural ao longo do perfil, indicando a passagem do solum (horizontes O, A e B) para o saprólito (horizonte C). Nas camadas superficiais, entre 0,0 e 6,20 metros de profundidade, o solo demonstra maior capacidade de retenção de água e nutrientes, característica típica de regiões onde predominam partículas finas, como a argila.

À medida que se avança para camadas mais profundas, entre 10,80 e 18,0 metros, as amostras mostram aumento no teor de areia, e a textura passa a ser classificada como franco-argilo-arenosa e franco-arenosa. Segundo Centeno et al. (2017), essas camadas são mais permeáveis, com baixa capacidade de retenção de água, podendo funcionar como pontos de exfiltração, além de apresentarem baixos teores de matéria orgânica e menor capacidade de adsorção de íons.

Além disso, essas camadas favorecem a atuação dos processos erosivos, especialmente os associados aos fluxos de água que descem pelas paredes da voçoroca, resultando na formação de alcovas. Da mesma forma, o desgaste erosivo no fundo da incisão, provocado pelos fluxos concentrados no interior da própria voçoroca, intensifica a remoção do material mais arenoso, contribuindo para a ampliação da feição erosiva.

Considerando que esse perfil textural representa o material predominante em toda a voçoroca, a evolução das alcovas tende a provocar o desmoronamento das paredes argilosas, o que evidencia processos de instabilidade previsíveis. Essa condição representa um risco significativo, especialmente para construções ou pessoas localizadas próximas às margens da voçoroca.

O perfil do solo da encosta onde se localiza a voçoroca exhibe variação de horizontes ao longo de aproximadamente 21 metros de profundidade. As texturas predominantes variam desde muito argilosa na superfície até franco-arenosa nas camadas mais profundas (Figura 22).

**Figura 22:** Perfil de solo da encosta da voçoroca.

Org.: Antonio F.S.G. Vieira, 06/02/2025.

Ao analisar a granulometria e o perfil de solo da parede da voçoroca, verifica-se que o solo apresenta áreas vulneráveis à erosão, especialmente nas camadas mais profundas. Nessas camadas, a predominância de partículas maiores torna o solo mais suscetível ao transporte por processos erosivos.

### 5.3.2. Teor de Agregado das amostras coletadas na parede da voçoroca.

Solos bem estruturados e com agregados estáveis são menos suscetíveis à fragmentação quando imersos em água, pois sua organização favorece o suprimento de água, a infiltração, a retenção hídrica, a aeração e a resistência à erosão (Lepsch, 2011). Sendo

assim, foi realizada a análise do teor de agregados com as amostras obtidas a partir da parede da voçoroca (Tabela 9).

**Tabela 9:** Teor de Agregados das amostras de solo

Camada	Prof. (m)	Teor de agregados por fração peneirada (%)				
		2-1 Mm	1 – 0,5 Mm	0,5 – 0,25 mm	0,25 – 0,125 mm	< - 0,125 mm
Voc 1	0,0-0,20	78,81	14,28	2,65	2,02	1,63
Voc 2	0,5-0,70	43,29	26,32	15,43	8,98	3,63
Voc 3	1,20 – 1,40	87,39	10,78	0,57	0,52	0,52
Voc 4	1,8 – 2,0	90,34	8,95	0,54	0,49	0,56
Voc 5	2,8- 3,0	80,00	15,52	2,57	0,50	0,55
Voc 6	6,0-6,20	87,67	10,70	1,35	0,57	0,53
Voc 7	10,80-11,0	66,66	20,35	5,24	3,92	4,76
Voc 8	11,0-11,2	54,96	18,08	4,66	9,80	9,57
Voc 9	14,2-14,4	47,29	19,37	5,04	9,05	10,39
Voc 10	17,8 – 18,0	10,23	16,29	15,45	29,87	16,46

A partir da análise dos dados, verifica-se que as amostras analisadas apresentam variações nos teores de agregados para cada faixa granulométrica ao longo das camadas. Na profundidade de 0,0 a 6,20 metros, considerando a fração entre 2 e 1 mm, observou-se maior preservação de agregados maiores após a agitação mecânica, devido ao maior teor de argila nessas camadas — o que indica solos mais agregados e com maior capacidade de retenção de água.

Com o aumento da profundidade, entre 10,80 e 18,0 metros, também após a agitação, observa-se uma maior fragmentação do solo, com a formação de agregados menores à medida que aumenta o teor de areia. Essa mudança textural reduz a estabilidade estrutural e a capacidade de retenção de água do solo, tornando as camadas mais profundas mais suscetíveis ao transporte de partículas pelos processos erosivos.

5.3.3. Densidade do solo ( $D_s$ ); densidade de partículas ( $D_p$ ) e porosidade total das amostras coletadas na parede da voçoroca.

A densidade do solo ( $D_s$ ) mede a densidade média de um volume conhecido de solo, estando relacionada à porosidade total e à composição orgânica e mineralógica média do solo (EMBRAPA, 2017). Já a densidade de partículas ( $D_p$ ) refere-se à densidade média das

partículas minerais e orgânicas da amostra, refletindo sua composição e relacionando-se ao volume efetivamente ocupado por matéria sólida, desconsiderando os poros (EMBRAPA, 2017). A porosidade total (VPT), por sua vez, representa o espaço disponível no solo para armazenamento de ar e água (EMBRAPA, 2017).

A densidade do solo variou entre 1,18 mg/m<sup>3</sup> e 1,79 mg/m<sup>3</sup>, com os menores valores encontrados nas camadas superficiais e intermediárias. A densidade de partículas apresentou variações entre 2,10 mg/m<sup>3</sup> e 2,86 mg/m<sup>3</sup>. A porosidade total variou de 19,89% a 47,88%, sendo mais elevada nas camadas superficiais e intermediárias, e apresentando uma queda acentuada nas camadas mais profundas.

Os dados indicam que as camadas entre 0,0 e 6,20 metros de profundidade apresentam os menores valores de densidade do solo (Ds) e densidade de partículas (Dp), o que resulta, conseqüentemente, nos maiores índices de porosidade total (VPT) (Tabela 10).

**Tabela 10:** Densidade do solo, Densidade de partículas e porosidade total das amostras de solo.

Amostra		Ds	Dp	VPT
		--	m <sup>-3</sup> –	%
		mg	mg	
Voc 1	0,0-0,20	1,32	2,10	36,95
Voc 2	0,5-0,70	1,38	2,24	38,18
Voc 3	1,20 – 1,40	1,39	2,43	42,84
Voc 4	1,8 – 2,0	1,31	2,40	45,45
Voc 5	2,8- 3,0	1,18	2,27	47,88
Voc 6	6,0 – 6,20	1,30	2,27	42,73
Voc 7	10,80 – 11,0	1,70	2,86	40,65
Voc 8	11,0 - 11,2	1,72	2,52	31,52
Voc 9	14,2 – 14,4	1,69	2,23	24,12
Voc 10	17,8 – 18,0	1,79	2,24	19,89

#### 5.3.4. Granulometria das amostras de sedimentos.

Para a caracterização granulométrica dos sedimentos foram coletadas vinte e três amostras na área de deposição antiga (ADA) e cinco amostras na área de deposição recente (ADR).

As camadas do perfil da ADA, em termos médios, são compostas por 18,07% de argila, 10,03% de silte e 71,88% de areia (Tabela 11) (Vieira, 2023).

**Tabela 11** – Classe Textural - área de deposição antiga (ADA)

Amostra	Prof. (cm)	Cor (Munsell)	Argila -----	Silte %	Areia -----	Classe Textural
S01	0-6	10R6/6	26,875	9,375	63,750	Clayey sand
S02	6-10	10R5/6	18,225	14,725	67,050	Clayey sand
S03	10-14	10R5/6	16,225	10,625	73,150	Clayey sand
S04	14-18	10R6/6	19,950	13,050	67,000	Clayey sand
S05	18-22	10R5/8	13,875	9,425	76,700	Sand
S06	22-30	10R5/6	10,575	8,525	80,900	Sand
S07	30-33	10R5/8	23,275	11,975	64,750	Clayey sand
S08	33-38	10R5/6	14,025	12,675	73,300	Clayey sand
S09	38-42	10R5/6	25,600	13,500	60,900	Clayey sand
S10	42-50	10R5/6	27,650	10,300	62,050	Clayey sand
S11	50-56	10R5/6	20,250	10,300	69,450	Clayey sand
S12	56-60	10R5/6	22,975	14,375	62,650	Clayey sand
S13	60-61	10R4/6	41,725	17,025	41,250	Clayey sand
S14	61-64	10R5/6	30,500	13,600	55,900	Clayey sand
S15	64-72	10R5/8	13,450	15,900	70,650	Clayey sand
S16	72-88	10R4/8	12,025	7,175	80,800	Sand
S17	88-98	10R5/6	27,925	14,725	57,350	Clayey sand
S18	98-110	2.5YR4/8	12,882	6,668	80,450	Sand
S19	110-117	2.5YR4/6	5,275	2,425	92,300	Sand
S20	117-120	10R3/6	4,000	0,950	95,050	Sand
S21	120-126	2.5YR4/8	15,400	6,550	78,050	Sand
S22	126-131	2.5YR4/8	4,675	1,825	93,500	Sand
S23	131-139	2.5YR4/8	8,300	5,200	86,500	Sand

Fonte: Vieira, 2023

As camadas do perfil da ADR são, em média, compostas por 25,64% de argila, 16,33% de silte e 58,02% de areia (Tabela 12) (Vieira, 2023).

**Tabela 12:** Classe Textural – área de deposição recente (ADR)

Amostra	Prof. (cm)	Cor (Munsell)	Argila -----	Silte %	Areia -----	Granulometria
SN01	0-9	2.5YR7/6	30,550	12,750	56,700	Clayey sand
SN02	9-18	2.5YR6/4	42,175	8,725	49,100	Clayey sand
SN03	18-29	2.5YR7/4	7,400	34,900	57,700	Silty sand
SN04	29-40	2.5YR7/6	25,725	15,225	59,050	Clayey sand
SN05	40-49	2.5YR6/4	22,375	10,075	67,550	Clayey sand

Fonte: Vieira, 2023.

Segundo Vieira (2023), as espessuras tanto da ADA quanto da ADR refletem não apenas o material ali depositado, mas também o volume e a intensidade das chuvas que compuseram cada camada.

A comparação entre os perfis evidencia o impacto dos processos erosivos atuantes na voçoroca e sua relação com os depósitos sedimentares a jusante. Os depósitos de sedimentos da ADA apresentam predominância de areia (71,88% em média), enquanto a ADR contém teores mais elevados de argila (25,64%) e silte (16,33%) em comparação à ADA.

Esse padrão indica que os sedimentos mais antigos sofreram remoção das frações finas ao longo do tempo, enquanto os depósitos da ADR mantêm a composição original das partículas depositadas. Essa diferença pode estar relacionada à constante remoção dos sedimentos finos pelas chuvas, favorecendo a predominância de sedimentos arenosos ao longo do tempo.

### 5.3.5. Teor de Agregado das amostras de sedimentos.

A análise de teor de agregados aplicada em depósitos de sedimentos segundo Vieira, (2023) possui os mesmos objetivos mencionados anteriormente. Os resultados das amostras de ADA indicam que os agregados predominantes possuem tamanhos entre 4 e 2 mm, variando de 15,76% (amostra S19) na profundidade de 110 a 117 cm até 86,72% (amostra S6) entre 22 e 30 cm (Tabela 13) (Vieira, 2023).

**Tabela 13:** Teor de Agregados - ADA

Camada	Prof. (cm)	Teor de agregados (%)				
		4 - 2 mm	2 - 1 mm	1 - 0,5 Mm	0,5 - 0,25 Mm	0,25 - 0,125 mm
S1	0-6	55,68	27,80	6,72	5,04	4,76
S2	6-10	51,67	29,52	7,62	5,29	5,9
S3	10-14	71,82	18,86	3,75	3,88	1,69
S4	14-18	81,18	13,79	1,61	1,53	1,89
S5	18-22	62,34	27,11	5,2	2,55	2,8
S6	22-30	86,72	9,21	1,89	1,82	0,36
S7	30-33	62,78	22,52	4,38	4,26	6,06
S8	33-38	61,17	23,44	4,78	4,28	6,33
S9	38-42	58,68	23,92	5,64	5,02	6,74
S10	42-50	71,59	15,84	4,23	3,59	4,75
S11	50-56	58,64	25,18	5,75	4,63	5,8
S12	56-60	69,23	19,56	3,85	3,48	3,88
S13	60-61	81,79	10,80	1,38	1,81	4,22
S14	61-64	46,38	24,88	7,7	8,66	12,38

<b>S15</b>	64-72	67,46	21,25	3,74	2,45	5,1
<b>S16</b>	72-88	72,81	19,27	3,13	2,38	2,41
<b>S17</b>	88-98	56,93	24,82	5,48	5,88	6,89
<b>S18</b>	98-110	38,08	27,52	8,84	12,76	9,8
<b>S19</b>	110-117	15,76	11,92	18,64	31,84	18,44
<b>S20</b>	117-120	27,92	21,80	11,48	21,96	13,28
<b>S21</b>	120-126	52,12	21,22	5,34	9,2	8,2
<b>S22</b>	126-131	17,88	16,20	11,72	29,12	19,64
<b>S23</b>	131-139	24,24	18,68	18,56	20,16	13,68

Fonte: Vieira, 2023.

As amostras de ADR revelam que os agregados predominantes também têm tamanhos entre 4 e 2 mm, com variação de 14,90% a 74,31% (Tabela 14) (Vieira, 2023).

**Tabela 14:** Teor de Agregados - ADR

Camada	Prof. (cm)	Teor de agregados (%)				
		4 - 2 Mm	2 - 1 Mm	1 - 0,5 Mm	0,5 - 0,25 mm	0,25 - 0,125 mm
<b>SN1</b>	0-8	71,34	12,42	4,56	3,86	7,82
<b>SN2</b>	8-15	61,19	23,58	5,54	5,73	3,96
<b>SN3</b>	15-25	14,90	23,01	21,11	19,17	21,81
<b>SN4</b>	25-38	74,31	16,03	2,44	3,32	3,90
<b>SN5</b>	38-52	33,7	26,11	10,40	13,93	15,86

Fonte: Vieira, 2023.

5.3.6. Densidade do solo ( $D_s$ ); densidade de partículas ( $D_p$ ) e porosidade total das amostras de sedimentos.

Para a análise da densidade real, densidade aparente e porosidade total, foi empregada a mesma metodologia utilizada na análise das amostras da parede da voçoroca. Na ADA, a maior  $D_s$  foi registrada a partir de 110 cm de profundidade, enquanto o valor mais alto de  $D_p$  ( $2,73 \text{ g/cm}^3$ ) e a maior porosidade (52,75%) ocorreram entre 14 e 18 cm (Tabela 15) (Vieira, 2023).

**Tabela 15:** Densidade do solo, Densidade de partículas e porosidade total da Área de Deposição Antiga - ADA

Amostra		Ds -- mg	Dp m <sup>-3</sup> – mg	VPT %
S01	0-6	1,26	2,56	50,78
S02	6-10	1,28	2,53	49,41
S03	10-14	1,28	2,56	50,00
S04	14-18	1,29	2,73	52,75
S05	18-22	1,41	2,53	44,27
S06	22-30	1,44	2,56	43,75
S07	30-33	1,43	2,59	44,79
S08	33-38	1,36	2,53	46,25
S09	38-42	1,28	2,50	48,80
S10	42-50	1,31	2,59	49,42
S11	50-56	1,34	2,59	48,26
S12	56-60	1,31	2,59	49,42
S13	60-61	1,26	2,50	49,60
S14	61-64	1,35	2,53	46,64
S15	64-72	1,43	2,56	44,14
S16	72-88	1,44	2,59	44,40
S17	88-98	1,39	2,56	45,70
S18	98-110	1,45	2,70	46,30
S19	110-117	1,56	2,43	35,80
S20	117-120	1,58	2,59	39,00
S21	120-126	1,47	2,40	38,75
S22	126-131	1,58	2,59	39,00
S23	131-139	1,54	2,59	40,54

**Fonte:** Vieira, 2023

Na ADR, o maior valor de densidade do solo (Ds), correspondente a 1,25 g/cm<sup>3</sup>, foi observado na profundidade entre 38 e 49 cm, enquanto a densidade das partículas (Dp) apresentou com valores médios de 2,51 g/cm<sup>3</sup> para Dp, e porosidade total média de 53,90%, conforme mostrado na (Tabela 16) (Vieira, 2023).

**Tabela 16:** Densidade do solo, Densidade de partículas e porosidade total da Área de Deposição Recente – ADR.

Amostra	Prof. (cm)	Ds -- mg	Dp m <sup>-3</sup> --	VPT %
SN01	0-8	1,15	2,50	54,00
SN02	8-15	1,14	2,56	55,47
SN03	15-25	1,13	2,50	54,80
SN04	25-38	1,13	2,46	54,07
SN05	38-49	1,25	2,56	51,17

**Fonte:** Vieira, 2023

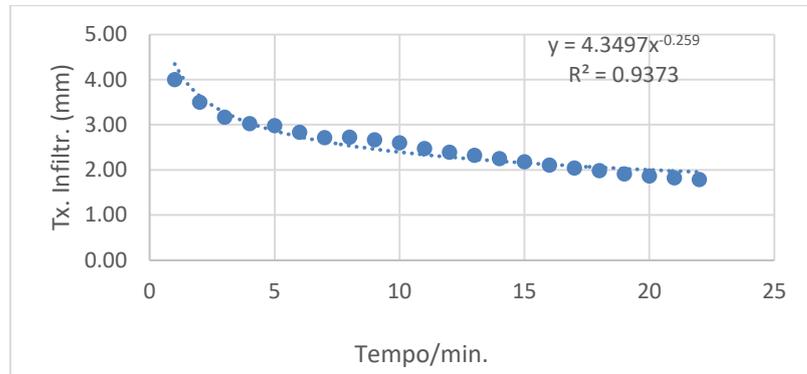
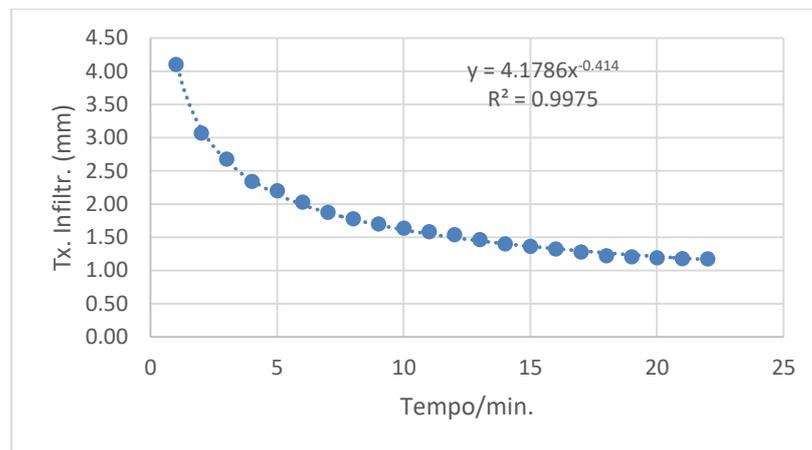
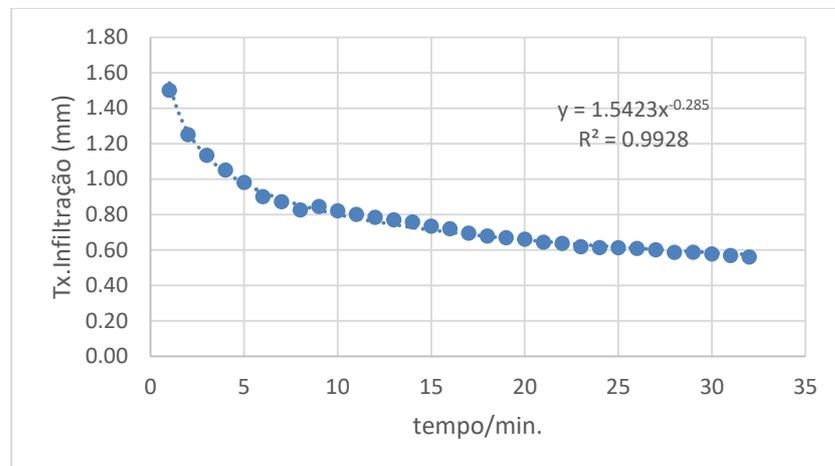
### 5.3.7 Capacidade de infiltração.

Foram realizados três testes de infiltração: um no platô, outro na encosta e um no depósito de sedimentos (Gráficos 01, 02 e 03). No platô, que apresenta relevo mais plano e predominância de vegetação herbácea, a taxa média foi de 1,79 mm/min, com infiltração inicial de 4,1 mm/min e final de 1,17 mm/min.

A expectativa era de que essa área apresentasse taxas mais elevadas, uma vez que a menor declividade costuma favorecer a infiltração da água. No entanto, as modificações antrópicas ocorridas no platô, como terraplanagem, construção de residências, implantação de redes de drenagem artificial e retirada da cobertura vegetal, acabaram comprometendo a estrutura do solo. Esses fatores contribuiriam para sua compactação e formação de crostas superficiais, dificultando o processo de infiltração.

Na meia encosta, onde o terreno é mais íngreme e a vegetação nativa se mantém preservada, foram detectadas as maiores taxas de infiltração. Os dados revelam uma média de 2,52 mm/min (151,2 mm/h), com pico inicial de 4 mm/min e redução para 1,79 mm/min ao final do monitoramento.

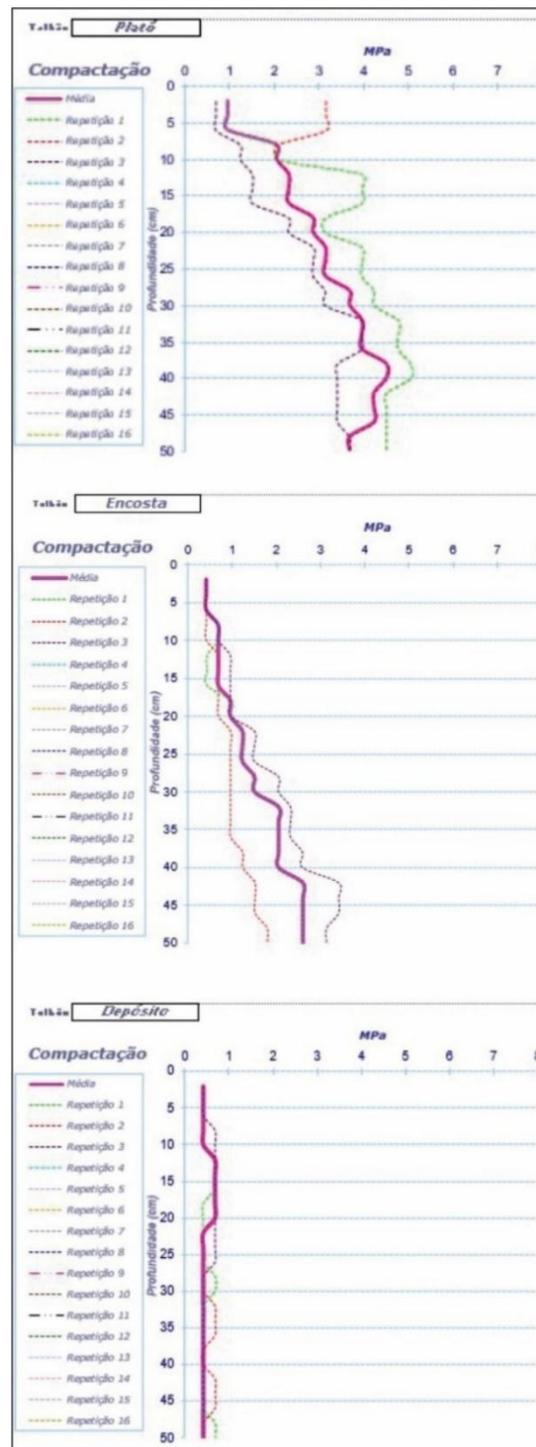
Já no depósito de sedimentos, localizado em uma área plana no fundo do vale, com vegetação herbácea esparsa, a média registrada foi de 0,77 mm/min, com taxa inicial de 1,5 mm/min e final de 0,56 mm/min. Segundo Vieira (2023), esse comportamento está relacionado à influência direta do canal que margeia o depósito, o que leva à saturação frequente do solo. Com as camadas inferiores já encharcadas, a infiltração ocorre de forma mais lenta, favorecendo a formação de escoamento superficial e, conseqüentemente, acelerando o desgaste da superfície.

**Gráfico 01:** Taxas de infiltração na encosta.**Fonte:** Vieira, 2023**Gráfico 02:** Taxa de Infiltração no platô.**Fonte:** Vieira, 2023**Gráfico 03:** Taxa de Infiltração no depósito de sedimentos.**Fonte:** Vieira, 2023

#### 5.3.8. Resistência à penetração.

Foram realizados testes de resistência à penetração nas mesmas três porções do sistema onde foram aplicados os testes de infiltração (Figura 23). O platô apresentou a maior resistência média, com valores que se iniciaram em 1 MPa, aumentando para 3 MPa e atingindo 3,5 MPa.

**Figura 23:** Diferentes níveis de resistência à penetração (Platô, Encosta e Depósito).



Fonte: Vieira, 2023

A maior resistência observada no platô pode ser explicada pelas modificações antrópicas ocorridas na área, especialmente pela retirada da cobertura vegetal. Essas intervenções comprometeram a estrutura do solo, favorecendo sua compactação e, conseqüentemente, elevando os valores de resistência à penetração.

Na encosta, a resistência à compressão apresenta aumento progressivo com a profundidade, partindo de 0,4 MPa, passando para 1,1 MPa e alcançando 2,8 MPa na porção mais profunda analisada.

Já no depósito de sedimentos, a resistência manteve-se constante em 0,2 MPa ao longo de todo o perfil, entre 25 cm e 50 cm de profundidade. Essa menor resistência está associada à textura mais grosseira (arenosa) do depósito, caracterizada pela predominância de agregados maiores e menos coesos. A estrutura pouco consolidada e a baixa coesão entre as partículas facilitam a desagregação do material e, conseqüentemente, a penetração do instrumento de medição, refletindo um solo com menor resistência mecânica à compressão.

#### 5.4. Caracterização dos impactos ambientais correlacionados a voçoroca.

Através da ficha cadastral, os dois principais danos ambientais destacados foram: assoreamento de curso d'água e perda de área (Tabela 17). Esses impactos estão diretamente ligados à dinâmica de avanço da feição, que favorece tanto o acúmulo de sedimentos no curso do igarapé Agripino quanto a perda progressiva de solo.

**Tabela 17:** Danos ambientais correlacionados a voçoroca.

Danos ambientais	Uso e ocupação
Assoreamento do curso d'água	Jusante
Perda de área	Montante/Jusante

Org.: Carla Lima (2024).

A base inicial para calcular o dano ambiental referente à perda de área foi o valor do m<sup>2</sup> estipulado pela Prefeitura de Rio Preto da Eva para o Conjunto Residencial São Sebastião, fixado em R\$ 23,20 para o ano de 2022.

Esse valor foi multiplicado pela área total da voçoroca, obtendo-se os prejuízos associados à perda de área. A primeira mensuração (Tabela 18) foi realizada com base no monitoramento de dezembro de 2019, quando a voçoroca possuía área de 3.611,08 m<sup>2</sup>, resultando em prejuízo de R\$ 83.777,05. Em agosto de 2021, observou-se o aumento da área para 4.232,33 m<sup>2</sup>, com um prejuízo total de R\$ 98.190,06, o que representa um acréscimo de aproximadamente R\$ 14.413,01. Em maio de 2023, a área chegou a 4.709,4 m<sup>2</sup>, elevando o prejuízo para R\$ 109.258,08. Por fim, no monitoramento mais recente, de julho de 2024, a

área da voçoroca atingiu 4.909,8 m<sup>2</sup>, com prejuízo estimado em R\$ 113.907,36. Em comparação ao primeiro levantamento, o dano aumentou em cerca de R\$ 30.130,31.

**Tabela 18:** Dano por área

<b>Monitoramentos</b>	<b>Valor do bairro*</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Dano por área (R\$)</b>
Dez./2019	23,20	3.611,08	83.777,05
Ago. /2021	23,20	4.232,3	98.190,056
Mai./2023	23,20	4.709,4	109.258,08
Jul./2024	23,20	4.909,8	113.907,36

\*Utilizou-se o valor do m<sup>2</sup> referente ao ano de 2022, por ser o único dado disponibilizado pela prefeitura.

Quando realizados os cálculos para contenção dessas incisões, com base no valor de U\$60,00/m<sup>2</sup> (VIEIRA, 2008). Obtêm-se outros valores (Tabela 19).

**Tabela 19:** Custo da contenção.

<b>Data</b>	<b>Valor da contenção em dólar (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Valor do dólar vigente na data do monitoramento.</b>	<b>Valor da contenção em reais* (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Área total da voc. versus valor da contenção.</b>
Dez./2019	US\$ 60,00	4,06	R\$ 243,60	3.611,08	R\$ 879.659,088
Ago. /2021	US\$ 60,00	5,24	R\$ 315,00	4.232,33	R\$ 1.333.183,95
Mai./2023	US\$ 60,00	5,28	R\$ 316,80	4.681,2	R\$ 1.482.940,8
Jul./2024	US\$ 60,00	5,64	R\$ 338,40	4.909,8	R\$ 1.661.476,32

\*Valor do dólar convertido em reais conforme o valor do dólar vigente na data do monitoramento.

No primeiro monitoramento, realizado em dezembro de 2019, o custo de contenção foi calculado em US\$ 60,00 por metro quadrado, convertido à época para R\$ 243,60/m<sup>2</sup>. Na respectiva data, a área afetada pela voçoroca era de 3.611,08 m<sup>2</sup>, resultando em custo total de R\$ 879.659,088 para a contenção. No monitoramento de agosto de 2021, foi observada a expansão da área da voçoroca para 4.232,33 m<sup>2</sup>, o que levou ao acréscimo nos custos da

contenção, que passaram para R\$ 1.333.183,95, representando aumento de R\$ 453.524,862 em relação a 2019.

Já no monitoramento de maio de 2023, a área da voçoroca aumentou novamente, chegando a 4.681,2 m<sup>2</sup>. Com isso, o custo de contenção subiu para R\$ 1.482.940,80, representando um acréscimo de R\$ 603.281,712 em comparação a 2019 e de R\$ 149.756,85 em relação a 2021. No último monitoramento, realizado em julho de 2024, a área atingiu 4.909,8 m<sup>2</sup>, elevando o custo de contenção para R\$ 1.661.476,32. Isso representa aumento de R\$ 781.817,232 em relação ao valor de 2019, R\$ 328.292,37 em relação a 2021 e R\$ 178.535,52 em comparação com 2023. Hoje (28/02/2025) sem levar em consideração o aumento da incisão e tendo como base somente a variação do dólar, o custo da contenção foi novamente alterado. Com a cotação do dólar a R\$ 5,91, o valor estimado por metro quadrado passou para R\$ 354,96, o que eleva o custo total da contenção para R\$ 1.744.252,21. Isso representa aumento de R\$ 53.955,36 em relação ao valor estimado no último monitoramento, realizado em julho de 2024. Esses dados reforçam como fatores econômicos externos, como a flutuação cambial, podem impactar diretamente os custos de recuperação, mesmo quando a área degradada permanece estável.

A perda de área provocada pelo avanço da incisão tem impactado diretamente as residências localizadas nas proximidades, gerando riscos estruturais significativos e, em alguns casos, obrigando a desocupação de moradias.

A imagem da Figura 24 evidencia que as áreas de ocupação irregular, como a destacada em B, tendem a ser as primeiras atingidas. Até o momento, aproximadamente cinco moradias já foram destruídas e outras desocupadas em decorrência do avanço da incisão. Vale destacar que esse problema não se encontra distante das unidades habitacionais do conjunto (A), uma área de ocupação regular, o que reforça a urgência na adoção de medidas de contenção que considerem toda a área afetada, independentemente da regularidade fundiária.

**Figura 24:** (A) Residências regulares e (B) residências irregulares. Rio Preto da Eva-AM.



**Fonte:** Vieira; Lima e Silva, 2023.

Além da perda de área, destaca-se o assoreamento do canal localizado a jusante da voçoroca. O constante aporte de sedimentos transportados pela incisão tem provocado alterações significativas na dinâmica do Igarapé do Agripino, afetando o escoamento das águas e o equilíbrio ecológico local.

As imagens obtidas por VANT permitiram observar o acúmulo de material no leito do canal (Figura 16). Esse novo ambiente é marcado pela presença de troncos de árvores mortas, as chamadas *paliteiras*, que evidenciam a dificuldade de adaptação da vegetação nativa às mudanças hidrológicas. Sem intervenções, a área tende a evoluir para um novo ecossistema, como um banhado ou pântano, com espécies adaptadas à saturação do solo.

Outro impacto observado é a mudança no enquadramento legal do igarapé Agripino, que, com o surgimento da nascente no interior da voçoroca, passou de curso d'água de primeira ordem para segunda ordem, conforme classificação hidrológica. A presença da nascente implica implicações legais: segundo o Código Florestal Brasileiro (Lei nº 12.651/2012), nascentes são Áreas de Preservação Permanente (APPs), devendo ser protegidas independentemente de sua localização ou extensão. Assim, a área da voçoroca deve ser reconhecida como APP, reforçando a necessidade de ações voltadas à conservação e ao manejo adequado do local.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os dados métricos obtidos ao longo dos cinco anos de monitoramento permitiram compreender a dinâmica evolutiva da voçoroca localizada no Conjunto Habitacional São Sebastião, em Rio Preto da Eva, revelando um processo contínuo de crescimento em todos os parâmetros analisados. Entre dezembro de 2019 e julho de 2024, o comprimento da feição aumentou 31 metros, a área expandiu-se em cerca de 1.298 m<sup>2</sup> e o volume teve um acréscimo de aproximadamente 39.000 m<sup>3</sup>. A profundidade, embora tenha aumentado até 2022, apresentou redução nos dois últimos monitoramentos. Essa redução está relacionada ao acúmulo de sedimentos desprendidos das paredes da voçoroca que, ao se depositarem no fundo, promovem um processo de aterramento, contribuindo para a diminuição momentânea da profundidade da feição.

A análise dos volumes ao longo dos diferentes períodos demonstra que os maiores incrementos ocorreram entre 2019 e 2021, caracterizando uma fase de intensa atividade erosiva, com destaque para o pico registrado entre novembro de 2020 e agosto de 2021. A partir de 2021, houve uma desaceleração progressiva nas taxas de crescimento, sugerindo o início de um processo de estabilização morfológica da feição.

No entanto, essa tendência pode ser comprometida pela continuidade do fluxo de água superficial oriundo do conjunto habitacional, incluindo as águas pluviais. Esse fluxo escorre pelas paredes da voçoroca, favorecendo a formação de alcovas e a desestabilização dos pacotes de solo, mantendo o risco de avanço. Assim, embora os dados indiquem uma possível transição para um estágio de equilíbrio, a voçoroca permanece ativa.

A análise dos dados granulométricos, classe textural, teor de agregados, densidade e porosidade das amostras coletadas na parede da voçoroca permitiu identificar variações significativas ao longo do perfil estudado. As camadas superficiais (0,0 a 11,0 m) apresentam predominância de textura muito argilosa, com teores de argila superiores a 55%, maior concentração de agregados maiores e elevada porosidade (acima de 36%). Essas características conferem maior estabilidade estrutural e capacidade de retenção de água, embora possam apresentar menor permeabilidade em condições de saturação dos poros.

Em contrapartida, as camadas mais profundas (11,0 a 18,0 m) são caracterizadas por uma composição granulométrica mais arenosa, com textura franco-argilo-arenosa e franco-arenosa, elevada compactação (densidade do solo acima de 1,70 mg/m<sup>3</sup>) e menor porosidade (inferior a 32%). Essa estrutura mais compacta e com menor capacidade de retenção hídrica torna essas camadas mais suscetíveis ao transporte de partículas pela erosão. Tais

características influenciam diretamente a dinâmica dos processos erosivos, favorecendo a concentração e o escoamento subsuperficial da água, o que contribui para a instabilidade do solo e acelera a evolução da voçoroca.

As camadas inferiores, compostas por partículas de solo maiores, já apresentam uma tendência natural ao transporte de sedimentos em face da baixa coesão. Quando lançadas em direção ao Igarapé Agripino, a jusante, essas partículas passam, em parte, a ser transportadas pelo fluxo desse canal. Com a diminuição da energia do escoamento, especialmente em trechos com menor declividade ou onde há algum represamento natural, os sedimentos acabam sendo depositados. Esses materiais tendem a se acumular tanto nas margens quanto no leito do igarapé, o que contribui para o assoreamento do curso d'água.

A análise granulométrica dos sedimentos coletados nas áreas de deposição associadas à voçoroca fornece indícios relevantes sobre a dinâmica erosiva atuante e os processos de transporte e deposição ao longo do tempo. Na Área de Deposição Antiga (ADA), observa-se uma predominância marcante da fração arenosa, com média de 71,88%, enquanto os teores de argila (18,07%) e silte (10,03%) são consideravelmente menores. Esta composição indica que os sedimentos da ADA foram submetidos a um processo de escoamento superficial prolongado, no qual a saturação dos poros ocorre mais facilmente devido à influência do Igarapé Agripino, que também atua como agente de transporte, removendo as frações mais finas e leves e, conseqüentemente, concentrando os sedimentos mais grosseiros no depósito.

Em contraste, os sedimentos da Área de Deposição Recente (ADR) apresentam uma distribuição granulométrica diferente, caracterizada por maiores proporções de argila (25,64%) e silte (16,33%), e menor participação relativa da areia (58,02%). Esses dados indicam que os depósitos mais recentes preservam, em maior medida, as características texturais do material originalmente erodido, em comparação à ADA.

O surgimento da voçoroca está diretamente relacionado à implantação do conjunto habitacional na área, que acabou direcionando a drenagem pluvial para uma encosta com forte declividade. Esse desvio intensificou o escoamento superficial e, conseqüentemente, o processo erosivo. A situação foi agravada pelo desmatamento da vegetação nativa, pela exposição do solo e pelas obras de terraplanagem, que alteraram significativamente a dinâmica natural do terreno. Foi observado, de acordo com os dados granulométricos das camadas superficiais do solo na voçoroca, que esse solo não apresentaria, em condições naturais, uma tendência acentuada à erosão. Isso reforça a ideia de que o surgimento da feição

está associado à construção do conjunto, especialmente à forma como a ocupação e o uso do solo foram conduzidos.

Em relação aos danos ambientais, os dados mostram uma progressiva expansão da área da voçoroca no Conjunto Residencial São Sebastião e, conseqüentemente, o agravamento de seus impactos ao longo do tempo. Desde dezembro de 2019 até julho de 2024, a área afetada cresceu de 3.611,08 m<sup>2</sup> para 4.909,8 m<sup>2</sup>. Com base no valor de R\$ 23,20 por metro quadrado, estipulado pela Prefeitura de Rio Preto da Eva para o ano de 2022, o prejuízo estimado pela perda de área passou de R\$ 83.777,05 para R\$ 113.907,36, um acréscimo de aproximadamente R\$ 30.130,31 em cinco anos.

A análise detalhada dos monitoramentos mostra que, entre dezembro de 2019 e agosto de 2021, a área aumentou para 4.232,33 m<sup>2</sup>, gerando um prejuízo acumulado de R\$ 98.190,06. Em maio de 2023, esse valor subiu para R\$ 109.258,08, com a área atingindo 4.709,4 m<sup>2</sup>. No levantamento mais recente, realizado em julho de 2024, a área chegou a 4.909,8 m<sup>2</sup>, culminando no prejuízo atual de R\$ 113.907,36.

Os custos para conter essa erosão também apresentaram crescimento significativo. Considerando a estimativa de US\$ 60,00 por metro quadrado (conforme Vieira, 2008), convertida de acordo com a cotação do dólar à época de cada monitoramento, o custo de contenção passou de R\$ 879.659,09 em dezembro de 2019 para R\$ 1.661.476,32 em julho de 2024 — um aumento de R\$ 781.817,23 no período. Esse cenário deixa claro que, quanto mais o problema é adiado, mais caro ele se torna.

Além da perda de área, outro impacto relevante identificado foi o assoreamento do canal localizado a jusante da voçoroca. A análise das imagens obtidas por meio do VANT permitiu observar a alteração na hidrodinâmica do canal, com o acúmulo de sedimentos resultando no represamento das águas e na formação de um pequeno corpo d'água. Esse novo ambiente, marcado pela presença de paliteiras, troncos de árvores mortas que indicam a perda da vegetação original, reforça o impacto das mudanças hidrológicas e aponta para um processo de transição ecológica em curso. A permanência desse cenário, sem intervenções adequadas, poderá levar à formação de um novo ecossistema, como um banhado ou pântano, com características ecológicas distintas.

Adicionalmente, o surgimento de uma nascente no interior da voçoroca, provocado pelo afloramento do lençol freático, alterou a classificação do igarapé Agripino de curso d'água de primeira para segunda ordem. Tal condição não apenas redefine a hidrografia local, mas também impõe implicações legais relevantes. De acordo com o Código Florestal

Brasileiro (Lei nº 12.651/2012), nascentes são consideradas Áreas de Preservação Permanente (APPs), o que confere à área da voçoroca um status legal de proteção ambiental obrigatória. Essa constatação reforça a urgência de ações voltadas à conservação e ao manejo responsável da área, tanto para conter os processos erosivos quanto para preservar os recursos hídricos e os serviços ecossistêmicos associados.

O ponto de represamento localiza-se a aproximadamente 0,6 km da nascente do igarapé, onde ocorre o encontro com os sedimentos da voçoroca. As áreas de deposição foram divididas em Área de Deposição Antiga (ADA), com 164,41 m<sup>2</sup>, e Área de Deposição Recente (ADR), com 33,94 m<sup>2</sup>, totalizando 198,35 m<sup>2</sup> e um volume acumulado de 245,15 m<sup>3</sup> de sedimentos. Apesar de significativo, esse volume representa apenas 0,24% do total erodido pela voçoroca até julho de 2024, que soma 103.596,78 m<sup>3</sup>.

A redução da profundidade observada nos monitoramentos mais recentes indica que a voçoroca permanece ativa, com o contínuo desprendimento de solo das paredes da feição. Verifica-se que, sem intervenções efetivas, os danos ambientais continuarão a se agravar, ampliando ainda mais os impactos tanto na área da voçoroca quanto a jusante e a montante desta.

Os dados analisados permitiram compreender a dinâmica evolutiva e os impactos ambientais da voçoroca localizada no Conjunto Habitacional São Sebastião, em Rio Preto da Eva. Observou-se que a voçoroca apresenta uma relação direta com a construção do conjunto, devido à drenagem inadequada, ao desmatamento e à terraplanagem, que intensificaram a erosão natural do ambiente. A evolução morfométrica da voçoroca evidencia a necessidade urgente de medidas de contenção, uma vez que a perda de solo e a expansão da área comprometida resultam em custos financeiros cada vez mais elevados.

## 7.REFERÊNCIAS:

- AHMED, C. R. M. **Fatores que influenciam a erodibilidade nos solos do município de Campos dos Goytacazes-RJ sob uma análise multicritério**. 103 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2009.
- ALBUQUERQUE, A. R. C.; VIEIRA, A. F. S. G. Erosão dos solos na Amazônia. In: GUERRA, A. J. T.; JORGE, M. C. O. (Org.). **Degradação dos solos no Brasil**. 1. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2014. p. 217-257.
- ALBUQUERQUE, F. N. B. Agentes, processos e feições erosivas em voçoroca conectada à rede de drenagem do rio Coreaú, Ceará. **Revista da Casa da Geografia de Sobral**, v. 8/9, n. 1, p. 11-20, 2006/2007. Disponível em: <www.uvanet.br/rcg>. Acesso em: 12/08/2022.
- ALVES, R. R. **Monitoramento dos processos erosivos e da dinâmica hidrológica e de sedimento de uma voçoroca: estudo de caso na Fazenda do Glória na zona rural de Uberlândia-MG**. (Mestrado em Geografia), Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2007.
- ANDRADE, A.; SELEME, A.; RODRIGUES, L. H.; SOUTO, R. **Pensamento Sistêmico – Caderno de Campo**. 1º ed. Porto Alegre: Editora Bookman, 2006.
- AQUINO, A. R.; PALETTA, F. C.; ALMEIDA, J. R. **Vulnerabilidade Ambiental**. 1ª ed. São Paulo: Blucher, 2017. 113 p.
- ASSOULINE, S. Rainfall-induced soil surface sealing: a critical review of observations, conceptual models and solutions. **Vadose Zone Journal**, v. 3, n. 3, p. 570-591, 2004. Disponível em: <https://acess.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.2136/vzj2004.0570>. Acesso em: 19/01/2024.
- BARBOSA, A. de J. **Voçorocas e a produção de sedimentos na bacia da Colônia Antônio Aleixo em Manaus - AM / Alcinéia de Jesus Barbosa**. 2018. 80 f.: il. color, 31 cm. Orientador: Prof. Dr. Antonio Fábio Guimarães Vieira. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2018.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. 8ª ed. São Paulo: Icone, 2012, 355p.
- BRAGA, P. I. S. Subdivisão fitogeográfica, tipos de vegetação, conservação e inventário florístico da floresta amazônica. **Acta Amazônica**, v. 9, p. 53-80, 1979. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/aa/a/kkZzw5XnHrJ33h6z6jNwJBj/?lang=pt>. Acesso em: 14/01/2024.
- BRANDÃO, V. S. **Infiltração de água em solos sujeitos a encrostamento**. 2003. 81f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa, 2003.
- BRASIL. **Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA)**. Resolução CONAMA nº 1, de 23 de janeiro de 1986. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 17 fev. 1986. Seção 1, p. 2548-2549.

- CANIL, K.; IWASA, O. Y.; SILVA, W. S.; ALMEIDA, L. E. G. Mapa de feições erosivas lineares do Estado de São Paulo: uma análise qualitativa e quantitativa. In: 5º Simpósio Nacional de Controle de Erosão. **Anais. Bauru: ABGE/PMB/UNESP**. p. 249-251. 1995.
- CAPUTO, M. V. Discussão sobre a Formação Alter do Chão e o Alto de Monte Alegre. In: XI Simpósio de Geologia da Amazônia, 2009, Manaus. **Anais do XI Simpósio de Geologia - Sedimentologia-Estratigrafia-Paleontologia**, 2009. p. 01-01.
- CAPUTO, M. V.; RODRIGUES, R.; VASCONCELOS, D. N. N. Nomenclatura estratigráfica da Bacia do Amazonas: histórico e atualização. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 26. Belém, SBG. **Anais [...]**. v.3, p.35-46, 1972.
- CARMO, M. E.; GUIZARDI, F. L. O conceito de vulnerabilidade e seus sentidos para as políticas públicas de saúde e assistência social. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 34, p. 1-14, 2018. Disponível em:  
<https://www.scielo.br/j/csp/a/ywYD8gCqRGg6RrNmsYn8WHv/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 26/11/2023.
- CARVALHO, D. F.; MELLO, J. L. P.; SILVA, L. D. B. Introdução à irrigação. In: CARVALHO, D. F.; MELLO, J. L. P.; SILVA, L. D. B. **Irrigação e Drenagem**. 1º ed. Rio de Janeiro, 2007, p. 1-86. Disponível em:  
<http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/leonardo/downloads/APOSTILA/LICA%20Parte%201.pdf>. Acesso em: 23 mai. 2021.
- CASTRO, S. S. de; COOPER, M. **Fundamentos de micromorfologia de solos**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2019. 240 p. ISBN 978-85-86504-30-3.
- CENTENO, L. N.; GUEVARA, M. D. F.; CECCONELLO, S. T.; SOUSA, R. O.; TIMM, L. C. Textura do solo: conceitos e aplicações em solos arenosos. **Revista Brasileira de Engenharia e Sustentabilidade**, v. 4, p. 31, 2017. Disponível em:  
<https://periodicos.ufpel.edu.br/index.php/RBES/article/view/11576>. Acesso em: 16/06/2024 .
- COELHO NETTO, A. L. Hidrologia de encostas na interface com a Geomorfologia. In: GUERRA, Antonio J. T. & CUNHA, Sandra B. da. **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1994. p. 93-148.
- CONCEIÇÃO, P. C.; AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; SPAGNOLLO, E. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 777-788, 2005. Disponível em:  
<https://www.scielo.br/j/rbcs/a/jSVckWPjwshTvmPKYDfdv9x/?lang=pt>. Acesso em: 25/01/2024.
- DIODATO, M. A. Estudo de impactos ambientais. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, v. 80, p. 1-53, 2004. Disponível em: <http://pt.scribd.com/doc/17182471/36/%E2>. Acesso em: 16 set. 2022.
- DIRANE, A. C. M.; VIEIRA, A. F. S. G. Mapeamento das voçorocas na rodovia AM-010 Manaus/Itacoatiara - AM. In: VIEIRA, A. F. S. G.; MOLINARI, D. C. (Orgs.). Geografia Física da Amazônia - Volume 1. São Paulo: Alexa Cultura; Manaus: EDUA, 2020. p. 15-27.

DIRANE, A. C. M. **Mapeamento das áreas de risco a voçorocamento e caracterização geoambiental da rodovia AM-010 Manaus/Itacoatiara – AM. 2016.** Dissertação (Mestrado em Geografia). Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2016.

DJI. Manual do usuário - Phantom 4. DJI Technology Co., Ltd., 2016. Disponível em: <https://www.dji.com>. Acesso em: 12/09/2024.

DONAGEMMA, G. K.; VIANA, J. H. M.; ALMEIDA, B. G.; RUIZ, H. A.; KLEIN, V. A.; DECHEN, S. C. F.; FERNANDES, R. B. A. **Análise granulométrica.** In: TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (Ed.). Manual de métodos de análise de solo. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2017. p. 95-104. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1087262/1/Pt1Cap10Analisegranulometrica.pdf>. Acesso em: 15/03/2025.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de Métodos de Análise de Solo. 2ª edição.** Centro Nacional de Pesquisa de Solos, Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997. 212p.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Neossolo Quartzarênicos. Disponível em: <https://www.EMBRAPA.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/solos-tropicais/sibcs/chave-do-sibcs/neossolos/neossolo-quartzarenicos>. Acesso em: 16/02/ 2023

FELIX, A.; HORN FILHO, N. O. 2020. **Apostila Sedimentologia.** Florianópolis: Edições do Bosque, 177p.

FERREIRA, D. F.; SAMPAIO, F. E.; SILVA, R. V. C. Impactos socioambientais provocados pela ocupação irregular em áreas de interesse ambiental – Goiânia/GO. 2013. Disponível em: [http://www.educadores.diaadia.pr.gov.br/modules/mydownloads\\_01/singlefile.php?cid=41&lid=5030](http://www.educadores.diaadia.pr.gov.br/modules/mydownloads_01/singlefile.php?cid=41&lid=5030). Acesso em: 30/07/2022.

FIGUEIREDO, M. C. B.; VIEIRA, V. P. P. B.; MOTA, S.; ROSA, M. F.; MIRANDA, S. Análise da vulnerabilidade ambiental. **EMBRAPA.** Fortaleza, 2010. 47p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.EMBRAPA.br/bitstream/doc/877885/1/DO10002.pdf>. Acesso em: 06/09/2023.

FISCH, M.; MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A. Uma revisão geral sobre o clima da Amazônia. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 28, p. 101-126, 1998. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/aa/a/NVRbNSn7P5z4hjtFNmMjLjx/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 02/01/2024.

FROTA FILHO, A. B.; ABREU, N. R. P.; VIEIRA, A. F. S. G. Processo de voçorocamento e feições secundárias: um estudo de caso em Manaus-AM. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 21, n. 74, p. 313-323, 2020. DOI: 10.14393/RCG217441778. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/41778>. Acesso em: 05/06/2024.

FULLEN, M. A.; CATT, J. A. Soil Management: problems and solutions. *European Journal of Soil Science*, **Arnold**, v. 56, p. 686-687, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2005.0756g.x>. Acesso em: 17/09/2022.

GUERRA, A. J. T. O início do processo erosivo. In: GUERRA, A. J. T.; DA SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. **Erosão e conservação dos solos - conceitos, temas e aplicações**. 7<sup>a</sup> ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010. p. 17-55.

GUERRA, A. J. T.; JORGE, M. C. O. Erosão dos solos e movimentos de massa – recuperação de áreas degradadas com técnicas de bioengenharia e prevenção de acidentes. In: GUERRA, A. J. T.; JORGE, M. C. O. **Processos erosivos e recuperação de áreas degradadas**. 1<sup>a</sup> ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2013. 42 p.

GUERRA, A. J. T. Processos erosivos nas encostas. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. **Erosão e Conservação dos Solos: conceitos, temas e aplicações**. 13<sup>a</sup> ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2015. P. 149-199.

GUERRA, A. J. T.; BOTELHO, R. G. M. Características e propriedades dos solos relevantes para os estudos pedológicos e análise dos processos erosivos. **Anuário do Instituto de Geociências**. V. 19, p. 93-114, 1996. Disponível em: <https://revistas.ufrj.br/index.php/aigeo/article/view/6168>. Acesso em: 10/06/2024.

GUERRA, A. J. T.; FULLEN, M. A.; JORGE, M. C. O.; ALEXANDRE, S. T. Soil erosion and conservation in Brazil. **Anuário do Instituto de Geociências da UFRJ**, v. 37, p. 81-91, 2014. Disponível em: <https://revistas.ufrj.br/index.php/aigeo/article/download/6977/5544>. Acesso em: 07/06/2024.

GUERRA, A. J. T.; JORGE, M. C. O.; RANGEL, L. A.; BEZERRA, J. F. R.; LOUREIRO, H. A. S.; GARRITANO, F. N. Erosão dos solos, diferentes abordagens e técnicas aplicadas em voçorocas e erosão em trilhas. **Revista de Geomorfologia**, v. 1, p. 75-117, 2020. Disponível em: <https://williammorrisdavis.uvanet.br/index.php/revistageomorfologia/article/download/16/11/23>. Acesso em: 10/06/2024.

HERNANI, L. C.; FREITAS, P. L.; PRUSKI, F. F.; DEMARIA, I. C.; LANDERS, J.N.; CASTRO-FILHO, C. **A erosão e seu impacto**. In: USO AGRÍCOLA DOS SOLOS BRASILEIROS. p. 47-60, 2002. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/285274946\\_A\\_erosao\\_e\\_seu\\_impacto](https://www.researchgate.net/publication/285274946_A_erosao_e_seu_impacto). Acesso em: 06/05/2023

HORBE, A. M. C.; HORBE, M. A.; SUGUIO, K. Origem dos depósitos de areias brancas no nordeste do Amazonas. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 33, n. 1, p. 41-50, mar. 2003. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/directbitstream/c25628c9-df9f-4468-9d99-112c617276bd/1400684.pdf>. Acesso em: 20/06/2023

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Cidades, 2021. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/am/rio-preto-da-eva/historico>. Acesso em: 16/01/2024.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. BDIA, 2010. Disponível em: [https://BDIA-Banco de Dados e Informações Ambientais \(ibge.gov.br\)](https://BDIA-Banco de Dados e Informações Ambientais (ibge.gov.br)). Acesso em: 16/01/2024.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual técnico de Vegetação**. 2ª ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2012.

KAZTMAN, R. Seducidos y abandonados: el aislamiento social de los pobres urbanos. **Revista de la CEPAL**, Santiago, v. 75, p. 171-189, 2001. Disponível em: <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/10782>. Acesso em: 14/09/2022.

KAZTMMAN, R.; BECCARIA, L.; FILGUEIRA, F.; GOLBERT, L.; KESSLER, G. **Vulnerabilidad, activos y exclusión social en Argentina y Uruguay**. Santiago de Chile: OIT, 1999. 22 p.

KISTLER, P. Historical Resumé of the Amazon Basin. Relatório Técnico Interno 104-A. Belém: Petrobras/Renor, 1954.

LAPORTE, Léo F. **Ambientes antigos de sedimentação**. Tradução e adaptação de Setembrino Petri. São Paulo: Edgard Blücher, 1982.

LEAL, P. C. **Caracterização e interpretações genéticas de alguns solos da região de Manaus-AM. Ciências do Solo**. Recife-PE: Universidade Federal Rural de Pernambuco, 1996. 109 p.

LEPSCH, I. F. **19 Lições de Pedologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011. 456 p.

LEPSCH, I. F. **Formação e Conservação dos Solos**. 2ª ed. Oficina de Texto, São Paulo, 2010. 216 p.

LIMA, C. M. R. **Mapeamento e caracterização das voçorocas na cidade de Rio Preto da Eva – AM**. 2021. 23 f. Relatório de Pesquisa. Pró-reitoria de Pesquisa e Pós-graduação. Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2021.

LIMA, C. M. R.; VIEIRA, A. F. S. G. Degradação ambiental no espaço urbano de Rio Preto da Eva - AM - Brasil. **Revista GeoAmazônia**, Belém, v. 11, n. 22, p. 144–161, 2023. Disponível em: <https://periodicos.ufpa.br/index.php/geoamazonia/article/viewFile/14810/pdf>. Acesso em: 17/07/2023.

MAIA, M. A. M.; MARMOS, J. L. **Geodiversidade do estado do Amazonas**. 1ª ed. Manaus: Serviço Geológico do Brasil, 2010. 275 p.

MALTA, F. S.; COSTA, E. M.; MAGRINI, A. Índice de vulnerabilidade socioambiental: Uma proposta metodológica utilizando o caso do Rio de Janeiro. **Cien Saude Colet**, Rio de Janeiro, v. 22, n. 12, p. 1-9, 2017. Disponível em: <http://cienciaesaudecoletiva.com.br/artigos/indice-de-vulnerabilidade-socioambiental-uma->

[proposta-metodologica-utilizando-o-caso-do-rio-de-janeiro/16441?id=16441](#). Acesso em: 16/08/2022.

MARCHIORO, E.; ANDRADE, E. E.; OLIVEIRA, J. C. Evolução espaço-temporal de voçorocas no Espírito Santo: estudo de caso nos municípios Afonso Cláudio e Alegre.

**Revista Brasileira de Geomorfologia**, [S. l.], v. 17, n. 1, 2016. DOI:

10.20502/rbg.v17i1.712. Disponível em:

<https://www.rbgeomorfologia.org.br/rbg/article/view/712>. Acesso em: 05/06/2024.

MARENGO, J. A.; FISCH, G.; NOBRE, C. Uma Revisão Geral Sobre o Clima da Amazônia.

**Acta Amazonica**, INPA, Manaus, Brasil, v. 28, n. 2, p. 101-126, 1998. Disponível em:

<https://acta.inpa.gov.br/>. Acesso em: 12/08/2022.

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

MIGUEL, A. E. S.; et al. **Características Morfométricas do Relevo e Rede de Drenagem da Bacia Hidrográfica do Rio Taquaruçu/MS**. Revista Brasileira de Geografia Física, vol.07, n.04. 2014. Disponível em: . Acesso em 23/06/2023

MOLINARI, D. C. **Vulnerabilidade ambiental em áreas de risco à voçorocamento - Manaus (AM)**. 2023. 54f. Tese (Doutorado em Geografia Física). Instituto de Filosofia, Ciências Humanas e Sociais. Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2023.

MOLINA JUNIOR, W. F. **Comportamento mecânico do solo em operações agrícolas**. 1. ed. Piracicaba: Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2017. 223 p. v. 1. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/9788592238407>. Acesso em: 12/05/2024.

NOGUEIRA NETO, I. L. A. **Estratigrafia, análise de fácies e proveniência das unidades litoestratigráficas aflorantes na região de Presidente Figueiredo-AM, borda norte da bacia do Amazonas**. 148 f. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Universidade Federal do Pará, Belém, 2013.

NOGUEIRA, L. S.; LEITE, J. P. A.; FILHO, G. B. R. A importância da cobertura vegetal no processo de erosão e degradação do solo no ensino da Geografia. **International Journal Education and Teaching (PDVL)**, v. 3, p. 173-188, 2020. Disponível em:

<https://cointer.institutoidv.org/smart/2020/pdvl/uploads/1641.pdf>. Acesso em: 06/01/2024.

OLIVEIRA, M. A. T; CAMARGO. G. Integração de estruturas de abatimento e erosão por voçorocas: município de Ipaema (PR). **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, n. 15, p. 118-121, 1996. Disponível em:

<https://seer.ufu.br/index.php/sociedadennatureza/article/view/61804/31915>. Acesso em: 09/05/2025.

- OLIVEIRA, F. F. G.; MATTOS, J. T. Identificação da vulnerabilidade ambiental no litoral sul do Rio Grande do Norte - NE do Brasil. **Geografia (Rio Claro. Online)**, v. 39, p. 157-178, 2014. Disponível em: file:///C:/Users/Carla/Downloads/mlfalcao,+Cap-10-color%20(1).pdf. Acesso em: 12/12/2023.
- OLIVEIRA, M. A. T. de. Erosion Disconformities and Gully Morphology: A Three-dimensional Approach. **Catena: an interdisciplinary journal of Soil Science Hydrology – Geomorphology**. W. Germany: v. 16. p. 413-423, 1989.
- OLIVEIRA, M. A. T.; VIEIRA, A. F. G.; POSSAS, H. P.; PAISANI, J. C.; LOPES, L. J.; LIMA, M. S. B.; PONTELLI, M. E. Evolução de voçorocas e integração de canais em áreas de cabeceira de drenagem: município de Resende (RJ). **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 01, n. 15, p. 201-205, 1996. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/sociedadnatureza>. Acesso em: 16/08/2022.
- PAISANI, J. C.; OLIVEIRA, M. A. T. Desenvolvimento da incisão erosiva (voçoroca) descontínua e desconectada da rede hidrográfica em áreas de cabeceira de drenagem: o caso da colônia Quero-Quero Palmeira (PR). **Revista Brasileira de Geociências**, v. 31, n.1, p. 51-58, 2001. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/325152017\\_DESENVOLVIMENTO\\_DE\\_INCISAO\\_EROSIVA\\_VOÇOROCA\\_DESCONTINUA\\_E\\_DESCONECTADA\\_DA\\_REDE\\_HIDROGRAFICA\\_EM\\_AREA\\_DE\\_CABECEIRA\\_DE\\_DRENAGEM\\_O\\_CASO\\_DA\\_COLONIA\\_QUERO-QUERO\\_PALMEIRA\\_-\\_PR](https://www.researchgate.net/publication/325152017_DESENVOLVIMENTO_DE_INCISAO_EROSIVA_VOÇOROCA_DESCONTINUA_E_DESCONECTADA_DA_REDE_HIDROGRAFICA_EM_AREA_DE_CABECEIRA_DE_DRENAGEM_O_CASO_DA_COLONIA_QUERO-QUERO_PALMEIRA_-_PR). Acesso em: 09/03/2025.
- PENALVA, M. G.; ELTZ, F. L. F.; CASSOL, E. A. Erosividade, coeficiente de chuva, padrões e período de retorno das chuvas de Quaraí, RS. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Porto Alegre, v. 31, p. 1205-1217, 2007. Disponível em: [https://lume.ufrgs.br/handle/10183/79492?locale-attribute=pt\\_BR](https://lume.ufrgs.br/handle/10183/79492?locale-attribute=pt_BR). Acesso em: 02/02/2024.
- PEREIRA, J. S.; RODRIGUES, S. C. Erosão por voçorocas: Estado da arte. In: CARVALHO, O. A.; GOMES, M. C. V.; GUIMARÃES, R. F.; GOMES, R. A. T. (Org.). **Revisões de literatura da geomorfologia brasileira**. 1ª ed. Brasília: CALIANDRA, 2022, v. 1, p. 499-525.
- PERES, J. R. R. (ed.). Uso agrícola dos solos brasileiros. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2002. cap. 5, p. 47-60.
- PES, L. Z.; GIACOMINI, D. A. **Conservação do solo**. 1ª ed. Santa Maria: Rede e-tec Brasil, 2017. 69 p.
- POESEN, J.; GOVERS, G. A field-scale study of surface sealing and compaction on loam sandy soils. Part II. Impact of soil surface sealing and compaction on water erosion processes. In: **Assessment of soil surface sealing and crusting. Proceedings of the symposium held in Ghent**, Bélgica, 1985. Editores: F. Callebaut, D. Gabriels e M. De Boodt, p. 183-193.

ROSS, J. L. S. Análises e sínteses na abordagem geográfica da pesquisa para o planejamento ambiental. **Revista do Departamento de Geografia da USP**, São Paulo, n. 9, p. 65-75, 1995. Disponível em: <http://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/53692>. Acesso em: 09/10/2022.

SA, L. N.; LEITE, J. P. A. A importância da cobertura vegetal no processo de erosão e degradação do solo no ensino da geografia. In: TEIXEIRA, Renata Machado; SKOWRONSKI, Marcelo (Org.). *Abordagens em Educação: Tecnologias Digitais, Docência e Inclusão*. 7. ed. 2021. v. 7, p. 162-179.

SANTANA, G. F. **Monitoramento de voçorocas utilizando veículo aéreo não tripulado (VANT) em áreas de difícil acesso em Manaus-AM**. Relatório de Pesquisa. Pró-reitoria de Pesquisa e Pós-graduação. Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2018.

SANTOS, C. M. **Impactos socioambientais decorrentes do uso e ocupação do solo na área urbana de Laranjal do Jari - Amapá**. 135 f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Amapá, Macapá, 2022.

SANTOS, F. R. **Vulnerabilidade Ambiental: Desastres naturais ou fenômenos induzidos**. 2ª ed. Brasília: CDU, 2007. 196 p.

SANTOS, J. O. Relações entre fragilidade ambiental e vulnerabilidade social na susceptibilidade aos riscos. **Mercator**, Fortaleza, v. 14, n. 2, p. 75-90, 2015. Disponível em: <http://www.mercator.ufc.br/mercator>. Acesso em: 16/08/2022.

SÃO PAULO, **Secretaria de Energia e Saneamento de. Controle de Erosão**. 2ª ed. São Paulo: DAEE/IPT, 1990. 92 p.

SCHEFFLER, S. M.; FERNANDES, A. C. S.; FONSECA, V. M. M. da. Crinoidea da Formação Maecuru (Devoniano da Bacia do Amazonas), Estado do Pará, Brasil. **Revista Brasileira de Paleontologia**, v. 9, p. 235-242, 2006. Disponível em: [https://www.sbpbrasil.org/revista/edicoes/9\\_2/RBP9-2-Scheffler.pdf](https://www.sbpbrasil.org/revista/edicoes/9_2/RBP9-2-Scheffler.pdf). Acesso em: 20/01/2023.

SERATO, D. S.; RODRIGUES, S. C. Avaliação e recuperação da área degradada (voçoroca) no interior da Fazenda Experimental do Glória no município de Uberlândia (MG). **Revista PPGeo**, Goiânia, v. 30, n. 2, p. 29-42, jul./dez. 2010. Disponível em: <https://periodicos.ufjf.br>. Acesso em: 13/08/2022.

SILVA, A. M. Rainfall erosivity map for Brazil. *Catena*, Amsterdam, v. 57, n. 3, p. 251-259, 2004. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0341816203002595?via%3Dihub>. Acesso em: 10/06/2024.

SILVA, E. D. **Causas e consequências da ocorrência de voçorocas nas rodovias AM-330 (Silves) e AM-360 (Itapiranga), Amazonas-Brasil**. 2014. Dissertação (Mestrado em Geografia). Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2014.

SILVA, F. H. B. B. Método de determinação do escoamento superficial de bacias hidrográficas a partir de levantamentos pedológicos. **EMBRAPA Solos**. Rio de Janeiro, n. 21,

p. 1-79, 2000. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.EMBRAPA.br/digital/bitstream/CNPS-2009-09/10524/1/doc212000metodeterminacao.pdf>. Acesso em: 07/01/2024.

SILVA, G. M. **Geomorfologia aplicada à caracterização da vulnerabilidade à erosão em Rio Preto da Eva (AM)**. 2021. 113 f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2021.

SILVA, G. M. **Monitoramento de voçorocas utilizando veículo aéreo não tripulado (VANT) em áreas de difícil acesso no Amazonas**, Brasil. 2017. 49 f. Relatório de Pesquisa. Pró-reitoria de Pesquisa e Pós-graduação. Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2017.

SILVA, G. M.; VIEIRA, A. F. S. G. Mapeamento de voçorocas na cidade de Rio Preto da Eva (AM). **Revista Geosaberes**, Fortaleza, v. 11, p. 517-531, 2020. Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br>. Acesso em: 12/08/2022.

SILVA, M. S. R. **Bacia hidrográfica do Rio Amazonas: contribuição para enquadramento e preservação**. 2013. 199 f. Tese (Doutorado em Química). Instituto de Ciências Exatas, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2013.

SILVA NETO, J. C. A.; ALEIXO, N. C. R. Erosividade da chuva na região do médio Solimões, Amazonas, Brasil. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 21, n. 77, p. 01–17, 2020. DOI: 10.14393/RCG217747117. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/47117>. Acesso em: 09/02/2024.

SILVEIRA, J. S. **Aspectos hidroclimatológicos da Bacia do Rio Jari no período de 1968 a 2012**. 59 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Ambientais). Departamento de Meio Ambiente e Desenvolvimento, Universidade Federal do Amapá, Macapá, 2014. Disponível em: <http://repositorio.unifap.br:80/jspui/handle/123456789/502>. Acesso em: 15/01/2024.

SMALL, R. J.; CLARK, M. J. *Slopes and Weathering*. 2ª ed. Inglaterra: Cambridge University Press, 1982. 112 p.

SOARES, L. D.; VIEIRA, A. F. S. G.; SILVA, F. W. R. Atributos físicos e químicos do solo em área sob cultivo de abacaxi em Novo Remanso, Itacoatiara-AM. **Revista GeoAmazônia**, v. 10, p. 44-69, 2022.

SOIL SCIENCE SOCIETY OF AMERICA. (1975). *Glossary of soil science terms*. Madison, Wisconsin-USA. p. 1-34

SPÖRL, C.; ROSS, J. L. S. Análise comparativa da fragilidade ambiental com aplicação de três modelos. **GEOUSP Espaço e Tempo**, São Paulo, n. 15, p. 39–49, 2004. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br>. Acesso em: 19/08/2022.

SUGUIO, Kenitiro. **Introdução à sedimentologia**. São Paulo: Edgard Blücher, EDUSP, 2003. 317 p.

TAVARES, J. S.; VIEIRA, A. F. G.; BARBOSA, A. J.; FARIAS, A. S. Análise preliminar da ocorrência de voçorocas na BR 174, trecho Manaus - Presidente Figueiredo (AM). In: VIII Simpósio Nacional de Geomorfologia - Sensitividade de Paisagens: Geomorfologia e as mudanças ambientais, 2010, Recife-PE. **Anais** [...]. UFPE, 2010.

TUCCI, C. E. M. Gerenciamento da drenagem urbana. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 7, n.1, p. 5-27, jan/mar. 2002. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/231957>. Acesso em: 20/09/2024.

VIEIRA, A. F. S. G. **Análise de sedimentos oriundos da voçoroca**. 2023. 50 f. Relatório de atividades do pós-doutorado. Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 2023.

VIEIRA, A. F. S. G. **Desenvolvimento e distribuição de voçorocas em Manaus (AM): Principais fatores controladores e impactos urbano-ambientais**. 2008. 310 f. Tese (Doutorado em Geografia). Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

VIEIRA, A. F. S. G. **Erosão por voçorocas em áreas urbanas: o caso de Manaus (AM)**: 1998. 181 f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Programa de Pós-Graduação em Geografia, Florianópolis, 1998.

VIEIRA, A.F.S.G.. Voçorocas e outras feições. In: Adorea Rebelo da Cunha Albuquerque. (Org.). **Contribuições teóricas e metodológicas da Geografia Física**. 1ed. Manaus: EDUA, 2010, v. , p. 41-65).

VIEIRA, A. F. S. G.; ALBUQUERQUE, A. R. Cadastramento de voçorocas e análise de risco erosivo em estradas: BR-174. In: V Simpósio Nacional de Geomorfologia e I Encontro Sul-Americano de Geomorfologia, 2004, Santa Maria - RS. **Anais** [...]. Santa Maria: Editora da UFSM, 2004. p. 50-65.

VIEIRA, A. F. S. G.; FROTA FILHO, A. B. da. Avaliação das técnicas de monitoramento de voçorocas: o exemplo da Região Metropolitana de Manaus-AM, na região amazônica. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 24, n. 00, 2023. Disponível em: <https://rbgeomorfologia.org.br/rbg/article/view/2302>. Acesso em: 15/06/2024.

VIEIRA, A. F. S. G.; LIMA, C. M. R.; SILVA, G. M. Caracterização das voçorocas da área urbana de Rio Preto da Eva (AM), Norte do Brasil. **Geologia USP. Série Científica**, São Paulo, Brasil, v. 22, n. 4, p. 95-107, 2022. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/guspsc/article/view/207994>. Acesso em: 4 jul. 2023.

VIEIRA, L. S.; SANTOS, P. C. T. C. **Amazônia: seus solos e outros recursos naturais**. São Paulo: Ed. Agronômica Ceres, 1987. 416 p.

WILD, Alan. Soil erosion and conservation. In: Soils and the environment: an introduction. Great Britain: Cambridge University Press, 1993. p. 233-248.

## ANEXO 1 – ficha cadastral preenchida.

VOÇOROCAS NA ÁREA URBANA DE IRANDUBA						
FICHA DE CADASTRAMENTO						
DATA DO 1º CADASTRAMENTO: 16/05/2019						
1. LOCALIZAÇÃO E IDENTIFICAÇÃO DA VOÇOROCA: Nº						
ACESSO: Residência Sebastião						
BAIRRO:			ZONA:			
2. COORDENADAS: 02° 41' 58.1" S / 59° 41' 08.7 W						
GPS.:						
3. DADOS DA VOÇOROCA						
DATAS DOS MONITORAMENTOS	1º cad. Dez./2019	2º cad. Nov./2020	3º cad. Ago. /2021	4º cad. Jul./2022	5º cad. Mai./2023	6º cad. Jul./2024
COMPRIMENTO (m):	116,0	119,0	127,48	132	141	147
LARGURA (m):	31,13	33,2	33,2	33,2	33,4	33,4
PROFUNDIDADE (m):	.17,9	18,6	22,4	22,6	21,5	21,1
DIST. DA PISTA (m)	13,3	13,1	0,0	0,0	0,0	0,0
ÁREA: 4.909,8	VOLUME: 103.596,78		DIREÇÃO: 300° N			
TIPO: Conectada	FORMA: Retangular		TAMANHO:			
4. GEOLOGIA:						
5. GEOMORFOLOGIA						
<input type="checkbox"/> PLATÔ		<input type="checkbox"/> BAIXIO		<input checked="" type="checkbox"/> ENCOSTA		
CARACTERÍSTICAS DA ENCOSTA						
<input type="checkbox"/> ENCOSTA SUPERIOR		<input type="checkbox"/> ENCOSTA MEDIANA		<input checked="" type="checkbox"/> ENCOSTA INFERIOR		
FORMA:	COMPRIMENTO:		DECLIVIDADE: 29°			
6. SOLO: (AMARELO)						
<input type="checkbox"/> INALTERADO		<input type="checkbox"/> ALTERADO		<input type="checkbox"/> COMPACTADO		<input type="checkbox"/> CROSTAS
<input checked="" type="checkbox"/> LATOSSOLO		<input type="checkbox"/> ESPODOSSOLO		<input type="checkbox"/> ARGISSOLO		<input type="checkbox"/> ATERRO
7. HISTÓRICO DA OCORRÊNCIA						
Surgimento com a construção do residencial por meio da canalização da drenagem pluvial para a encosta						
8. USO E OCUPAÇÃO DA ÁREA A MONTANTE						
Área é ocupada pelo residencial						
9. USO E OCUPAÇÃO DA ÁREA A JUSANTE						
Fundo de vale com vegetação e curso d'água.						
10. DANOS MATERIAIS						
Perda de moradias.						
11. DANOS AMBIENTAIS						
Perda de solo e assoreamento do canal a jusante.						