

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA (UFU)  
INSTITUTO DE GEOGRAFIA (IGUFU)  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA

WILLIAN TOSHIAKI MIZUMURA

**ANÁLISE GEOMORFOLÓGICA DA VOÇOROCA DO MOMBUCA (MONTE  
CARMELO – MG)**

Monte Carmelo (MG)

Abril de 2024

WILLIAN TOSHIAKI MIZUMURA

ANÁLISE GEOMORFOLÓGICA DA VOÇOROCA DO MOMBUCA (MONTE  
CARMELO – MG)

Trabalho de Conclusão de Curso II  
apresentado ao Curso de Geologia do Instituto  
de Geografia da Universidade Federal de  
Uberlândia, como parte dos requisitos  
necessários à obtenção do título de Bacharel  
em Geologia.

Orientador: Alan Silveira

Monte Carmelo (MG)

Abril de 2024

WILLIAN TOSHIAKI MIZUMURA

ANÁLISE GEOMORFOLÓGICA DA VOÇOROCA DO MOMBUCA (MONTE  
CARMELO – MG)

Trabalho de Conclusão de Curso II  
apresentado ao Curso de Geologia do Instituto  
de Geografia da Universidade Federal de  
Uberlândia, como parte dos requisitos  
necessários à obtenção do título de Bacharel  
em Geologia.

Monte Carmelo (MG), 24 de Abril de 2024.

Banca Examinadora:

---

Prof. Dr. Alan Silveira (Orientador)  
(IG/UFU *campus* Monte Carmelo)

---

Prof<sup>a</sup>. Dra. Cenira Maria Lupinacci  
(DGPA/IGCE – Unesp *campus* Rio Claro)

---

Prof. Dr. Emerson Rodrigo Almeida  
(IG/UFU *campus* Monte Carmelo)

Ficha Catalográfica Online do Sistema de Bibliotecas da UFU  
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

M685 Mizumura, Willian Toshiaki, 1997-  
2024 ANÁLISE GEOMORFOLÓGICA DA VOÇOROCA DO MOMBUCA (MONTE  
CARMELO – MG) [recurso eletrônico] / Willian Toshiaki  
Mizumura. - 2024.

Orientador: Alan Silveira.  
Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -  
Universidade Federal de Uberlândia, Graduação em  
Geologia.

Modo de acesso: Internet.  
Inclui bibliografia.

1. Geologia. I. Silveira, Alan, 1981-, (Orient.). II.  
Universidade Federal de Uberlândia. Graduação em  
Geologia. III. Título.

CDU: 551

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de acordo com o AACR2:

Gizele Cristine Nunes do Couto - CRB6/2091  
Nelson Marcos Ferreira - CRB6/3074

## **AGRADECIMENTO**

Gostaria de expressar minha sincera gratidão a todas as pessoas que contribuíram para a realização deste trabalho e para minha jornada acadêmica como um todo.

Primeiramente, desejo expressar minha profunda gratidão ao meu orientador, Alan Silveira, por sua orientação valiosa e apoio incansável durante o desenvolvimento deste trabalho. Agradeço também aos demais professores e técnicos que desempenharam papéis significativos em minha formação. Em especial, aos técnicos: Juliana Abreu Crosara Petronzio (Laboratório de Geologia e Mineralogia), Samuel Lacerda de Andrade (LASER), Valdiney José da Silva (LTGEO), Alisson Filmiano Andrade Lopes (FECIV); e à professora Luciany Oliveira Seabra (FECIV), pessoas que foram muito importantes para as atividades de campo, correção de trabalhos acadêmicos e atividades laboratoriais.

À minha família, dedico um agradecimento especial pelo apoio incondicional, paciência e encorajamento ao longo de toda a minha trajetória acadêmica.

Aos meus amigos e colegas de curso, agradeço sinceramente pelo companheirismo, troca de experiências e momentos de descontração que tornaram esta jornada ainda mais especial e memorável.

Às amigas que fiz na República QG, onde compartilhei boa parte da minha graduação, e ao pessoal da República Xingu, onde passei meus últimos meses em Monte Carmelo, expresso meu profundo apreço. As amigas feitas nesses locais são verdadeiramente especiais e ficarão marcadas em minha memória.

Por último, gostaria de dedicar um caloroso MUITO OBRIGADO às minhas melhores amigas Raphaela de Carvalho Gomes dos Santos e Giovana Lopes Leonel. Apesar das eventuais desavenças, nossa amizade tem permanecido forte e significativa ao longo do tempo. Espero que nossa amizade perdure mesmo após seguirmos caminhos distintos, e que o sucesso nos acompanhe nessa próxima jornada da vida.

## RESUMO

As condições tropicais no Brasil propiciam a ocorrência de erosões de origem hídrica que geram feições lineares como as voçorocas, sobretudo em áreas constituídas de materiais geológicos frágeis. Na região de Monte Carmelo (MG) são registradas expressivas feições erosivas lineares em áreas de rochas e regolitos vinculadas ao Complexo Monte Carmelo. Como exemplo, próximo à área urbana deste município, encontra-se a voçoroca do Mombuca, que se localiza no compartimento geomorfológico dos Planaltos Dissecados do Alto Paranaíba e que se conecta ao córrego Mombuca, afluente do rio Perdizes. O trabalho teve o objetivo de avaliar a dinâmica erosiva da voçoroca do Mombuca, utilizando-se de produtos cartográficos gerados a partir das imagens de Aeronave Remotamente Pilotada (ARP), juntamente com a instalação de estacas de monitoramento e a avaliação das características dos materiais. A metodologia desenvolvida seguiu as etapas de Pré-Campo, Campo e Pós-Campo. Na primeira foram realizados os levantamentos bibliográficos, os planos de voo e o planejamento dos locais para instalação das estacas. Na etapa de Campo realizaram-se os voos ARP para os cenários de out/2022, mai/2023 e fev/2024, além dos monitoramentos mensais das estacas e das descrições morfológicas dos perfis e tradagens, com a coleta de amostras de solos e saprolitos. A terceira etapa, de Pós-Campo, contemplou o processamento das imagens adquiridas com a finalidade de gerar mapas base e temáticos, juntamente com a tabulação dos valores obtidos com as estacas e com as análises granulométrica e morfoscópica em laboratórios. A partir das imagens ARP geraram-se os seguintes mapas na escala 1:7.000: Base Cartográfica, Modelo Digital do Terreno, Hipsométrico, Declividade e, por meio de fotointerpretação das imagens dos três cenários, gerou-se o Mapa Geomorfológico de detalhe, no qual foi possível identificar os seguintes compartimentos: área dissecada (1.1), vertentes que se dirigem à voçoroca (1.2), formas residuais conectadas às vertentes que se dirigem à voçoroca (1.3), formas residuais não conectadas às vertentes (1.4) e acumulação de planície e terraços fluviais (Aptf, 1.5). No interior desses compartimentos foram detalhados os tipos de águas correntes e seus modelos de entalhe, os dados topográficos, as feições denudativas e os modelados antrópicos. Observou-se a presença de três canais erosivos constituintes da voçoroca com maior evolução, totalizando aproximadamente 163.250,60 m<sup>3</sup> de sedimentos perdidos. Um dos canais, intitulado como de número 3, tem menor volume devido ao seu entulhamento parcial por depósitos tecnogênicos, observados em imagens e confirmados durante as atividades de campo. No período de um ano (fev/2023 a fev/2024) foi possível evidenciar alterações pontuais nas distâncias das estacas de monitoramento, com destaque à estaca de número 6. Ao entorno das estacas também foi observado a presença de feições

regressivas e depósitos de borda. As análises granulométricas demonstraram a presença considerável da fração areia na composição de Cambissolos, com valores em torno de 40%, enquanto as análises morfooscópicas indicaram que a fração grossa é composta predominantemente por quartzo, oriundos de granitos do Complexo Monte Carmelo. Compreende-se que a dinâmica erosiva da voçoroca do Mombuca é regulada pelas condições climáticas tropicais associadas às características da fragilidade dos materiais constituintes, bem como, mais recentemente, influenciadas pelas ações antropogênicas.

**Palavras-chave:** Drone; erosão hídrica; solos frágeis; Complexo Monte Carmelo; depósitos tecnogênicos.

## ABSTRACT

The tropical conditions in Brazil promote the occurrence of water-induced erosion, which generates linear features such as gullies, especially in areas composed of fragile geological materials. In the Monte Carmelo region (MG), significant linear erosive features are recorded in areas of rocks and regoliths associated with the Monte Carmelo Complex. For instance, near the urban area of this municipality, there is the Mombuca gully, located in the geomorphological compartment of the Dissected Plateaus of Alto Paranaíba, which connects to the Mombuca stream, a tributary of the Perdizes River. The study aimed to evaluate the erosive dynamics of the Mombuca gully using cartographic products generated from images captured by Remotely Piloted Aircraft (RPA), along with the installation of monitoring stakes and the evaluation of material characteristics. The developed methodology followed the stages of Pre-Field, Field, and Post-Field. In the first stage, bibliographic surveys, flight plans, and the planning of locations for stake installation were carried out. During the Field stage, RPA flights were conducted for the scenarios of Oct/2022, May/2023, and Feb/2024, along with monthly monitoring of the stakes and morphological descriptions of profiles and trenches, with the collection of soil and saprolite samples. The third stage, Post-Field, included processing the acquired images to generate base and thematic maps, together with tabulating the values obtained from the stakes and granulometric and morphoscopic analyses in laboratories. From the RPA images, the following maps were generated at a 1:7,000 scale: Cartographic Base, Digital Terrain Model, Hypsometric, Slope, and through photo-interpretation of the images from the three scenarios, a detailed Geomorphological Map was produced. This map identified the following compartments: dissected area (1.1), slopes leading to the gully (1.2), residual forms connected to the slopes leading to the gully (1.3), residual forms not connected to the slopes (1.4), and accumulation of floodplain and fluvial terraces (Aptf, 1.5). Within these compartments, the types of running waters and their incision patterns, topographic data, denudative features, and anthropogenic models were detailed. Three erosive channels constituting the gully were observed, with significant evolution, totaling approximately 163,250.60 m<sup>3</sup> of lost sediments. One of the channels, referred to as number 3, has a smaller volume due to its partial infill by technogenic deposits, observed in images and confirmed during field activities. Over a year (Feb/2023 to Feb/2024), punctual changes in the distances of the monitoring stakes were evidenced, with emphasis on stake number 6. Around the stakes, the presence of regressive features and edge deposits was also noted. Granulometric analyses demonstrated a considerable presence of the sand fraction in the composition of Cambisols, with values around 40%, while morphoscopic analyses

indicated that the coarse fraction is predominantly composed of quartz, originating from the granites of the Monte Carmelo Complex. It is understood that the erosive dynamics of the Mombuca gully are regulated by tropical climatic conditions associated with the characteristics of the fragility of the constituent materials, as well as more recently influenced by anthropogenic actions.

**Keywords:** Drone; water erosion; fragile soils; Monte Carmelo Complex; technogenic deposits.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Localização da área de estudo.....	19
Figura 2: Voo de outubro de 2022. A e B: Preparativos no ARP DJI – Mavic Pro para realizar o voo; C e D: Ajustes no aplicativo <i>DroneDeploy</i> . ....	23
Figura 3: Voo de maio de 2023. A, B e C: Ajustes no ARP, para realizar o aerolevanteamento; ao fundo da Figura A, preparativos do GPS de precisão para obtenção das coordenadas. ....	24
Figura 4: Voo de fevereiro de 2024. A, B e C: Ajustes no ARP (DJI – Mavic Pro), para realizar o aerolevanteamento.....	25
Figura 5: Uso do GPS de precisão. A e C: preparativos para o uso GPS de precisão; B e D: coletas das coordenadas dos alvos e das estacas. ....	26
Figura 6: Estacas de monitoramento instaladas em fevereiro de 2023. A, B, C e D: estacas de número 1, 2, 3 e 4 (retângulo vermelho), respectivamente, entre as 16 instaladas. ....	27
Figura 7: A: Abertura de perfil de solo; B: Sondagem com o trado.....	29
Figura 8: A: Área de voo; B: Sobreposições das fotos aéreas geradas a partir de voo ARP para geração de ortomosaico. ....	30
Figura 9: Ortomosaicos da área de estudo, dos respectivos cenários. A – out/2022; B – mai/2023; C – fev/2024.....	31
Figura 10: Estruturação da legenda que compõem o mapa geomorfológico de detalhe da voçoroca do Mombuca. ....	34
Figura 11: Estruturação da legenda que compõem o mapa geomorfológico de detalhe da voçoroca do Mombuca. ....	35
Figura 12: Processos para preparação das amostras para realizar o ensaio de sedimentação. .	37
Figura 13: Etapas de leitura da análise por sedimentação e pelo peneiramento fino. ....	38
Figura 14: Estereomicroscópio binocular.....	41
Figura 15: Base Cartográfica da área de estudo. ....	42
Figura 16: Modelo Digital do Terreno da área de estudo.....	43
Figura 17: Mapa Hipsométrico da área de estudo. ....	44
Figura 18: Mapa de Declividade da área de estudo.....	45
Figura 19: Identificação das frentes erosivas realizadas por canais. ....	46
Figura 20: Mapa Geomorfológico da Voçoroca do Mombuca.....	47
Figura 21: A, B e C: Três frentes erosivas presentes na voçoroca e feições denudativas.....	49
Figura 22: A: Cenário da voçoroca no ano de 2007; B: Cenário da voçoroca no ano de 2013; C: Cenário da voçoroca no ano de 2016; D: Cenário da voçoroca no ano de 2022. ....	51
Figura 23: Registro da frente de depósitos tecnogênicos no período de 2022 a 2024. ....	52

Figura 24: Represamento no interior da voçoroca (canal 1). .....	54
Figura 25: Canais erosivos da voçoroca. ....	57
Figura 26: Medição das estacas de monitoramento. ....	59
Figura 27: Direção das medidas da estaca 6. ....	61
Figura 28: Perfil 1, com a demarcação dos horizontes. ....	64
Figura 29: Perfil 2, com a demarcação dos horizontes. ....	66
Figura 30: Perfil 3, com a demarcação dos horizontes. ....	68
Figura 31: Triângulo Textural das amostras do perfil. ....	70
Figura 32: Triângulo Textural das amostras T2. ....	72
Figura 33: Fotomicrografias de amostras para análise morfooscópica. ....	73
Figura 34: Fotomicrografias de amostras para análise morfooscópica. ....	74
Figura 35: Transição dos horizontes Bi para horizonte C, delimitado pela linha vermelha. ....	76
Figura 36: A – Afloramento de granito, nas proximidades da voçoroca; B – Blocos de granitos no interior da voçoroca. Indicados pela seta. ....	76

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Valores dos diâmetros dos grãos e da percentagem de material que passa pela peneira. ....	40
Tabela 2: Dados do monitoramento das estacas. ....	60
Tabela 3: Porcentagem de argila, silte e areia do perfil TCC_P1 – setor de alta vertente .....	69
Tabela 4: Porcentagem de argila, silte e areia do perfil TCC2_P2 – interior da voçoroca. ....	69
Tabela 5: Porcentagem de argila, silte e areia do perfil TCC2_P3 – baixa vertente. ....	69
Tabela 6: Porcentagem de argila, silte e areia das amostras T2P5 – setor de topo. ....	70
Tabela 7: Porcentagem de argila, silte e areia das amostras T2P6 – setor de alta vertente. ....	71
Tabela 8: Porcentagem de argila, silte e areia das amostras T2P7 – setor de média vertente. .	71
Tabela 9: Porcentagem de argila, silte e areia das amostras T2P8 – proximidade ao rebordo erosivo. ....	71

## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 1: Síntese das etapas e procedimentos da pesquisa. ....	21
Quadro 2: Coordenadas dos pontos de referência. ....	26
Quadro 3: Coordenadas das estacas. ....	28
Quadro 4: Síntese com as informações adquiridas por compartimentos geomorfológicos.....	55

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA</b> .....	<b>16</b>
<b>2.OBJETIVOS</b> .....	<b>20</b>
<b>2.1 OBJETIVO GERAL</b> .....	<b>20</b>
<b>2.2 Objetivo Especifico</b> .....	<b>20</b>
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>20</b>
<b>3.1 Etapa Pré-Campo.</b> .....	<b>21</b>
3.1.1 Revisão Bibliográfica. ....	21
3.1.2 Definição dos planos de voo.....	21
<b>3.2 Etapa de Campo</b> .....	<b>22</b>
3.2.1 Realização dos levantamentos aéreos e coleta de coordenadas com GPS de precisão. ..	22
3.2.2 Instalação e Monitoramento das estacas.....	26
3.2.3 Descrição morfológica e de perfis de solos e tradagens.....	28
<b>3.3 Etapa Pós-Campo</b> .....	<b>29</b>
3.3.1 Processamento das imagens áreas. ....	29
3.3.2 Geração da base cartográfica e de mapas temáticos morfométricos a partir do cenário de 2022. 32	
3.3.3 Elaboração do mapa geomorfológico de detalhe.....	32
3.3.4 Cálculo do volume da voçoroca. ....	36
3.3.5 Seleção de imagens do Google Earth .....	36
3.3.6 Análise granulométrica e morfoscópica. ....	36
3.3.7 Análise dos resultados e organização da monografia.....	41
<b>4.RESULTADOS E DISCUSSÕES.</b> .....	<b>41</b>
<b>4.1 Caracterização morfométrica da voçoroca do Mombuca</b> .....	<b>42</b>
<b>4.2 Mapeamento Geomorfológico de detalhe e as ações antropogênicas na voçoroca do Mombuca</b> .....	<b>47</b>
4.2.1 Reflexos da dinâmica erosiva. ....	48
4.2.2 Ações antropogênicas no interior da voçoroca.....	50
4.2.3 Depósitos tecnogênicos. ....	51
4.2.3 Represamento. ....	53
4.2.4 Síntese da produção cartográfica para a voçoroca do Mombuca. ....	54
<b>4.3 Monitoramento da voçoroca do Mombuca com estacas.</b> .....	<b>59</b>
<b>4.4 A fragilidade erosiva dos materiais geológicos da voçoroca do Mombuca.</b> .....	<b>62</b>
4.4.1 Descrição morfológica dos perfis de solos. ....	62

4.4.2 Análise Granulométrica.....	69
4.4.3 Descrição morfooscópica da fração grossa. ....	72
4.4.4 Análise dos resultados experimentais.....	75
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>78</b>
<b>6. REFERÊNCIAS .....</b>	<b>80</b>
APÊNDICE A: MAPA GEOMORFOLÓGICO .....	86
APÊNDICE B: CURVAS GRANULOMÉTRICAS DO PERFIL TCC2_P1 – INTERIOR DA VOÇOROCA.....	87
APÊNDICE C: CURVAS GRANULOMÉTRICAS DO PERFIL TCC2_P2 – SETOR DE ALTA VERTENTE .....	88
APÊNDICE D: CURVAS GRANULOMÉTRICAS DO PERFIL TCC2_P3 – BAIXA VERTENTE.....	89
APÊNDICE E: CURVA GRANULOMÉTRICA DA AMOSTRA T2P5 – SETOR DE TOPO. .....	90
APÊNDICE F: CURVA GRANULOMÉTRICA DA AMOSTRA T2P6 – SETOR DE ALTA VERTENTE.....	91
APÊNDICE G: CURVA GRANULOMÉTRICA DA AMOSTRA T2P7 – SETOR DE MÉDIA VERTENTE.....	92
APÊNDICE H: CURVA GRANULOMÉTRICA DA AMOSTRA T2P8 – PROXIMIDADE AO REBORDO EROSIVO. ....	93

## 1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

Solos frágeis apresentam elevado risco de degradação ambiental, como exemplificam locais com deslizamentos de encostas, compactação e erosão hídrica (Albuquerque, 2015). Segundo Guerra (2011) a erosão é um processo de remoção de materiais pelas águas das chuvas, ocorrendo com grande frequência no Brasil devido a suas condições tropicais.

Para Guerra e Jorge (2017) a erosão é um fenômeno que ocorre em qualquer tipo de ambiente que possua declividades superiores a 3°, propiciando problemas ambientais e socioeconômicos em áreas rurais e urbanas (Pereira, 2020). Ainda, os problemas gerados pelas erosões não ficam apenas na sua área de ocorrência, visto que afetam também os locais nos quais os sedimentos se depositam, através do assoreamento e poluição quando relacionado a reservatórios de água (Guerra; Jorge, 2017).

As voçorocas são erosões hídricas lineares que ilustram a intensidade dos processos pluviais, gerando estruturas de grande tamanho, largura e profundidade (Guerra, 2010). Conforme o Dicionário Geológico-Geomorfológico, a voçoroca é uma escavação ocasionada pela erosão do lençol de escoamento superficial, formando-se também pelo escoamento de subsuperfície (Guerra; Guerra, 2010). Recentemente, como exemplo, a grande mídia relatou problemas com voçorocamentos na cidade de Buriticupu (MA), onde casas estão desabando para o interior da erosão, devido à ampliação desse fenômeno natural (Fróes, 2023).

Segundo Hernani, *et al* (2002) o processo de erosão é um fenômeno natural que ocorre em qualquer tipo de sistema, mesmo aqueles que estão em equilíbrio, sendo a intervenção humana um fator que acelera ainda mais esse processo. Devido à má utilização do solo com desmatamento indiscriminado, a falta de planejamento, a não utilização de métodos conservacionistas e o manejo inadequado do solo, ocorre uma maior exposição do solo às chuvas, aumentando assim a erosão, com possibilidade de formação de voçorocas (Hernani, *et al*, 2002).

Muitas vezes essas feições erosivas lineares são entulhadas por materiais derivados da ação humana, como materiais de construção civil, rejeitos de materiais de empréstimo e resíduos sólidos, com a finalidade equivocada de aterrar ou conter o avanço da erosão. De acordo com França Junior e Peloggia (2020) a ação do homem transforma a fisiografia das paisagens criando modelados (relevo tecnogênico) por depósitos sedimentares correlativos a sua própria ação (tecnogênicos). São os terrenos que sofreram mudanças pelo agente geológico humano, seja de forma direta ou indireta (Peloggia, 2018), constituídos por

depósitos tecnogênicos que se distinguem nas categorias de agradação, de degradação, modificadas e complexas (Peloggia, 2019).

Tradicionalmente a análise e monitoramento de voçorocas são realizados por meio de estacas que permitem acompanhar o processo de evolução (Guerra, 1996). Recentemente, o uso de Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARP), conhecidas popularmente com drones, revolucionaram essa investigação (Julian; Nunes, 2020; Rademann; Trentin, 2020), fornecendo imagens que permitem a análise e monitoramento das formas erosivas lineares. Trata-se de um recurso tecnológico que complementa e detalha as investigações tradicionais realizadas por meio de estacas.

Figueiredo e Figueiredo (2018) apresentam uma circular técnica que contempla etapas e procedimentos necessários para a realização de voo com ARP e aquisição de imagens obtidas pela fotografia digital. O artigo produzido por Moura *et al.* (2021) destaca o processamento digital das aerofotografias adquiridas por ARP, bem como a produção do Modelo Digital de Superfície (MDS), do Modelo Digital do Terreno (MDT), do ortomosaico e das curvas de nível do terreno. Além disso, a aplicação de imagens ARP também permitem o cálculo volumétrico de perdas de solos das voçorocas, como ilustra o trabalho de Gramani *et al.* (2018).

Com isso, as imagens adquiridas a partir de ARP tornaram-se recentemente instrumentos relevantes nos estudos geomorfológicos para a análise e monitoramento de formas erosivas lineares, com destaque às voçorocas. Estas feições erosivas são provocadas pela perda de sedimentos devido a ação das águas das chuvas, que propiciam o aprofundamento e a ampliação dos canais por erosão regressiva (remontante), atingindo, por vezes, o lençol freático. Acabam resultando na degradação de zonas rurais e urbanas, promovendo a diminuição de áreas destinadas à agropecuária (Pruski, 2000), o desabamento de casas em cidades e perdas significativas de solos (Fróes, 2023).

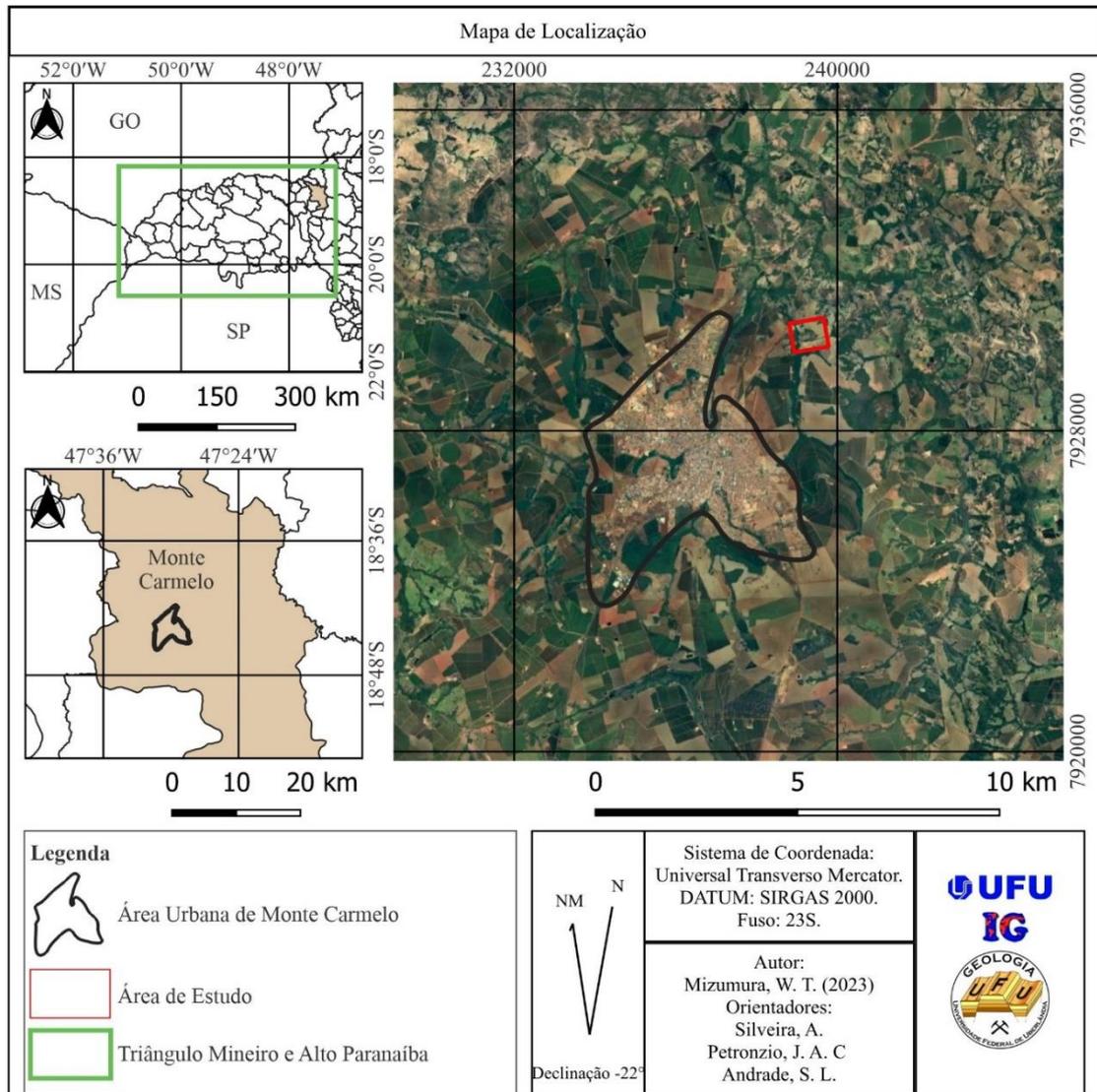
Mesmo com o aumento de trabalhos que utilizam as ARP's para o estudo de voçorocas, não foram evidenciados mapas geomorfológicos que apresentem simbologias específicas para feições pontuais encontradas no interior e entorno dessas formas erosivas. Como exemplo, os trabalhos de Gramani *et al.* (2018), Julian e Nunes (2020), Moura *et al.* (2021) e Rademann e Trentin (2020), nos quais falam da realização de mapeamento de voçorocas, entretanto não apresentam mapas geomorfológicos em seus trabalhos, assim indicando que há pouca ênfase na geração do mapeamento geomorfológico com mais enfoque na morfometria das voçorocas.

O trabalho de Barbosa *et al.* (2018) registrou em mapeamento geomorfológico na região de Monte Carmelo e Abadia do Dourados (MG) a presença de formas denudativas como sulcos erosivos, ravinamentos e voçorocamentos, sobretudo em áreas do Complexo Monte Carmelo, composto por rochas neoproterozoicas, com destaque aos granitos com intercalação de anfibólitos (CODEMIG, 2017). O trabalho de Casagrande (2023) indicou que as rochas graníticas presentes neste Complexo apresentam uma alta suscetibilidade à erosão, reconhecendo que o material é altamente suscetível aos processos intempéricos, associados principalmente a ação de águas pluviais e fluviais. A mesma constatação também foi identificada no trabalho de Estrada (2023), que organizou mapeamento geológico-geotécnico para a área urbana e entorno de Monte Carmelo, detectando a suscetibilidade erosiva nas áreas do Complexo Monte Carmelo.

De acordo com Cerri (1979) a alteração superficial das rochas graníticas resulta em arenização, com o surgimento de uma camada nomeada como arena (saprólito), na qual os minerais presentes se encontram desagregados, entretanto as estruturas primárias da rocha ainda encontram-se preservadas. O autor destaca que o desenvolvimento dos solos provenientes dos granitos depende de diversos fatores, entre eles: o clima do local, que irá influenciar na espessura do saprólito, sendo que em climas tropicais essa camada é mais espessa devido ao processo de hidrólise, que faz com que os minerais sofram com o processo de decomposição, responsável por determinar a espessura do material intemperizado; o relevo, que regula a quantidade de água que penetra no solo; o litotipo, sendo que granitos com textura do tipo granular mais grosseira tendem a ter uma maior facilidade para ocorrência da desagregação dos minerais, fazendo assim com que os mesmos fiquem mais expostos aos processos químicos responsáveis pela sua decomposição. Logo, os minerais presentes nos granitos são grandes influenciadores, pois quanto mais suscetíveis aos processos de hidrólise, mais espessos serão os perfis de alteração (Cerri, 1979).

Trabalhos de campo realizados nas imediações de Monte Carmelo em áreas graníticas permitiram evidenciar intensos processos erosivos lineares associados à fragilidade da cobertura superficial, marcada por solos e saprólitos suscetíveis à dinâmica físico-hídrica, em condições atuais de clima tropical. Com isso, a pesquisa delimitou como área de estudo a voçoroca do Mombuca, que fica localizada na zona rural, nas imediações do sítio urbano de Monte Carmelo (Figura 1), à aproximadamente 2,5 Km da malha urbana, com área total de 0,6 Km<sup>2</sup>. Trata-se de uma voçoroca com elevada interferência antropogênica, considerando a proximidade com a área urbanizada.

Figura 1: Localização da área de estudo.



Regionalmente, a área em questão está localizada nos Planaltos Dissecados do Alto Paranaíba (Rodrigues *et al.* 2023), que está posicionado na morfoestrutura da Faixa de Dobramentos Brasília (CODEMIG, 2017), com a presença de Latossolos, Cambissolos e Neossolos (Motta *et al.*, 2004), em condições de clima Tropical Semi-Úmido (Novais, 2011).

Destaca-se o domínio de Cambissolos na área investigada, reconhecidos pela presença de horizonte diagnóstico B incipiente (Bi), que apresenta pedogênese pouco avançada evidenciada no desenvolvimento da estrutura do solo (Embrapa, 2018). Segundo Arantes (2022) o grau de suscetibilidade à erosão dos Cambissolos está relacionado com a sua proporção de argila, considerando que quanto menor for essa proporção, menor será a ligação (agregação) entre as partículas maiores, tornando o solo mais propenso à remoção.

Dessa forma, considerando a fragilidade erosiva registrada em solos e saprólitos de áreas do Complexo Monte Carmelo, o posicionamento da voçoroca do Mombuca nas imediações da cidade de Monte Carmelo e o potencial investigativo geomorfológico, este trabalho tem como propósito contribuir com a avaliação e monitoramento da referida voçoroca, visando levantar informações aplicáveis ao planejamento de uso e ocupação e à recuperação de áreas degradadas. Ainda, pretende colaborar com informações acerca da fragilidade erosiva destes materiais.

Para isso, adotou-se como referencial teórico-metodológico a abordagem geopedológica, que integra informações geomorfológicas, geológicas e pedológicas (Zinck, 2016), fazendo uso de geotecnologia ARP com o levantamento de 3 cenários (voos em out/2022, mai/2023 e fev/2024), do procedimento tradicional de estacas de monitoramento, descrição morfológica de perfis de solos e de análises granulométricas e morfoscópicas realizadas em laboratórios.

## **2.OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

Analisar, do ponto de vista geomorfológico, a voçoroca do Mombuca, com a utilização de imagens adquiridas por ARP, juntamente com estacas de monitoramento, análises granulométricas e morfoscópicas.

### **2.2 Objetivo Especifico**

Os objetivos específicos consistiram em:

- Avaliar a morfometria da voçoroca;
- Realizar a compartimentação geomorfológica da voçoroca e mapear as suas feições em escala de detalhe;
- Averiguar as interferências antropogênicas na dinâmica erosiva da voçoroca;
- Analisar a fragilidade erosiva dos solos e saprolitos.

## **3. MATERIAIS E MÉTODOS**

Devido a intensidade de trabalhos de campo para a análise geomorfológica da voçoroca do Mombuca, a pesquisa foi organizada em 3 etapas, a saber: pré-campo, campo e

pós-campo. Estas etapas são compostas por atividades e procedimentos (Quadro 1), as quais passam a ser detalhadas a seguir.

Quadro 1: Síntese das etapas e procedimentos da pesquisa.

<b>Etapas</b>	<b>Atividades e Procedimentos</b>
<b>Pré-Campo</b>	Revisão Bibliográfica
	Definição dos planos de voo
<b>Campo</b>	Realização dos levantamentos aéreos e coleta de coordenadas com GPS de precisão
	Instalação e Monitoramento das estacas
	Descrição morfológica de perfis de solos e tradagens
<b>Pós-Campo</b>	Processamento das imagens aéreas
	Geração da base cartográfica e de mapas temáticos morfométricos
	Elaboração do mapa geomorfológico de detalhe
	Seleção de imagens do <i>Google Earth</i>
	Análises granulométrica e morfoscopia
	Análise dos resultados e organização da monografia

### 3.1 Etapa Pré-Campo.

Envolveu a revisão bibliográfica de temas centrais para a pesquisa e o planejamento para a realização dos voos com a ARP.

#### 3.1.1 Revisão Bibliográfica.

Neste momento foi realizada a busca de trabalhos com os temas “processos erosivos e evolução de feições erosivas”, “técnicas de análise e monitoramento de voçorocas” e “utilização de drones para monitoramento de voçorocas”, cujos trabalhos podem ser exemplificados por Guerra (1996), Gramani *et al.* (2018), Figueiredo e Figueiredo (2018), Moura *et al.* (2021), entre outros.

#### 3.1.2 Definição dos planos de voo.

O planejamento se iniciou com a delimitação da área de estudo através do uso do *Google Earth* e a exportação do *Keyhole Markup Language (KML)* gerado para o aplicativo *DroneDeploy*, para assim estimar os três planos de voo com os mesmos parâmetros de altitude, nível de sobreposição frontal e lateral das fotos, e o ângulo da câmera, para a tomada de fotos de toda a voçoroca e seu entorno.

Seguindo as indicações da circular técnica de Figueiredo e Figueiredo (2018), os voos obedeceram: a altitude em relação ao solo foi de 100 metros; a sobreposição das fotos foi de

no mínimo 70% para a sobreposição frontal e de 60% para a sobreposição lateral. O ângulo de câmera utilizado para o levantamento foi de 90° em relação ao equipamento, posição esta que deixou a câmera completamente voltada ao solo.

### **3.2 Etapa de Campo**

A etapa esteve associada à realização dos voos planejados anteriormente ao campo, bem como a instalação das estacas de monitoramento no entorno da voçoroca. Também envolveu a descrição morfológica de perfis de solos e tradagens para a coleta de amostras.

#### *3.2.1 Realização dos levantamentos aéreos e coleta de coordenadas com GPS de precisão.*

Nesta etapa foi executada a tomada de fotos a partir dos voos ARP (DJI – Mavic Pro) para os três cenários previstos. O primeiro cenário foi realizado em outubro de 2022 (Figura 2) durante o desenvolvimento da iniciação científica (PIBIC-CNPq/UFU, Edital 06/2022). O segundo voo ocorreu em maio de 2023 (Figura 3) e o terceiro ocorreu em fevereiro de 2024 (Figura 4). Juntamente com a coleta das imagens aéreas, também se realizou a instalação de pontos de referência (Quadro 2), cujas coordenadas foram obtidas através do GPS de precisão do Laboratório de Topografia e Geodésica (LTGEO IG/UFU Monte Carmelo) (Figura 5), com o objetivo de melhorar a precisão das coordenadas geográficas e da variação do desnível da voçoroca.

Figura 2: Voo de outubro de 2022. A e B: Preparativos no ARP DJI – Mavic Pro para realizar o voo; C e D: Ajustes no aplicativo *DroneDeploy*.



Figura 3: Voo de maio de 2023. A, B e C: Ajustes no ARP, para realizar o aerolevanteamento; ao fundo da Figura A, preparativos do GPS de precisão para obtenção das coordenadas.

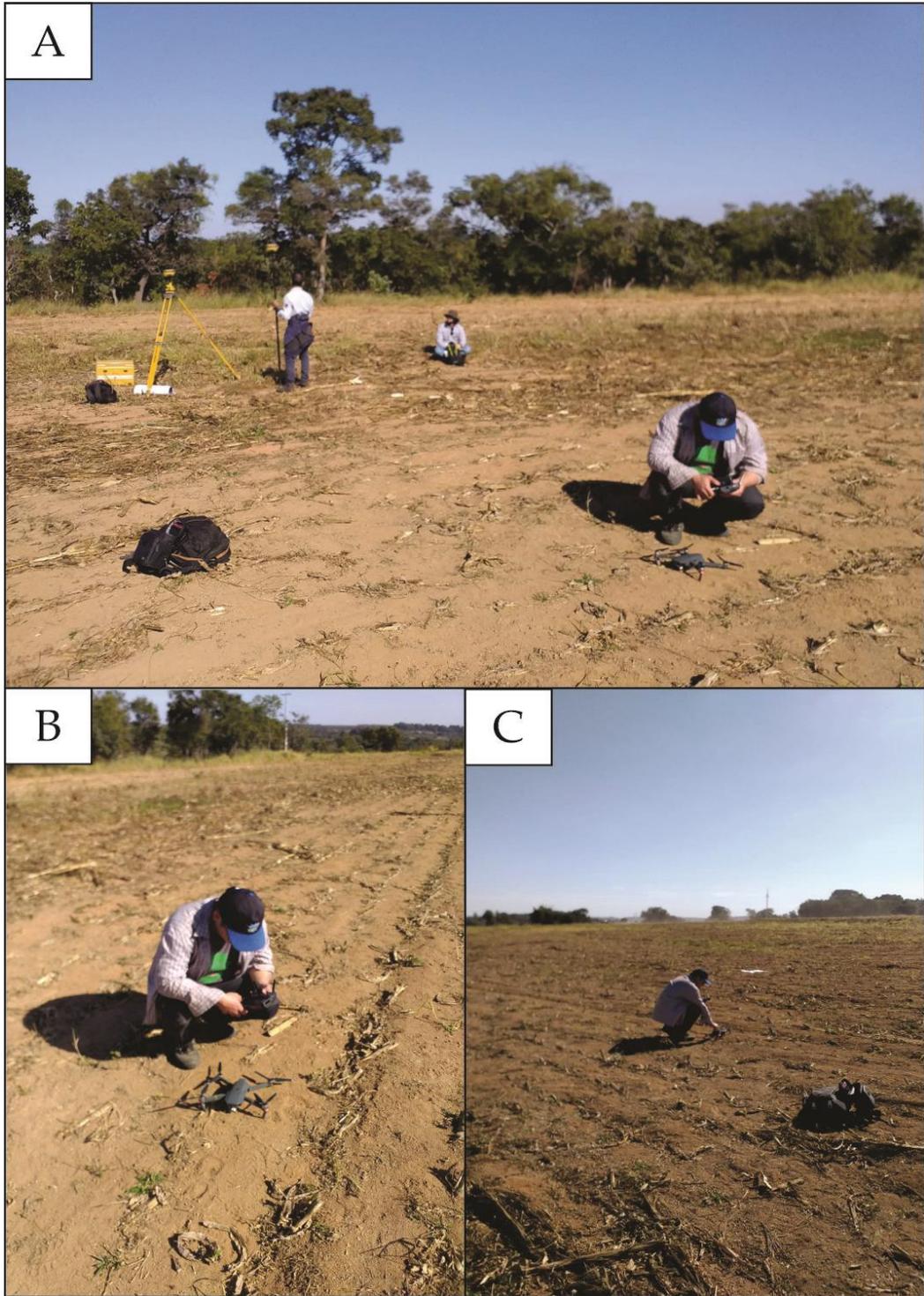


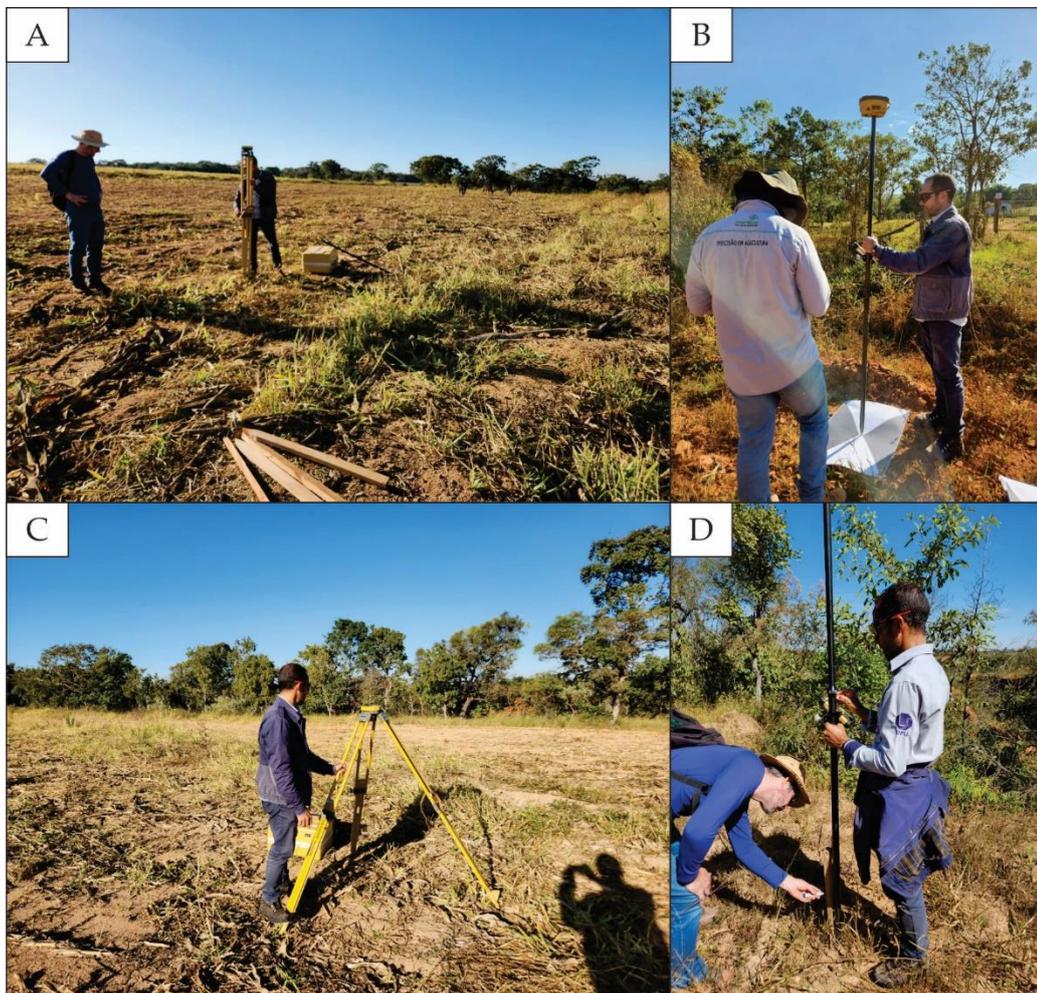
Figura 4: Voo de fevereiro de 2024. A, B e C: Ajustes no ARP (DJI – Mavic Pro), para realizar o aerolevanteamento.



Quadro 2: Coordenadas dos pontos de referência.

Ponto	X	Y	Z
1	239465.182	7930491.581	870.294
2	239597.872	7930359.665	869.893
3	239597.872	7930245.269	858.462
4	239202.122	7930203.570	847.633
5	239058.640	7930243.957	846.575
6	239216.640	7930573.958	857.082

Figura 5: Uso do GPS de precisão. A e C: preparativos para o uso GPS de precisão; B e D: coletas das coordenadas dos alvos e das estacas.

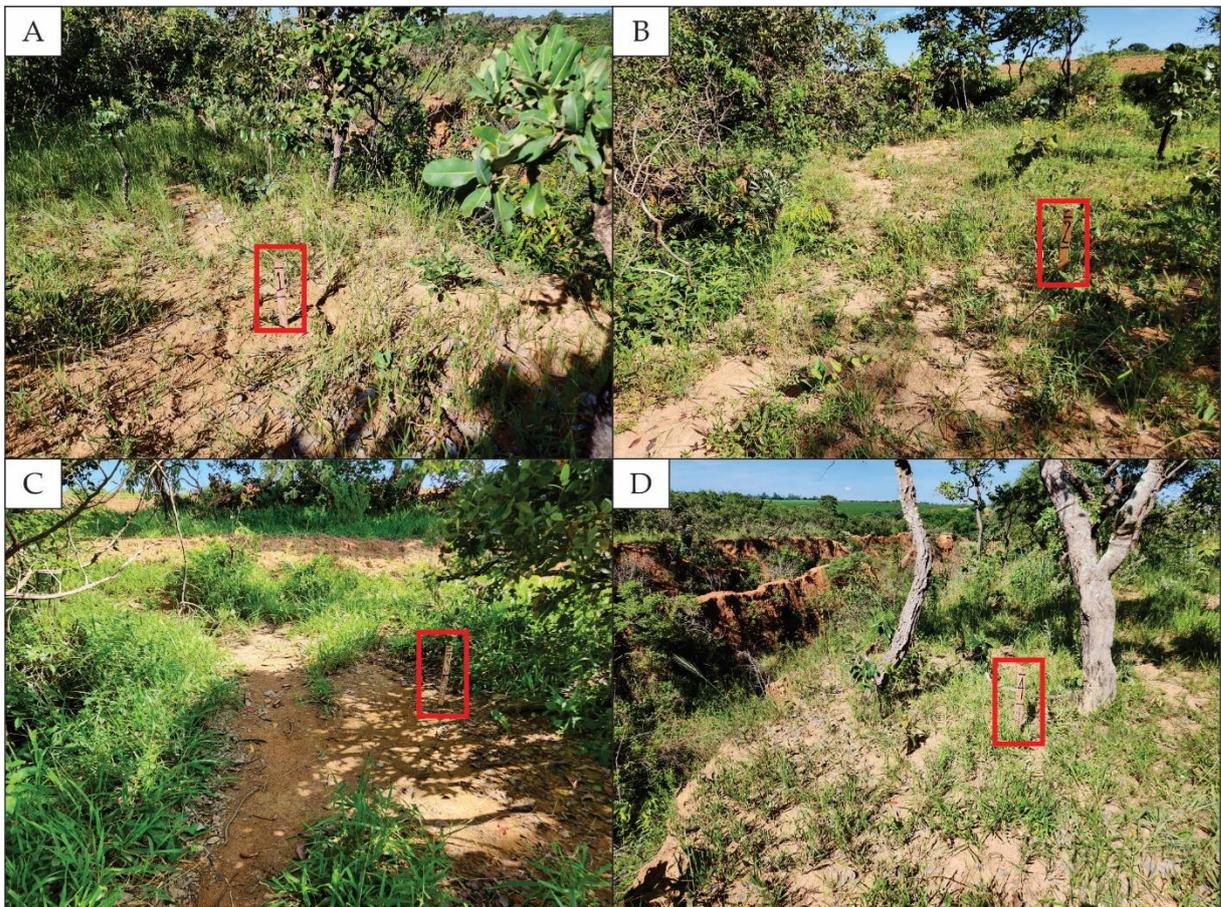


### 3.2.2 Instalação e Monitoramento das estacas.

A instalação das estacas de monitoramento se baseou nas orientações de Guerra (1996), nas quais se colocam as estacas com distância entre si de 20 metros e pelo menos a 10 metros da borda da voçoroca. As estacas foram instaladas em fevereiro de 2023, com as seguintes adaptações: instalação em frentes erosivas que aparentassem maior erosão

regressiva; e, com distância média de dois metros da borda da voçoroca. Essa adaptação foi motivada pelo tamanho da voçoroca, e também pela presença de atividades agropecuárias em seu entorno. A medição das estacas foi feita da seguinte maneira: a trena era posicionada sempre do lado esquerdo das estacas, próximo à sua base, e depois colocando a sua ponta em direção a um pequeno risco na borda da voçoroca, para assim termos uma medida mais precisa. No total foram instaladas 16 estacas (Figura 6 e Quadro 3), que foram monitoradas até fevereiro de 2024, totalizando 1 ano. O deslocamento ao campo ocorreu na média de 1 (uma) vez ao mês, apresentado dados para o período de fevereiro de 2023 até fevereiro de 2024.

Figura 6: Estacas de monitoramento instaladas em fevereiro de 2023. A, B, C e D: estacas de número 1, 2, 3 e 4 (retângulo vermelho), respectivamente, entre as 16 instaladas.



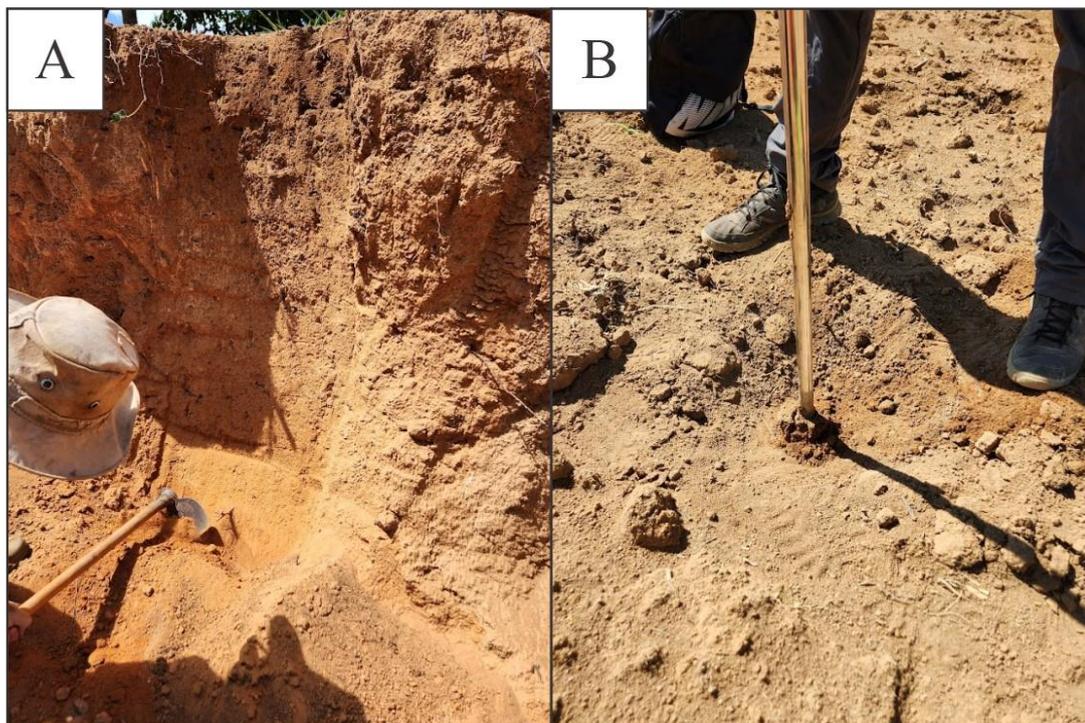
Quadro 3: Coordenadas das estacas.

Estaca	X	Y	Z
1	239473.445	7930344.558	866.2560
2	239509.045	7930371.099	868.5895
3	239536.745	7930390.227	867.9971
4	239489.091	7930383.238	868.3714
5	239515.369	7930392.139	869.5417
6	239445.880	7930374.525	866.7646
7	239462.554	7930393.483	867.9475
8	239429.400	7930384.824	866.4336
9	239401.153	7930369.247	864.6936
10	239371.720	7930377.759	865.1932
11	239406.842	7930396.231	865.7850
12	239358.629	7930404.648	863.5735
13	239396.780	7930438.837	866.2063
14	239443.224	7930436.706	869.6162
15	239402.359	7930486.560	867.7634
16	239369.456	7930506.842	865.8478

### 3.2.3 Descrição morfológica e de perfis de solos e tradagens

Para a descrição dos perfis, tradagens e coletas de amostras de solo foram utilizados os procedimentos recomendados por Santos (2005), IBGE (2015) e o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 2018). Foi realizada a abertura de três perfis de solos, localizados no topo, média vertente e baixa vertente (Figura 7A). Em relação às tradagens, realizam-se quatro sondagens localizadas no topo, alta vertente, média vertente e nas proximidades do rebordo erosivo (Figura 7B). As coletas de amostras por tradagem foram feitas a 20 cm e a 80 cm de profundidade, sendo essas profundidades escolhidas para analisar os horizontes superficiais (20 cm) e os horizontes de subsuperfície (80 cm).

Figura 7: A: Abertura de perfil de solo; B: Sondagem com o trado.



### 3.3 Etapa Pós-Campo

As imagens coletadas nos voos passaram por processamento e geração de mapeamentos temáticos morfométricos e geomorfológico de detalhe, bem como pelo cálculo do volume da voçoroca. Acrescenta-se nesta etapa, os procedimentos laboratoriais de análises granulométrica e morfooscópica.

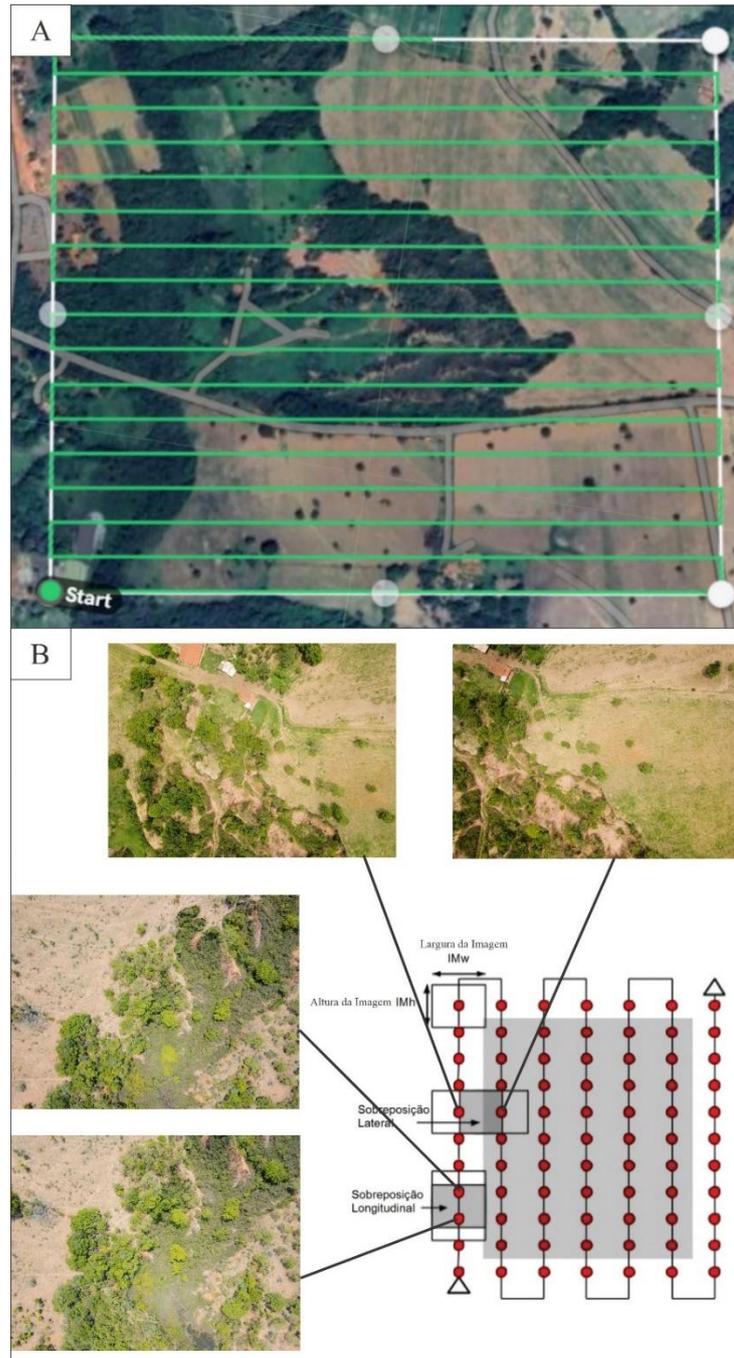
#### 3.3.1 Processamento das imagens áreas.

Esta etapa foi dedicada à realização do tratamento e processamento das imagens fotografadas com o ARP nos cenários de outubro de 2022, maio de 2023 e fevereiro de 2024 por meio de *software Agisoft Metashape*, sendo realizado no Laboratório de Sensoriamento Remoto e Fotogrametria Engenharia de Agrimensura e Cartográfica (LASER IG/UFU Monte Carmelo).

As imagens foram sobrepostas, seguindo o plano de voo (Figura 8) e integradas em uma nova e única imagem, compondo o ortomosaico (Figura 9) e o Modelo Digital do Terreno (MDT) que filtra os objetos presentes no terreno, apresentando somente as cotas da superfície por meio de classes (Figueiredo; Figueiredo, 2018). Assim como explicado por Oliveira *et al.* (2017), o funcionamento desse procedimento no *software Agisoft Metashape*

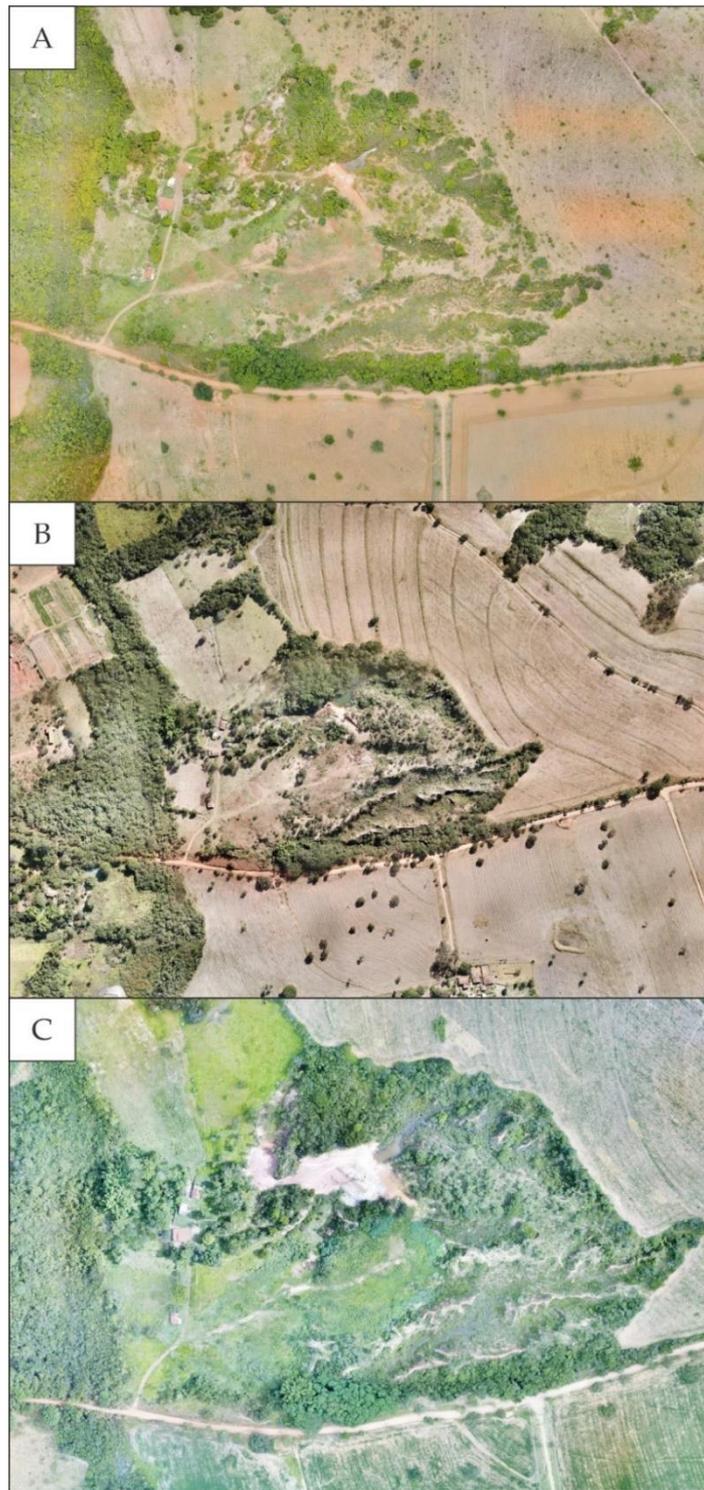
classifica os pontos em duas categorias: superfície topográfica (classe solo), contendo apenas elementos ao nível de solo, e uma classe para os pontos acima dela, incluindo todos os outros elementos localizados acima do nível do solo (classe não-solo). Desse modo, ao desativar a classe não-solo, restaram apenas os pontos da classe solo, gerando assim o MDT.

Figura 8: A: Área de voo; B: Sobreposições das fotos aéreas geradas a partir de voo ARP para geração de ortomosaico.



Fonte: PIX4D (2015), adaptada.

Figura 9: Ortomosaicos da área de estudo, dos respectivos cenários. A – out/2022; B – mai/2023; C – fev/2024.



### 3.3.2 Geração da base cartográfica e de mapas temáticos morfométricos a partir do cenário de 2022.

A base cartográfica foi organizada a partir do tratamento das imagens ARP do cenário outubro de 2022 para a geração do MDT, seguido da obtenção das curvas de nível com equidistância de 1 (um) metro, para assim realizar o tratamento das mesmas. Na sequência foi realizada a vetorização dos canais fluviais e pluviais, represamentos de águas e vias de acesso, por fotointerpretação das imagens. Todos os processamentos da base cartográfica e dos mapeamentos morfométricos ocorreram no *software SIG Qgis 3.22.16*, na escala de 1:7000.

O mapa hipsométrico, que representa classes de altimetria foi obtido a partir do MDT com agrupamentos em 9 classes, com variação de cinco em cinco metros, compondo: <801; 805-810; 810-815; 815-820; 820-825; 825-830; 830-835; 835-840; >840.

A obtenção do mapa de declividade, que representa o gradiente de vertente, também foi gerado a partir do MDT, compondo as classes de 0 a 2%, 2-5%, 5-12%, 12-30%, 30-45% e >45%, fundamentadas em Silva e Lupinacci (2021)

Estes produtos, junto à fotointerpretação dos ortomosaicos (out/2022, mai/2023 e fev/2024), colaboraram para a organização da carta geomorfológica de detalhe, com representações detalhadas das feições de relevo.

### 3.3.3 Elaboração do mapa geomorfológico de detalhe.

Neste momento foi realizado o processo de fotointerpretação das imagens adquiridas por ARP (3 cenários) procurando compartimentar a voçoroca e identificar as diferentes feições denudativas no interior desses compartimentos.

Em virtude da carência de literatura com proposições de simbologias de feições geomorfológicas associadas às voçorocas, procederam-se adaptações dos seguintes símbolos: Ruptura topográfica de Verstappen e Zuidan (1975) para rebordo erosivo; Crista Simétrica e Fenômeno de Movimento de Massa do IBGE (2009) para respectivamente antigo rebordo erosivo e depósitos de bordas; e Edificação Rural de Silva, Silveira e Barbosa (2023) com a troca de símbolo.

Também se utilizou dos seguintes símbolos já consolidados: Canal Pluvial e Fluvial, Corte de Estradas, Terraços Agrícolas e Apft de Tricart (1965); Vale de Fundo Plano, Vale Encaixado em 'V', Ruptura Topográfica e Sulcos de Verstappen e Zuidan (1975), e Drenagens Originais Aterradas de Silveira e Cunha (2012), conforme se pode ver na figura 10 e 11.

Ainda, se utilizou imagens do *Google Earth*, com a finalidade de identificar a evolução dos depósitos tecnogênicos presentes no local.

Com isso, realizou-se a compartimentação da área de estudo (Figura 10), apresentando as seguintes classes:

- Área dissecada, localizada no interior da voçoroca: que representa o compartimento propriamente erodido onde se instalam os canais;
- Vertentes que se dirigem à voçoroca: relacionadas a toda área ao entorno que drena em direção à voçoroca ou a Aptf do córrego Mombuca;
- Formas residuais conectadas às vertentes que se dirigem à voçoroca: se configuram-se como reentrâncias do rebordo erosivo em direção à área dissecada;
- Formas residuais não conectadas às vertentes: posiciona-se no interior da área dissecada e apresentam níveis topográficos similares às formas residuais conectadas às vertentes, e;
- Acumulação de planície e terraços fluviais (Aptf): relacionadas à deposição e acumulação de sedimentos aluviais, encontradas principalmente no córrego Mombuca, onde deságuam os canais da voçoroca. Também são encontradas Aptf no interior da área dissecada, que acumulam materiais erodidos nas frentes erosivas dos canais.

Juntamente com a compartimentação, foi realizado o mapeamento das feições denudativas (Figura 11), sendo as seguintes:

- Rebordo Erosivo: feição que limita os compartimentos de vertentes que se dirigem à voçoroca, formas residuais conectadas às vertentes e área dissecada;
- Antigo Rebordo Erosivo: representa as quebras de relevo que o compartimento de formas residuais não conectadas às vertentes possuem;
- *Piping*: feições que se localizam nas paredes do rebordo erosivo, constituindo-se de dutos erosivos de sub-superfície;
- Depósito de Borda: são feições que também são encontradas no rebordo erosivo, porém, predominantemente localizadas e acumuladas na base da parede, derivadas do desprendimento dos materiais mais suscetíveis à erosão que se depositam no sopé;
- Rupturas Topográficas: feições de desníveis topográficos;
- Sulcos: feições erosivas lineares derivadas do escoamento superficial;

Figura 10: Estruturação da legenda que compõem o mapa geomorfológico de detalhe da voçoroca do Mombuca.

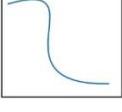
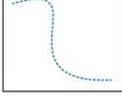
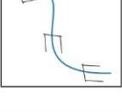
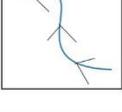
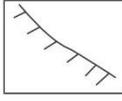
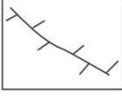
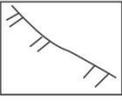
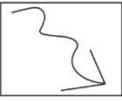
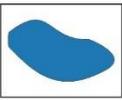
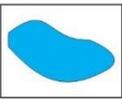
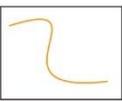
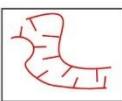
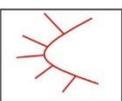
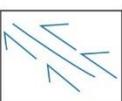
Compartimentos e Feições Mapeadas		Imagens da ARP	Polígonos e Símbolos	Fontes
Compartimentos da Voçoroca	Área Dissecada			Convenção Cartográfica
	Vertentes que se Dirigem a Voçoroca			Convenção Cartográfica
	Formas Residuais Conectadas às Vertentes			Convenção Cartográfica
	Formas Residuais Não Conectadas às Vertentes			Convenção Cartográfica
	Aptf (Planície e Terraços Fluviais)			Adaptado de Tricart (1965) e Paschoal et al (2010)
Depósitos Tecnogênicos				Convenção Cartográfica
Águas Correntes e Modelos de Entalhe	Canal Fluvial			Convenção Cartográfica/ Tricart (1965)
	Canal Pluvial			Convenção Cartográfica/ Tricart (1965)
	Vale de Fundo Plano			Verstappen e Zuidan (1975)
	Vale Encaixado em "V"			Verstappen e Zuidan (1975)

Figura 11: Estruturação da legenda que compõem o mapa geomorfológico de detalhe da voçoroca do Mombuca.

Compartimentos e Feições Mapeadas		Imagens da ARP	Polígonos e Símbolos	Fontes
Feições Denudativas	Rebordo Erosivo			Adaptado da Feição de Ruptura Topográfica de Verstappen e Zuidan (1975)
	Antigo Rebordo Erosivo			Adaptado da Feição de Crista Simétrica do IBGE (2009)
	Depósito de Borda			Adaptado da Feição de Fenômenos de Movimento de Massa do IBGE (2009)
	Ruptura Topográfica			Verstappen e Zuidan (1975)
	Sulcos			Verstappen e Zuidan (1975)
Modelados Antrópicos	Represamento			Convenção Cartográfica
	Reservatório para Uso Agrícola			Convenção Cartográfica
	Estradas			Convenção Cartográfica
	Cortes de Estradas			Tricart (1965)
	Terraços Agrícolas			Tricart (1965)
	Drenagens Originais Aterradas			Silveira e Cunha (2012)
	Edificação Rural			Adaptado de Silva, Silveira e Barbosa (2023)

### 3.3.4 Cálculo do volume da voçoroca.

No segundo momento ocorreu a determinação do volume da voçoroca, o qual foi gerado no *software Agisoft Metashape 1.5.5*. Primeiramente, realizou-se a demarcação da voçoroca com um polígono, após isso foi selecionado o polígono e clicando na opção *Measure* e assim demonstrar o volume da área em questão, no qual o *software* calcula através das diferenças das cotas altimétricas que são encontradas dentro do polígono que foi demarcado, assim determinado o volume total de perda dos materiais (Gramani *et al.*, 2018).

### 3.3.5 Seleção de imagens do Google Earth

Nesta etapa, foram selecionadas imagens pretéritas de satélites da área de estudo para determinar os anos de inserção dos tecnogênicos além do entulhamento dos antigos canais da voçoroca. Foram utilizadas principalmente as imagens dos anos 2007, 2016, 2017, 2018 e 2019 nos quais foram adquiridas no *Google Earth*.

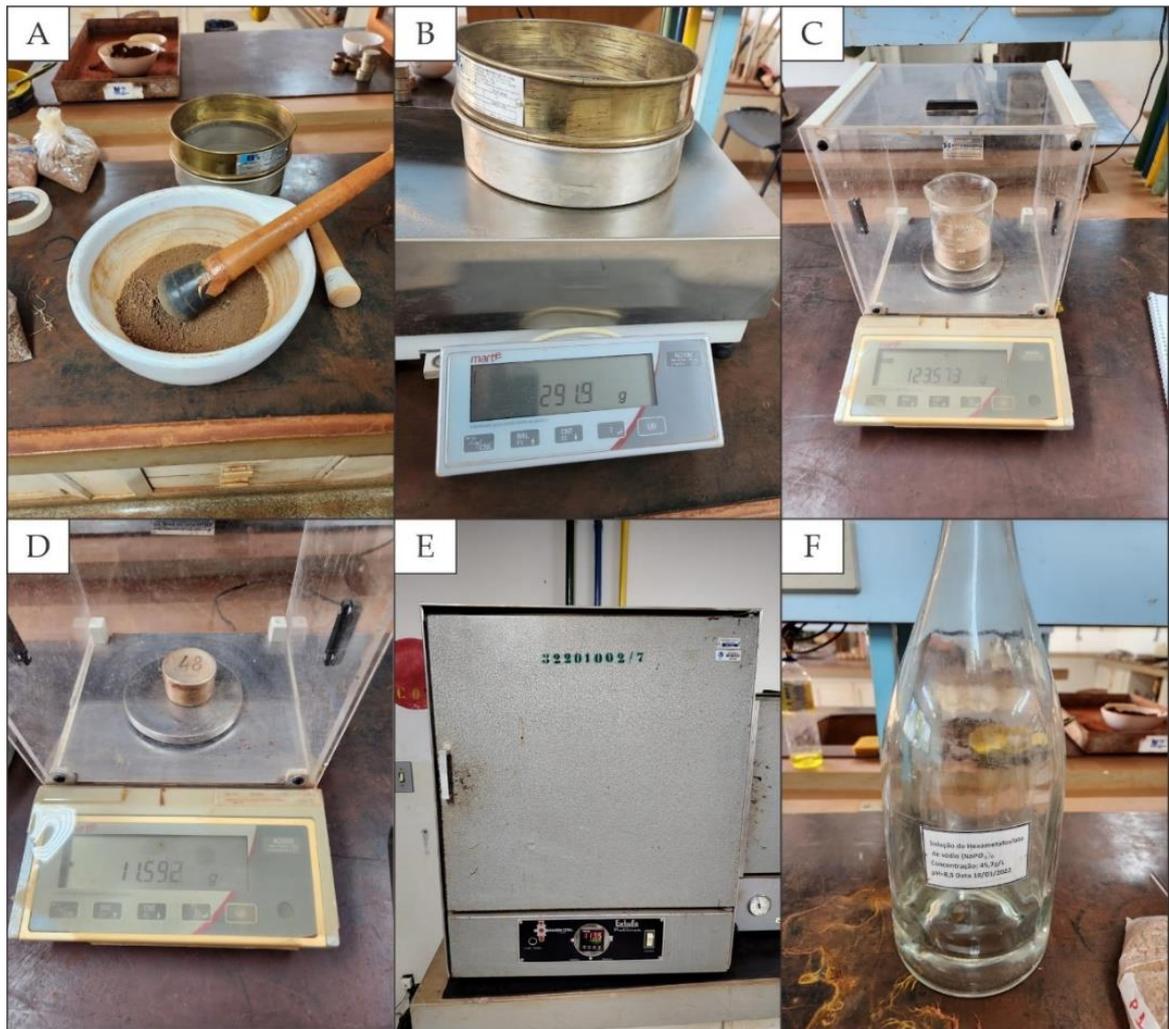
### 3.3.6 Análise granulométrica e morfooscópica.

A análise granulométrica foi realizada para 21 amostras no Laboratório de Geotecnia da Faculdade de Engenharia Civil (FECIV/UFU Uberlândia), a partir dos procedimentos técnicos de preparos de amostras da ABNT NBR 6457 (2016), e pelo método do densímetro, no qual utiliza a ABNT NBR 7181 (2016), para realizar a análise granulométrica.

No primeiro momento houve a desagregação manual da amostra com uso de pilão de cerâmica (Figura 12 A), seguida pela passagem desse material na peneira de 2 mm, com a coleta de aproximadamente 300 g (Figura 12 B). Dessas, separou-se cerca de 120 g em um béquer (Figura 12 C) e também foram coletadas três amostras em recipientes de alumínio (Figura 12 D), as quais foram pesadas e colocadas na estufa (Figura 12 E) por 24 horas para a retirada da umidade.

Após esse período, as amostras foram pesadas para determinar a quantidade de umidade perdida. Após a coleta dos 120 g, foi adicionada a solução de hexametáfosfato de sódio (Figura 12 F) para que a mesma completasse a desagregação do restante do material, sendo necessário um período mínimo de 12 horas para que o processo ocorresse por completo.

Figura 12: Processos para preparação das amostras para realizar o ensaio de sedimentação.

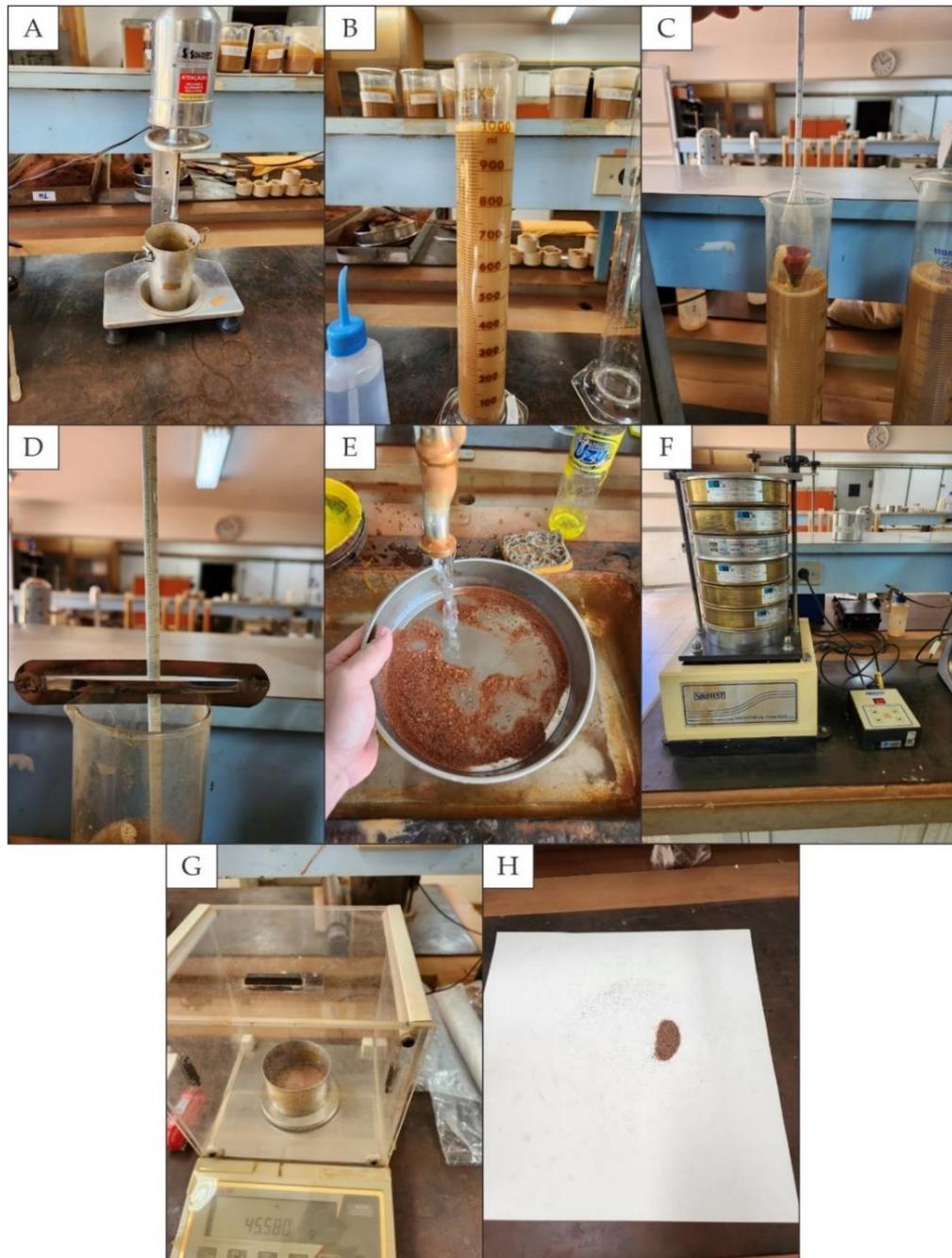


No segundo momento, ocorreu o processo de colocar essas amostras, que estavam na solução, no agitador por 15 minutos (Figura 13 A), para completar a desagregação das amostras por completo. Após isso, as amostras foram colocadas em uma proveta de 1 litro (Figura 13 B), que foi completada com água destilada. Agitou-se a proveta até ocorrer o desprendimento de todo o material que estava no fundo da proveta, e assim colocando na mesa. Após isso, iniciou-se o cronômetro para a coleta de dados, que foram marcados a partir do densímetro escolhido (Figura 13 C), juntamente com sua temperatura em cada leitura (Figura 13 D).

Essa leitura foi realizada aos 30 segundos e nos minutos 1, 2, 4, 8, 15 e 30, e também nas horas 1, 2, 4, 8 e 24. Após a realização da última leitura, o conteúdo foi despejado na peneira de 0,075 mm (Figura 13 E), para que ficasse na estufa por um período de 24 horas para a retirada completa de sua umidade, possibilitando o peneiramento fino dessas amostras.

Assim, essas amostras ficaram no agitador de peneira por 15 minutos (Figura 13 F). Ao concluir essa etapa, as amostras que sobraram em cada peneira, sendo elas com o valor do diâmetro de 1,2; 0,6; 0,42; 0,25; 0,15 e 0,075 mm (Figura 13 G e H). Em seguida foram pesadas, de modo que se sobrepusesse o material de cada peneira até chegar na última peneira, de menor diâmetro. Com os dados coletados, foi possível gerar uma curva granulométrica para determinar a proporção de argila, silte e areia na composição do solo.

Figura 13: Etapas de leitura da análise por sedimentação e pelo peneiramento fino.



Para se chegar aos valores para gerar a curva granulométrica são realizados alguns cálculos seguindo a orientação da ABNT NBR 7181 (2016). No primeiro momento deve se calcular a "d", no qual representa a diâmetro das partículas (Equação 1) e o  $Q_s$ , que representa a porcentagem de solo em suspensão no instante da leitura do densímetro (Equação 2), para os dados obtidos durante a leitura do densímetro e do termômetro. Essas as fórmulas a serem usadas:

$$d = \sqrt{\frac{1800 \times \eta}{\delta - \delta d} \times \frac{a}{t}} \quad \text{Equação 1}$$

$\delta$ : Massa específica dos grãos do solo, em  $g/cm^3$ .

$\delta d$ : Massa específica do meio dispersor, à temperatura de ensaio, em  $g/cm^3$

$\eta$ : Coeficiente de viscosidade do meio disperso, à temperatura de ensaio, em  $g \times s/cm^2$

$a$ : Altura da queda das partículas, com resolução de 0,1 cm, correspondendo à leitura do densímetro, em cm.

$t$ : tempo de sedimentação, em segundos.

$$Q_s = N \times \frac{\delta}{(\delta - \delta d)} \times \frac{V \times \delta c \times (L - Ld)}{\frac{Mh}{(100+h)} \times 100} \quad \text{Equação 2}$$

$N$ : Porcentagem de material que passa na peneira de 2,0 mm

$\delta$ : Massa específica dos grãos do solo, em  $g/cm^3$ .

$\delta d$ : Massa específica do meio dispersor, à temperatura de ensaio, em  $g/cm^3$

$V$ : Volume da suspensão, em  $cm^3$ .

$\delta c$ : Massa específica da água, à temperatura de calibração do densímetro, em  $g/cm^3$

$L$ : Leitura do densímetro na suspensão.

$Ld$ : Leitura do densímetro no meio dispersor, na mesma temperatura do densímetro.

$Mh$ : Massa do material úmido submetido à sedimentação, em g.

$h$ : Umidade higroscópica do material passado na peneira de 2,0 mm.

Após a realização disso na etapa do peneiramento fino também se tem a utilização de uma forma no qual  $Q_f$ , representa a porcentagem de material passado em cada peneira (Equação 3), sendo essa a fórmula:

$$Q_f = \frac{Mh \times 100 - Mi \times (100 + h)}{Mh \times 100} \times N \quad \text{Equação 3}$$

$Mh$ : Massa do material úmido submetido ao peneiramento fino.

$h$ : Umidade higroscópica do material passado na peneira de 2,0 mm.

$Mi$ : Massa do material retido acumulado em cada peneira.

$N$ : Porcentagem de material que passa na peneira de 2,0 mm

E após a obtenção de todos os valores, estes são ajustados, conforme as suas porcentagens em uma tabela (Tabela 1) a qual apresenta a porcentagem de material que passa para o próximo o diâmetro dos grãos. E assim a partir dos valores dos diâmetros dos grãos juntamente com a porcentagem do material retido gera-se o gráfico (diâmetro x porcentagem de material retido), assim tendo a curva granulométrica.

Tabela 1: Valores dos diâmetros dos grãos e da porcentagem de material que passa pela peneira.

Diâmetro dos grãos (mm)	Porcentagem de material
50	100,00
38	100,00
25	100,00
19	100,00
9,5	100,00
4,8	100,00
2	100,00
1,2	94,60
0,6	85,00
0,42	75,60
0,25	66,60
0,15	58,80
0,075	52,30
0,0582	50,50
0,0415	49,90
0,0296	47,90
0,0202	46,50
0,0143	46,00
0,0105	45,20
0,0075	43,90
0,0054	42,50
0,0038	39,90
0,0028	37,20
0,0019	37,40
0,0012	32,40

Um exemplo das 21 tabelas geradas, que demonstra os diâmetros dos grãos, seguindo pelas porcentagens de materiais desses respectivos diâmetros. (Ponto TCC2\_P1)

Após a coleta das frações de areia retidas nas peneiras, foi realizada uma análise morfooscópica nas amostras, com o intuito de descrever a mineralogia e as composições de outros elementos que poderiam ser encontradas, seguindo o trabalho de Cailleux (1942). Já a análise morfométrica dos grãos encontrados seguiu o trabalho de Powers (1953).

Esse procedimento foi realizado no Laboratório de Geomorfologia e Pedologia (GEOPED IG/UFU Monte Carmelo), com a utilização do equipamento Estereomicroscópio Binocular Lumen com zoom de 180X (Figura 14).

Figura 14: Estereomicroscópio binocular.



### *3.3.7 Análise dos resultados e organização da monografia.*

A análise dos resultados consistiu na integração dos dados obtidos pela revisão bibliográfica, mapeamentos morfométricos e geomorfológicos, descrição macroscópica e estereomicroscópica dos solos, suas análises granulométricas e os valores obtidos pelo monitoramento das estacas. Assim, buscou-se compreender o posicionamento das frentes erosivas da voçoroca, sua relação com as interferências antropogênicas e a suscetibilidade de erosão que o material possui, a partir de todos os resultados obtidos durante o desenvolvimento deste trabalho.

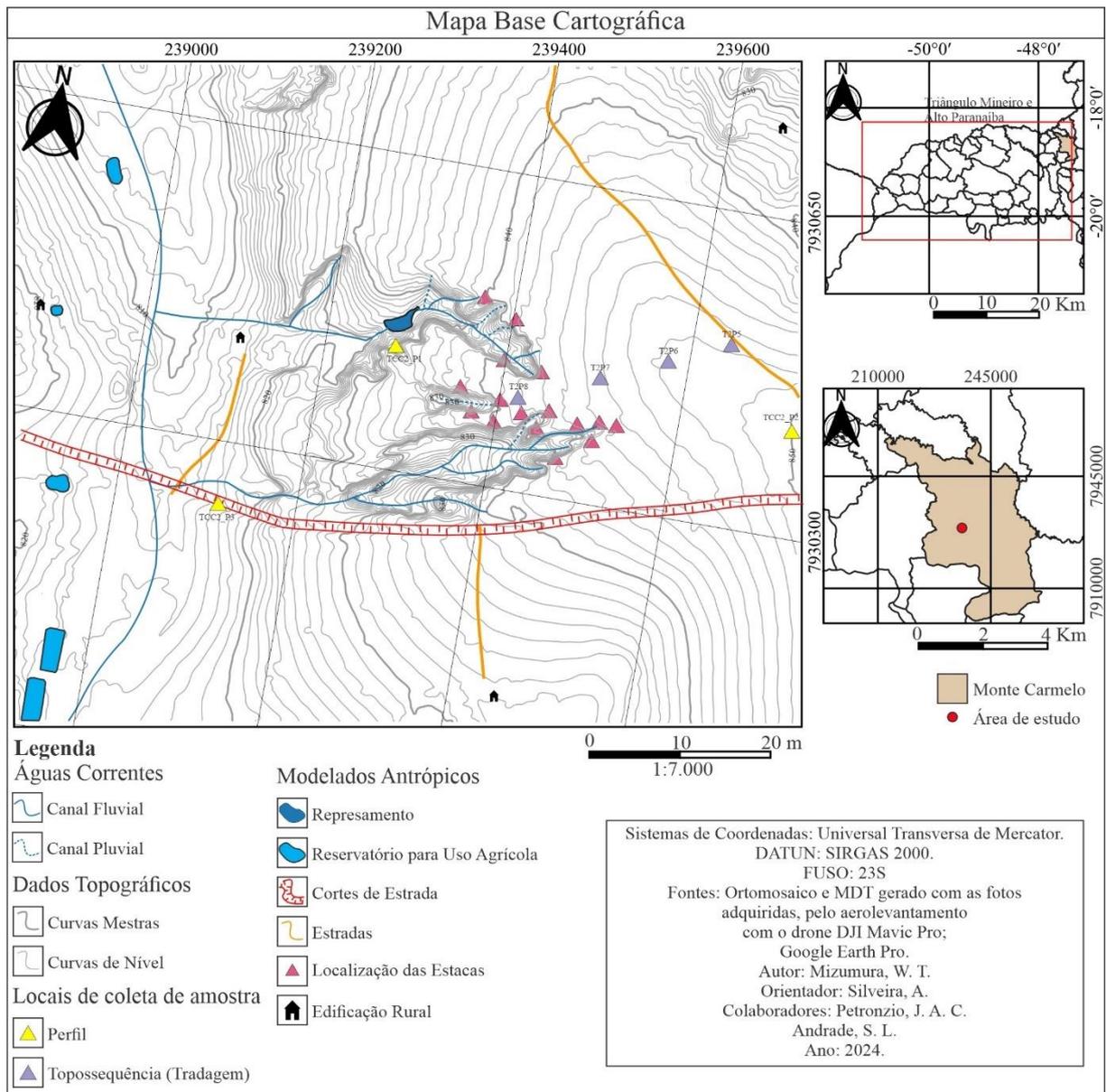
## **4.RESULTADOS E DISCUSSÕES.**

Os resultados e discussões da pesquisa estão subdivididos em quatro itens que contemplam: a morfometria do relevo e o cálculo do volume da voçoroca (4.1); o mapeamento geomorfológico de detalhe e as ações antropogênicas na voçoroca (4.2); o monitoramento por estacas da voçoroca (4.3), e; a fragilidade dos materiais da voçoroca (4.4).

#### 4.1 Caracterização morfométrica da voçoroca do Mombuca.

Primeiramente, antes da obtenção dos mapas morfométricos, foi organizada a Base Cartográfica da área de estudo, onde se representou a rede de drenagem com as curvas de nível, junto a modelados antrópicos como vias de acesso, edificação rural, represamentos e reservatórios, além do posicionamento das estacas de monitoramento (Figura 15).

Figura 15: Base Cartográfica da área de estudo.



No Modelo Digital do Terreno (Figura 16) e no Mapa Hipsométrico (Figura 17) é possível identificar que no topo e na alta vertente convexas dominam classes superiores a 840 metros. No setor onde se encontra a voçoroca, temos valores que variam entre 815 m e 840 m, demonstrando um desnível altimétrico da feição erosiva em 25 metros. Nas proximidades do canal fluvial, os valores variam de 805 a 820 metros, de modo mais suave em comparação ao setor da vertente erosiva.

Figura 16: Modelo Digital do Terreno da área de estudo.

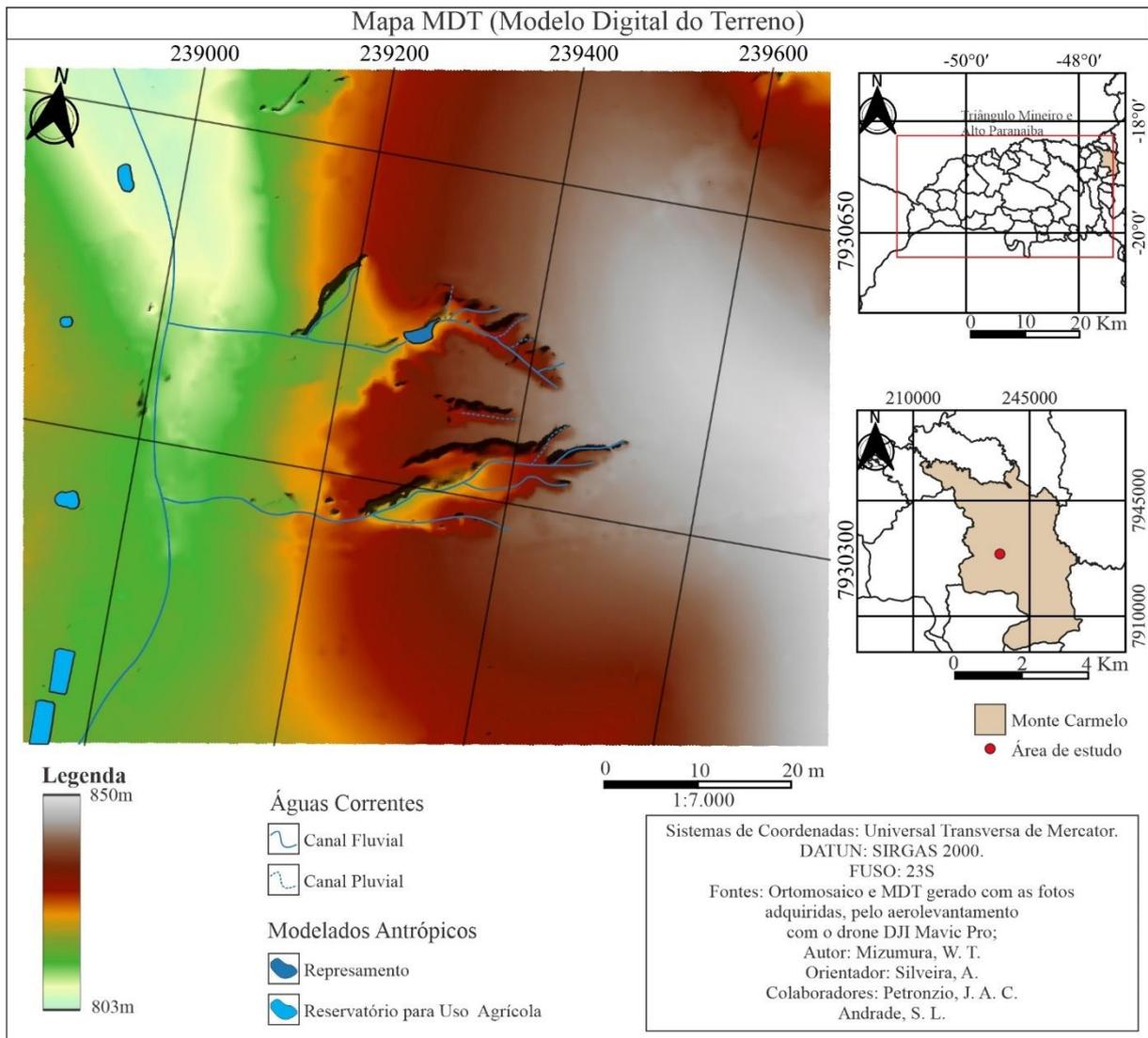
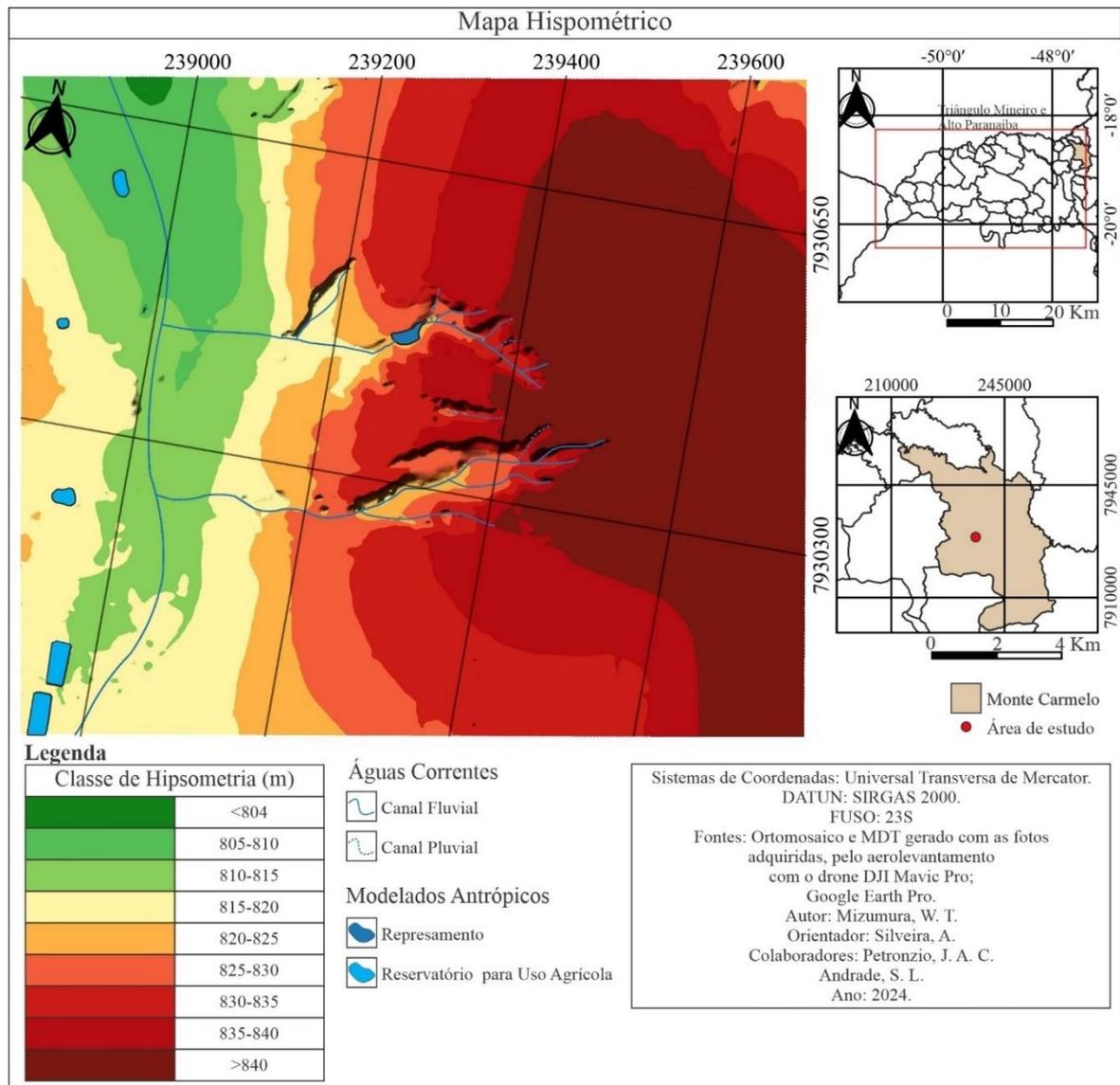
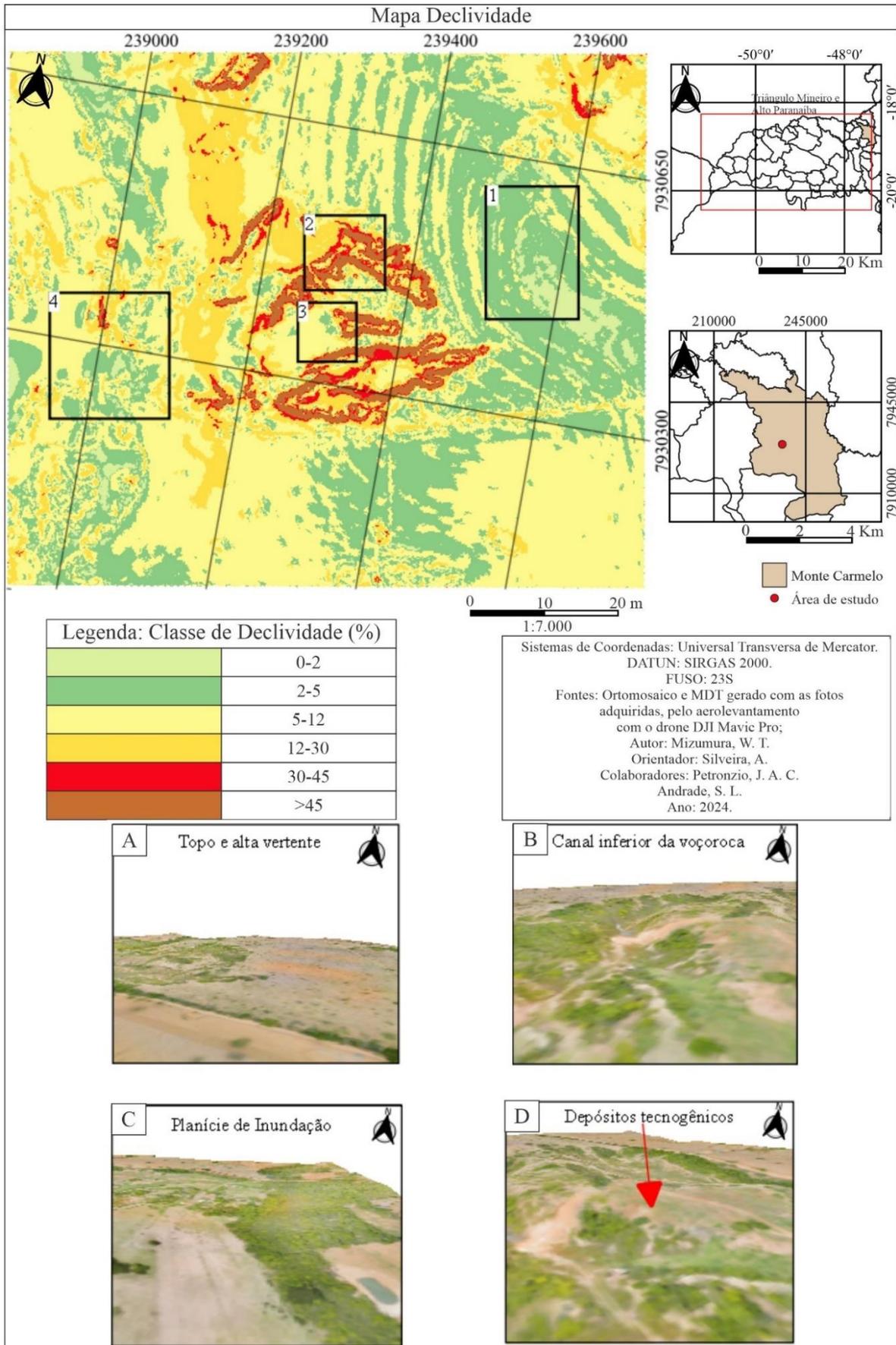


Figura 17: Mapa Hipsométrico da área de estudo.



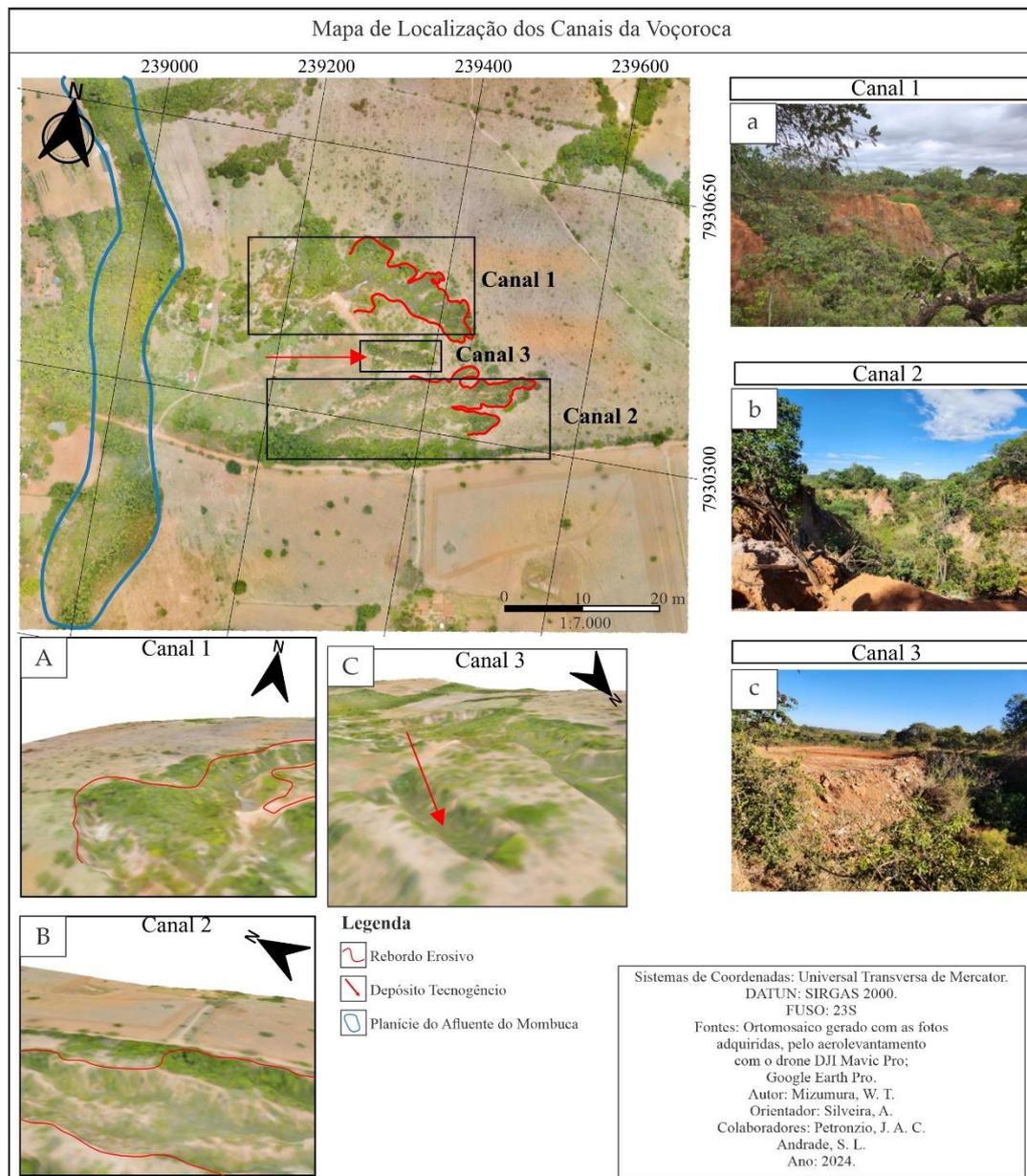
No Mapa de Declividade (Figura 18), é possível identificar as classes predominantes de 0-2% e 2-5% no topo, enquanto na alta vertente a classe principal se acentua para 5-12%. O setor onde se instala a feição erosiva propriamente dita, posicionada entre os segmentos da alta e baixa vertente e, predominantemente na média vertente, possui uma porcentagem de declividade mais acentuada, encontrando-se nesses setores os intervalos de 12-30%, 30-45% e > 45%. No fundo de vale, temos valores de declividade mais reduzidos com classes < 2%, de 2-5% e de 5-12%. Na Figura 18 ainda foram inseridas imagens ARP (cenário out/2022) que visam ilustrar a declividade nos segmentos de topo e alta vertente (Figura 18A), na feição erosiva propriamente dita (Figura 18B), na planície de inundação (Figura 18C) e no setor com depósitos tecnogênicos (Figura 18D), os quais serão abordados de forma específica no item 4.2.

Figura 18: Mapa de Declividade da área de estudo.



A Figura 19 demonstra a partir de imagem ARP ortoretificada (cenário out/2022) a presença de 3 canais da voçoroca, que se comportam como as frentes erosivas principais. Com uso do *software Agisoft Metashape* foram calculados os seguintes valores de perdas de materiais: Canal 1 - 84.124,2 m<sup>3</sup>; Canal 2 - 76.160,4 m<sup>3</sup>; Canal 3 - 2.966 m<sup>3</sup>. Sendo assim, determinou-se que o volume total de perdas dos materiais foi de aproximadamente 163.250,6 m<sup>3</sup> e que os canais 1 e 2 se destacam com as principais frentes erosivas (Figura 19, imagens A e B, fotos a; b). Destaca-se, que este volume total certamente já foi superior, tendo em vista que o canal 2 foi e ainda está sendo entulhado por depósitos tecnogênicos, conforme ilustra a imagem C e a foto c da Figura 19.

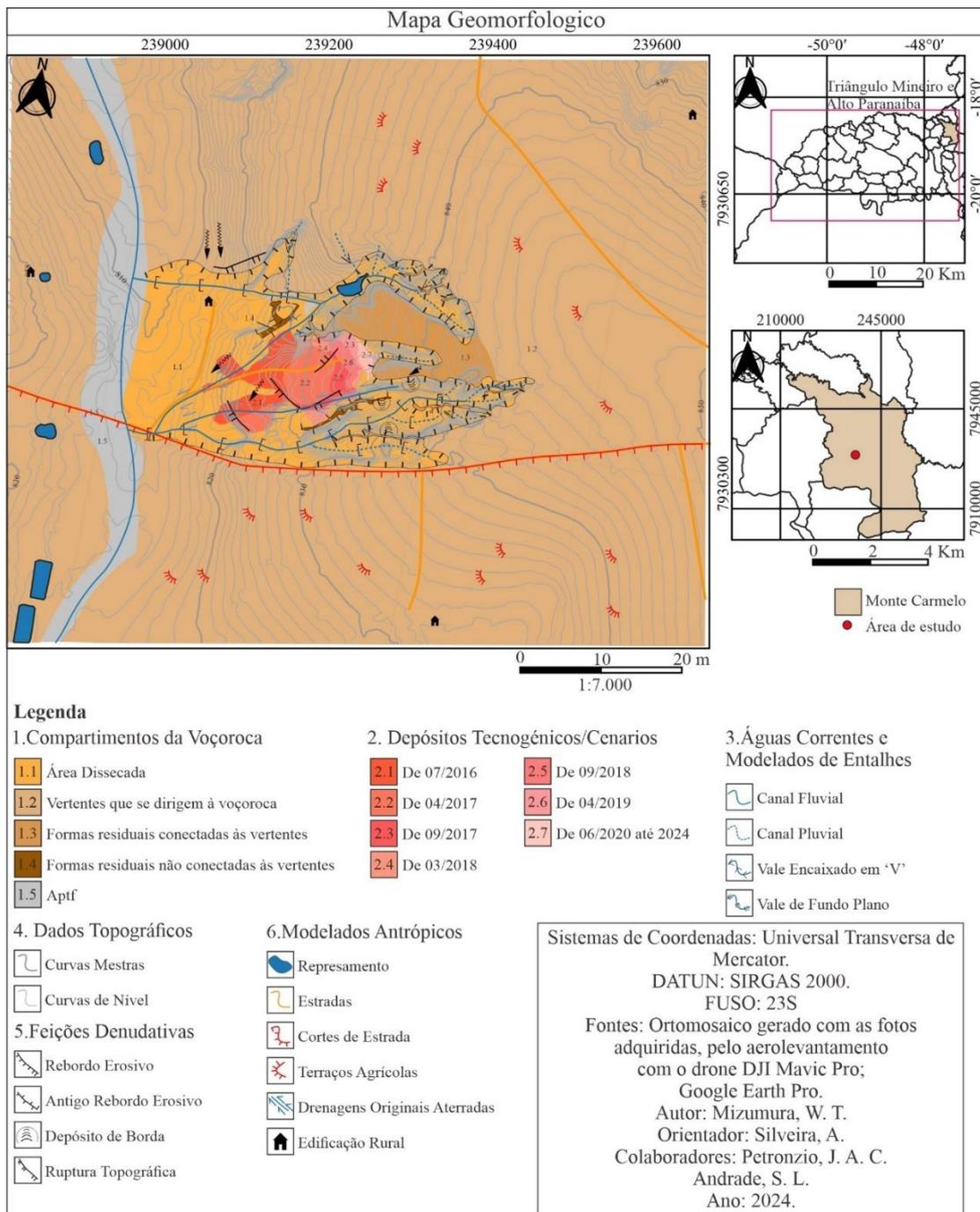
Figura 19: Identificação das frentes erosivas realizadas por canais.



## 4.2 Mapeamento Geomorfológico de detalhe e as ações antropogênicas na voçoroca do Mombuca.

O mapa Geomorfológico de detalhe (Figura 20 e Apêndice A) foi organizado por fotointerpretação dos aerolevantamentos realizados no cenário maio de 2023 durante o período de seca, o que favoreceu a visualização das feições.

Figura 20: Mapa Geomorfológico da Voçoroca do Mombuca.



#### 4.2.1 Reflexos da dinâmica erosiva.

Com base na fotointerpretação das imagens ARP junto aos trabalhos de campo, identificaram-se as feições denudativas no interior dos compartimentos geomorfológicos da voçoroca apresentados na Figura 20. Recorda-se, conforme demonstrado na caracterização morfométrica (Figura 19) que a voçoroca do Mombuca possui três frentes de recuo principais, como se pode observar nas imagens ARP da Figura 21 (A, B e C). Essas frentes possuem um desenvolvimento para leste (canais 2 e 3), enquanto o canal 1 (Figura 19) apresenta a frente regressiva para sudeste, em direção aos canais 2 e 3 (Figura 20 e Apêndice A). Este fato denota suas possíveis conexões, caso as frentes continuem recuando por erosão regressiva.

As feições denudativas encontradas nos compartimentos geomorfológicos mapeados foram:

- Rebordo Erosivo (Figura 21 D): assim como explicado na metodologia no item 3.3.3 e a feição que limita os compartimentos de vertentes que se dirigem à voçoroca (1.2), formas residuais conectadas as vertentes (1.3) e área dissecada (1.1) (Figura 20 e Apêndice A);

- Antigo Rebordo Erosivo (Figura 21 E): igual explicado no item 3.3.3, essa feição representa as quebras de relevo que o compartimento formas residuais não conectadas às vertentes possuem (1.4, Figura 20 e Apêndice A);

- *Piping* (Figura 21 F): feições constituindo como dutos erosivos de sub-superfície, por vezes interligados à superfície dos compartimentos de formas residuais (conectadas e não conectadas às vertentes, 1.3 e 1.4) e de vertentes que se dirigem à voçoroca (1.2) (Figura 20 e Apêndice A). Tais feições foram identificadas principalmente em campo, como demonstra a Figura 21 F;

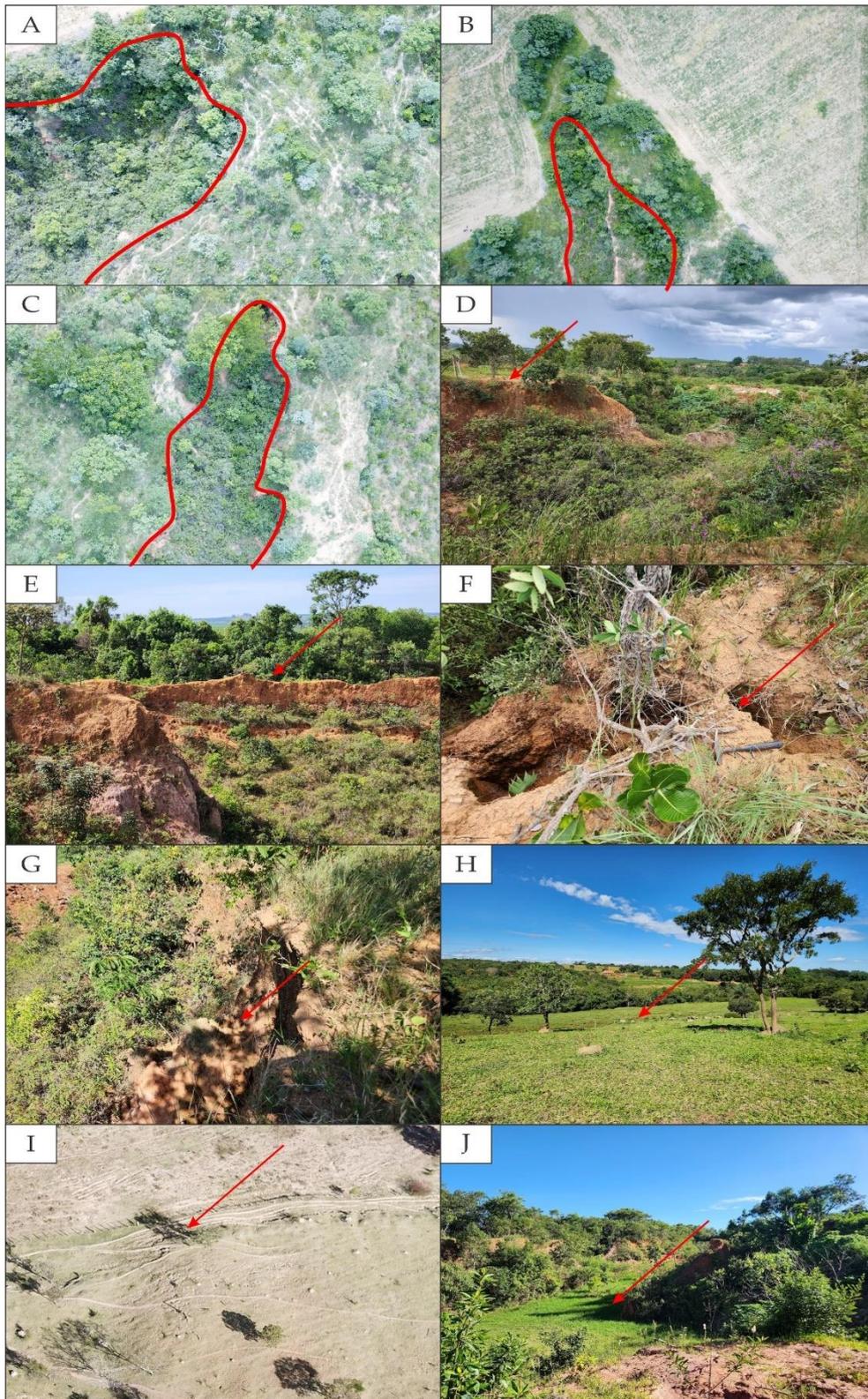
- Depósito de Borda (Figura 21 G): Trata-se de uma feição coluvial e de ação das águas pluviais, representado a consequência da regressão do rebordo erosivo;

- Rupturas Topográficas (Figura 21 H): feições de desníveis topográficos posicionados nas vertentes que se dirigem à voçoroca (1.2, Figura 20 e Apêndice A);

- Sulcos (Figura 21 I): feições erosivas lineares derivadas do escoamento superficial concentrado, posicionados nos compartimentos do interior da voçoroca e de seu entorno.

- Os materiais derivados de processos erosivos que geram as feições acima identificadas para a voçoroca, passam a ser transportados e acumulados nos canais fluviais, resultando em Aptf (Figura 21 J) no interior da voçoroca.

Figura 21: A, B e C: Três frentes erosivas presentes na voçoroca e feições denudativas.



A, B e C: A: Canal 1 (cenário fevereiro /2024); B: Canal 2 (cenário fevereiro / 2024); C: Canal 3 (cenário fevereiro / 2024); A seta em vermelho indica as feições denudativas, das figuras a seguir: D: Rebordo erosivo; E: Antigo Rebordo Erosivo; F: *Piping*; G: Depósitos de Borda; H: Ruptura Topográfica; I: Sulcos; J: Aptf no interior da voçoroca.

#### 4.2.2 Ações antropogênicas no interior da voçoroca.

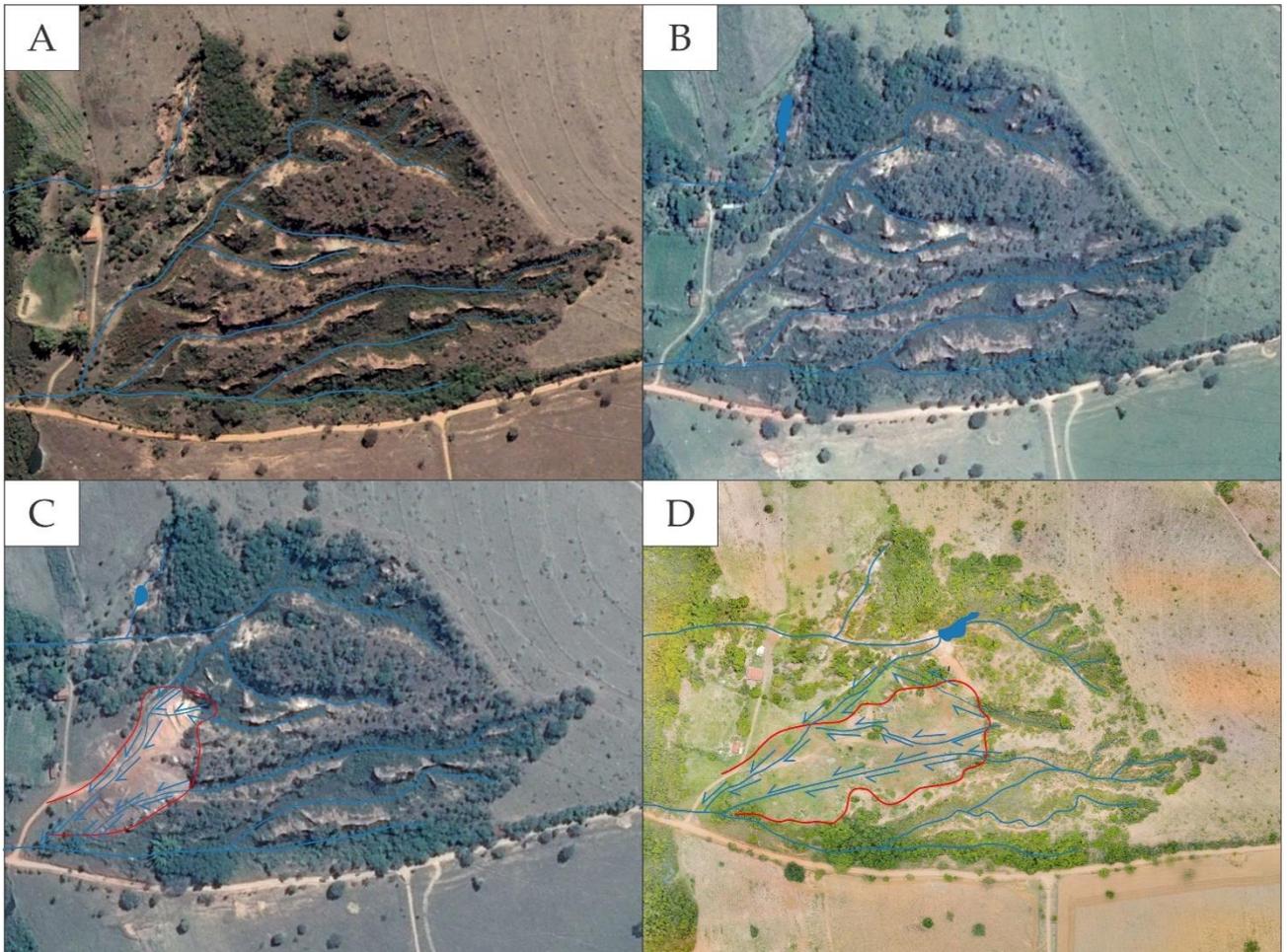
Com a utilização das imagens de diferentes períodos disponíveis no *Google Earth*, juntamente com as imagens dos 3 cenários obtidas nos aerolevantamentos ARP (Figura 22), avaliou-se o desenvolvimento da feição erosiva junto às ações humanas intervenientes na área, em especial no interior da voçoroca, com a alteração de orientação de fluxos de canais, construção de represamentos e aterramentos por depósitos tecnogênicos.

A Figura 22 A do ano de 2007, demonstra a voçoroca com modesta interferência humana em seu interior, a não ser com a presença de uma edificação rural nas imediações aos deságuas dos canais, ao passo que o seu entorno, claramente, já era utilizado pela agropecuária.

No cenário de 2013 (Figura 22 B) observa-se a construção de um represamento em canal posicionado à direita da voçoroca, em vertente que se dirige ao córrego Mombuca. Na Figura 22 C, que representa o ano de 2016, se observa a intensificação das ações antropogênicas no interior do voçorocamento, com o aterramento de canais e mudança na orientação do fluxo d'água. Também se observa neste cenário a presença de depósitos tecnogênicos delimitados pela linha vermelha na Figura 22 C.

Por último, a Figura 22 D representa o cenário de 2022, no qual observa-se o aterramento por depósitos tecnogênicos do canal 3 (Figura 19), principalmente na parte central da voçoroca e uma significativa alteração na orientação dos fluxos de água. Ainda observa-se presença de um represamento construído no canal 1.

Figura 22: A: Cenário da voçoroca no ano de 2007; B: Cenário da voçoroca no ano de 2013; C: Cenário da voçoroca no ano de 2016; D: Cenário da voçoroca no ano de 2022.



Fonte: A, B e C: *Google Earth*; D: imagem ARP (cenário outubro/2022).

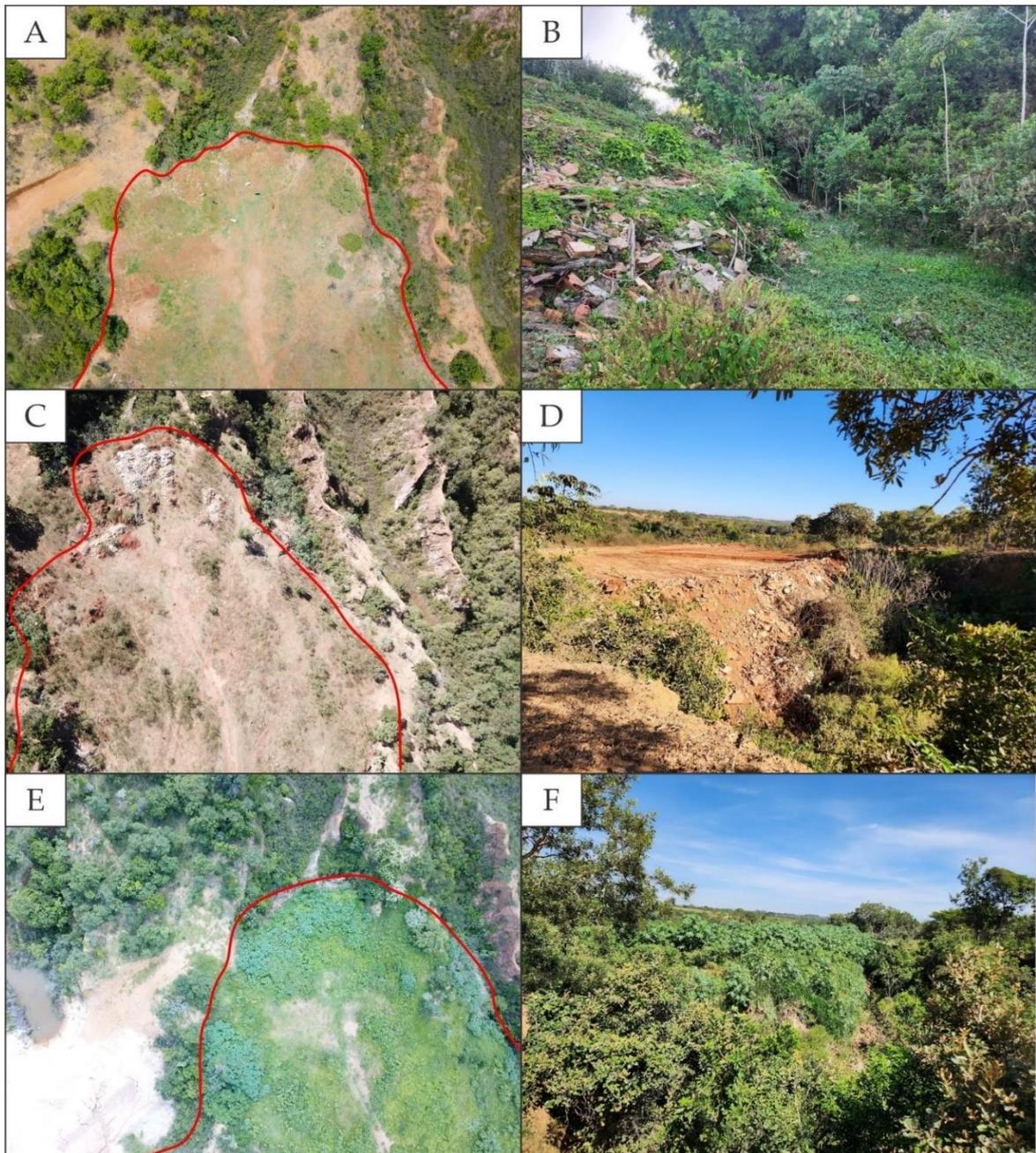
#### 4.2.3 Depósitos tecnogênicos.

Durante as atividades de campo que ocorreram ao longo dos anos de 2022 a 2024 foi possível notar incorporações de depósitos tecnogênicos no interior da voçoroca. Devido a isso, a partir das imagens ARP e das imagens *Google Earth* procurou-se representar cartograficamente no Mapa Geomorfológico de detalhe (Figura 20 e Apêndice A) cenários de 2016 a 2024 que demonstrassem a incorporação desses depósitos que entulharam, sobretudo, o canal 3. Na legenda do referido Mapa, observa-se essa incorporação por meio da numeração 2.1 a 2.7.

Ao longo do período de fato investigado pela pesquisa (2022 a 2024) constatou-se a ampliação da frente de deposição dos materiais tecnogênicos. Na figura 23 A pode-se ver a

frente dos depósitos na imagem ARP de out/2022, assim como fotografia de registro desses materiais (Figura 23 B).

Figura 23: Registro da frente de depósitos tecnogênicos no período de 2022 a 2024.



A e B: Depósito Tecnogênico no ano de 2022; C e D: Depósito Tecnogênico no ano de 2023; E e F; Depósito Tecnogênico no ano de 2024. As linhas em vermelho nas imagens indicam os limites das áreas em que depósitos tecnogênicos estão situados.

No comparativo das imagens ARP do cenário out/2022 e maio/2023, este representado pela figura 23 C, denota-se uma nova deposição de materiais tecnogênicos, conforme

registrado *in loco* pela Figura 23 D. Para a imagem do cenário fev/2024, representado pela Figura 23 E, não se observou uma clara ampliação da frente desses depósitos, mas sim, em função da estação climática (verão), o aumento na densidade de vegetação (Figura 23 E).

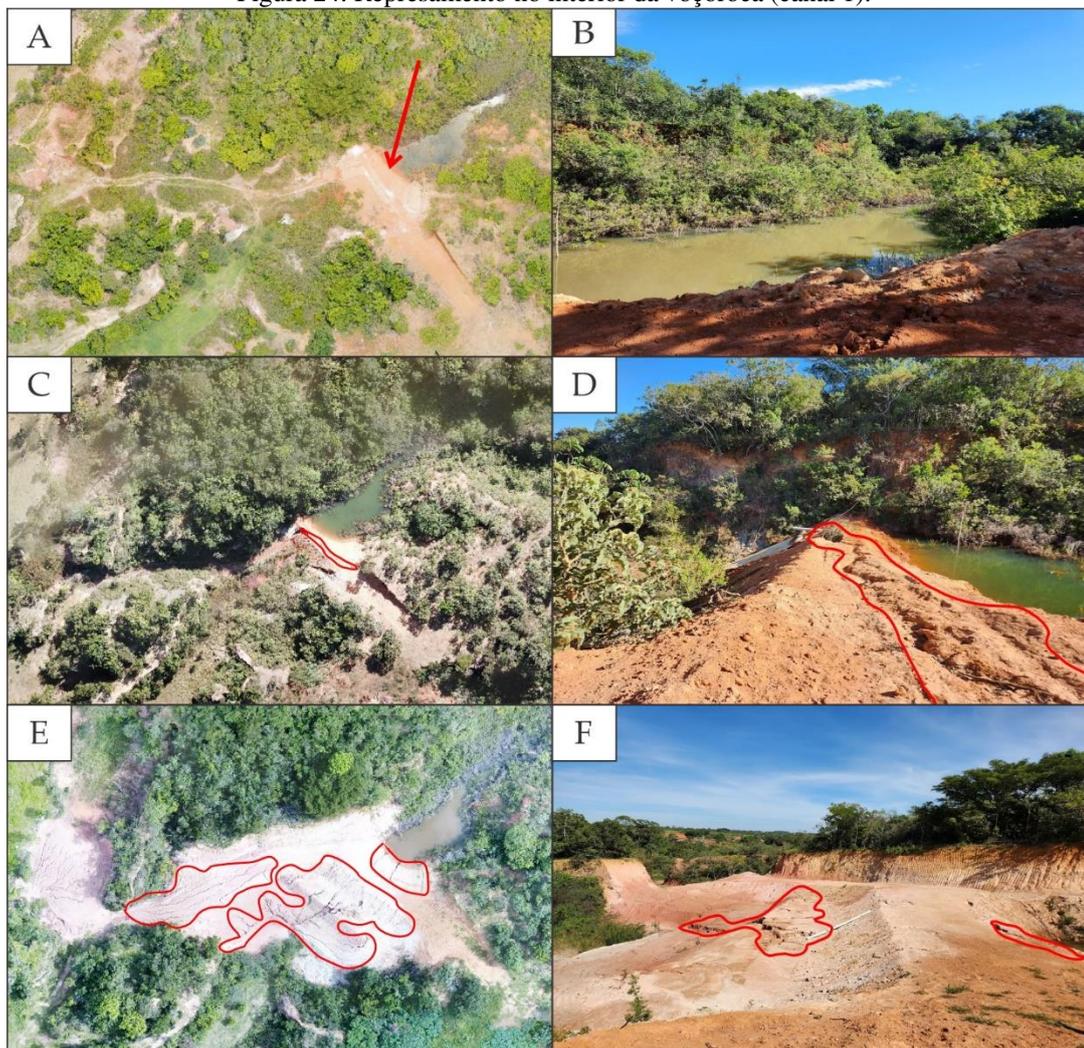
#### 4.2.3 Represamento.

Dentro do canal 1 da voçoroca (Figura 19), pelas imagens ARP e durante as atividades de campo, identificou-se a instalação de um represamento. Na imagem ARP de out/2022 (Figura 24) fica bem marcante a barragem instalada indicado pela seta (Figura 24 A), com a presença de sulcos em sua estrutura, indicando assim um processo de erosão ocorrendo na mesma. Na Figura 24 B se observa o grau de entalhamento no interior do voçorocamento, assim como a lente de água gerada pelo barramento.

Quando comparadas as imagens ARP dos cenários out/2022 e maio/2023 (Figura 24 C) constata-se a redução da área de barramento, devido a sulcos erosivos instalados por ação do escoamento pluvial, os quais foram registrados em campo, como demonstra a Figura 24 D (traços vermelhos). Na imagem ARP do cenário fev/2024 (Figura 24 E, polígonos vermelhos) se observa a significativa remobilização dos materiais utilizados para o barramento, com a instalação de inúmeros sulcos erosivos e ravinamentos.

Em campo (Figura 24 F) constatou-se que o proprietário removeu materiais do rebordo erosivo com o intuito de compactá-los em benefício do represamento, no entanto, devido a chegada do verão no término de 2023, com o aumento das precipitações pluviais, os materiais removidos passaram pela intensificação de processos erosivos lineares.

Figura 24: Represamento no interior da voçoroca (canal 1).



A e B: Represamento no ano de 2022; C e D: Represamento no ano de 2023; E e F; Represamento no ano de 2024.

#### 4.2.4 Síntese da produção cartográfica para a voçoroca do Mombuca.

A partir dos mapeamentos organizados (Figura 15 a 20) e dos trabalhos de campo organizou-se o Quadro Síntese 4, que integras as informações adquiridas a partir dos 5 compartimentos geomorfológicos reconhecidos (Figura 20 e Apêndice A).

Quadro 4: Síntese com as informações adquiridas por compartimentos geomorfológicos.

Compartimentos	Classe Hipsométrica (m)	Classe Declividade (%)	Feições Denudativas	Águas Correntes e Modelados de Entalhe	Modelados Antrópicos
1.1-Área Dissecada	804; a 840.	2-5; 5-12; 12-30; 30-45; >45	Ruptura Topográfica; Sulcos	Canal Fluvial; Canal Pluvial; Vale Encaixado em 'V'; Vale de Fundo Plano.	Depósitos Tecnogênicos; Represamento; Drenagens Originais Aterradas; Edificação Rural.
1.2-Vertentes que se Dirigem à Voçoroca	804 a 850	0-2; 2-5; 5-12;	Ruptura Topográfica; Sulcos	Canal Fluvial	Reservatório para Uso Agrícola; Estradas; Cortes de Estradas; Terraços Agrícolas; Edificação Rural
1.3-Formas Residuais Conectadas às Vertentes	820 a 840	5-12; 12-30; 30-45; >45	Rebordo Erosivo; Depósito de Borda; Sulcos; Piping	Canal Pluvial	X
1.4-Formas Residuais não Conectadas às Vertentes	820 a 840	5-12; 12-30; 30-45; >45	Antigo Rebordo Erosivo; Depósito de Borda; Piping	Canal Pluvial	X
1.5-Aptf	804 a 825	0-2 2-5	X	Canal Fluvial; Vale de Fundo Plano.	X

O compartimento da Área Dissecada (1.1) (Quadro 4) apresenta classes hipsométricas dominantes com valores entre 804 a 840 metros (Figura 17), refletida também no MDT nas cores de tonalidades de verde e vermelho, que atingem os valores localizados na faixa dos 804 metros (tonalidades de verde) a 840 metros (tonalidades de vermelho) (Figura 16). A declividade presente neste compartimento compreende quase todas as classes presentes, excluindo apenas os valores de 0 – 2% (Figura 18), indicando assim uma elevada dinâmica erosiva presente neste compartimento.

Ainda neste compartimento foi possível identificar feições denudativas, com a presença de rupturas topográficas e sulcos. Os modelos de entalhamento presentes neste são

canais do tipo fluvial e pluvial, com vales em “V” e de fundo plano. Os Modelados antrópicos encontrados referem-se aos depósitos tecnogênicos (Figura 23), aos represamentos (Figura 24), as drenagens originais aterradas (Figura 22 D) e as edificações rurais.

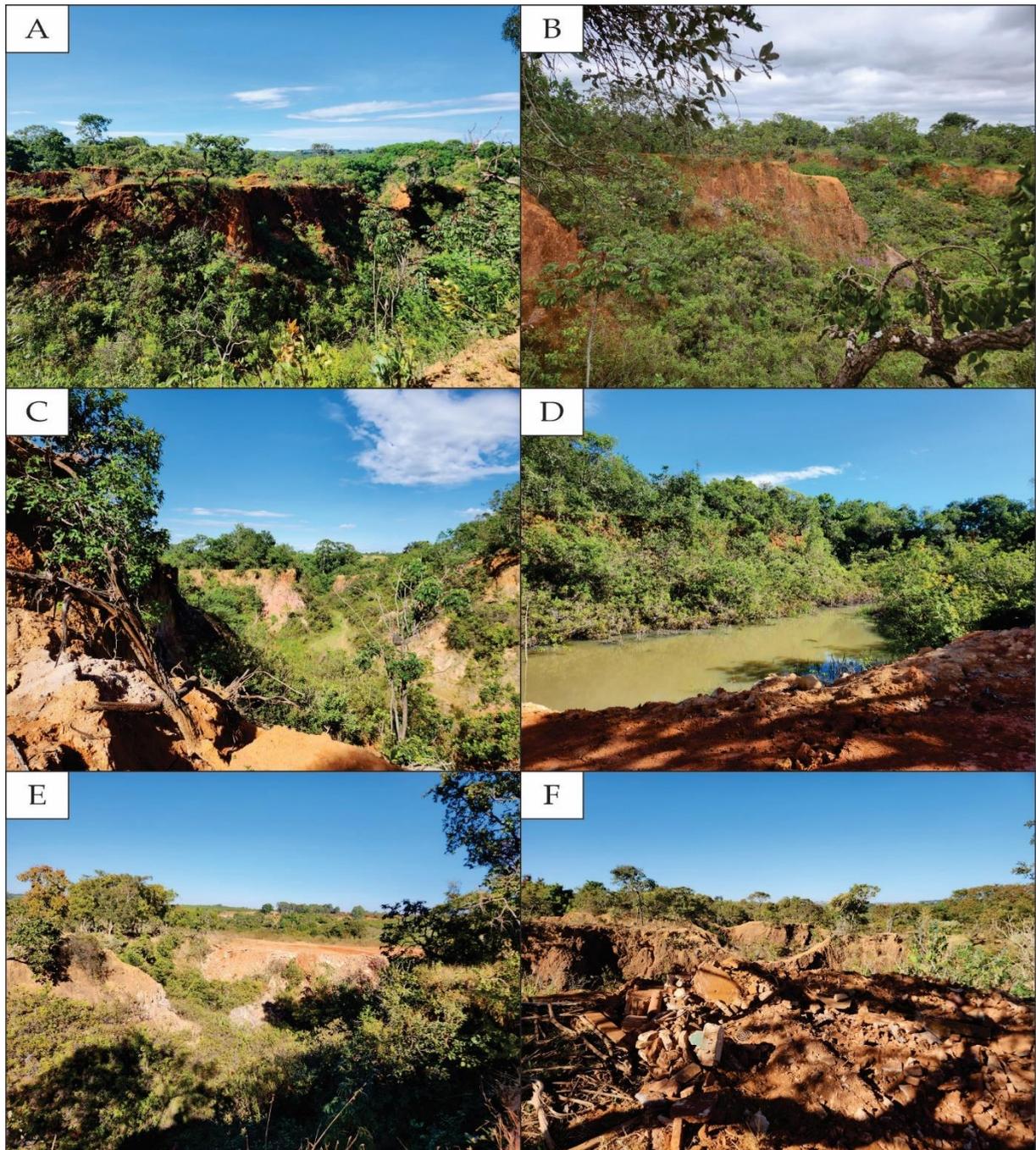
Com a fotointerpretação das imagens ARP juntamente com as atividades de campo, observa-se que a voçoroca é constituída por duas frentes erosivas principais (Figura 19, imagem A e B/Fotos a; b e Figura 25 A, B, C e D), posicionadas em vertente que se dirigem ao Córrego Mombuca. Destaca-se que entre os dois canais principais do voçorocamento foi encontrado um terceiro canal, que hoje não está conectado a nenhum dos canais principais.

Observou-se que este terceiro canal foi preenchido (entulhado) por depósitos tecnogênicos (Figura 18, imagem 3, destaque à seta vermelha), o que refletiu nos valores registrados pelos mapeamentos apresentados (Figura 16 a 18). Na área preenchida por esses depósitos (Figura 25 C e F), as classes de hipsometria e MDT se elevam, ao passo que a declividade reduz, contrariando a lógica de entalhe da rede de drenagem no voçorocamento.

Em campo juntamente com as imagens do *Google Earth*, observou que este canal entulhado conectava-se anteriormente ao canal 1 do voçorocamento. A partir da evolução do entulhamento, como observado na Figura 22, ocorreu a mudança no curso de água original. A Figura 20 demonstra o momento em que a voçoroca sofreu a intensificação do entulhamento de material tecnogênico (07/2016), assim como evidencia os anos de ampliação dessa deposição antrópica, conforme registrado no Mapa Geomorfológico em tonalidade de cores vermelhas (Figura 20 e Apêndice A).

As vertentes que se dirigem à voçoroca (1.2) é o compartimento de maior expressão areal na área estudada; pois comporta todo o entorno da voçoroca a partir do rebordo erosivo. Devido à sua maior abrangência, o mesmo possui todas as classes de hipsometria e valores de elevação. Em relação à declividade, como não possui desníveis abruptos, os valores encontrados ficam entre as classes de 0 a 12%. As feições denudativas são apresentadas em rupturas topográficas com presença de sulcos, ao passo que os modelados antrópicos se referem aos reservatórios para uso agrícola, terraços agrícolas, edificações rurais, estradas e corte de estradas, demonstrando assim a intensa atividade agrícola que ocorre ao entorno da voçoroca.

Figura 25: Canais erosivos da voçoroca.



A e B: Canal 1; C e D: Canal 2; E e F: Canal 3, com depósito tecnogênico.

As formas residuais conectadas às vertentes (1.3) (Figura 21 D, representado pela seta vermelha) é o compartimento que está sofrendo intensa ação erosiva, mas que permanecem ainda interligados ao compartimento das vertentes que se dirigem à voçoroca (1.2). Este compartimento possui classes hipsométricas que variam de 820 a 840 metros e classes de declividade que variam de 5% a 45%, demonstrando o elevado grau de declividade que o local

possui, principalmente, no segmento de vertente que marca a sua transição para o compartimento da área dissecada (1.1).

As formas denudativas presentes neste compartimento são o rebordo erosivo, onde observa-se os limites da voçoroca com o terreno que ainda pode sofrer com a erosão; depósitos de borda, que são locais onde se tem o acúmulo de material que se originam da erosão do rebordo; e o *piping* que ocorrem em forma de dutos subsuperficiais presentes na parede do rebordo erosivo. Segundo Augustin e Aranha (2006), dutos formados por *piping* constituem feições erosivas subsuperficiais presentes nos mais diversos tipos de climas, sendo que a literatura específica lhes atribui participação no voçorocamento.

O compartimento das formas residuais não conectadas às vertentes (1.4) apresenta características semelhantes às formas residuais conectadas às vertentes (1.3), porém não estão mais interligadas às vertentes que se dirigem à voçoroca (1.1). Suas classes de hipsometria variam de 820 a 840 metros e a declividade entre valores de 5% a 45%, sendo assim semelhantes ao compartimento de formas residuais conectadas às vertentes. Guardam ainda similaridade com o tipo de águas correntes e modelados de entalhe, com canais pluviais entalhado em “V”. Já em relação às feições denudativas presentes, a única que se diferenciou foi a presença do antigo rebordo erosivo, que são as quebras de relevo que marcam o limite de terrenos de resistência à erosão, mas que não estão mais conectadas às vertentes que se dirigem à voçoroca.

O último compartimento refere-se às Aptf (1.5), o qual apresenta classes de hipsometria entre 804 a 825 metros e classes de declividade em valores de 0% a 5%. Pode-se notar que o mesmo apresenta as menores cotas altimétricas e o menor gradiente de declive, assim indicando que são áreas localizadas em terrenos mais planos e mais baixos, em comparação aos outros compartimentos.

Os tipos de água correntes e modelos de entalhe presentes são representados pelos canais fluviais com vale de fundo plano, local ideal para o acúmulo de sedimentos originários dos processos erosivos. Nas áreas que foram mapeadas, ao entorno do canal fluvial do córrego do Mombuca, em campo foram observados solos hidromórficos e presença de buritis, o que caracteriza o local como uma vereda. Destaca-se que estas veredas estão degradadas pela ação antrópica.

A respeito volume da voçoroca, pode se observar que os canais 1 e 2 apresentaram, respectivamente, 84.124,2 e 76.160,4 m<sup>3</sup> de perda de materiais (Figura 19), haja vista que apresentam ainda o seu tamanho original. O canal 3, por ser entulhado por depósitos tecnogênicos apresentou menor volume (2.966 m<sup>3</sup>). Entretanto, mesmo com o registro de um

menor volume nesse terceiro canal, observações realizadas em campo indicam que não houve critérios para a compactação dos materiais entulhados, fato que pode propiciar uma maior suscetibilidade a retomada da dinâmica erosiva.

#### 4.3 Monitoramento da voçoroca do Mombuca com estacas.

A instalação e medidas das 16 estacas (Figura 26) foram realizadas nas frentes erosivas dos canais 1, 2 e 3 (Figura 19). O monitoramento ocorreu no período de fev/2023 a fev/2024, resultou nos dados apresentados na Tabela 2.

Figura 26: Medição das estacas de monitoramento.

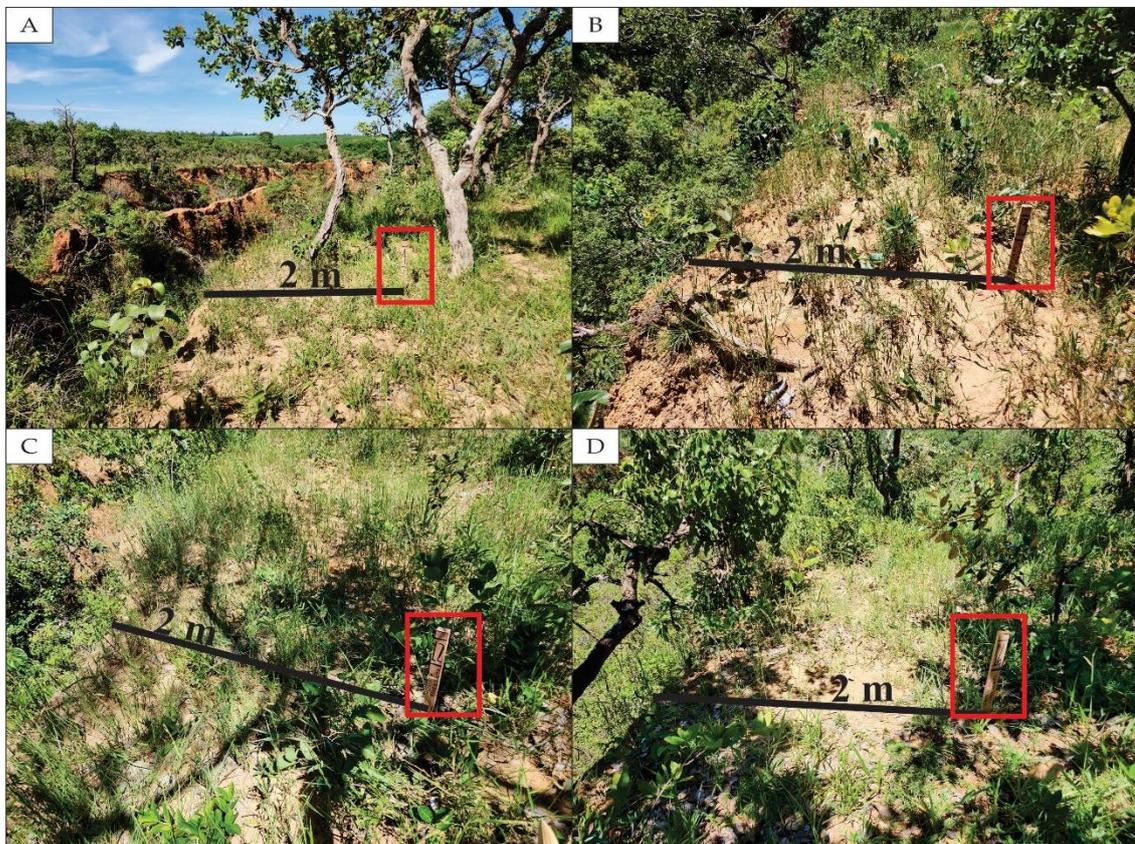


Tabela 2: Dados do monitoramento das estacas.

Estacas	07/02/2023	17/03/2023	22/04/2023	07/06/2023	30/06/2023	19/08/2023	13/09/2023	26/10/2023	02/12/2023	01/02/2024	02/03/2024
1	2,00 m	2,00 m	2,00 m	2,00 m	2,00 m	2,00 m	2,00 m	2,00 m	2,00 m	2,00 m	2,00 m
2	2,00 m	2,00 m	2,00 m	2,00 m	2,00 m	2,00 m	2,00 m	2,00 m	2,00 m	2,00 m	2,00 m
3	2,50 m	2,50 m	2,44 m								
4	2,00 m	1,99 m	1,99 m	1,99 m	1,99 m	1,99 m	1,99 m	1,99 m	1,99 m	1,99 m	1,99 m
5	2,00 m	2,00 m	1,99 m	1,99 m	1,99 m	1,98 m					
6*	3,15 m <sup>1</sup> / 4,92 m <sup>2</sup>	3,15 m/ 4,66 m	3,15 m/ 4,55 m								
7	3,77 m	3,60 m	3,60 m	3,60 m	3,58 m	3,58 m	3,58 m	3,57 m	3,57 m	3,57 m	3,57 m
8	2,00 m	2,00 m	1,99 m								
9	2,00 m	1,92 m	1,92 m	1,92 m	1,92 m	1,92 m	1,92 m	1,92 m	1,92 m	1,92 m	1,92 m
10	3,55 m	3,44 m	3,44 m	3,44 m	3,44 m	3,44 m	3,44 m	3,44 m	3,44 m	3,44 m	3,44 m
11	2,94 m	2,91 m	2,90 m								
12	2,00 m	2,00 m	1,97 m	1,97 m	1,97 m	1,97 m	1,95 m	1,92 m	1,92 m	1,92 m	1,92 m
13	2,00 m	1,99 m	1,99 m	1,99 m	1,99 m	1,99 m	1,99 m	1,99 m	1,99 m	1,99 m	1,99 m
14	2,00 m	2,00 m	2,00 m	2,00 m	2,00 m	2,00 m	2,00 m	2,00 m	2,00 m	2,00 m	2,00 m
15	2,00 m	1,99 m	1,99 m	1,99 m	1,99 m	1,99 m	1,99 m	1,97 m	1,97 m	1,97 m	1,97 m
16	2,00 m	1,96 m	1,96 m	1,96 m	1,96 m	1,96 m	1,96 m	1,96 m	1,96 m	1,96 m	1,96 m

\* Valores das bordas de dois lados da voçoroca: <sup>1</sup> Lado Direito; <sup>2</sup> Lado Esquerdo (Figura 27).

Conforme se observa nos resultados da Tabela 2, as variações das medições foram localizadas para este primeiro ano de monitoramento. Deve-se destacar a estaca de número 6, lado esquerdo (Figura 27), que se posiciona no compartimento de formas residuais conectadas às vertentes (1.3), em rebordo que se dirige ao canal 2. Nesta estaca foi constatada (Tabela 2) a significativa variação de 37 centímetros, sendo que essa diferença se deu entre os meses de fevereiro a abril de 2023. Para o clima regional, esses meses marcam o verão, ou seja, os meses de maior concentração de chuvas (INMET, 2017).

Figura 27: Direção das medidas da estaca 6.



Em campo foi possível identificar a presença de grande quantidade de feições de desmoronamentos no rebordo erosivo, acompanhados de depósitos de borda nas imediações das estacas, como observado na estaca de número 5. Também foi observado *in loco* quantidade elevada de *piping* no referido rebordo. Isso indica que houve recuo no rebordo erosivo, porém no período observado, na linha específica de medição das estacas, não se registrou uma diferença significativa.

Deve-se, portanto, rever a quantidade e o espaçamento das estacas, assim como o período de tempo de monitoramento, ainda restrito a 1 ano.

#### **4.4 A fragilidade erosiva dos materiais geológicos da voçoroca do Mombuca.**

Para a análise da fragilidade dos materiais geológicos, em especial solos e saprolitos da voçoroca, descreveram-se 3 perfis de solos (Perfil TCC2\_P1; Perfil TCC2\_P2; e Perfil TCC2\_P3), que estão posicionados respectivamente, na Área dissecada (1,1), no interior da voçoroca; nas Vertentes que se dirigem à voçoroca (1.2), setor de alta vertente; e também nas Vertentes que se dirigem à voçoroca (1.2), mas localizado na baixa vertente. Nesta descrição obteve-se a coleta total de 13 de amostras em seus horizontes e camadas.

Ainda foram feitos 3 caminhamentos, intitulados por topossequências (T1, T2 e T3), que se dirigiram do setor de topo ao rebordo erosivo da voçoroca, com coleta por tradagem em 4 pontos (topo, alta vertente, média vertente e proximidade do rebordo). Para cada ponto coletaram-se amostras a 20 e a 80 cm, totalizando 8 amostras (para cada caminhamento).

As amostras dos 3 perfis de solos (13) e da topossequência T2 (8) passaram por análise granulométrica, sendo 21 amostragens encaminhadas ao laboratório. Dessas 21, 8 amostras dos 3 perfis de solos receberam a análise morfooscópica da fração grossa, fazendo uso estereomicroscópio binocular.

Na sequência, apresentam-se os resultados da descrição morfológica dos perfis (4.4.1); as curvas granulométricas e os resultados granulométricos projetos no triângulo textural (4.4.2); a análise morfooscópica da fração grossa (4.4.3); finalizando, com a análise desses resultados experimentais (4.4.4).

##### *4.4.1 Descrição morfológica dos perfis de solos.*

Abaixo se apresentam os resultados da descrição morfológica dos três perfis de solos:

**Perfil TCC2\_P1** (Figura 28)

#### **DESCRIÇÃO GERAL**

DATA DA DESCRIÇÃO – 01/12/2023.

CLASSIFICAÇÃO – Cambissolo Háptico.

LOCALIZAÇÃO - Periferia nordeste da malha urbana de Monte Carmelo, estado de Minas Gerais, estrada para o distrito de Perdizes, a aproximadamente 3 Km, da malha urbana.

Coordenadas: X: 239288; Y: 7930423; Zona: 23S (Datum Sirgas 2000).

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL - Formas mistas de aplainamento e dissecação fluvial, declividades com valores de 12% até valores superiores a 45%, sob vegetação típica do Cerrado.

ALTITUDE – 867 m.

LITOLOGIA, UNIDADE LITOESTRATIGRÁFICA E CRONOLOGIA – Granitos do Complexo Monte Carmelo do Neoproterozoico (CODEMIG, 2017).

MATERIAL ORIGINÁRIO – Produto de alteração das rochas graníticas.

PEDREGOSIDADE – Não pedregosa.

ROCHOSIDADE – Não rochosa.

RELEVO LOCAL – Suave ondulado.

RELEVO REGIONAL – Suave ondulado.

EROSÃO – Voçoroca Extremamente Forte.

DRENAGEM – Moderadamente drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Cerrado tropical.

USO ATUAL – Uso para atividades agropecuário.

CLIMA - Tropical Semi-Úmido (Novais, 2011).

DESCRITO E COLETADO POR – Willian Toshiaki Mizumura e Alan Silveira.

### **DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA**

Ap 0 – 15 cm, marrom avermelhado (5YR 5/4, seco) e marrom avermelhado escuro (5YR 3/3, úmido); Argilo-arenosa; moderado pequeno granular e moderado e médio bloco angulares; dura, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e abrupto.

BA 15 – 35 cm, marrom escuro (7.5YR 5/6, seco) e marrom avermelhado escuro (5YR 3/4, úmido); Argila; fraca e pequena granular e fraca e médio blocos angulares; ligeiramente dura, friável, plástico a ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição plana e clara.

Bi1 32 – 60 cm, amarelo avermelhado (7.5 YR 7/6) e vermelho amarelado (5YR 4/6, úmido); Argila; moderado e pequeno blocos angular e moderado muito pequeno granular; macia, friável, plástico e pegajoso; transição plana e clara.

Bi2 60 – 110 cm, amarelo avermelhado (7.5 YR 6/8) e marrom avermelhado (2.5 YR 4/4, úmido); Argila; moderado e pequenos blocos angulares e moderado e muito pequeno granulares; macia, friável, plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.

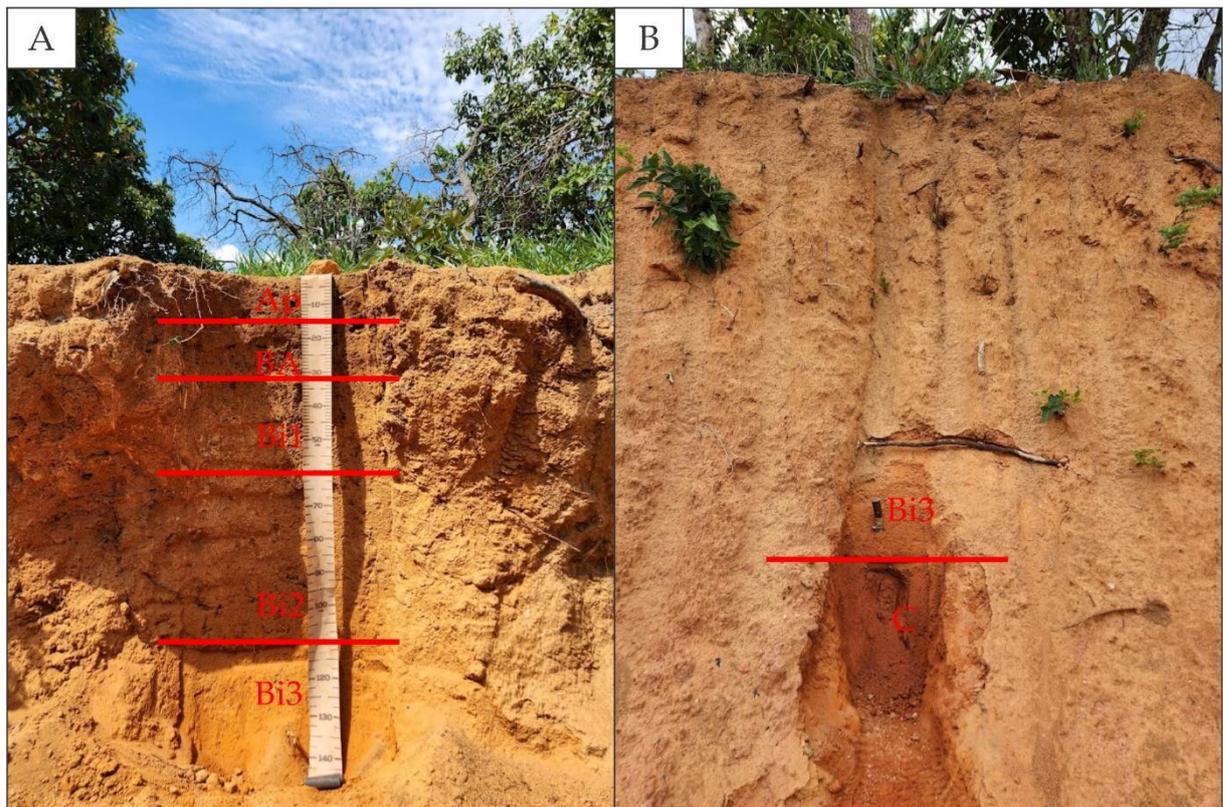
Bi3 110 – 210, amarelo avermelhado (7.5 YR 7/8) e vermelho (2.5 YR 4/8, úmido); Argila; fraco e pequeno blocos angulares e fraco e muito pequeno granulares; macia, friável, plástica e pegajosa; transição plana e clara.

C 210+ cm, vermelho (2.5 YR 5/6) e vermelho escuro (10R 3/6, úmido); fraco e pequeno blocos angulares; moderadamente dura, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e abrupta.

**Observações:**

Os horizontes Bi1, Bi2, Bi3 e C, têm a presença de cristais de quartzo de tamanho pequeno, os quais vão diminuindo de tamanho e em quantidade conforme se avança em direção aos horizontes mais profundos, com exceção do C no qual tem uma maior presença de quartzo de tamanhos variados. No horizonte C, observa-se uma coloração avermelhada, seguida por saprolito de coloração esbranquiçada.

Figura 28: Perfil 1, com a demarcação dos horizontes.



**Perfil TCC2 P2 (Figura 29)**

**DESCRIÇÃO GERAL**

DATA DA DESCRIÇÃO – 01/12/2023.

CLASSIFICAÇÃO – Cambissolo Háplico.

**LOCALIZAÇÃO** - Periferia nordeste da malha urbana de Monte Carmelo, estado de Minas Gerais, estrada para o distrito de Perdizes, a aproximadamente 3 Km, da malha urbana. Coordenadas: X: 239878; Y: 7930371; Zona: 23S (Datum Sirgas 2000).

**SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL** - Formas mistas de aplainamento e dissecação fluvial, declividades com valores de 2% até 5%, sob vegetação típica do Cerrado.

**ALTITUDE** – 867 m.

**LITOLOGIA, UNIDADE LITOESTRATIGRÁFICA E CRONOLOGIA** – Granitos do Complexo Monte Carmelo do Neoproterozoico (CODEMIG, 2017).

**MATERIAL ORIGINÁRIO** – Produto de alteração das rochas graníticas.

**PEDREGOSIDADE** – Ligeiramente pedregoso.

**ROCHOSIDADE** – Rochosa.

**RELEVO LOCAL** – Suave ondulado.

**RELEVO REGIONAL** – Suave ondulado.

**EROSÃO** – Não aparente.

**DRENAGEM** – Moderadamente drenado.

**VEGETAÇÃO PRIMÁRIA** – Cerrado tropical.

**USO ATUAL** – Área de preservação permanente.

**CLIMA** - Tropical Semi-Úmido (Novais, 2011).

**DESCRITO E COLETADO POR** – Willian Toshiaki Mizumura e Alan Silveira.

### **DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA**

A 0 – 15 cm, marrom avermelhada claro (2.5 YR 6/4) e marrom avermelhado escuro (2.5 YR 3/3, úmido); Argila; moderado e pequenos blocos angulares e moderado e muito pequeno granular; ligeiramente dura, friável, plástica a ligeiramente plástica e pegajosa a ligeiramente plástica; transição plana e abrupta.

Bi1 15 – 50 cm, vermelho (2.5 YR 5/6) e marrom avermelhado escuro (2.5 YR 3/3, úmido); Argila; moderado e pequenos blocos angulares e moderado e muito pequeno granular; moderadamente duro, friável, plástico a ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição plana e clara.

Bi2 50 – 90 cm, marrom avermelhado claro (2.5 YR 6/4) e marrom avermelhado (2.5 YR 4/3, úmido); Argila; moderado e pequenos blocos angulares e moderado e muito pequeno granular; moderadamente dura, friável, plástico e ligeiramente pegajoso; transição plana e clara.

**Observações:**

Horizonte A possui presença de materiais orgânicos como raízes, e também se pode identificar presença de cristais de quartzo de diversos tamanhos.

No horizonte Bi1, ainda continua com a presença de raízes, e há uma grande presença de quartzo de tamanhos variados. A estrutura presente no horizonte se forma através dos envoltórios dos cristais de quartzo, sendo que os solos vão preenchendo as aberturas entre os cristais de quartzo. Esse horizonte tem uma maior presença de quartzo se comparado aos outros horizontes (A e Bi2).

No horizonte Bi2, há uma menor quantidade de quartzo se comparado ao Bi1. Ainda continua tendo presença de raízes, e também foi possível encontrar evidência de saprolito na amostra.

Figura 29: Perfil 2, com a demarcação dos horizontes.

**Perfil TCC2 P3 (Figura 30)****DESCRIÇÃO GERAL**

DATA DA DESCRIÇÃO – 01/12/2023.

CLASSIFICAÇÃO – Cambissolo Háplico.

**LOCALIZAÇÃO** - Periferia nordeste da malha urbana de Monte Carmelo, estado de Minas Gerais, estrada para o distrito de Perdizes, a aproximadamente 3 Km, da malha urbana. Coordenadas: X: 239124; Y: 7930224; Zona: 23S (Datum Sirgas 2000).

**SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL** - Formas mistas de aplainamento e dissecação fluvial, declividades com valores de 5% até 12%, sob vegetação típica do Cerrado.

**ALTITUDE** – 839 m.

**LITOLOGIA, UNIDADE LITOESTRATIGRÁFICA E CRONOLOGIA** – Granitos do Complexo Monte Carmelo do Neoproterozoico (CODEMIG, 2017).

**MATERIAL ORIGINÁRIO** – Produto de alteração das rochas graníticas.

**PEDREGOSIDADE** – Ligeiramente pedregoso.

**ROCHOSIDADE** – Rochosa.

**RELEVO LOCAL** – Suave ondulado.

**RELEVO REGIONAL** – Suave ondulado.

**EROSÃO** – Não aparente.

**DRENAGEM** – Moderadamente drenado.

**VEGETAÇÃO PRIMÁRIA** – Cerrado tropical.

**USO ATUAL** – Uso para atividade agropecuária.

**CLIMA** - Tropical Semi-Úmido (Novais, 2011).

**DESCRITO E COLETADO POR** – Willian Toshiaki Mizumura e Alan Silveira.

### **DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA**

A 0 – 15 cm, marrom avermelhado (2.5 YR 5/3) e marrom avermelhado escuro (2.5 YR 3/3, húmico); Franco-argilosa; fraco e pequeno blocos angulares e fraco muito pequeno granular; dura, friável, plástica e pegajoso; transição plana e abrupta.

Bi 15 – 60 cm, marrom avermelhado (2.5 YR 5/3) e marrom avermelhado (2.5 YR 3/4, úmida); Franco-argilosa; fraco e pequeno blocos angular e fraco e muito pequeno granular; dura, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajoso; transição plana e abrupta.

C1 60 – 100 cm, rosa (5 YR 7/4), mosqueado pouco, médio, distinto e vermelho claro (10 R 6/6) e marrom escuro (2.5 YR 5/4, úmido); Argila; fraco e pequenos blocos angulares e fraco e muito pequeno granular; dura, firma a muito firme, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição plana e clara.

C2 100 – 130 + cm, amarelo avermelhado (7.5 YR 7/6), mosqueado pouco, médio e proeminente e vermelho claro (10R 6/6) e marrom avermelhado (2.5 YR 5/4); Argila; fraco e

pequeno blocos angular e fraco e muito pequeno granular; ligeiramente dura, muito friável a friável, plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.

### Observações:

Horizonte A apresenta interferência humana, evidenciada pela presença de tijolos e telhas ao entorno do local do perfil, além de material orgânico em pouca quantidade.

No horizonte Bi, observam-se, a presença de saprolitos com coloração avermelhada se assemelhando aos encontrados em outros pontos, juntamente com material orgânico em sua composição. Também foram evidenciadas concreções com pequenos cristais de quartzo. Dentro dos Bi, que estão mais próximos à superfície, este foi o que apresentou uma menor quantidade de quartzo em sua composição. Foi possível identificar a presença de micas, sendo estas as moscovias.

No horizonte C1, há presença considerável de grãos de quartzo na composição desse horizonte.

No horizonte C2, é possível identificar quartzo nas mesmas proporções do horizonte C1. Apresenta estruturas de blocos duras, quase não sendo possível realizar a desagregação manualmente. Também foi possível identificar a presença de material orgânico, como raízes devido a proximidade de arvores ao entorno do local do perfil.

Figura 30: Perfil 3, com a demarcação dos horizontes.



#### 4.4.2 Análise Granulométrica.

Neste item são apresentados os resultados derivados da análise granulométrica para as amostragens dos perfis de solos e das tradagens. Primeiramente são elencadas as Tabelas (Tabelas 3 a 5) e as curvas granulométricas (Apêndice B a D) dos Perfis TCC2\_P1, TCC2\_P2 e TCC2\_P3, seguida de suas classes texturais projetadas no triângulo textural (Figura 31).

Tabela 3: Porcentagem de argila, silte e areia do perfil TCC\_P1 – setor de alta vertente

<b>Horizonte</b>	<b>Argila (%)</b>	<b>Silte (%)</b>	<b>Areia Fina (%)</b>	<b>Areia Media (%)</b>	<b>Areia Grossa (%)</b>
Ap	40,94	12,16	14,16	24,34	8,40
BA	45,10	12,43	13,82	18,95	9,70
Bi1	44,74	14,08	13,23	15,35	12,60
Bi2	44,40	16,55	12,54	14,31	12,20
Bi3	42,03	16,26	15,83	14,38	11,50
C	37,52	13,19	12,01	22,28	15,00

Tabela 4: Porcentagem de argila, silte e areia do perfil TCC2\_P2 – interior da voçoroca.

<b>Horizonte</b>	<b>Argila (%)</b>	<b>Silte (%)</b>	<b>Areia Fina (%)</b>	<b>Areia Media (%)</b>	<b>Areia Grossa (%)</b>
A	40,85	16,10	10,56	15,19	17,30
Bi1	44,87	15,47	9,15	13,51	17,00
Bi2	46,28	15,42	11,19	13,01	14,10

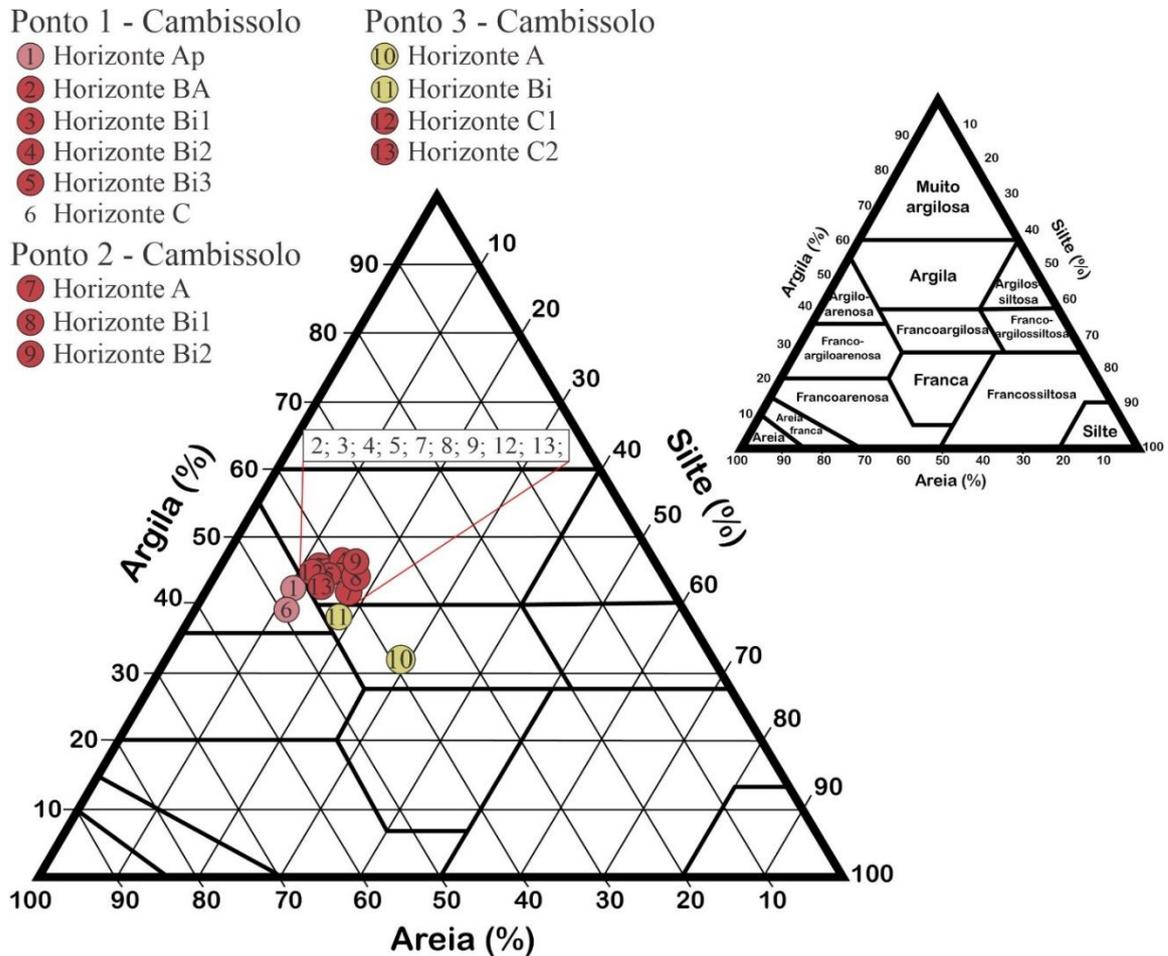
Tabela 5: Porcentagem de argila, silte e areia do perfil TCC2\_P3 – baixa vertente.

<b>Horizonte</b>	<b>Argila (%)</b>	<b>Silte (%)</b>	<b>Areia Fina (%)</b>	<b>Areia Media (%)</b>	<b>Areia Grossa (%)</b>
A	32,10	29,77	12,18	13,05	12,90
Bi	38,00	17,56	11,08	16,86	16,50
C1	43,61	12,03	11,63	18,63	14,10
C2	43,79	13,49	12,98	14,84	14,90

A partir dos valores de argila, silte e areia adquiridos para os horizontes dos 3 perfis, posicionaram-se os mesmos no triângulo textural (Figura 31), obtendo como a principal classe de textura a Argila. Também houve amostras que se enquadraram nas texturas de Argilo-

Arenosa e Francoargilosa, entretanto esses valores ficaram muito próximo, como demonstrado na Figura 31.

Figura 31: Triângulo Textural das amostras do perfil.



Da mesma forma, abaixo estão relacionados os dados granulométricos adquiridos para as amostras coletadas por tradagens (20 e 80 cm) na Topossequência 2 (T2P5, T2P6, T2P7 e T2P8), elencados em Tabelas (Tabelas 6 a 9) e em curvas granulométricas (Apêndice E a H), seguida de suas classes texturais projetadas no triângulo textural (Figura 32).

Tabela 6: Porcentagem de argila, silte e areia das amostras T2P5 – setor de topo.

Profundidade (cm)	Argila (%)	Silte (%)	Areia Fina (%)	Areia Media (%)	Areia Grossa (%)
20	34,90	13,28	15,01	18,41	18,40
80	41,60	14,06	14,06	14,34	13,40

Tabela 7: Porcentagem de argila, silte e areia das amostras T2P6 – setor de alta vertente.

<b>Profundidade (cm)</b>	<b>Argila (%)</b>	<b>Silte (%)</b>	<b>Areia Fina (%)</b>	<b>Areia Media (%)</b>	<b>Areia Grossa (%)</b>
20	36,30	15,30	13,45	23,85	11,10
80	44,68	15,78	11,35	14,29	13,90

Tabela 8: Porcentagem de argila, silte e areia das amostras T2P7 – setor de média vertente.

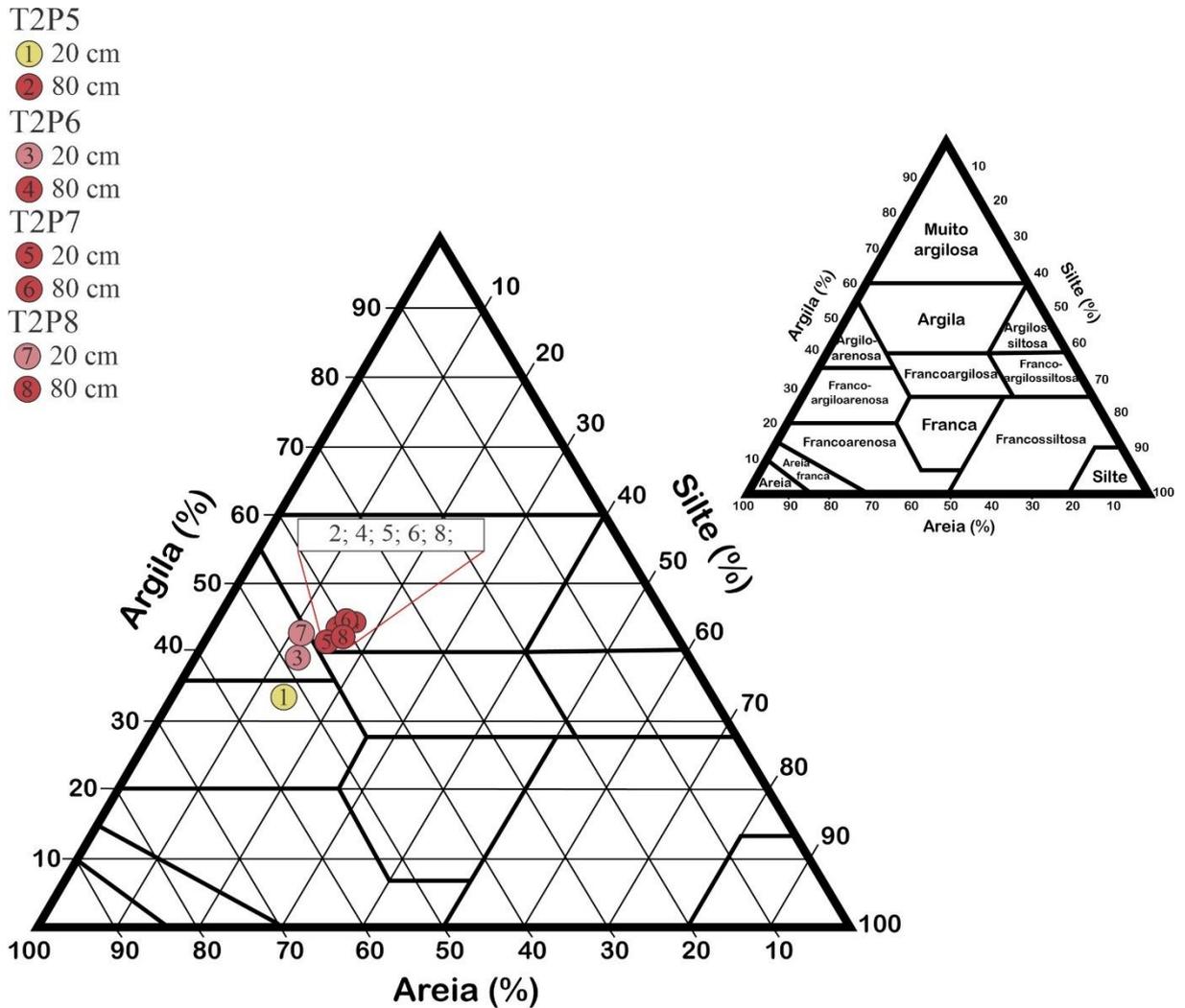
<b>Profundidade (cm)</b>	<b>Argila (%)</b>	<b>Silte (%)</b>	<b>Areia Fina (%)</b>	<b>Areia Media (%)</b>	<b>Areia Grossa (%)</b>
20	40,30	15,41	11,45	21,14	11,70
80	45,99	16,90	10,45	14,56	12,10

Tabela 9: Porcentagem de argila, silte e areia das amostras T2P8 – proximidade ao rebordo erosivo.

<b>Profundidade (cm)</b>	<b>Argila (%)</b>	<b>Silte (%)</b>	<b>Areia Fina (%)</b>	<b>Areia Media (%)</b>	<b>Areia Grossa (%)</b>
20	41,60	11,35	12,42	21,83	12,80
80	42,00	15,97	12,14	15,89	14,00

Os valores percentuais de argila, silte e areia adquiridos para as amostragens dos 4 pontos da Topossequência 2 (T2P5, T2P6, T2P7 e T2P8) foram também posicionados no triângulo textural (Figura 32), obtendo como principal textura a classe de Argila. Também houve amostras que se enquadraram nas texturas de Argilo-Arenosa e Franco-Argiloarenosa, entretanto destaca-se que as amostras classificadas como Argilosas ficaram posicionadas próximas das Argilo-Arenosa, enquanto que estas ficaram próximas das Franco-Argiloarenosas, conforme demonstrado na figura 32.

Figura 32: Triângulo Textural das amostras T2.

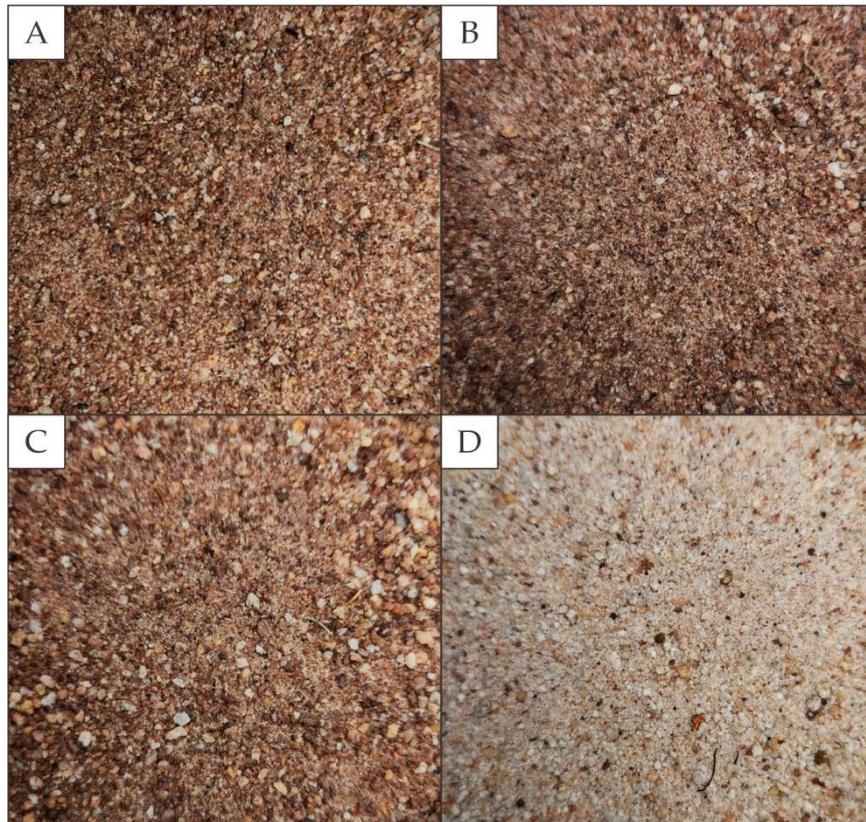


#### 4.4.3 Descrição morfoscópica da fração grossa.

Entre os materiais grossos advindos da granulometria foram selecionados para a análise morfoscópica as seguintes amostras: Perfil TCC1\_P1 (Ap, Bi1 e C); Perfil TCC2\_P2 (A e Bi2); Perfil TCC2\_P3 (A, Bi e C2), totalizando 8 amostragens.

De modo geral, com a remoção das argilas e do silte observam-se para as amostras dos horizontes (A e Bi), o domínio de tonalidades mais avermelhadas (Figuras 33 A, B e C), quando comparadas as amostras do horizonte C (Figura 33 D), que apresentaram uma coloração mais esbranquiçada.

Figura 33: Fotomicrografias de amostras para análise morfoscópica.



Amostras de areia do Perfil TCC2\_P1; A - horizonte Ap; B – horizonte BA; C – horizonte Bi1; D – horizonte C. Demonstrando a diferença de cor da fração areia.

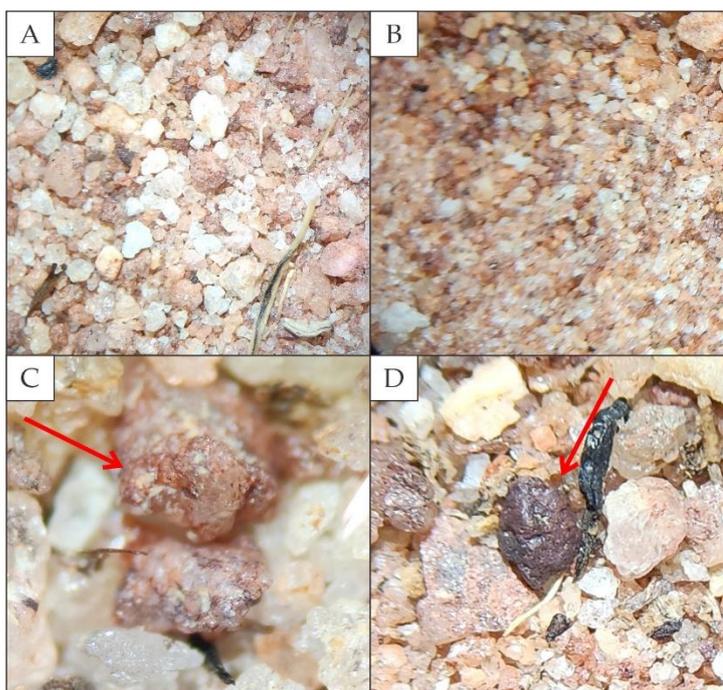
Pôde-se visualizar que os tipos principais de grãos que compunham a amostra eram de quartzo e nódulos de argila (Figura 34 A). Os quartzos apresentavam certo grau de desgaste, sendo estes localizados nos horizontes mais próximos da superfície (horizontes A e os Bi, mais próximos da superfície). Este desgaste estava presente principalmente nos grãos de tamanhos menores, ficando com uma característica arredondada (Figura 34 B). As amostras de quartzo presentes nos perfis podem ser classificadas como sub-angulosas a sub-arredondadas, apresentando um grau de seleção principal entre moderadamente selecionada e moderadamente bem selecionada.

Nas amostras de maior profundidade (Perfil TCC2\_P1: Bi1 e C; Perfil TCC2\_P2: Bi2; Perfil TCC2\_P3: Bi e C) foi possível identificar uma pequena diferença, sendo a presença de quartzos leitosos. Estes apresentavam grau de seleção e arredondamento semelhantes aos quartzos não leitosos dos perfis superiores.

Já os nódulos de argila foram notados em todas as amostras nas quais se fez morfoscopia; entretanto, estes ocorriam em uma quantidade muito inferior se comparados aos

quartzos. Essas amostras apresentavam uma coloração avermelhada, sendo formadas por pequenos cristais de quartzo unidos pelas argilas (Figura 34 C). Essa coloração avermelhada presente nos nódulos pode estar relacionada à oxidação do ferro presente na composição química das biotitas. Esses elementos, no geral, apresentam um grau de arredondamento que pode ser classificado como angular a sub-anguloso, e um grau de seleção que pode variar de modernamente bem selecionado a bem selecionado.

Figura 34: Fotomicrografias de amostras para análise morfológica.



A – Diferentes tipos de Quartzo presentes na amostra; B – Grau de arredondamento dos Quartzos; C – Seta vermelha indicando os nódulos de pequenos cristais de quartzo unidos por argila; D – Seta vermelha indicando minerais opacos.

Os minerais opacos (Figura 34 D) ocorrem em uma quantidade ainda menor do que os nódulos, não se apresentando em todas as amostras analisadas. Estiveram presentes somente nas amostras do perfil TCC2\_P1 e no Bi2 no perfil TCC2\_P2. Este material apresenta um grau de arredondamento entre anguloso e sub-anguloso, sendo classificados como bem selecionados.

A análise do material das amostras T2P8 da topossequência tem a presença de grãos de quartzo e os nódulos de argila, os quais apresentam as mesmas características dos perfis de solos, porém com uma única diferença, que se refere ao tamanho dos grãos, que é menor do que os vistos nos perfis.

#### *4.4.4 Análise dos resultados experimentais.*

A partir dos trabalhos de campo realizados na área de estudo, juntamente com a descrição de perfis e a avaliação granulométrica e morfooscópica dos materiais, concluiu-se que o solo dominante presente na área de estudo foi o Cambissolo, sendo este determinado pela presença do horizonte B incipiente (Bi), que confere ao seu horizonte diagnóstico (Embrapa, 2018).

O perfil TCC2\_P1 chegou a aproximadamente 2,10 metros com maior expressão de saprolitos. Ao entorno do perfil TCC2\_P2 encontram-se significativos afloramentos de granito do Complexo Monte Carmelo, podendo assim determinar que a espessura do solo seja a menor dentro da área de estudo, devido à proximidade dos afloramentos. Já a espessura do perfil TCC2\_P3 foi de aproximadamente 1,30 metros, mas a partir dos 60 cm já se encontrava o horizonte C.

Isso indicou que os solos presentes nos topos são menos espessos, seguido pelo fundo de vale. O perfil de alteração fica mais espesso na média vertente conforme é possível observar na Figura 42, onde se nota a transição do Cambissolo para o saprolito (horizonte C) derivado do granito do Complexo Monte Carmelo. É nesse perfil de alteração mais espesso que se desenvolve a voçoroca.

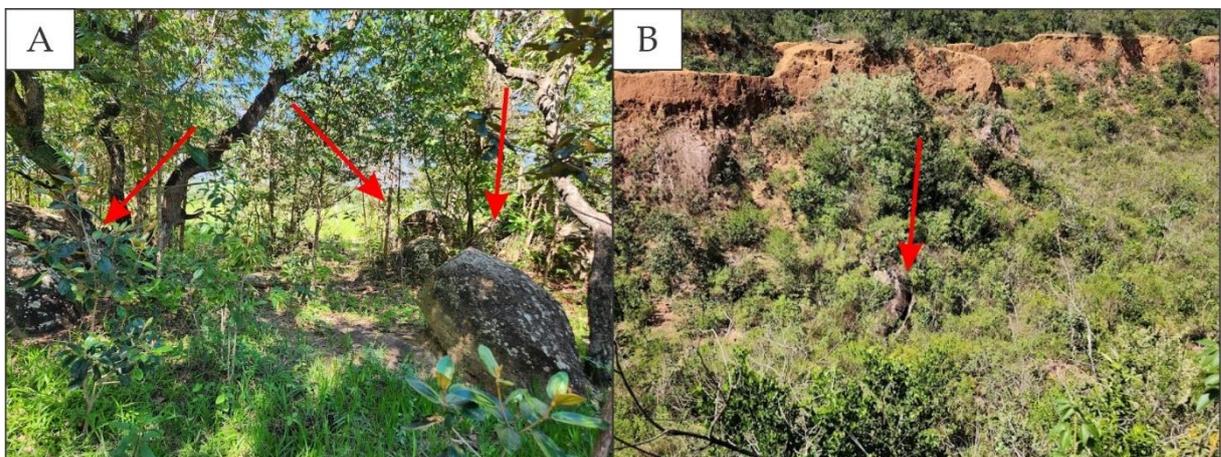
Neste sentido, o material de origem dos Cambissolos descritos se associa aos granitos. Reitera-se que afloramentos deste litotipo são encontrados no setor de topo (Figura 36 A), assim como se registram blocos no interior da própria feição erosiva (Figura 36 B). Além disso, quando observados os perfis de alteração no interior da voçoroca (Figura 35), embora muito alterados, ainda se notam feições associadas ao litotipo preservado (estruturas primárias).

Os saprolitos têm a presença de quartzo e feldspatos alterados, juntamente com a coloração vermelha do solo da área, o que indica a oxidação do ferro, sendo este um dos elementos principais das biotitas. Denotam-se a presença de quartzos, feldspatos e biotitas nos solos e saprolitos da área de estudo, sendo esses minerais essenciais na composição dos granitos. Os dados de granulometria indicaram o percentual considerável da fração areia (Tabelas 3 a 9), sendo esta composta principalmente por quartzo (Figuras 33 e 34), que conforme mencionado, estão na constituição fundamental dos granitos.

Figura 35: Transição dos horizontes Bi para horizonte C, delimitado pela linha vermelha.



Figura 36: A – Afloramento de granito, nas proximidades da voçoroca; B – Blocos de granitos no interior da voçoroca. Indicados pela seta.



Os dados obtidos através das análises experimentais, tanto nos perfis como na toposequência indicam que os solos apresentam um teor de argila relativamente baixo, com valores próximos a 40%, quando comparado a solos mais desenvolvidos. Já a quantidade de areia os valores também se encontram na casa dos 40%, fato que levou o domínio das amostragens ficarem ainda na classificação textural Argila, porém nos limites com as classes Argilo-arenosa, Francoargilosa e Franco-argiloarenosa (Figuras 31 e 32).

Assim os dados corroboram com a afirmativa de Arantes (2022), onde a suscetibilidade de erosão dos Cambissolos está relacionada com a proporção de argila. Quanto menor for a sua presença, maior a suscetibilidade à erosão, desse modo a baixa presença relativa de argila e os valores elevados da fração areia potencializam a suscetibilidade erosiva desses materiais.

Os Cambissolos são caracterizados pela pedogênese pouco avançada, com presença de minerais primários que se constituem em material não agregado, juntamente com materiais agregados (Embrapa, 2018). A formação de agregados no solo possibilita maior coesão, minimizando os efeitos da erosão. Ao mesmo tempo, a presença significativa de materiais não agregados, com é o caso dos Cambissolos da área estudada, com presença marcante de quartzos na fração areia (cerca de 40%), potencializa a dinâmica erosiva.

Além disso, a partir da análise morfooscópica pôde-se notar a presença de oxidação no ferro presente nas biotitas, ocorrendo principalmente nos horizontes superficiais, devido as ações intempéricas. Já nas amostras de maior profundidade, as quais estão relacionadas aos saprolitos, esses processos não foram suficientes para maior atuação da pedogênese. Também foi possível verificar que a presença do quartzo é menor nos horizontes superficiais, e que quanto maior a profundidade, maior é sua presença e maior o tamanho de seus grãos, devido à proximidade em que estão da rocha geradora do solo.

Isso vai ao encontro das informações de Cerri (1979), que destaca a camada arena (saprolito), na qual os minerais presentes se encontram desagregados, entretanto as estruturas primárias da rocha por vezes ainda encontram-se preservadas. Desse modo, conforme também mencionado por Cerri (1979), os solos provenientes de granitos apresentam fragilidade quanto aos processos intempéricos, principalmente em regiões onde o clima tropical atua. Este fato relaciona a fragilidade natural dos materiais (neste caso, os solos e saprolitos derivados do granito) e as condições climáticas de elevadas precipitações, resultando em feições lineares como a voçoroca do Mombuca.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos durante o desenvolvimento deste trabalho foram adquiridos a partir dos aerolevantamentos com ARP, monitoramento de estacas e análises experimentais (descrição de perfis e tradagens, análise granulométrica e descrição morfológica).

Com as imagens aéreas foram gerados mapas morfométricos (MDT, hipsometria e declividade), mapa geomorfológico de detalhe e cálculo do volume estimado de perdas de materiais. Com isso, foi possível chegar às seguintes considerações: a voçoroca do Mombuca apresenta duas frentes erosivas principais; entretanto, um terceiro canal sofre com o entulhamento por depósitos tecnogênicos. Com os mapas morfométricos também foi possível evidenciar o tamanho que essa voçoroca possui, sendo demonstrado através da quantidade aproximada de material que foi perdida para a sua formação (163.250,60 m<sup>3</sup>).

O mapa geomorfológico apresenta em cinco compartimentos, além de demonstrar a evolução da deposição tecnogênica na área, na qual foi possível verificar que se intensificou em 2016, assim como e até os momentos atuais ainda vem sofrendo esse processo. Também neste mapeamento foram representadas feições denudativas em detalhe, com adaptações de simbologias.

Os dados experimentais demonstraram a presença dominante do Cambissolo de origem granítica, que apresentou proporção média de 40% de argila e de areia, juntamente com as características de arredondamento sub-anguloso a sub-arredondado, e os tamanhos dos grãos que variaram ao longo do perfil, sendo que mais próximos à superfície o tamanho era menor e quanto mais profundo seu tamanho aumentava. Assim, pode-se determinar a alta suscetibilidade à erosão que o material possui, refletido no tamanho da voçoroca.

Os dados obtidos pelas estacas durante o período de 1 ano apresentaram uma modesta variação, porém na estaca de número 6 obteve-se o marcante registro de 37 centímetros nos meses de verão, entre fevereiro e abril de 2023. Também foi evidenciado nas imediações das estacas depósitos de borda e feições regressivas junto ao rebordo erosivo. Com isso, compreende-se que seja necessário revisar a quantidade, o posicionamento e o maior tempo de monitoramento dessas estacas, tendo em vista que foram registrados alterações que marcam a erosão regressiva.

Desse modo, com todos os dados obtidos pode-se concluir que a voçoroca do Mombuca foi formada pela a erosão de Cambissolos e de seus saprolitos derivados de granito do Complexo Monte Carmelo com materiais com relativo percentual de argila e baixa formação de agregados, ao mesmo tempo com elevado percentual de materiais não agregados,

em especial com quantidades significativas de quartzo na fração areia. Esses materiais frágeis estão sujeitos ao escoamento superficial propiciado por condições climáticas tropicais, que entalham os canais, atingindo as águas de subsuperfície, ampliando a erosão regressiva.

Acrescentam-se a essas condições da fragilidade dos materiais e do ritmo climático, as ações antropogênicas. Embora se evidencie a presença de terraços agrícolas ao entorno da voçoroca, observou-se em campo a presença de escoamento difuso, assim como pequenos sulcos neste compartimento. Destaque maior deve ser dado às intervenções no interior do voçorocamento com a construção de represamento, o qual vem passando por desmonte de seu barramento por erosão linear, assim como pelo entulhamento de depósitos tecnogênicos, sobretudo no canal 3. Tais depósitos quando submetidos às ações intempéricas ficam altamente suscetíveis à erosão, fato que poderá propiciar a retomada erosiva dos materiais entulhados.

Com isso, compreende-se que trabalho atingiu os objetivos propostos, deixando em aberto algumas oportunidades para a continuidade das pesquisas, como:

- a necessidade de se avaliar detalhadamente por pares estereoscópicos (anaglifos) as mais de 2000 imagens ARP (fotos) que compõe o banco de dados dos cenários de out/2022, mai/2023 e fev/2024, considerando que neste trabalho foi dado ênfase aos ortomosáicos;
- a continuidade da análise das características dos materiais, ampliando as análises microscópicas como a organização de lâminas delgadas de solos e saprolitos, além de outras avaliações físicas e geotécnicas; como o de Atterberg, no qual nos indicam os limites de plasticidade e liquidez;
- a revisão dos procedimentos e nova aplicação das estacas de monitoramento, e;
- o uso dos resultados deste trabalho para elaboração de projetos de recuperação de área degradada e manejo dos solos.

## 6. REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, J. A. et al. Fragilidade de solos: uma análise conceitual, ocorrência e importância para o Brasil. In: CASTRO, S. S.; HERNANI, L. C. **CARACTERIZAÇÃO, MANEJO E SUSTENTABILIDADE**. 1ª Ed. Brasília: EMBRAPA, 2015. p. 25-50.

ARANTES, A. E. Suscetibilidade à Erosão Laminar e Linear da Bacia Hidrográfica do Rio Vermelho e sua Relação com o Uso e Cobertura da Terra em 2012. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 15, n. 6, p. 3032 – 3046, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 6457**: Amostras de solos – Preparação para ensaio de compactação e ensaio de caracterização. Rio de Janeiro, 2016.

\_\_\_\_\_. **NBR 7181**: Solo – Análise granulométrica. Rio de Janeiro, 2016.

AUGUSTIN, C. H. R. R.; ARANHA, P. R. A. *Piping* em área de voçorocamento, noroeste de Minas Gerais. **Revista Brasileira De Geomorfologia**, v. 7(1), 2006.

BARBOSA, M. I. M.; SILVEIRA, A.; MORAES, L. C.; ARAUJO, L. M. B. Expressão Geomorfológica Derivada de Diques Toleíticos na Região de Abadia dos Dourados (MG). In: 49º Congresso Brasileiro de Geologia, 2018, Rio de Janeiro (RJ). **Anais 49º Congresso Brasileiro de Geologia**, 2018.

CAILLEUX, A. Les action éoliennes périglaciaires em Europe. **Mémoire de la Société Géologique de France**, v. 46, p. 1-17, 1972.

CERRI, C. C. **Alteração e pedogênese em áreas graníticas situadas sob diferentes condições bioclimáticas encontradas no Brasil**. 1979. 241 f. Tese (Doutorado em Geociência) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1979.

CODEMIG. **Mapa Geológico Folha Estrela do Sul – SE.23-Y-A-IV**. CODEMIG, 2017. Escala 1: 100.000.

CASAGRANDE, D. **Mapa de suscetibilidade à erosão dos solos dos municípios consorciados à RIDES no Alto Paranaíba**. 2023. 69 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geologia) – Universidade Federal de Uberlândia, Monte Carmelo, 2023.

EMBRAPA, EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5ª ed. – Brasília, DF: EMBRAPA, 2018. 356p.

ESTRADA, M. J. T. **Caracterização geológica-geotécnica do sitio urbano de Monte Carmelo e entorno – MG**. 2023. 80 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geologia) – Universidade Federal de Uberlândia, Monte Carmelo, 2023.

FRANÇA JUNIOR, P; PELOGGIA, A.U.G. Os conceitos de antropoceno e tecnógeno e o estudo da humanidade como agente geomorfológico. In: FRANÇA JUNIOR, P. (Org.) **Geomorfologia do tecnógeno e antropoceno: perspectivas teóricas e estudos aplicados em ambientes urbanos**. Ituiutaba: Barlavento, 2020, 426 p.

FIGUEIREDO, E.; FIGUEIREDO, S. **Planos de Voo Semiautônomos para Fotogrametria com Aeronaves Remotamente Pilotadas de Classe 3**. Embrapa - Circular Técnica, 75. Rio Branco/AC, 2018. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1100860/1/26750.pdf>.

FRÓES, R. Entenda o que são as voçorocas que formam crateras e abismos de terra no Maranhão. **Portal G1**, Maranhão, 02 mai. 2023. Disponível em: <<https://g1.globo.com/ma/maranhao/noticia/2023/05/02/entenda-o-que-sao-as-vocorocas-fenomeno-que-provoca-abismos-de-terra-e-ameaca-engolir-cidade-no-maranhao.html>>. Acesso: 15 de maio de 2023.

GOOGLE. **Google Earth** (*software*). Versão 7.3.4.

GRAMANI, M. F.; CAVALHIERI, C. P.; SILVA, A. P. S.; MANTOVANI, J. C.; CAROU, C. B. O Uso de Drone Multirrotor de Pequeno Porte para Diagnóstico e Monitoramento de Acidentes Geológicos. In: Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica Geotecnia e Desenvolvimento Urbano, 19, 2018, Salvador. **Anais [...]**. São Paulo: ABMS, 2018. P. 1-11.

GUERRA, A. J. T. O início do processo erosivo. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. **Erosão e Conservação dos solos: Conceitos, Temas e Aplicações**. 6ª Ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010. p. 17-55.

GUERRA, A. J. T. Técnicas e métodos utilizados no monitoramento dos processos erosivos. **Sociedade & Natureza**, v. 8, n. 15, p. 15-19, 1996. DOI: 10.14393/SN-v8-1996-61708.

GUERRA, A.T; GUERRA, A.J.T. Novo **Dicionário Geológico-Geomorfológico**. 8ª. Ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 652p., 2010.

GUERRA, A. J. T. Processos erosivos nas encostas. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. **Geomorfologia uma atualização de bases e conceitos**. 10ª Ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011. p. 149-209.

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: **Processos erosivos e recuperação de áreas degradadas**. São Paulo: Editora Oficina de Textos, 2017. p. 7-30.

HERNANI, L. C. *at al.* Erosão e seu Impacto In: MANZATTO. C. V.; FREITAS JUNIOR. E.; PERES. J. R. R. **Uso Agrícola dos Solos Brasileiros**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002. p. 46-60.

IBGE, INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual Técnico de Geomorfologia**. 2ª ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2009. 182 p.

IBGE, INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual Técnico de Pedologia**. 3ª ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2015. 430 p.

INMET, INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Nota técnica: 004/17. Brasília: INMET, 2017.

JULIAN, C.; NUNES. J. O. R. Uso de vant e geoprocessamento para cálculo de solo erodido em voçoroca localizada no distrito de Amadeu Amaral. Marília/SP - Brasil. **Revista**

**Brasileira de Geomorfologia**, v. 21, n. 4, p. 835-845, 2020. DOI <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v21i4.1818>.

MOTTA, P.E.; BARUQUI, A.M.; SANTOS, H.G. **Levantamento de reconhecimento de média intensidade dos solos da região do Alto Paranaíba, Minas Gerais**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2004, 238 p.

MOURA, R. V.; SANTOS, A. L. F.; JUNIOR, L. R. A. Mapeamento da Voçoroca em Anápolis-GO por Meio de Geotecnologias. **Brazilian Applied Science Review**, v. 5, n. 2, p. 1002-1012, 2021. DOI: 10.34115/basrv5n2-0.

NOVAIS, G.T. **Caracterização climática da mesorregião do Triângulo Mineiro/Alto Parnaíba e do entorno da Serra da Canastra (MG)**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Uberlândia, 2011, 175 p.

OLIVEIRA, D. R. de; CICERELLI, R. E.; ALMEIDA, T. de; MAROTTA, G. S. GERAÇÃO DE MODELO DIGITAL DO TERRENO A PARTIR DE IMAGENS OBTIDAS POR VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO. **Revista Brasileira de Cartografia**, [S. l.], v. 69, n. 6, 2017. DOI: 10.14393/rbcv69n6-44316.

PELOGGIA, A. U. G. *et al.* Processos de formação de terrenos e relevos tecnogênicos correlativos à urbanização: Análise morfoestratigráfica e geoambiental aplicada na bacia do córrego água branca, Itaquaquecetuba (RMSP). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 19, n. 2, 2018.

PELOGGIA, A.U.G. Conceitos fundamentais da análise de terrenos antropogênicos: o estudo da agência geológico-geomorfológica humana e de seus registros. **Revista do Instituto Geológico**, São Paulo, 40 (1), 1-17, 2019.

POWERS, M. C. A new roundness scale for sedimentary particles. **Journal of Sedimentary Petrology**, v. 23, p. 117-119, 1953.

PRUSKI, F. F. Aplicação de modelos físico-matemáticos à engenharia de conservação de água e solo. In: OLIVEIRA, T. S. *et al.* **Agricultura, Sustentabilidade e o Semi-Árido**. 1ª. ed. Fortaleza – CE: Universidade Federal do Ceará – Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v. 1, p. 233 – 296.

RADEMANN, L. K.; TRENTIN, R. Novas geotecnologias aplicadas ao estudo geomorfológico: exemplo de morfometria da Voçoroca do Areal, Cacequi - RS. **Geotextos (Online)**, v. 16, p. 209-230, 2020.

RODRIGUES, S.C.; AUGUSTIN, C.H.R.R.; NAZAR, T.I.S.M. Mapeamento Geomorfológico do Estado de Minas Gerais: uma proposta com base na morfologia. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.24 n.1, 2023.

SANTOS, R. D.; LEMOS, R. C.; SANTOS, H. G.; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. Sociedade Brasileira de Ciência de Solo – SIBCs, 5ª ed. 2005.

SILVA, B. F.; SILVEIRA, A.; BARBOSA, M. I. M. A cobertura natural e o uso da terra na bacia hidrográfica do Ribeirão do Brejão, Triângulo Mineiro: relações com os componentes do meio físico. **Revista Cerrados (Unimontes)**, v. 21, p. 348-376, 2023.

SILVA, M. M.; LUPINACCI, C. M. Análise de variáveis morfométricas da Alta Bacia do Ribeirão da Boa Vista – Corumbataí (SP): subsídio ao planejamento ambiental de paisagem rural em escala de detalhe.. **Geografia**, Rio Claro – SP. v. 46, n. 1, 2021b. ISSN: 1983-8700.

SILVEIRA, A.; CUNHA, C. M. L. Caracterização Geomorfológica em Área de Expansão Urbana: uma Contribuição ao Planejamento Territorial. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 13, p. 235-244, 2012.

PEREIRA, J. S. **O protagonismo da ciência geográfica nos estudos de erosão por voçorocamento**. Leia Cientista, Portal Comunica UFU, 25 nov. 2020. Disponível em <<https://antigo-comunica.ufu.br/noticia/2020/11/o-protagonismo-da-ciencia-geografica-nos-estudos-de-erosao-por-vocorocamento>> Acesso 14 de agosto de 2022.

PIX4D. Step 1: Before Starting a Project – 1. Designing the Image Acquisition Plan: a. Selecting the Image Acquisition Plan Type – PIX4Dmapper. PIX4D Support. Disponível em: [<https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/202557459-Step-1-Before-Starting-a-Project-1-Designing-the-Image-Acquisition-Plan-a-Selecting-the-Image-Acquisition-Plan-Type-PIX4Dmapper>]. Acesso 15 de outubro de 2023

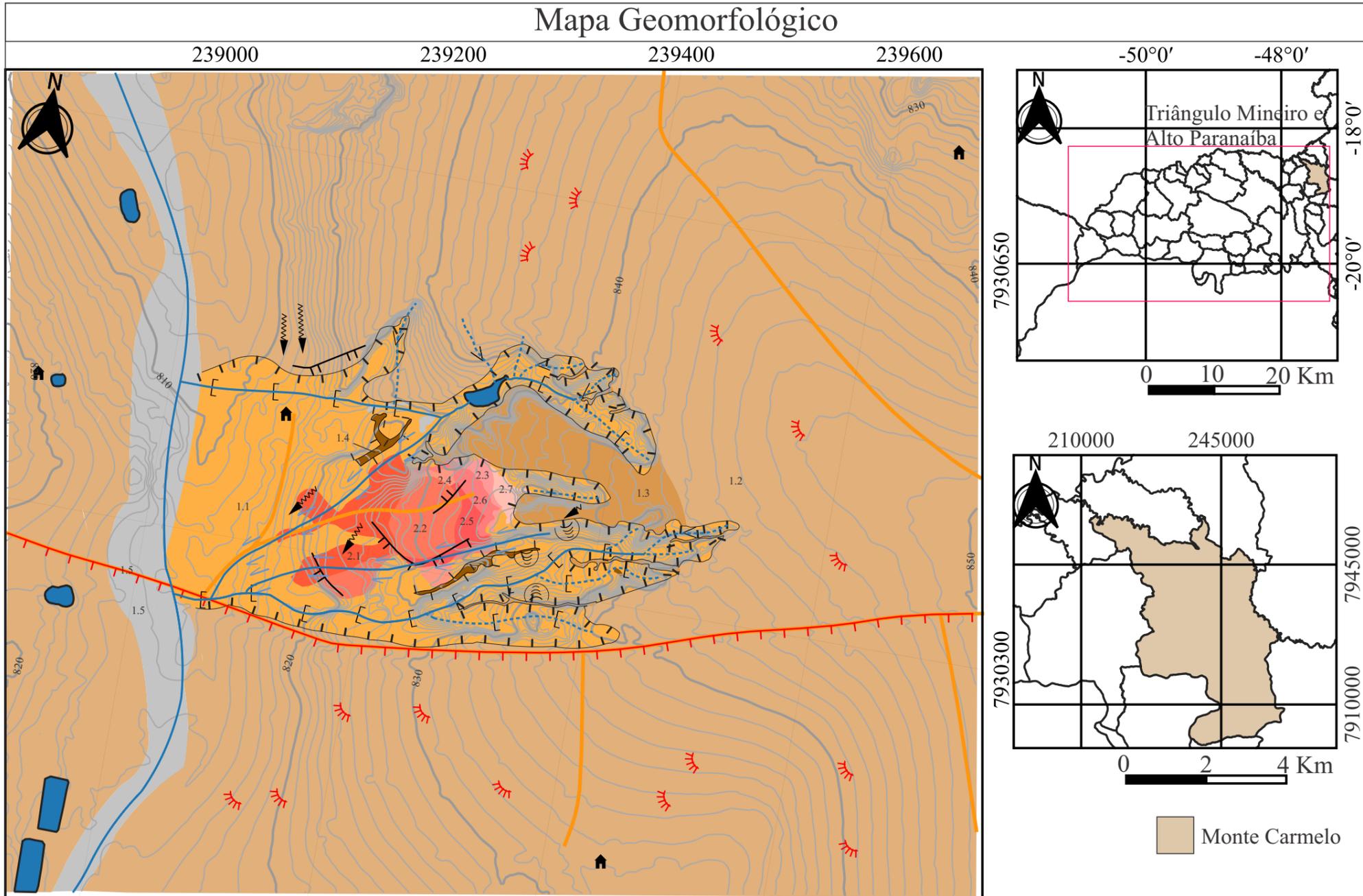
TRICART, J. **Principes et Méthodes de la Geomorphologie**. Paris: Masson et cie, 1965.

VERSTAPPEN, H. T.; ZUIDAN, R. A. van. **ITC System of geomorphological survey**. Manual ITC Textbook, Netherlands: Enschede, 1975, v. 1, cap. 8.

ZINCK, J.A.; METTERNICHT, G.; BOCCO, G.; DEL VALLE, H.F. (Edit.) **Geopedology: an Integration of Geomorphology and Pedology for Soil and Landscape Studies**. Springer International Publishing Switzerland. 2016.

APÊNDICE A: MAPA GEOMORFOLÓGICO

Mapa Geomorfológico



0 10 20 m  
1:7.000

**Legenda**

1. Compartimentos da Voçoroca

- 1.1 Área Dissecada
- 1.2 Vertentes que se dirigem à voçoroca
- 1.3 Formas residuais conectadas às vertentes
- 1.4 Formas residuais não conectadas às vertentes
- 1.5 Aptf

2. Depósitos Tecnogénicos/Cenários

- 2.1 De 07/2016
- 2.2 De 04/2017
- 2.3 De 09/2017
- 2.4 De 03/2018
- 2.5 De 09/2018
- 2.6 De 04/2019
- 2.7 De 06/2020 até 2024

3. Águas Correntes e Modelados de Entalhes

- Canal Fluvial
- Canal Pluvial
- Vale Encaixado em 'V'
- Vale de Fundo Plano

4. Dados Topográficos

- Curvas Mestras
- Curvas de Nível

6. Modelados Antrópicos

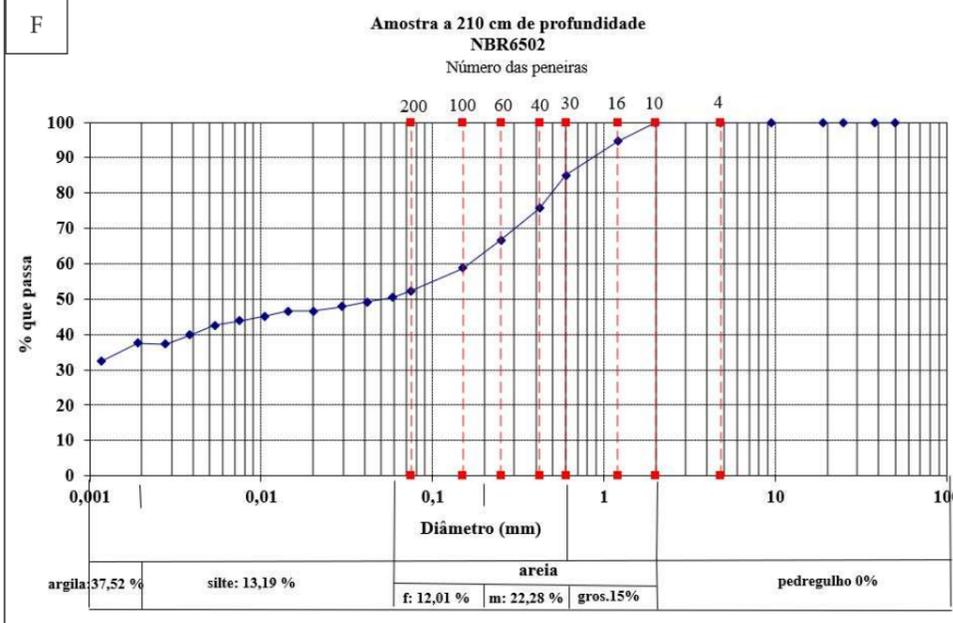
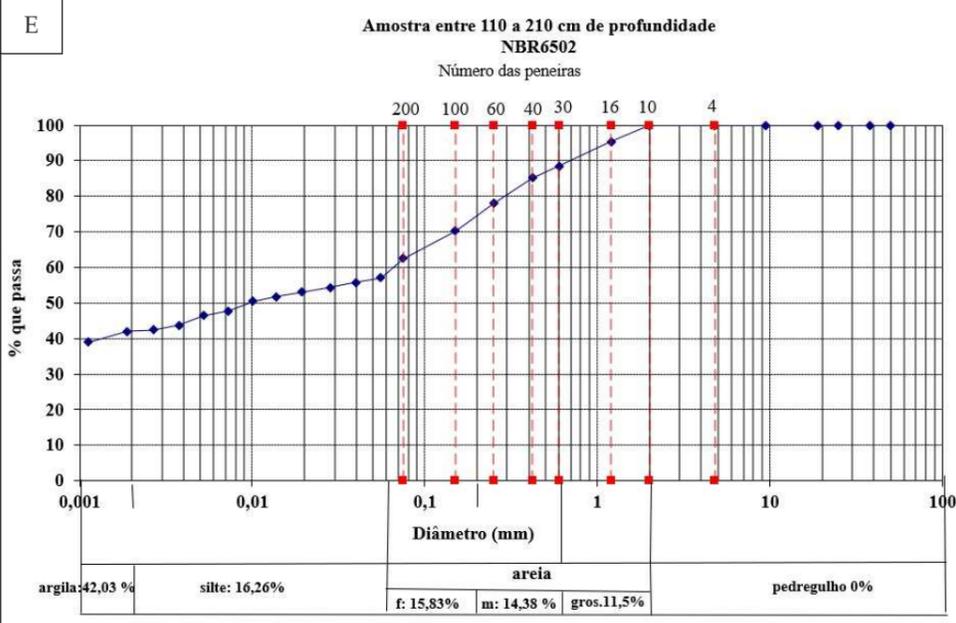
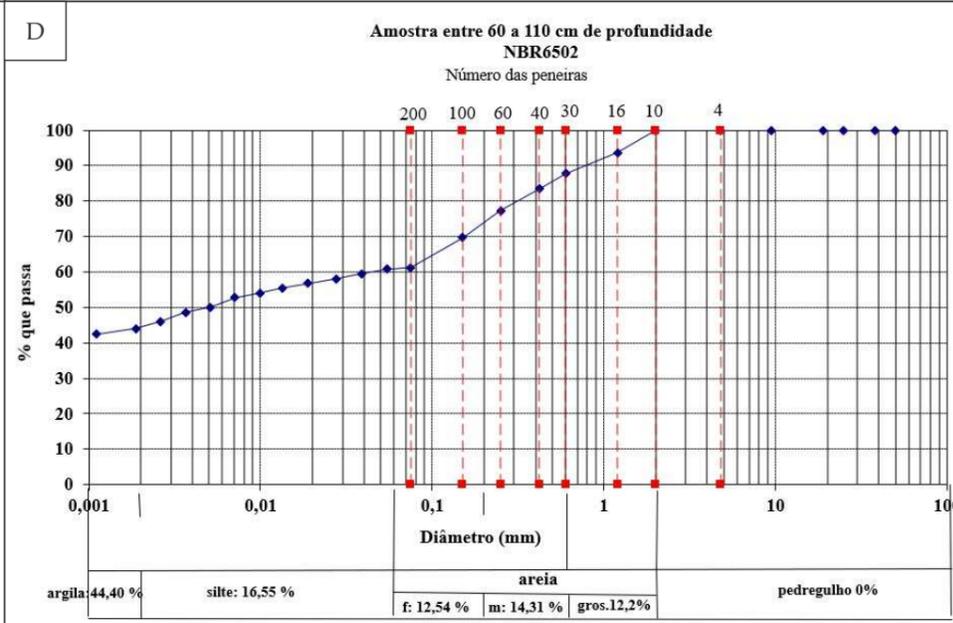
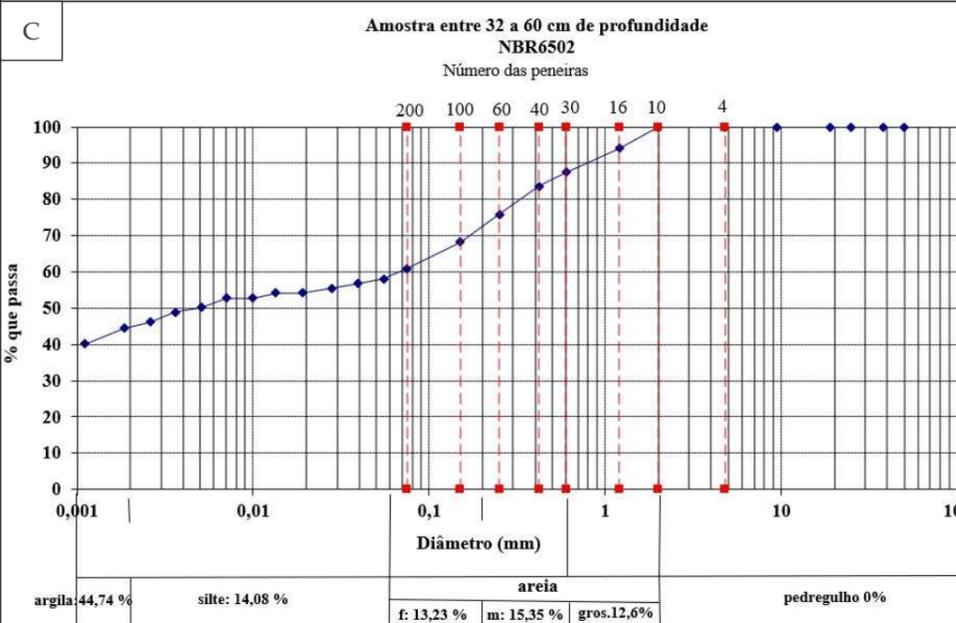
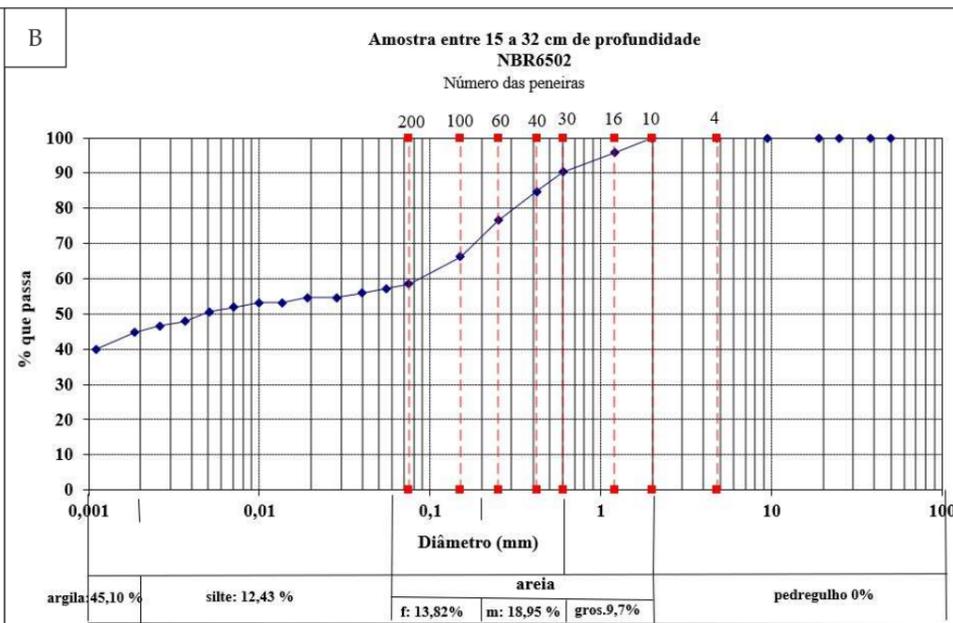
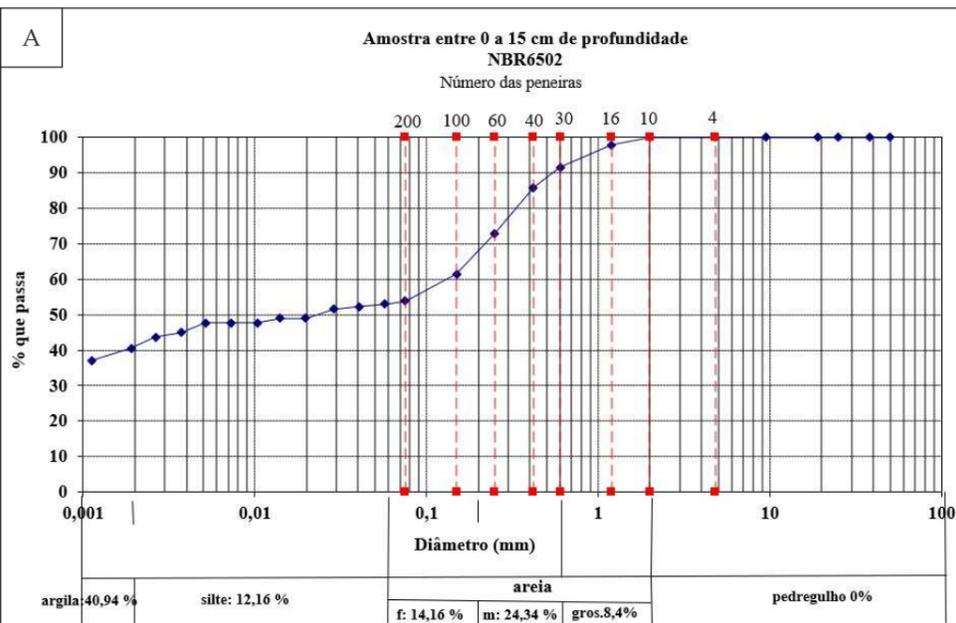
- Represamento
- Estradas
- Cortes de Estrada
- Terraços Agrícolas
- Drenagens Originais Aterradas
- Edificação Rural

5. Feições Denudativas

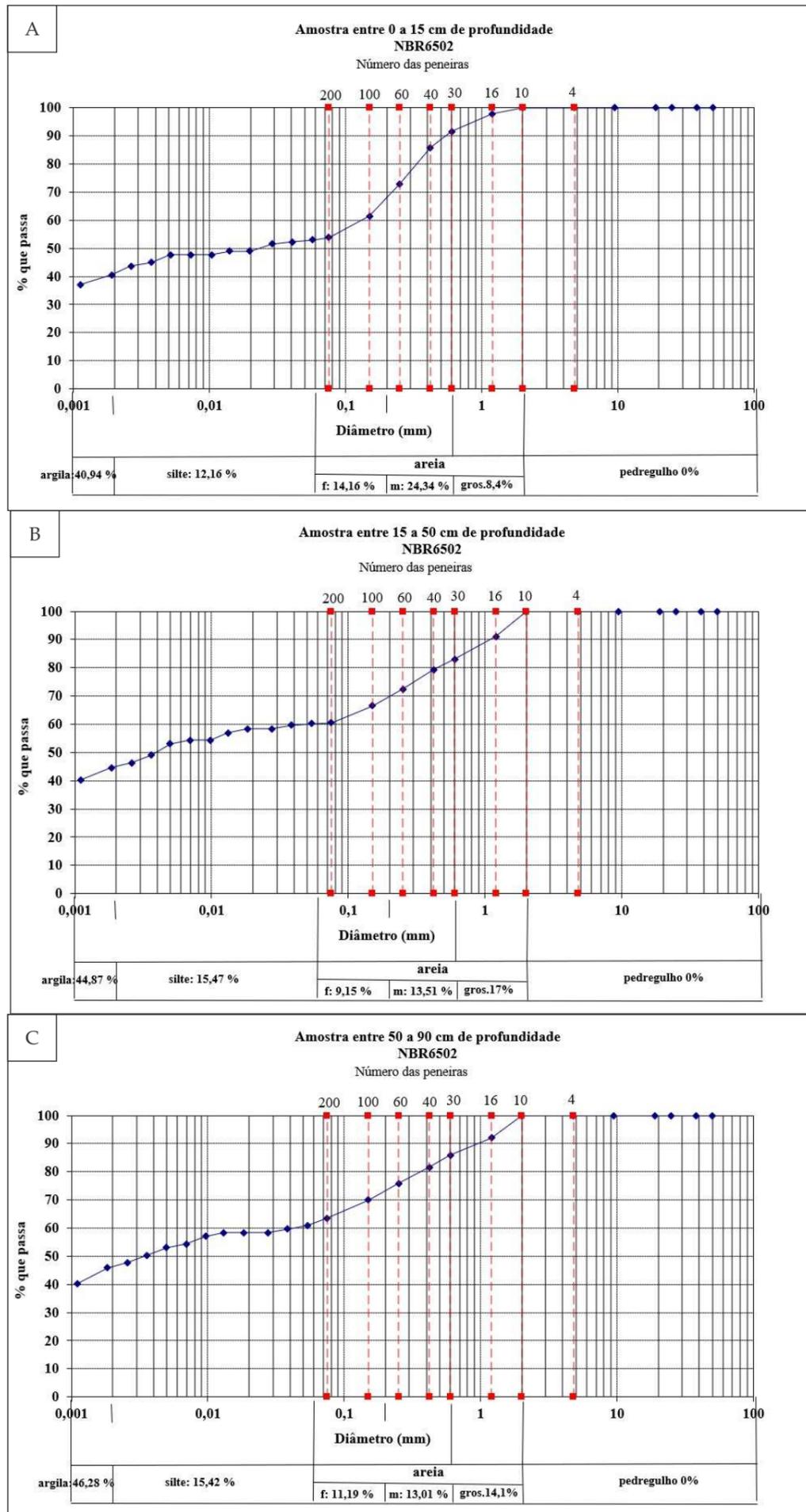
- Rebordo Erosivo
- Antigo Rebordo Erosivo
- Depósito de Borda
- Ruptura Topográfica

Sistemas de Coordenadas: Universal Transversa de Mercator.  
 DATUN: SIRGAS 2000.  
 FUSO: 23S  
 Fontes: Ortomosaico gerado com as fotos adquiridas, pelo aerolevanteamento com o drone DJI Mavic Pro; Google Earth Pro.  
 Autor: Mizumura, W. T.  
 Orientador: Silveira, A.  
 Colaboradores: Petronzio, J. A. C. Andrade, S. L.  
 Ano: 2024.

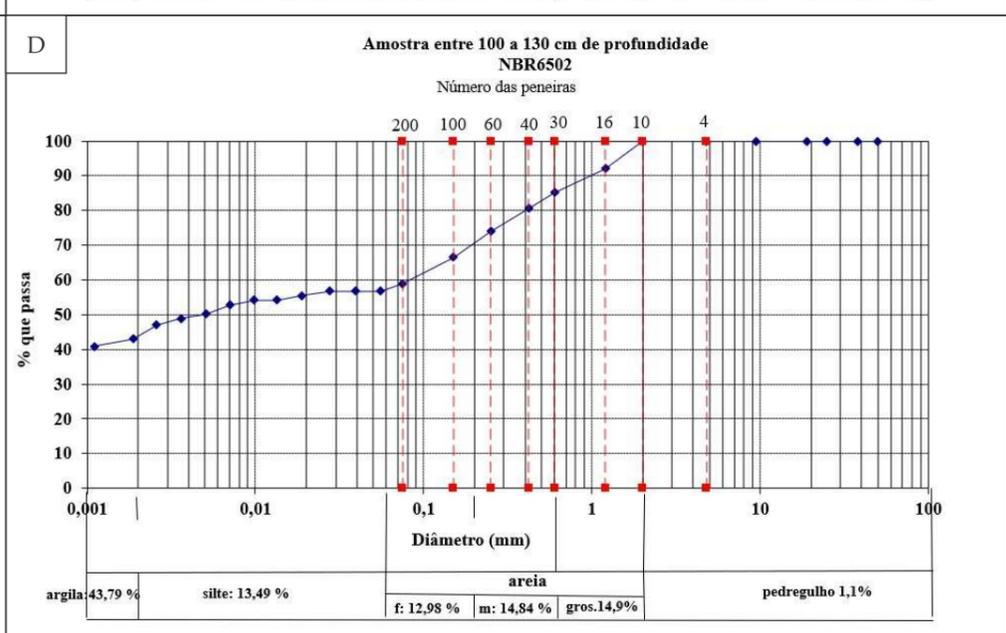
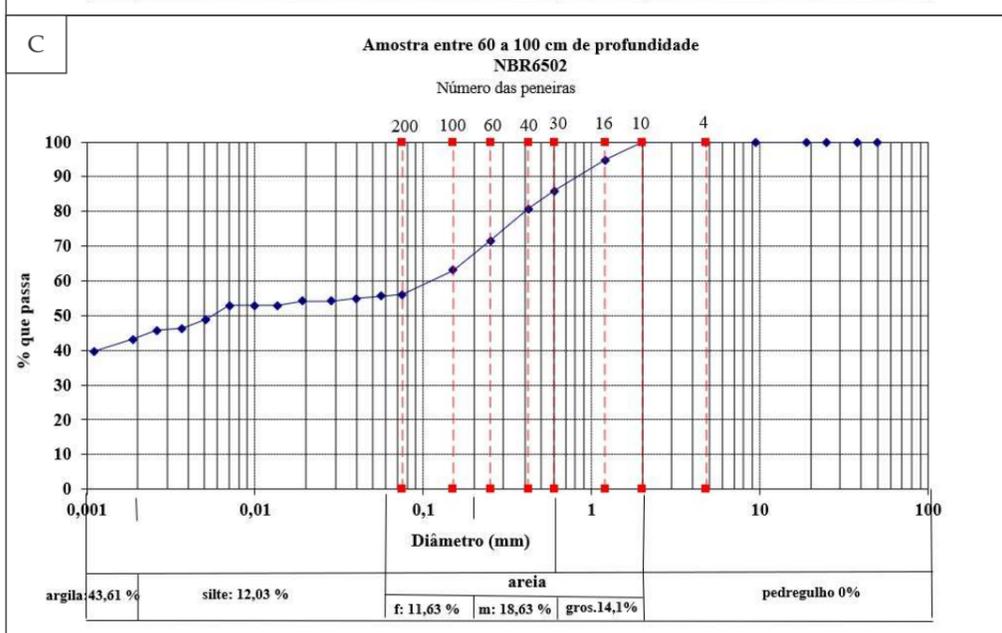
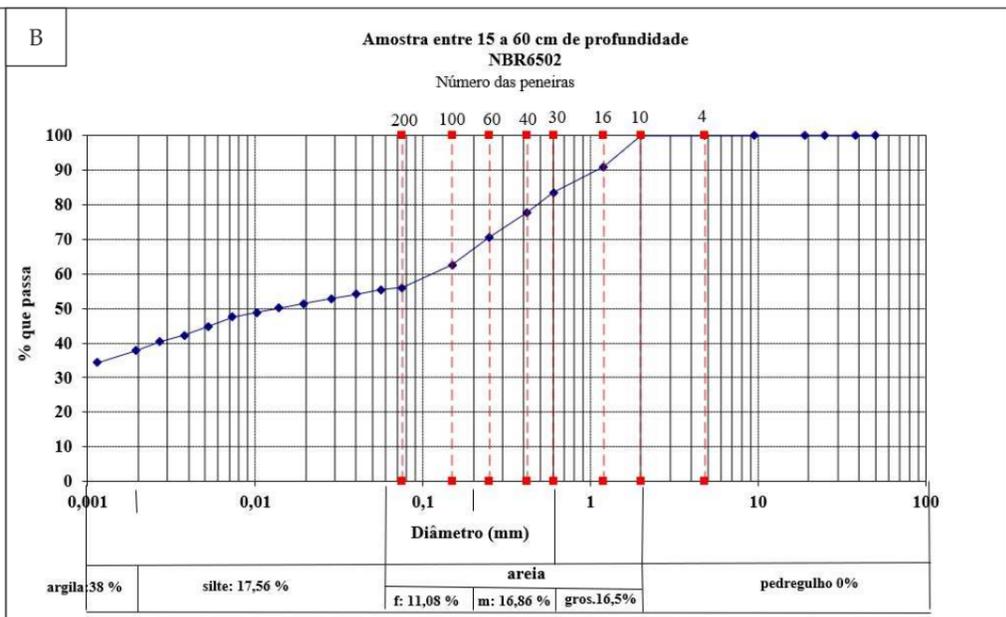
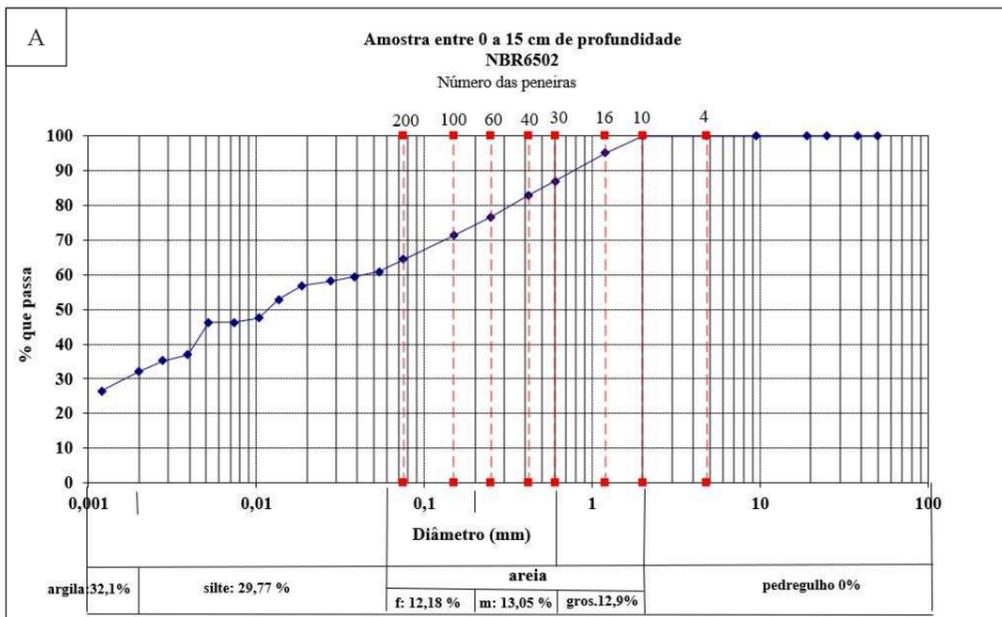
APÊNDICE B: CURVAS GRANULOMÉTRICAS DO PERFIL TCC2\_P1 - INTERIOR DA VOÇOROCA



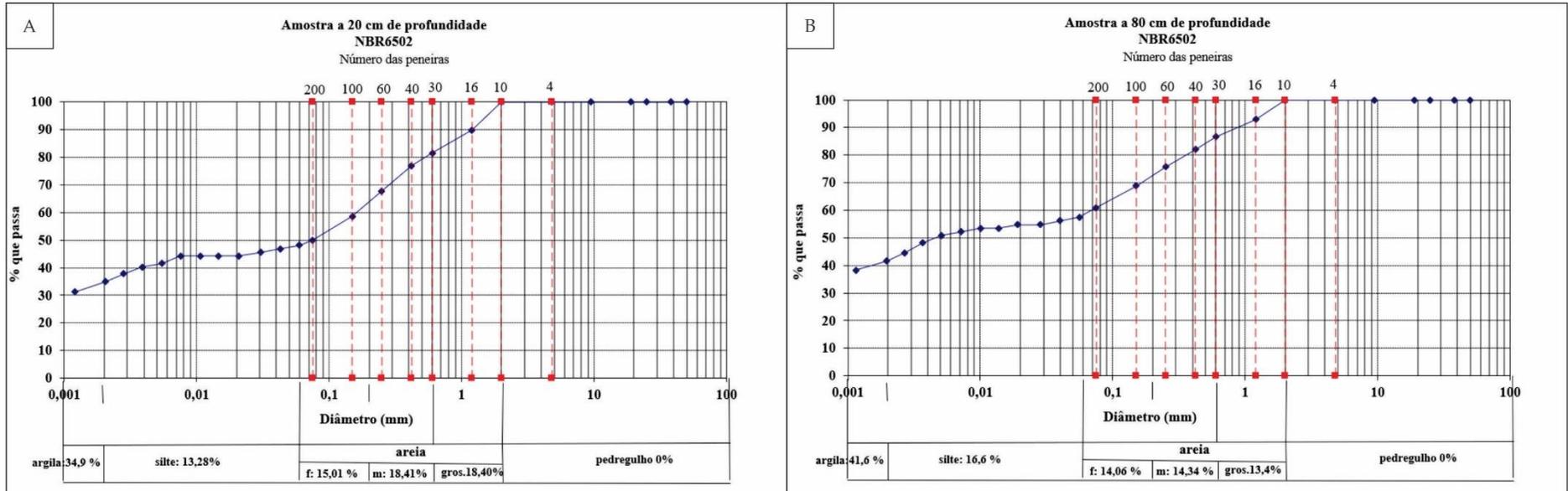
APÊNDICE C: CURVAS GRANULOMÉTRICAS DO PERFIL TCC2\_P2 - SETOR DE ALTA VERTENTE



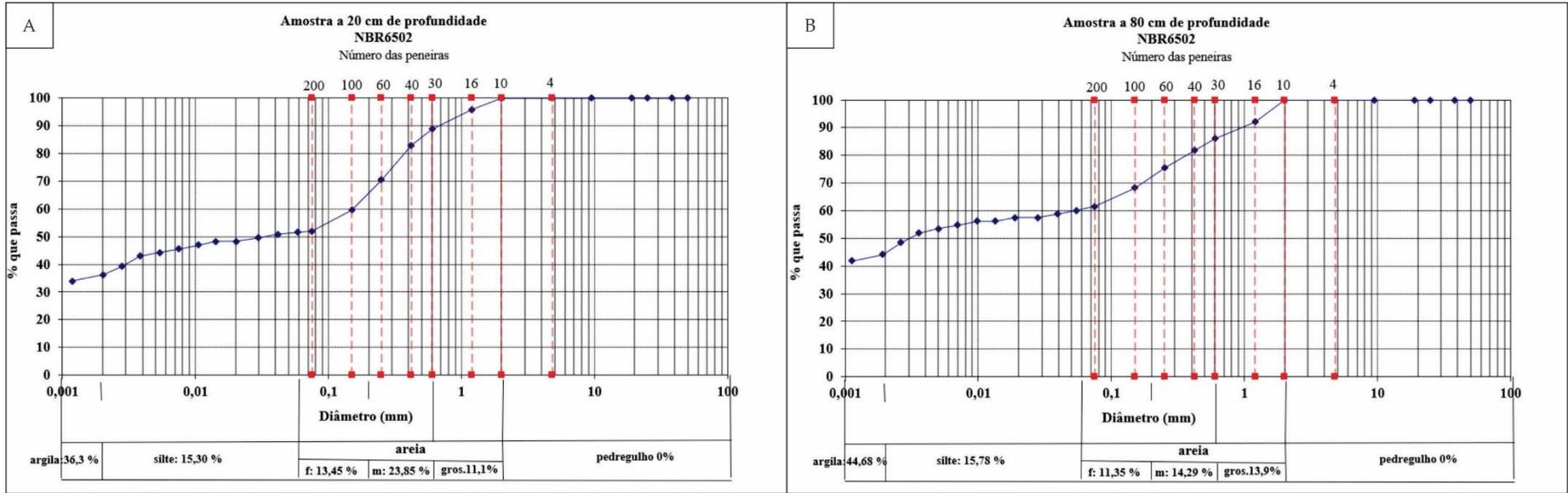
APÊNDICE D: CURVAS GRANULOMÉTRICAS DO PERFIL TCC2\_P3 - BAIXA VERTENTE



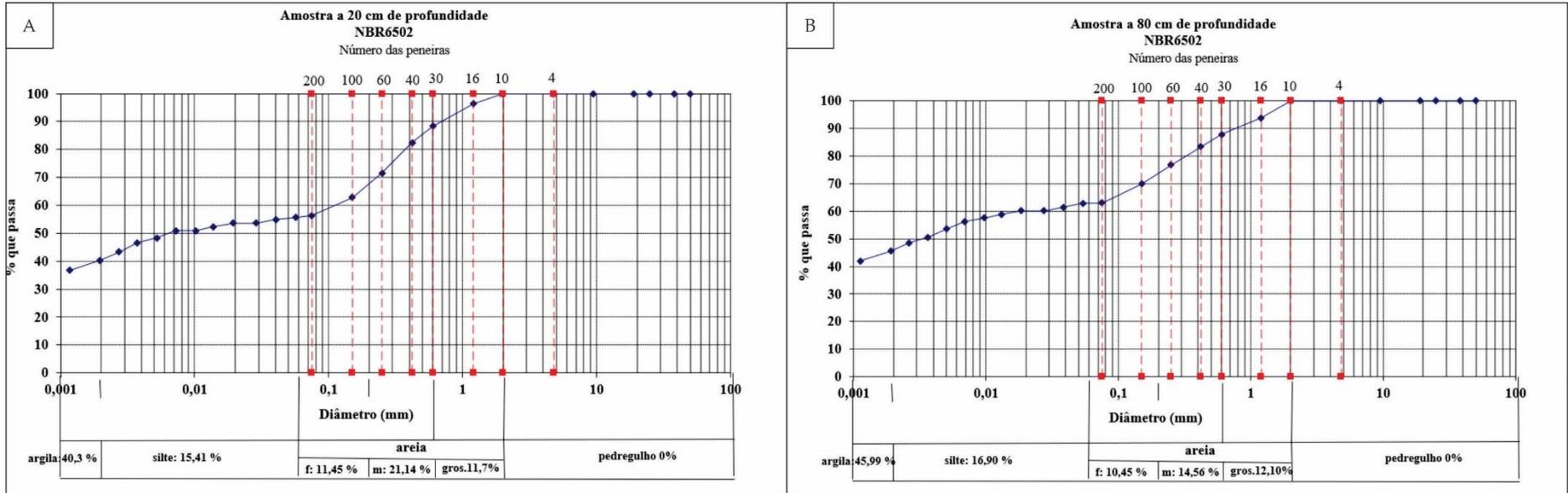
**APÊNDICE E: CURVA GRANULOMÉTRICA DA AMOSTRA T2P5 – SETOR DE TOPO.**



**APÊNDICE F: CURVA GRANULOMÉTRICA DA AMOSTRA T2P6 – SETOR DE ALTA VERTENTE.**



**APÊNDICE G: CURVA GRANULOMÉTRICA DA AMOSTRA T2P7 – SETOR DE MÉDIA VERTENTE.**



**APÊNDICE H: CURVA GRANULOMÉTRICA DA AMOSTRA T2P8 – PROXIMIDADE AO REBORDO EROSIVO.**

