

## **Caracterização Morfométrica da Voçoroca do Mombuca (Monte Carmelo-MG): Aquisição e Tratamento de Imagens Aeronave Remotamente Pilotada (ARP).**

Toshiaki Mizumura, W. (UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA) ; Silveira, A. (UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA) ; Abreu Crosara Petronzio, J. (UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA) ; Lacerda de Andrade, S. (UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA)

### **RESUMO**

Imagens adquiridas a partir de Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARP) tornaram-se instrumentos relevantes nos estudos geomorfológicos de voçorocas. Na região de Monte Carmelo (MG) são observadas quantidades significativas de voçorocas, principalmente em área de rochas e regolitos vinculadas ao Complexo Monte Carmelo. O trabalho teve o objetivo de caracterizar a morfometria da voçoroca do Mombuca, localizada na periferia da área urbana de Monte Carmelo. A partir das imagens coletadas e tratadas a partir da ARP DJI Mavic Pro foram elaborados os mapeamentos de Hipsometria e Declividade, gerados por meio do Modelo Digital de Terreno (MDT). Os resultados permitiram o reconhecimento de 3 setores para a área onde se instala o voçorocamento estudado: topo e alta vertente convexizada; vertente erodida e planície fluvial. Dada a sua proximidade com a área urbanizada, a voçoroca tem forte influência antrópica, com registro de depósito tecnogênicos em seu interior, e usos destinados agropecuária.

### **PALAVRAS CHAVES**

*Drone ; Erosão hídrica; Solos frágeis; Complexo Monte Carmelo; Planalto Dissecado do Paranaíba*

### **ABSTRACT**

Images acquired from Remotely Piloted Aircraft (RPA) have become relevant instruments in geomorphological studies of gullies. In the region of Monte Carmelo (MG) significant amounts of gullies are observed, mainly in the area of rocks and regoliths linked to the Complexo Monte Carmelo. The objective of this paper was to characterize the morphometry of the Mombuca gully, located on the outskirts of the urban area of Monte Carmelo. From the images collected and processed from the ARP DJI Mavic Pro, the Hypsometry and Slope mappings were elaborated, generated through the Digital Terrain Model (DMT). The results allowed the recognition of 3 sectors for the area where the studied gully is installed: top and high convex slope; eroded slope and fluvial plain. Given its proximity to the urbanized area, the gully has a strong anthropic influence, with vestiges of technogenic deposits in its interior, and uses for husbandry.

### **INTRODUÇÃO**

Solos frágeis apresentam elevado risco de degradação, como ocorre nos locais com deslizamento de encostas, compactação e erosão hídrica e eólica (ALBUQUERQUE, 2015). De acordo com Guerra (2011), a erosão é um processo de remoção de material pelas águas das chuvas, ocorrendo com grande frequência no Brasil devido a sua condição climática tropical. As voçorocas são erosões hídricas lineares que ilustram a intensidade dos processos pluviais, gerando estruturas de grande tamanho, largura e profundidade (GUERRA, 2010). Tradicionalmente a análise e monitoramento de voçorocas são feitos por meio de estacas que permitem acompanhar o processo de evolução (GUERRA, 1996). Há pouco tempo também passaram a ser investigadas a partir do uso de imagens adquiridas por Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARP), popularmente conhecidas como drones. Figueiredo e Figueiredo (2018) apresentaram circular técnica com etapas e procedimentos para a realização de voo com ARP e aquisição de imagens obtidas pela fotogrametria digital. Julian e Nunes (2020) demonstraram a aplicação de ARP e do geoprocessamento para o cálculo de perdas de solos em voçoroca. O artigo de Moura et al. (2021) destaca o processamento digital das aerofotografias adquiridas por ARP, bem como a produção de MDS, MDT, ortomosaico e as curvas de níveis do terreno. 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 em um processo de degradação nas zonas rurais e urbanas, promovendo a diminuição de áreas destinadas à agropecuária, o desabamento de casas em cidades e perdas significativas de solos. O trabalho de Barbosa et al. (2018) registrou em mapeamento geomorfológico na região de Monte Carmelo (MG) a presença de formas denudativas como sulcos erosivos, ravinamentos e voçorocamentos, sobretudo em áreas do Complexo Monte Carmelo, constituído por rochas neoproterozoicas, com destaque aos granitos com intercalações de anfíbolitos (CODEMIG, 2017). Assim, o trabalho delimitou como área de estudo a voçoroca do Mombuca, que fica localizada em área rural nas imediações do sítio urbano de Monte Carmelo (Figura 1), à aproximadamente 2,5 Km da malha urbana, com área de 0,6 Km<sup>2</sup>. Regionalmente, a área se localiza nos Planaltos Dissecados do Alto Paranaíba (RODRIGUES et al., 2023), posicionados na Faixa de Dobramentos Brasília (CODEMIG, 2017), com solos marcados por Latossolos, Cambissolos e Neossolos (MOTTA et al., 2004) e tipo climático Tropical Semi-Úmido (NOVAIS, 2011). (FIGURA 1) Os Trabalhos de campo realizados na área de estudo permitiram evidenciar intensos processos erosivos lineares associados à fragilidade da cobertura superficial, marcada por solos e saprolitos suscetíveis à dinâmica físico-hídrica, em condições atuais de clima tropical. Considerando que o levantamento de imagens aéreas com ARP possibilita a obtenção de imagens de detalhe e boa qualidade em um curto período de tempo, com aplicações para a análise e o monitoramento de voçorocas, o trabalho propôs a aquisição e tratamento de imagens ARP em voçoroca localizada na periferia da cidade de Monte Carmelo, que se constitui em área ambientalmente degradada. O objetivo consiste, portanto, em caracterizar do ponto de vista morfométrico a voçoroca do Mombuca, com a elaboração dos mapas de Hipsometria e Declividade gerados a partir de imagens aéreas com ARP.

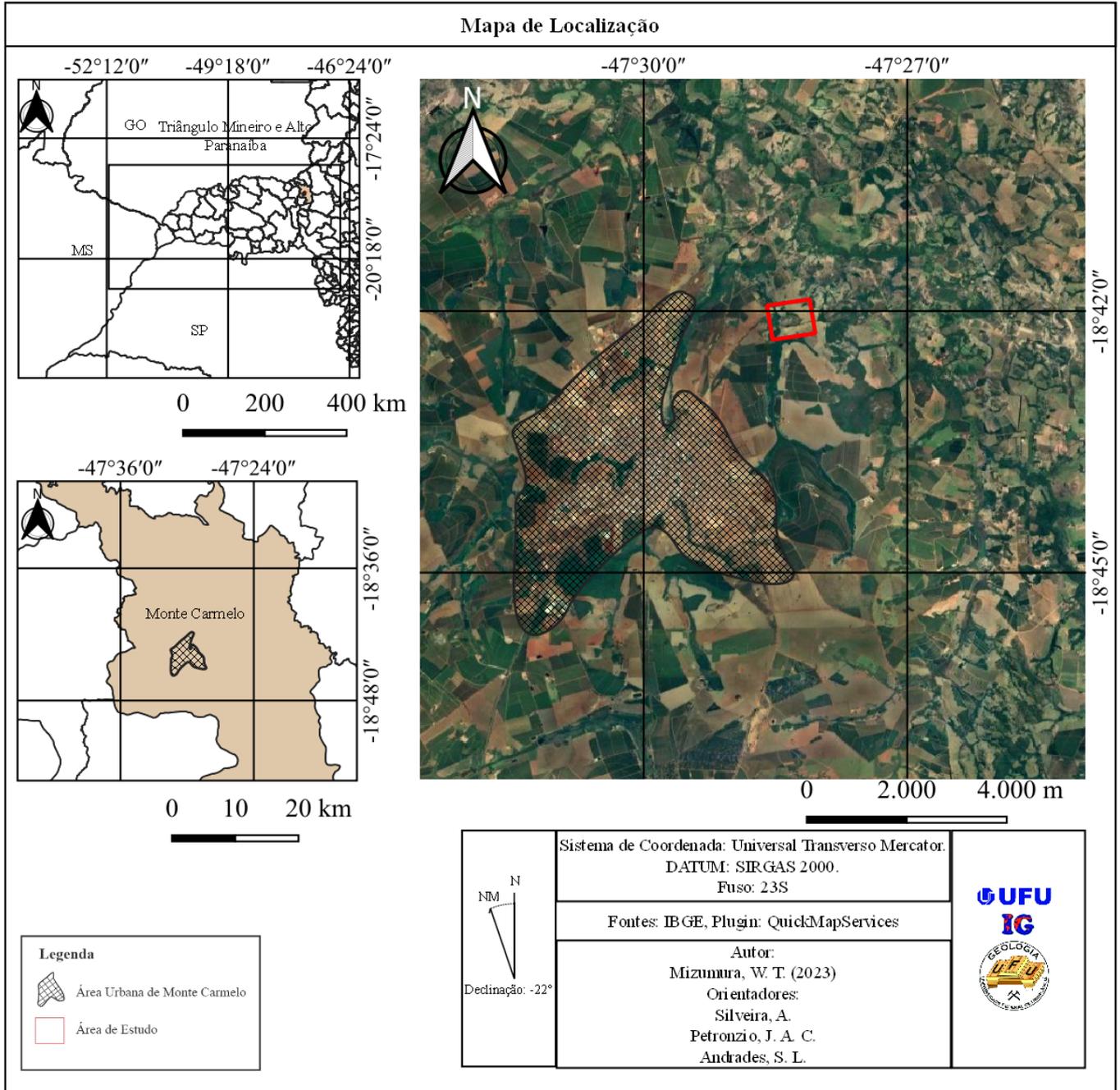
## **MATERIAL E MÉTODOS**

O desenvolvimento deste trabalho foi realizado em três etapas: Etapa Pré-Campo: Nesta etapa foi realizado o levantamento bibliográfico de metodologias de mapeamentos morfométricos organizados a partir de imagens aéreas com ARP. Também foi investigado do ponto de vista conceitual o processo de formação de voçorocas. A área alvo, no caso a voçoroca do Mombuca foi delimitada através do uso do Google Earth. Por meio do aplicativo DroneDeploy e com a utilização do KML, gerado no Google Earth foi planejado 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, sendo utilizado as seguintes configurações: altitude em relação ao solo de 100 metros; sobreposição das fotos de 75% para a sobreposição frontal e 65% para a sobreposição lateral. O ângulo de câmera utilizado para o levantamento foi de 90° em relação ao equipamento, posição que deixa a câmera completamente voltada ao solo. Etapa de Campo: Nesta etapa foi realizada a tomada de fotos com o drone, ARP DJI Mavic Pro, fazendo uso das configurações descritas acima. As fotos foram tiradas de modo automático pelo aplicativo DroneDeploy, gerando um total de 785 fotos, as quais foram coletadas no dia 19 de outubro de 2022, às 11h. As condições de tempo eram favoráveis, com boa incidência de luz solar e pequena nebulosidade. Etapa Pós-Campo: Esta etapa foi dividida em dois momentos. O primeiro conferiu ao tratamento e ao processamento das imagens fotografadas com o ARP por meio de software específicos para a realização deste tipo de processamento, as quais foram sobrepostas e integradas em uma nova imagem, compondo o ortomosaico 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). O segundo momento envolveu a geração dos produtos cartográficos morfométricos derivados do MDT, que filtra os objetos presentes no terreno, apresentando somente as cotas da superfície por meio de classes, gerando assim: a base cartográfica, na escala 1:7.000 e equidistância entre as curvas de nível de 1m; o mapa Hipsométrico, com classes altimétricas variando em cinco metros (MOURA et al., 2021), e; o mapa de Declividade, com a inclinação do terreno expresso em porcentagem. Todos esses produtos foram gerados no software livre QGis.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

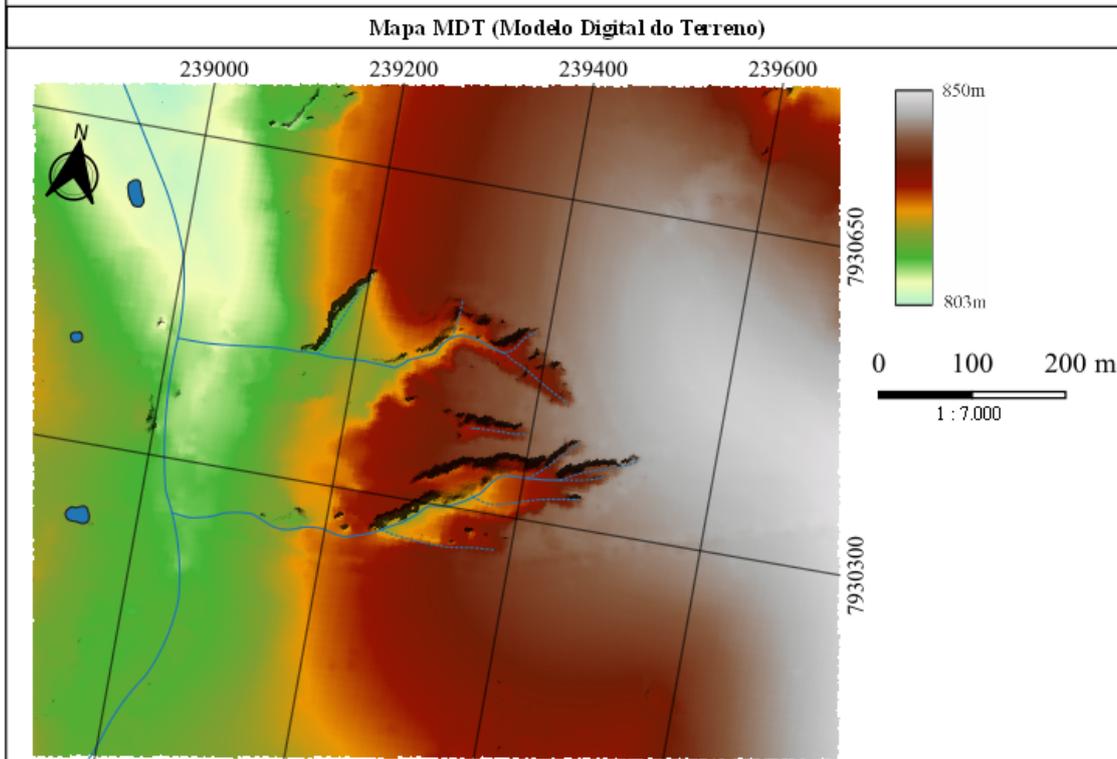
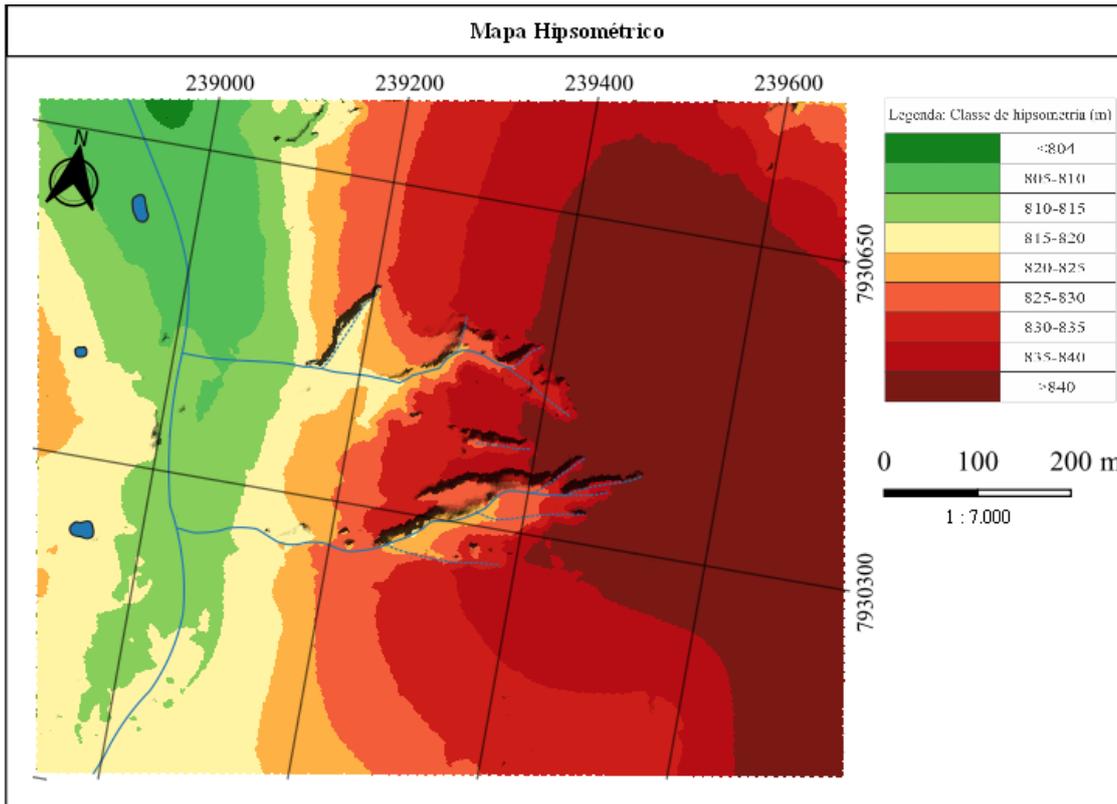
Conforme mencionado foram gerados para a voçoroca do Mombuca os mapeamentos de Hipsometria (Figura 2), MDT (Figura 2) e Declividade (Figura 3), a partir da aquisição e tratamento das imagens adquiridas com a ARP. (FIGURA 2) (FIGURA 3) Observa-se que a voçoroca do Mombuca é constituída por duas frentes erosivas, posicionadas em vertente que se dirige a um canal fluvial, afluente do Córrego Mombuca, com fluxo de S para N, o qual deságua à jusantes, no rio Perdizes. Essas duas frentes erosivas apresentam canais fluviais e pluviais conectados a planície do canal fluvial afluente do Córrego Mombuca. A partir dos mapeamentos organizados e dos trabalhos de campo foram reconhecidos três setores para a área de voçorocamento, a saber: topo e alta vertente convexizada; vertente erodida (voçorocamento) e planície fluvial. O setor de topo e alta vertente convexizada (Figura 3 imagem 1) apresenta classe hipsométrica dominante superior à 840 metros, refletidas também no MDT em cor cinza, que atinge 850 metros. A declividade predominante no topo está entre as classes 0-2 e 2-5%, ao passo que na alta vertente a classe principal se acentua para 5-12%. Encontram neste setor perfis de solos relativamente espessos e com textura média, utilizados pela agricultura de grãos e agropecuária. Destaca-se também a presença significativa de blocos de granito compondo afloramento do Complexo Monte Carmelo no topo. O setor onde se instala a feição erosiva propriamente dita (vertente erosiva) posiciona-se em segmentos da alta e baixa vertente, e, predominantemente na média vertente (Figura 3 imagem 2). O setor é marcado pela presença de dois canais fluviais que recebem canais pluviais que partem do rebordo erosivo do voçorocamento. Comportam-se como as duas frentes principais erosivas. Neste setor as classes hipsométricas variam principalmente entre as cotas 815 a 840, o que demonstra um desnível altimétrico da feição erosiva em 25 metros. Em relação ao topo, as classes de declividade se acentuam consideravelmente neste setor (12-30, 30-45 e maior que 45%). Destaca-se que entre os dois canais principais do voçorocamento foi encontrado um terceiro canal, porém, hoje, não conectado a nenhum dos canais principais. Em campo, observou-se que este terceiro canal foi preenchido (entulhado) por depósitos tecnogênicos (Figura 3, imagem 3, destaque a seta vermelha), o que refletiu nos valores registrados pelos 3 mapeamentos aprestados (Figuras 2 e 3). Na área preenchida por esses depósitos as classes de hipsometria e MDT se elevam, ao passo que a de declividade reduz, contrariando a lógica de entalhe da rede de drenagem no voçorocamento. Em campo, também se observou que este canal entulhado se conectava anteriormente ao canal superior da imagem do voçorocamento. Ainda, complementa-se que este setor tem uso destinado à pecuária bovina. O setor planície fluvial na área do voçorocamento posiciona-se às margens do canal fluvial de orientação S-N que deságua no Córrego Mombuca (Figura 3 imagem 4). É nesta planície que os dois canais principais do voçorocamento deságuam suas águas e sedimentos oriundos da erosão remontante. No setor são encontradas as classes hipsométricas de 805-810, 810-815 e 815-820 metros. As declividades apresentam-se bem reduzidas, com classes inferiores a 2% e de 2-5, e de 5-12 no contato da planície com a baixa vertente. Destaca-se que em campo foram observados solos hidromórficos e presença de buritis, o que caracteriza o local como uma vereda.

Figura 1 - Mapa de Localização



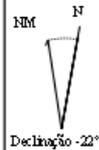
Mapa de Localização da área de estudo

Figura 2 - Mapa de Hipsométrico e Modelo Digital do Terreno



**Conveções cartográfica**

- Represamento
- Canal Fluvial
- Canal Pluvial



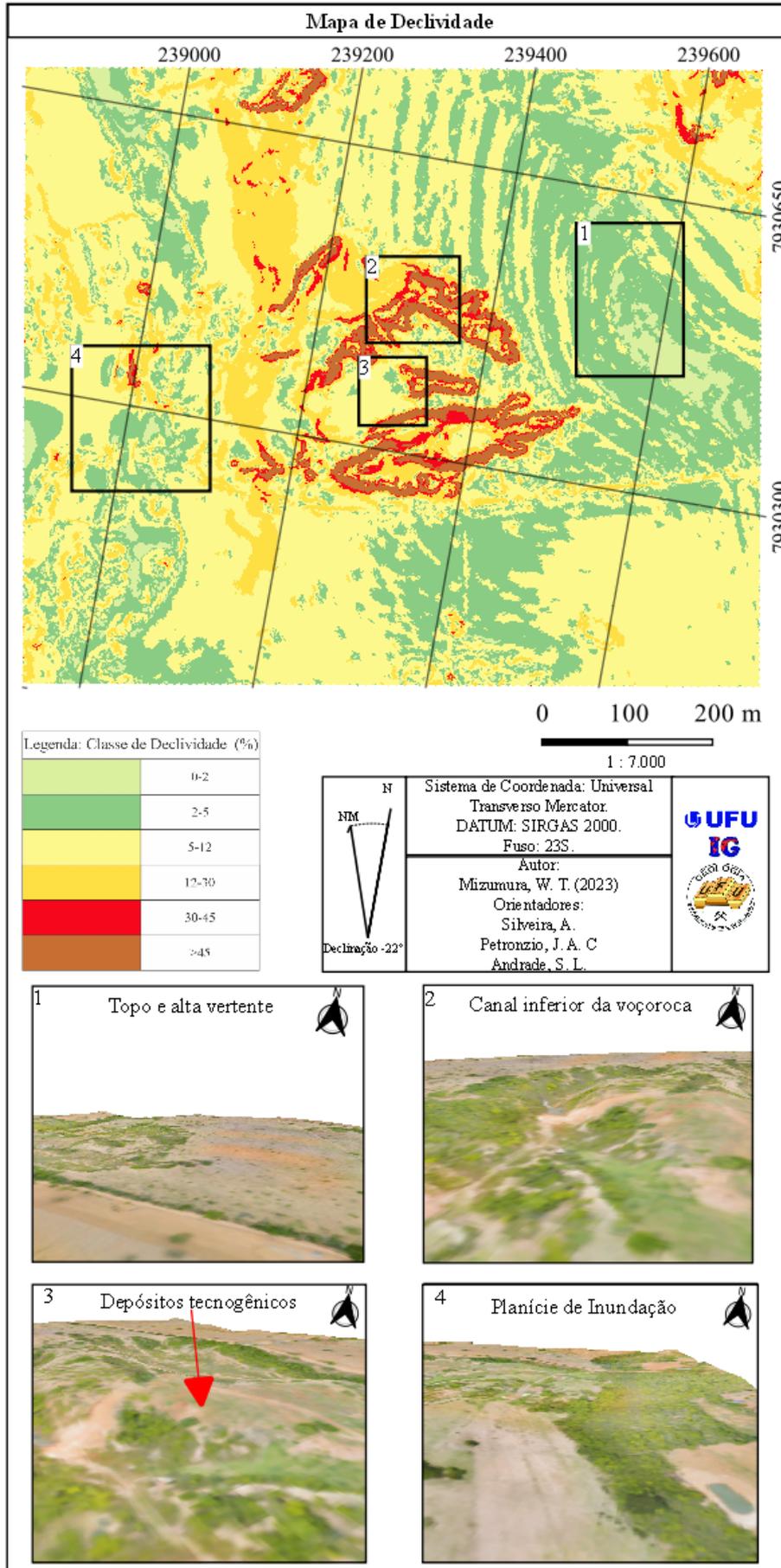
Sistema de Coordenada: Universal Transverso Mercator.  
DATUM: SIRGAS 2000.  
Fuso: 23S.

Autor:  
Mizumura, W. T. (2023)  
Orientadores:  
Silveira, A.  
Petronzio, J. A. C.  
Andrade, S. L.



*Mapas Hipsométrico e Modelo Digital do Terreno, da área de estudo*

*Figura 3 - Mapa de Declividade*



*Mapa de declividade da área de estudo, com quatro imagens em 3D dos setores.*

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Diante das técnicas tradicionais, as quais se baseiam no posicionamento de estacas, para monitorar o processo erosivo que culmina na formação e evolução da voçoroca, agrega-se o uso de novas tecnologias para facilitar de coleta de dados. Dentre elas, tem-se a utilização das imagens derivadas dos ARP, os quais contribuem com maior precisão através do processamento das imagens obtidas pelo equipamento. Neste trabalho foram apresentados os primeiros resultados derivados da aquisição e tratamento de imagens ARP, associados aos mapas de Hipsometria, MDT e Declividade. Suas análises em conjunto com trabalhos de campo permitiram o reconhecimento de 3 setores na área do voçorocamento estudado. Os resultados também permitiram o reconhecimento de duas frentes principais de erosão da voçoroca, marcadas por dois canais fluviais que se conectam à planície de afluente do Córrego Mombuca. Além disso, ficaram registrados nos documentos cartográficos morfométricos produzidos a interferência antropogênica no modelado, que inseriu depósitos tecnogênicos em um canal da voçoroca. Dessa maneira, para atividades futuras, vê-se a necessidade de realizar novos levantamentos de imagens e, por fim, compará-los entre os vários cenários que serão registrados.

## **AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa referente ao processo PIBIC/CNPq/UFU nº 06/2022.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA**

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

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.