

Identificação de mudanças morfológicas e perda de solo em voçoroca urbana no Bairro da Liberdade em Garanhuns–PE

Identification of morphological changes and soil loss in urban gullies in Liberdade neighborhood in Garanhuns–PE

Identificación de cambios morfológicos y pérdida de suelo en barrancos urbanos del Bairro da Liberdade en Garanhuns–PE

Simão Batista de Freitas ¹, Fernando da Silva Alexandre ², Kleber Carvalho Lima³ Daniel Dantas Moreira Gomes⁴

¹ Universidade de Pernambuco (UPE), Mestrando do Programa de Pós-graduação em Saúde e Desenvolvimento Socioambiental, Garanhuns-PE, Brasil. E-mail: simao.freitas@upe.br
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7069-2917>

² Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Doutorando do Programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade Pernambuco, Recife, Brasil. E-mail: fnando257@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0896-9433>

³ Universidade de Pernambuco (UPE), Programa de Pós-graduação em Saúde e Desenvolvimento Socioambiental, Campus de Garanhuns-PE, Brasil. E-mail: kleber.carvalho@upe.br
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9468-2473>

⁴ Universidade de Pernambuco (UPE), Programa de Pós-graduação em Saúde e Desenvolvimento Socioambiental, Campus de Mata Norte-PE, Brasil. E-mail: daniel.gomes@upe.br
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6868-040X>

Resumo: A erosão é um processo de degradação que causa a perda de enormes quantidades de solo. Esse tipo de degradação pode ocorrer de diferentes formas, sendo que as voçorocas são a expressão máxima, elas apresentam uma dinâmica complexa e são objeto de estudo a um longo período onde diferentes técnicas vem sendo empregadas. Nesse sentido, o presente estudo objetivou identificar as mudanças morfológicas e perda de solo ocasionadas por uma voçoroca urbana, no município de Garanhuns–PE. No presente estudo foram utilizados dados do projeto Pernambuco tridimensional (ortoimagem e modelo digital do terreno) e dados adquiridos com Vant em 2022 e 2023, sendo processados para obtenção da ortoimagem e modelo digital do terreno, permitindo a comparação entre os dados. Através dos dados foram identificadas significativas alterações na declividade da área de ocorrência da voçoroca para os anos analisados, bem como foi identificado uma grande de solo que chegou a 725,11³ de solo perdida devido à atuação dos processos erosivos.

Palavras-chave: Degradação ambiental; Erosão; Solos.

Abstract: Erosion is a degradation process that causes the loss of enormous amounts of soil. This type of degradation can occur in different ways, with gullies being the maximum expression, they present a complex dynamic and have been the object of study for a long period where different techniques have been used. In this sense, the present study aimed to identify the morphological changes and soil loss caused by an urban gully, in the municipality of Garanhuns–PE. In the present study, data from the three-dimensional Pernambuco project was used (orthoimage and digital terrain model) and data acquired with Vant in 2022 and 2023, being processed to obtain the orthoimage and digital terrain model, allowing comparison between the data. Through the data, significant changes in the slope of the gully's area of occurrence were

identified for the years analyzed, as well as a large loss of soil that reached 725.11³ of soil lost due to the action of erosive processes.

Keywords: Ambiental degradation; Erosion; Soils.

Resumen: La erosión es un proceso de degradación que provoca la pérdida de enormes cantidades de suelo. Este tipo de degradación puede ocurrir de diferentes formas, siendo las cárcavas la máxima expresión, presentan una dinámica compleja y han sido objeto de estudio durante un largo período donde se han utilizado diferentes técnicas. En este sentido, el presente estudio tuvo como objetivo identificar los cambios morfológicos y la pérdida de suelo provocados por un barranco urbano, en el municipio de Garanhuns – PE. En el presente estudio, se utilizaron datos del proyecto tridimensional de Pernambuco (ortoimagen y modelo digital del terreno) y datos adquiridos con Vant en 2022 y 2023, siendo procesados para obtener la ortoimagen y el modelo digital del terreno, permitiendo la comparación entre los datos. A través de los datos se identificaron cambios significativos en la pendiente del área de ocurrencia de la quebrada para los años analizados, así como una gran pérdida de suelo que alcanzó los 725,11³ de suelo perdido por acción de procesos erosivos.

Palabras clave: Degradación ambiental; Erosión; Suelos.

1. Introdução

O solo é um recurso natural de fundamental importância para a humanidade e para o funcionamento dos ecossistemas (ALEXANDRE, CANDEIAS, GOMES, 2021), sendo a base para o desenvolvimento de diversas atividades, trata-se de um recurso essencial para a manutenção da vida humana assim como a água e o ar (ARAÚJO, ALMEIDA, GUERRA, 2008; LEPSCH, 2011). Contudo, mesmo diante da importância que o solo apresenta, ele não vem sendo tratado de forma adequada, visando a sua preservação (LEPSCH, 2011; CARVALHO LIMA et al., 2023). Como consequência das atividades humanas inadequadas e sem devido planejamento temos diversos problemas de ordem ambiental, dentre estes a degradação dos solos. Conforme a Organização das Nações Unidas para a Alimentação-FAO (1980, apud ARAÚJO, ALMEIDA, GUERRA, 2008, p. 24) a degradação do solo “se refere a deterioração ou perda total da capacidade dos solos para uso presente e futuro”. Este processo de degradação do solo pode ocorrer de diferentes formas, sendo a erosão a mais conhecida delas (SANTORO, 2015; BERTONI; LOMBARDI NETO, 2017; FREIRES et al., 2023).

Com a ciência de que ocorrem diferentes tipos de erosões condicionadas por diversos agentes erosivos, o presente trabalho tem como foco de análise a erosão por voçoroca. Dito isto, destaca-se que a erosão por voçoroca é uma das formas de erosão pluvial, ou seja, o processo erosivo causado pelas águas das chuvas. A erosão causada por esse agente tem abrangência em praticamente toda a superfície da terra, sendo que a sua atuação se acentua em áreas com clima tropical porque nessas regiões os totais pluviométricos são mais elevados que em outras regiões, somado a isso ainda há que em muitas das áreas de clima tropical as chuvas são concentradas em alguns meses do ano o que intensifica ainda mais a ação dos processos erosivos. (GUERRA, 2007; SANTORO, 2015).

Segundo Santoro (2015), tomando às águas das chuvas como agente erosivo se destacam dois tipos principais de erosão, a laminar ou em lençol que é ocasionada devido o escoamento difuso das águas da chuva e a linear que ocorre quando há a concentração do escoamento superficial provocando incisões no terreno (sulcos, ravinas e voçorocas). Como visto, as voçorocas são uma das formas de erosão pluvial do tipo linear, mas não é a única, havendo também sulcos, ravinas e voçorocas, segundo Guerra, Bezerra e Jorge (2023), as definições desses tipos de erosões variam muito, contudo, eles apontam com base em estudos desenvolvidos pelo LAGESOLOS (Laboratório de Geomorfologia Ambiental e Degradação dos Solos) da UFRJ, que para voçorocas são consideradas largura e profundidade acima de 0,5m.

No entanto, Oliveira (2007) destaca o fato de para alguns autores a formação de voçorocas está ligada a interação com o lençol freático, o que segundo autor essa definição é dada pelos técnicos do Instituto Paulista de Tecnologia-IPT, sendo que é uma definição útil do ponto de vista técnico, facilitando no planejamento de obras de controle e de recuperação de processos erosivos, mas lança confusão no meio acadêmico por dificultar a sua compreensão com evolução de sulcos e ravinas, que é uma forma bem didática de compreensão.

Além desse fato, essa definição se contrapõe a definições internacionais, dificultando a comunicação com a literatura estrangeira e causando uma dificuldade de ordem epistemológica com a língua portuguesa, por

poder considerar uma incisão com 10 metros de profundidade como ravina. Assim, no presente trabalho foi adotado o critério dimensional para a compreensão e distinção das voçorocas das demais formas de erosão linear.

Ainda sobre as voçorocas Cândido et al., (2020) esclarecem que elas têm uma dinâmica complexa e que nesse sentido é importante estudar a evolução tanto espacial, quanto temporal desses processos, consoante os autores supracitados apontam que os estudos em voçorocas estão cada vez mais utilizando técnicas de fotogrametria de alta resolução em substituição de métodos antigos de análises. Segundo estes autores, os estudos com técnicas de fotogrametria de alta resolução possibilitam o desenvolvimento de estratégias de mitigação dos impactos causados. Dito isto, o objetivo deste trabalho é identificar as mudanças morfológicas em escala de detalhe em uma voçoroca, bem como identificar o volume de material erodido pelo processo erosivo para os anos de 2016, 2022 e 2023 e nesse sentido contribui com a análise ambiental no referido município, uma vez que a ocorrência de processos erosivos é frequente.

2. Área de Estudo

A voçoroca objeto de estudo do presente trabalho fica localizada no Bairro da liberdade, município de Garanhuns-PE (Figura 1), que faz parte da mesorregião do agreste pernambucano e na microrregião de Garanhuns, abrangendo uma área territorial de 458,552 km², a população no último censo demográfico de 2010, foi de 129.498 habitantes com densidade demográfica de 282,21 hab./km², sendo que a estimativa populacional para o ano de 2021 é de 141.347 habitantes (IBGE, 2023).

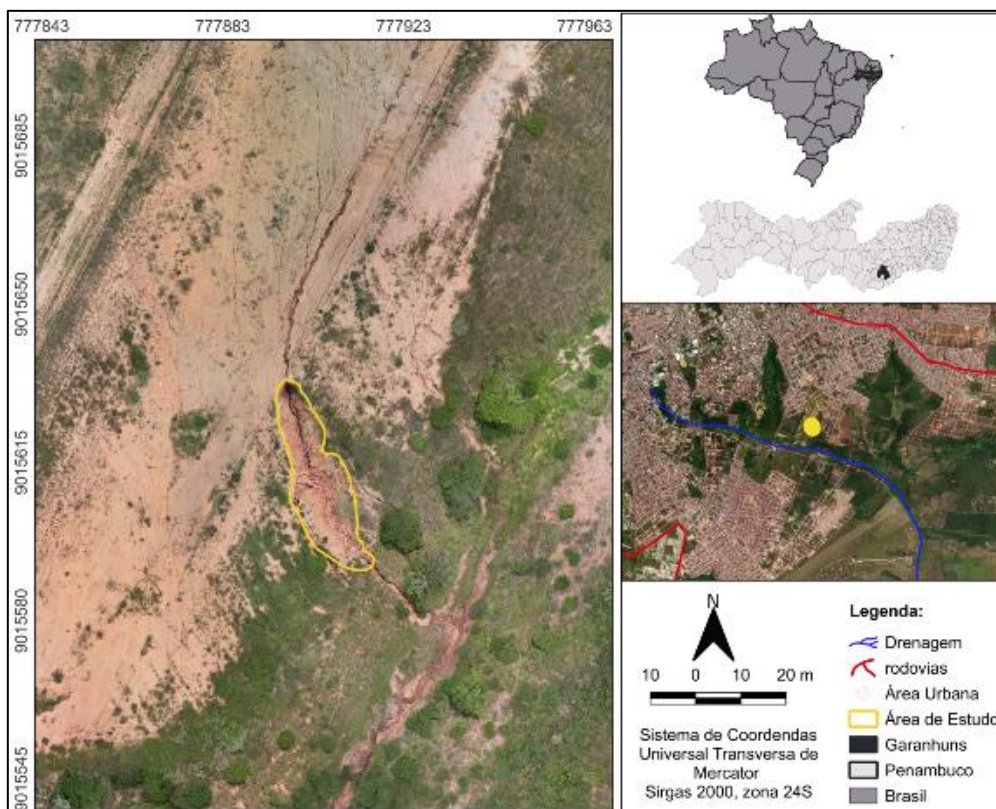


Figura 1: Mapa de localização da área de estudo. Fonte: autores, 2023.

Segundo a CPRM (2005) o município de Garanhuns encontra-se inserido na Província Borborema, constituído pelos litotipos dos complexos Cabrobó, Belém de São Francisco e dos Granitóides indiscriminados. Ainda conforme a CPRM (2005) Granitóides indiscriminados são do Neoproterozóico e os complexos Cabrobó e Belém de São Francisco são do Mesoproterozóico. De acordo com Azambuja (2005) estes dois complexos são às duas principais unidades no contexto regional, sendo que o sítio urbano de Garanhuns fica assentado sobre o complexo Cabrobó.

O clima do município segundo Barbosa et al., (2016) ao se levar em consideração os aspectos de latitude, de exposição aos fluxos de ar, a distância do mar e a cobertura vegetal, pode se definir o clima de Garanhuns como sendo sub úmido, correspondendo ao As', BShs'e Cs' conforme a classificação de Köppen que apresentam características: quente e úmido com chuvas de outono-inverno, com verões quentes (SILVA et al., 2018). Ainda segundo Barbosa et al., (2016) a temperatura média anual de Garanhuns é de 20,1 °C a 22,0 °C, e a pluviosidade fica entre 751 e 1000 mm anuais.

Com relação à geomorfologia o município de Garanhuns fica inserido no planalto da Borborema que segundo Azambuja (2007, p. 95) é "estruturado por uma sequência quartzítica sobre embasamento gnáissico do terreno Pernambuco Alagoas" onde a autora supracitada afirma que ocorrem as seguintes unidades: patamar erosivo, com área de cimeira 850 e a 950 metros, incluindo-se a estes o morro do Magano que possui altitude de 1.024 metros, pequeno conjunto de serras de direção ENE/WSW e modelados de dissecação poli convexa a 700 metros de altitude ao sul das serras, além de ser possível identificar no município paleofeições típicas de retomadas erosivas indica que o município já esteve sujeito a alta vulnerabilidade frente aos agentes morfofogenéticos. Essas paleofeições são atualmente identificadas como voçorocas, que além das variáveis naturais apresentam a ação antrópica como um dos principais fatores de sua reativação.

Sobre as formas de relevo do município, ocorrem três tipos de solos: Argissolo Amarelo, Argissolo Vermelho-Amarelo, Latossolo Amarelo, Neossolo Litólico, Neossolo Regolítico e Planossolos Háplico, conforme aponta o Zoneamento Agroecológico do Estado de Pernambuco – ZAPE, na escala 1:100.000. Sendo que a área de estudo do presente trabalho fica totalmente inserida na área de ocorrência dos Latossolos Amarelos. Esse tipo de solo formados por minerais altamente intemperizados e argila de baixa atividade (tipo 1:1), apresentam perfis com espessuras superiores a 2 metros, o horizonte B profundo e devido à formação de microagregados no Horizonte B apresentam alta porosidade, que por sua vez permite maior condutibilidade de água ampliando o risco geomorfológico se foram saturados em áreas de encostas (Azambuja, 2007).

A vegetação de Garanhuns fica inserida na zona fisiográfica da caatinga caracterizando-se em sua maior parte por uma vegetação subperenifólia de médio a baixo porte (Andrade-Lima,1957 apud AZAMBUJA, 2007, p. 73) apresentando espécies de mata serrana, sendo que devido à ocupação populacional que ocorreu no agreste pernambucano fez com que as reservas de vegetação fossem desmatadas, contudo, ainda em áreas rurais podem ser observado a ocorrência de espécies que indicam resquícios de mata serrana, como o Jatobá e a Sucupira, sendo que outras espécies que apresentam maior valorização econômica foram praticamente retiradas em sua totalidade, como, por exemplo, o Cedro, Pau Ferro e o Pau d'óleo (AZAMBUJA, 2007).

A bacia hidrográfica do Rio Mundaú tem suas nascentes no município de Garanhuns, apresentando como principais tributários os rios Canhoto, e Inhaúma e os riachos: São Pedro, São Vicente, Mimosinho, Seco, Mocambo, Repartição, Imbé, Mochila, Pacheco, das Pedras, Baixa da Lama, Estrondo, da Laje, do Dunga, Periperi, Timbó. Estes corpos hídricos apresentam regime intermitente e padrão de drenagem dendrítico, já em relação às águas subterrâneas o município fica inserido no domínio hidrogeológico fissural, formado por rochas do embasamento cristalino e englobam rochas metamórficas do complexo Belém do São Francisco e do complexo Cabrobó e o subdomínio rochas ígneas dos granitoides (CPRM, 2005).

A ocupação do município de Garanhuns-PE, segundo Azambuja (2007) ocorreu de forma lenta entre os anos de 1700 e 1800, tendo como principais fatores que dimanavam o espaço a atividade de pecuária extensiva, sendo somente em 1879 que a então Vila de Santo Antônio de Garanhuns foi elevada a cidade através da lei nº 1.309 (CAVALCANTI, 1983. Apud AZAMBUJA, 2007, p. 80). A elevação para a categoria de cidade coincidiu com o projeto de construção da Ferrovia São Francisco, que tinha termina rodoviário em Garanhuns vindo ser inaugurada em 1887, o que trouxe grandes benefícios comerciais a cidade.

Ainda segundo Cavalcante (1983. Apud AZAMBUJA, 2007, p. 80) no fim do século XIX a área urbana de Garanhuns correspondia a apenas a porção central conhecida atualmente como Santo Antônio. Posteriormente a ocupação urbana se expandiu para outros pontos apesar da topografia de altas declividades, surgindo assim os bairros da Boa vista e do Magano, ambos desenvolvidos de forma desordenada. O planejamento urbano na cidade só foi empregado no desenvolvimento do Bairro do Heliópolis, que em foi planejado pelo Missionário Presbiteriano Rev. Dr. George W. Taylor, durante o mandato do então prefeito Euclides Dourado (AZAMBUJA, 2007).

Com o devido planejamento, foram realizadas as aberturas das ruas e da avenida Rui Barbosa, sendo que, no entanto, esse planejamento da urbanização não se manteve para outros setores da cidade e a ocupação seguiu de forma inapropriada, direcionando-se para as áreas de encostas (AZAMBUJA, 2007).

3. Materiais e Métodos

Para a realização das análises foi necessária a aquisição do modelo digital do terreno-MDT e ortoimagem, junto a Secretaria de Desenvolvimento do Estado de Pernambuco, além da aquisição de dados aerofotogramétricos com equipamentos próprios. Para a realização do levantamento desses dados com o uso de equipamento próprio seguiram-se os procedimentos metodológicos presentes em Silva et al., (2015), Deus et al., (2017) e Alexandre et al., (2017) que consiste nas etapas de planejamento do plano de voo, execução e pós voo. A etapa de plano de voo consiste na definição do alvo a ser imageado, análise das condições de voo, materialização dos pontos de controle e seu georreferenciamento. A etapa seguinte consiste na execução do plano de voo, feita a checagem dos equipamentos em solo, decolagem, execução do plano de voo, pouso, em caso de pane e feita a abordagem da missão. Na etapa 3, é realizada a avaliação dos dados obtidos, caso tenha algum erro volta-se a etapa 2, caso tudo esteja certo segue-se para etapa de processamentos dos dados para obtenção da ortoimagem e do modelo digital de terreno.

Foram realizados dois aerolevantamentos, sendo um realizado no dia 24 de setembro de 2022 e o outro realizado no dia 31 de março de 2023, utilizando VANT modelo DJI 2S. Em ambos os aerolevantamentos realizados foram feitos dois sobrevoos com angulação de 90 e 75 graus a uma altura de 100 metros. Os dados dos aerolevantamentos foram processados no software Agisoft PhotoScan Professional, obtendo-se ortoimagem e modelo digital de elevação, sendo este último processado para obtenção do modelo digital do terreno – MDT.

Para o processamento dos dados seguiu-se o roteiro metodológico proposto por Alexandre et al., (2017) e atualizado por Alexandre et al., (2021) que divide as etapas para obtenção dos produtos em calibração automática da câmera, alinhamento das fotos, geração da nuvem de pontos, criação de um MDS de malha triangular e a geração do ortomosaico. Na figura 2, são apresentados os produtos obtidos junto do projeto Pe3D e os gerados através do processamento dos dados dos aerolevantamentos e o recorte desses dados para a área de estudo.

Realizado o levantamento e processamento dos dados e a conseguinte obtenção dos produtos, seguiu-se para as análises. Primeiramente, foi delimitada a área de estudo, sendo que assim como relatado por Alexandre, Candeias e Gomes (2021) a presença de vegetação nos produtos gerados a partir dos aerolevantamentos mesmo que sendo feita a filtragem, não é retirada completamente o que dificulta a delimitação da área da voçoroca. Como alternativa os autores supracitados com base, nos trabalhos de Hosseinizadeh et al. (2019) e Cândido et al. (2020) decidiram não utilizar a área da voçoroca, mas sim todo o polígono devido à conectividade erosiva com a voçoroca. Nesse sentido foi observado que na área de estudo havia, sim, a interferência da vegetação, o que dificultou um pouco a delimitação da voçoroca, mas não ao ponto de ser preciso trabalhar com uma área muito mais abrangente, assim a alternativa utilizada foi realizar a delimitação o mais fielmente possível e posteriormente aplicou-se um buffer de 1 m, evitando que partes da voçoroca não fossem delimitadas. Esse polígono com o buffer foi gerado com o dado mais recente e serviu como delimitador da voçoroca para os dados dos três períodos analisados.

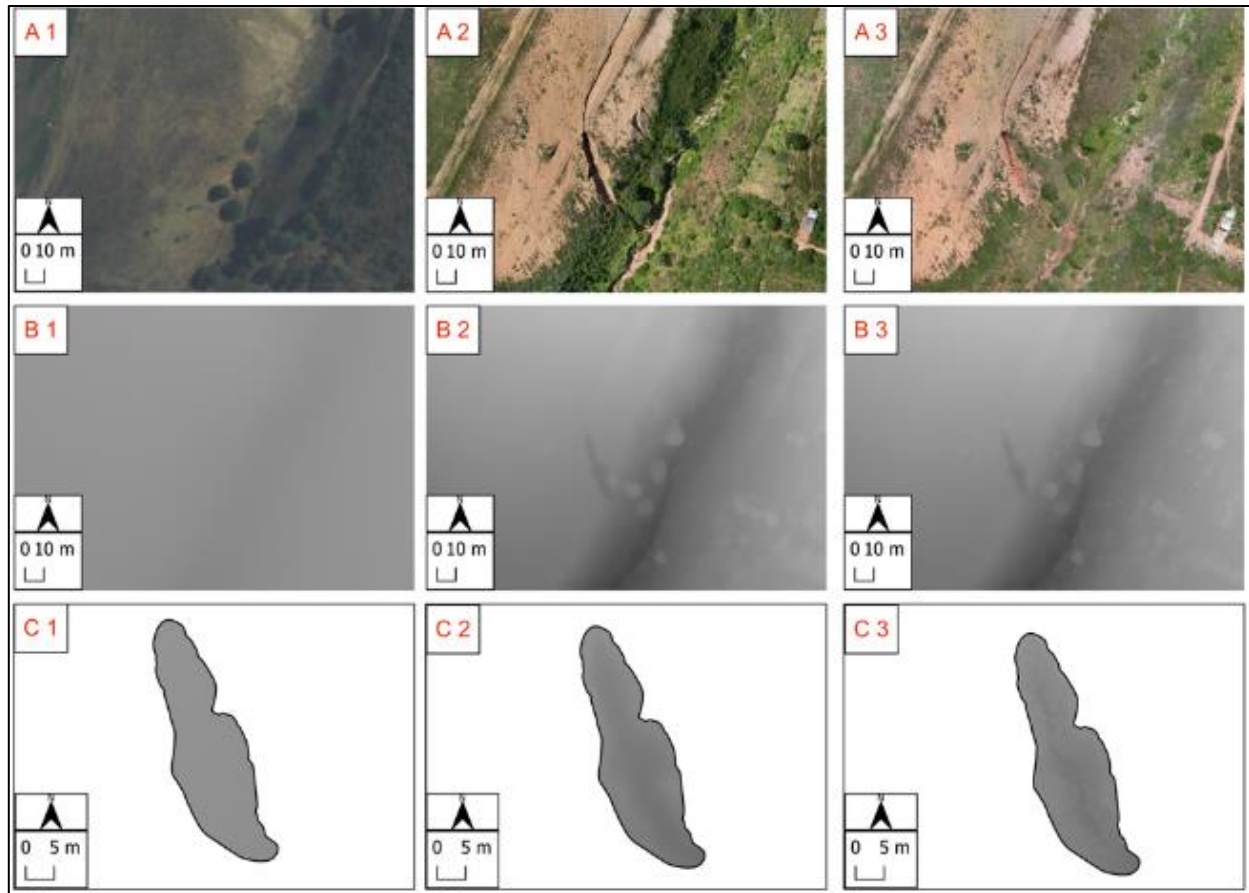


Figura 2: produtos adquiridos para a área de estudo, ortoimagem (A1) e MDT (B2); produtos gerados através dos aerolevantamentos ortoimagem (A2 e A3) e MDT (B2 e B3) para os anos de 2022 e 2023 respectivamente; MDT recortado para a área de estudo (C1, C2 e C3) correspondentes aos anos de 2016, 2022 e 2023, respectivamente.

Seguindo para a próxima etapa, foram elaborados mapas de declividade, sendo utilizada a declividade em porcentagem, possibilitando a identificação das alterações ocorridas na área para os anos analisados em decorrência da ação da erosão. As classes de declividade utilizadas foram a presente na classificação da Embrapa (1979) que são: plano (0 – 3%), suave ondulado (3 - 8%), ondulado (8 – 20%), forte ondulado (20 – 45%), montanhoso (45 – 75%) e escarpado (>75%). Ainda para entender as alterações ocorridas na área estudada foram traçados de forma complementar perfis topográficos para os três MDTs, através da ferramenta de extensão “Profile Tool” no software QGIS (3.28.4). A utilização dos perfis é complementar a declividade e permite identificar a variação na morfologia ao longo da área do terreno (POESEN et al., 2003; LI; XIONG; TANG; 2019; ALEXANDRE; CANDEIAS; GOMES, 2021; GOMES et al., 2016).

Para analisar o volume de material erodido foi realizado o cálculo de volume das superfícies, para a realização desse procedimento foram seguidas as orientações metodológicas de Alexandre, Candeias e Gomes (2021), Freires et al., (2021) e Marzolf e Poesen (2009) que apontam que esse cálculo é possível de ser feito através da subtração entre os MDTs expressa pela equação 1.

$$\text{erosão} = \text{MDT VANT} - \text{Pe3D} \quad (1)$$

Sendo que o MDT VANT corresponde ao dado do aerolevanteamento e o MDT Pe3D corresponde ao dado disponibilizado pelo projeto Pernambuco tridimensional. O cálculo foi realizado no software QGIS através da ferramenta “volume de superfície raster”. Como foram analisadas três superfícies, o procedimento foi inicialmente realizado entre o MDT do Pe3D e o MDT do primeiro aerolevanteamento, sendo posteriormente realizado para o MDT do primeiro aerolevanteamento e o MDT do segundo aerolevanteamento.

4. Resultados e discussões

A voçoroca estudada se desenvolveu no terço inferior da vertente como pode ser observado no perfil topográfico (Figura 3). O polígono criado para delimitar a voçoroca possui uma área de 333.83m², o que segundo a classificação de Liu e Liu (2020), é considerada como uma voçoroca pequena, e segundo a classificação de Oliveira e Meis (1985, Apud OLIVEIRA, FRANCISCO e FUREGATTI, 2022), é do tipo integrada, conectada com outra voçoroca que se conecta com a rede hidrográfica. Realizada à delimitação da área foram realizadas análises tanto de declividade, dos perfis topográficos e cálculo de volume de material erodido.

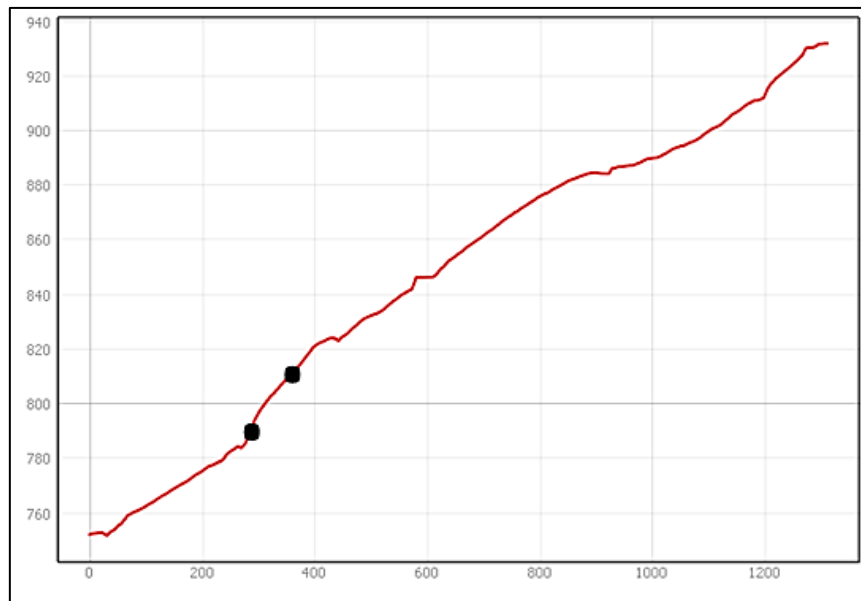


Figura 3: Perfil topográfico da vertente sobre a qual a voçoroca formou-se.

A partir da classificação das declividades (Figura 4) pode ser observado que ocorreram significativas alterações na declividade da área de estudo em decorrência da ação dos processos erosivos. Na classificação para o ano de 2016, que foi realizada a partir dos dados do Pe3D, foram identificadas três classes de declividade, sendo elas: classe ondulada (8 – 20), forte ondulado (20 – 45) e montanhoso (45 – 75), sendo que a classe forte ondulada apresentando maior área de abrangência com 428m². Como em 2016 a voçoroca não estava formada, este dado em comparação com os dos aerolevantamentos nos permite compreender as alterações advindas da ação do processo de voçorocamento.

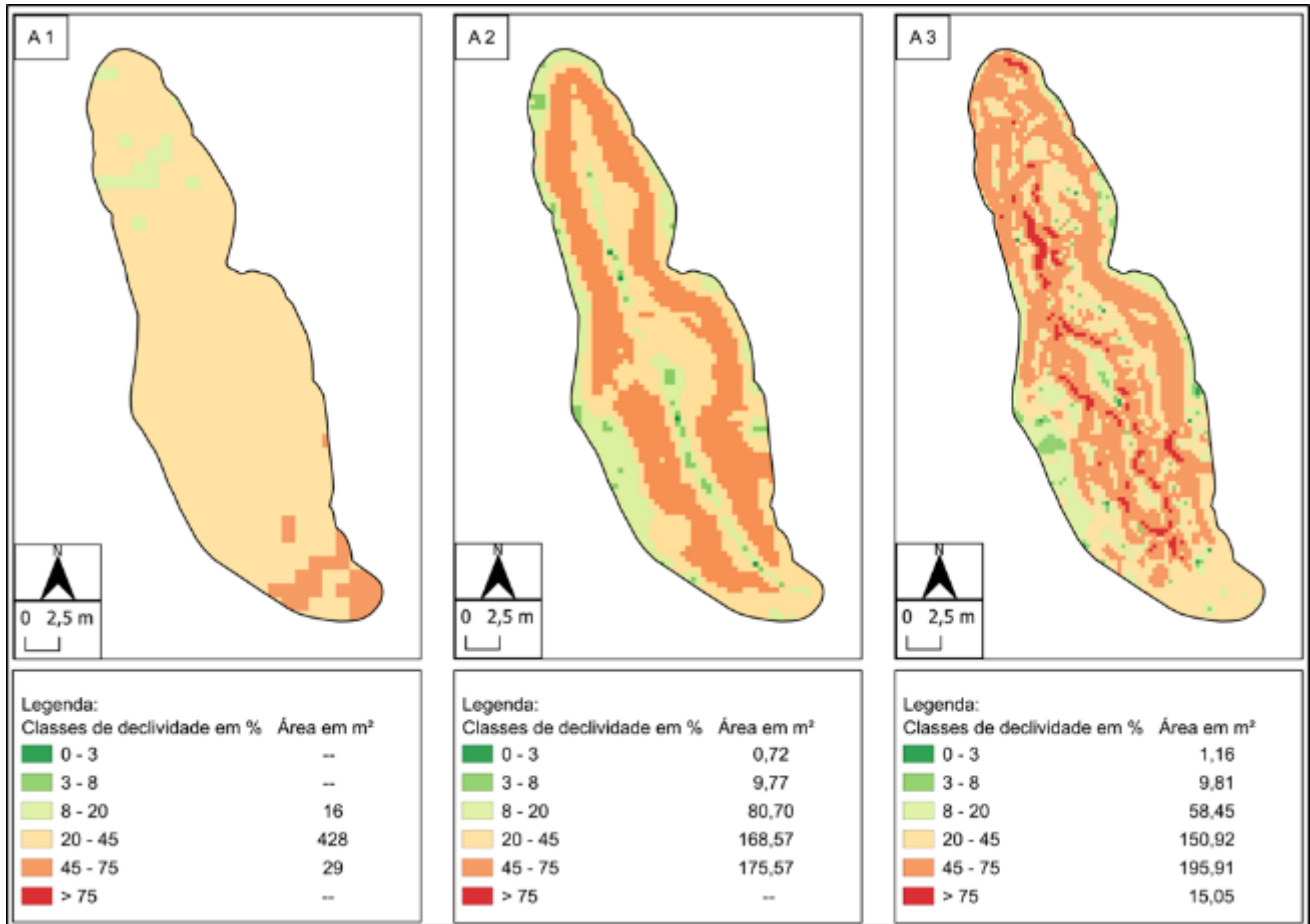


Figura 4: Classificação da declividade dos anos analisados. Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

A classificação da declividade para o primeiro aerolevanteamento (2022) pode-se verificar alterações na área da voçoroca a partir da maior abrangência de classes de declividade com as classes plano (0 – 3), suave (3 – 8), ondulada (8 – 20), forte ondulado (20 – 45) e montanhoso (45 – 75) apresentando dados, com apenas a classe escarpado sem dados. Além dessa maior abrangência da declividade, pode-se notar alterações na área de estudo a partir das variações que as áreas das classes apresentaram, com a classe forte ondulado apresentando uma diminuição de 259,43 m² de sua área. A classe montanhoso por sua vez apresentou ganho de sua área de 146,57m² e por se tratar de uma classe com alta declividade apresentando ganho, indica que a declividade da área está se acentuando em decorrência da ação dos processos erosivos.

Já para o dado do ano de 2023, foram identificadas às seis classes de declividade, indicando que a área da voçoroca continuar a sofrer alterações em decorrência da ação dos processos erosivos. Pode-se identificar que a declividade da área se assentou, com a classe montanhoso apresentando ganho de 20,34m² de área e ainda surgindo áreas com declividade na classe escarpado que é a mais acentuada dentre a classificação adotada. A partir da figura 5, podem ser observadas as alterações ocorridas na declividade da área de estudo através do comparativo entre os períodos analisados.

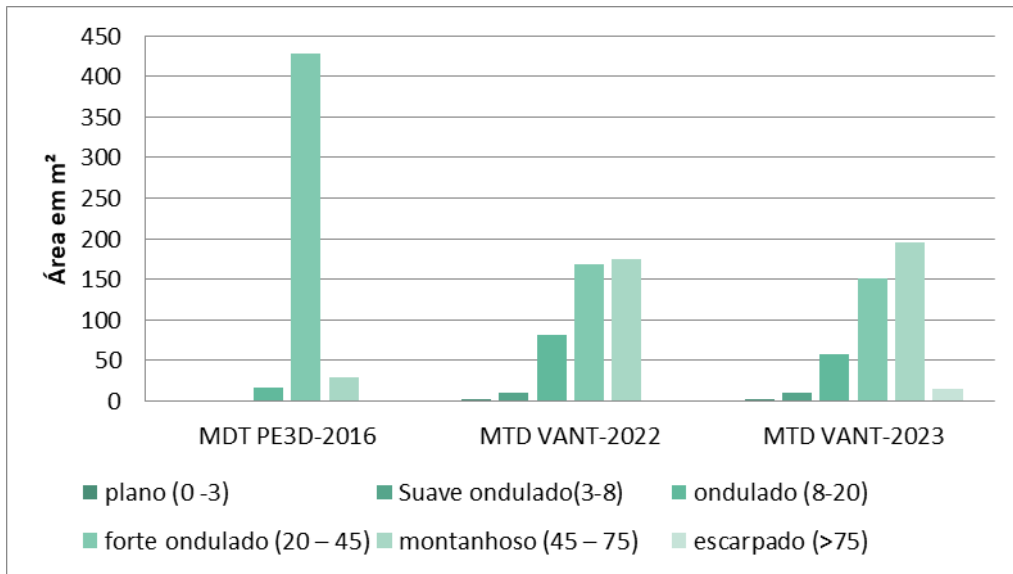


Figura 5: Gráfico com dados de declividade e áreas correspondentes para os anos analisados. Fonte: elaborado pelos autores, 2023.

Complementarmente as análises realizadas na declividade, foram traçados perfis topográficos cruzando a voçoroca (POESEN et al., 2003; LI; XIONG; TANG; 2019; ALEXANDRE; CANDEIAS; GOMES, 2021; GOMES et al., 2014). Ao todo foram traçados seis perfis, sendo um perfil longitudinal e cinco deles laterais a uma distância de aproximada de 6 metros (Figura 6).

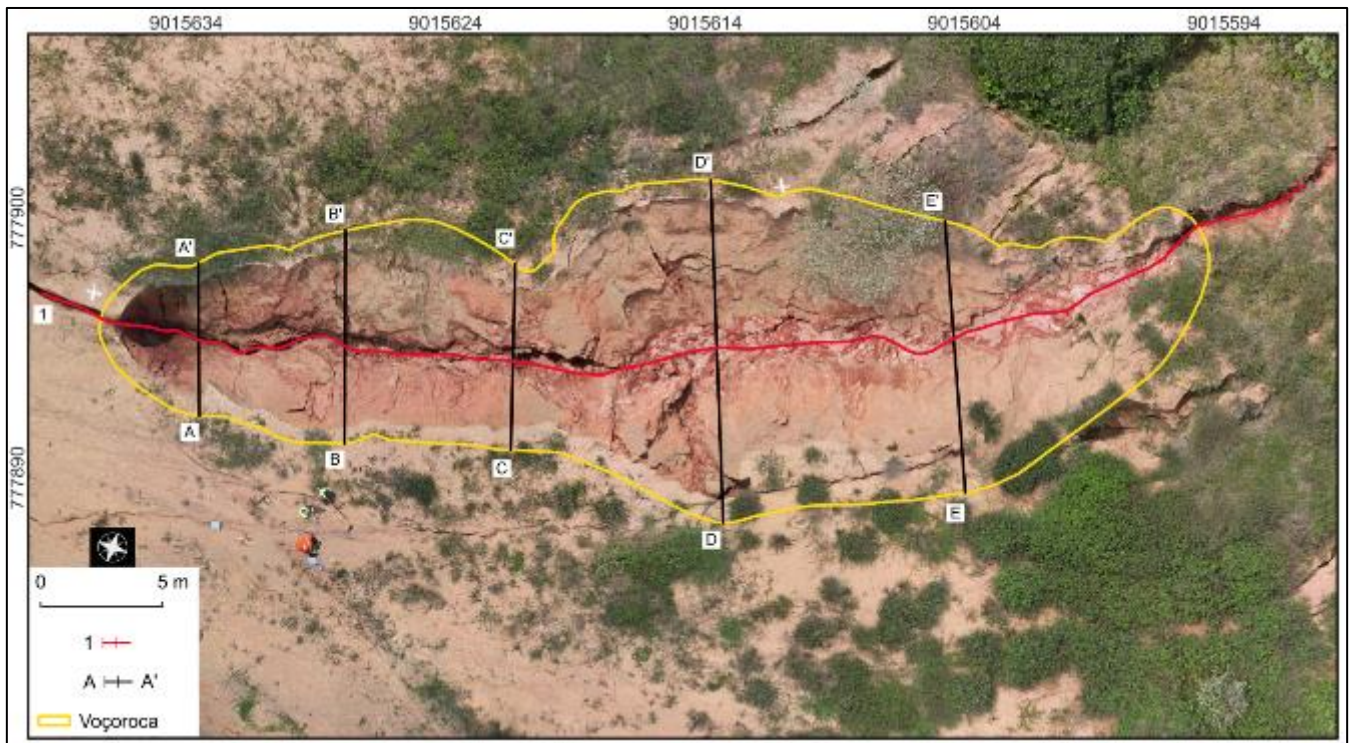


Figura 6: linhas indicando o traçado dos perfis topográficos. Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

Analisando os perfis laterais apresentados na figura 7, no perfil 1, traçado longitudinalmente, é possível observar as variações entre as superfícies dentro do canal da voçoroca com pontos de acreção e remoção de sedimentos, como pode ser observado, por exemplo, no traçado referente a superfície de 2023 nas altitudes próximas aos 805 metros é possível observar que houve remoção de sedimentos em relação com as outras superfícies. Na distância dos 32 metros é possível observar que houve a deposição de sedimentos em relação à superfície de 2022.

No perfil A, podem ser observadas variações entre as superfícies que chegam há 3,3m entre as superfícies de 2016 em relação a 2022, de 4 entre a de 2016 e a superfície de 2023. Em relação às superfícies de 2022 e 2023 ocorrem variações de até 1,7m. No perfil B, ocorrem diferenças de 4,6m entre as superfícies de 2016 e 2022, de 5,9m entre 2016 e 2023, já entre as superfícies de 2022 e 2023 ocorrem diferenças de 1,4m. No perfil C, a maior diferença encontrada entre as superfícies ocorreu em relação às superfícies de 2016 e 2023, que chegaram a apresentar 5,2m.

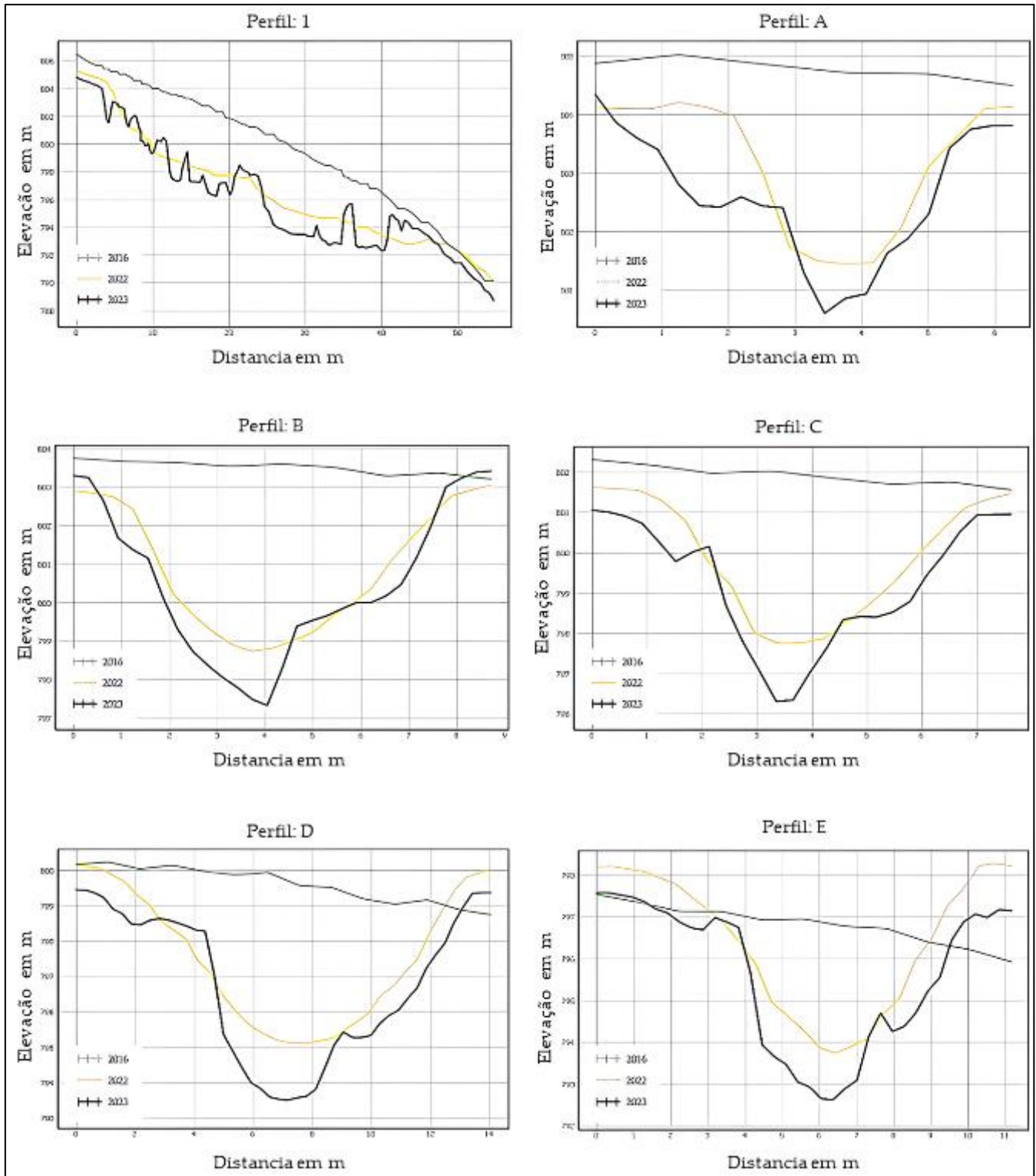


Figura 7: Perfis topográficos. Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

No perfil D, a maior variação também ocorreu entre as superfícies de 2016 e 2023 com 5,8m, mas a variação entre as superfícies de 2016 e 2022 também são grandes, chegando a 4m. O perfil E, por sua vez, apresenta variações de 2,85m entre os dados de 2016 e 2022, de 4m entre as superfícies de 2016 e 2023 e entre as superfícies de 2022 e 2023 chegou até 1,15m.

Estas alterações identificadas na morfologia da voçoroca através das variações na declividade e dos perfis topográficos são resultantes de processos que ocorrem internamente na feição, por processos tais como fluxo superficial concentrado que provoca a remoção de sedimentos e o aprofundamento da feição, bem como por movimentos de massa nas paredes da feição que causam o seu aumento lateral e solapamento de base (OLIVEIRA, 2007). Com isso é possível afirmar que a voçoroca apresenta uma dinâmica ativa, o que se confirma também através do cálculo de volume de material erodido.

A superfície da área de estudo no ano de 2016, que corresponde ao dado do levantamento do PE3D foi identificado um volume de 3.105,36m³. No dado do aerolevanteamento de 2022 foi identificado um volume de 2.604,95m³ e para o dado de 2023 foi de 2.380,25m³. Dessa forma, ao realizar o cálculo para comparação de material erodido entre as superfícies constata-se que entre abril de 2016, data dos dados do PE3D e setembro de 2022, data do primeiro aerolevanteamento, foram erodidas 500,41m³ de sedimentos. Entre os dados obtidos através dos dois aerolevanteamentos foi erodido 224,7m³ e em comparação entre os dados de abril 2016 (PE3D) e março de 2023, data do último aerolevanteamento, foram erodidos 725,11³ de sedimentos.

5. Conclusões

Diante das análises realizadas pode ser evidenciado que o emprego das geotecnologias se mostrou viável e eficaz para compreensão das mudanças morfológicas na voçoroca estudada, possibilitando a partir dos dados gerados a realização das análises de declividade e suas respectivas áreas para os períodos pretendidos, bem como a realização das análises através dos perfis topográficos e do cálculo de volume de material erodido.

Através destas análises poderão ser observadas as significativas alterações na declividade da voçoroca ocorridas com o passar do tempo frente à ação dos processos erosivos. Tais alterações ficam evidentes nas variações apresentadas na declividade que foi se acentuando e nas variações que as suas respectivas áreas apresentaram de um dado em relação ao outro. Estas mudanças na morfologia também ficam visíveis nos perfis topográficos traçados lateral e longitudinalmente, bem como no quantitativo de material erodido que também se acentuou com o passar do tempo.

Estas alterações permitem entendermos que a voçoroca está ativa e nesse sentido se faz necessária o desenvolvimento de atividade contenção do processo de voçorocamento para evitar sua expansão e conseqüentemente a perda de solo. Nesse sentido, o presente estudo contribui para a análise ambiental do município de Garanhuns-PE, possibilitando uma melhor compreensão do processo de voçorocamento estudado, bem como pode auxiliar melhor gestão do espaço por parte do poder público.

Contribuições dos autores: Simão Batista de Freitas contribuiu com a concepção da pesquisa, organização e participação nos trabalhos de campo, organização e discussão dos dados e com a redação do manuscrito. Fernando da Silva Alexandre contribuiu com a concepção da pesquisa, organização e participação nos trabalhos de campo, organização e discussão dos dados. Kleber Carvalho Lima contribuiu com a concepção da pesquisa, organização e participação nos trabalhos de campo, organização e discussão dos dados e com a redação do manuscrito. Daniel Dantas Moreira Gomes contribuiu com a concepção da pesquisa, organização e participação nos trabalhos de campo, organização e discussão dos dados e com a redação do manuscrito.

Agradecimentos: Os autores agradecem a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo fomento 001, ao Programa de Pós-Graduação em Saúde e Desenvolvimento Socioambiental (PPGSDS), Garanhuns, PE e a Universidade de Pernambuco (UPE), pelo apoio a pesquisa. Agradecem ainda, a Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia de Pernambuco (FACEPE), pela concessão de bolsa de mestrado ao primeiro autor (Processo N° IBPG-0545-4.00/24).

Conflito de Interesse: Os autores declaram não haver conflito de interesse.

Referências

1. ALEXANDRE, F. S.; CANDEIAS, A. L. B.; GOMES, D. D. M. Análise das mudanças morfológicas em escala de detalhe em voçoroca urbana utilizando perfilamento a laser e veículo aéreo não tripulado. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 02, p. 758-769, 2021. Disponível em: <https://periódicos.ufpe.br/revista/rbgfe>. Acesso em: 04 de abr. de 2023.
2. ALEXANDRE, F. S.; Ramos, R. P. S.; DEUS, R. A. S. G.; GOMES, D. D. M. Aerofotogrametria de pequeno formato aplicada a realização da cartografia básica da cidade de Palmeirina, PE. **Os Desafios da Geografia Física na fronteira do Conhecimento**, v 1, p. 5565-5572, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.20396/sbgfa.li2017.2220>. Acesso em: 10 de ago. de 2023.
3. ARAÚJO, G.H.D.; ALMEIDA, J. R.; GUERRA, A. J. T. **Gestão ambiental de áreas degradadas**, 3ª edição. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 2008. 320 p.
4. BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 10ª edição. São Paulo: ícone, 2017. 389 p.
5. CÂNDIDO, B. M.; JAMES, M.; QUINTON, J.; LIMA, W.; SILVA, M. L. N. Sediment source and volume of soil erosion in a gully system using UAV photogrammetry. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 44, 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/VQXsGRyfpS5sWntdZyJ93cC/?lang=en&format=pdf>. Acesso em: 25 de jul. de 2023.
6. CARVALHO LIMA, K.; LUPINACCI, C. M.; DANTAS MOREIRA GOMES, D.; OLIVEIRA SOUZA, S.; DA SILVA ALEXANDRE, F. Erosão em áreas suscetíveis a desertificação no Semiárido: possibilidades de análise por meio da cartografia geomorfológica baseada em imagens de altíssima resolução. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, [s. l.], v. 24, n. 2, 2023.
7. DEUS, R. A. da S. G. De; RAMOS, R. P. da S.; ALEXANDRE, F. da S.; GOMES, D. D. M. O uso de veículos aéreos não tripulados (VANT) Para geração de dados geocartográficos na Universidade de Pernambuco - Campus Garanhuns. Em: **Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento**. [s.l.] : INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS - UNICAMP, 2017. p. 5543–5551.
8. EMBRAPA. **Reunião Técnica de Levantamento de Solo, 10. Súmula**. Rio de Janeiro, 1979.
9. FREIRES, E. V.; SILVA NETO, C. Â. Da; DUARTE, C. R.; VERÍSSIMO, C. U. V.; GOMES, D. D. M.; MAIA, A. D. O. Diagnóstico da degradação ambiental na Vertente Úmida do Maciço de Uruburetama/CE e seu entorno. **Ciência e Natura**, [s. l.], v. 43, p. e18, 2021.
10. FREIRES, E. V.; SILVA NETO, C. Â. Da; SILVA, M. T. Da; DUARTE, C. R.; VERISSIMO, C. U. V.; LOPES, D. N.; GOMES, D. D. M. Mapeamento da erosividade e erodibilidade da vertente úmida do Maciço de Uruburetama/CE e entorno como subsidio ao planejamento ambiental. **Revista de Geociências do Nordeste**, [s. l.], v. 9, n. 2, p. 21–40, 2023.
11. GOMES, D. D. M.; DUARTE, C. R.; VERÍSSIMO, C. U. V.; LIMA, D. R. M. Análise e compartimentação morfométrica da bacia hidrográfica do rio Mundaú- Pernambuco/Alagoas. **Revista de geologia**, [s. l.], v. 27, n. 2, p. 167–182, 2014.
12. GOMES, D. D. M.; LIMA, D. R. M. De; DUARTE, C. R.; VERÍSSIMO, C. U. V. Mapeamento e caracterização dos sistemas ambientais da bacia hidrográfica do Rio Mundaú - PE/AL. **Caderno de Geografia**, [s. l.], v. 26, n. 2, p. 272, 2016.
13. 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**. 3ªed. - Bertrand Brasil: Rio de Janeiro, 2007. Cap. 1. p. 17-50.
14. GUERRA, A.J.T.; BEZERRA, J. F. R.; JORGE, M. C. O. Recuperação de voçorocas e de áreas degradadas, no Brasil e no mundo - estudo de caso da voçoroca do Sacavém – São Luís – MA. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. V.24, 1-20. 2023. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v24i00.2306>. Acesso em: 25 de set. 2023.
15. MARZOLFF, I.; POESEN, J. The potential of 3D gully monitoring with GIS using highresolution aerial photography and a digital photogrammetry system. **Geomorphology** (online), v. 111, n. 1–2, p. 48–60, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2008.05.047>. Acesso: 18 de mar. de 2023.
16. LEPSCH, I. F. **19 lições de pedologia**. São Paulo, 2011: Oficina de textos, 793p.

17. LIU, J.; LIU, H., Soil erosion changes during the last 30 years and contributions of gully erosion to sediment yield in a small catchment 55, southern China. **Geomorphology**, v. 368, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2020.107357>. Acesso em: 13 de out. de 2023.
18. LI, J.; XIONG, L.; TANG, G. Combined gully profiles for expressing surface morphology and evolution of gully landforms. **Frontiers of Earth Science**, v. 13, p. 551-562, 2019. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11707-019-0752-1>em: Acesso em: 03 jul. de 2022.
19. OLIVEIRA, A. L. P.; FRANCISCO, M. R.; FUREGATTI, S. A. Análise Temporal e Evolutiva das Erosões Lineares Hídricas Urbanas em Encosta Localizada na Região de Nascente do Córrego da Grama. **Periódico Técnico e Científico Cidades Verdes**, v. 10, n. 27, p. 99-113, 2022. Disponível em: https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/cidades_verdes/article/view/3244/3158. Acesso em: 03 de jan. de 2023.
20. OLIVEIRA, M. A. T. Processos Erosivos e Preservação de Áreas de Risco de Erosão por Voçorocas. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S; BOTELHO, R. G. M. **Erosão e Conservação dos Solos – Conceitos, Temas e Aplicações**. 3ªed. - Bertrand Brasil: Rio de Janeiro, 2007. Cap. 2. p.57-94.
21. POESEN, J.; NACHTERGAELE, J.; VERSTRAENTEN, G.; VATENTIN, C. Gully erosion and environmental change: importance and research needs. **Catena**, v. 50, n. 2-4, p. 91-133, 2003. Disponível em: https://www.academia.edu/17993136/Gully_erosion_and_environmental_change_importance_and_research_needs. Acesso em: 20 de jan. de 2023.
22. **Projeto Pernambuco Tridimensional-Pe3D**. Disponível em: <http://www.Pe3D.pe.gov.br/mapa.php#>. Acesso em: 22 set. 2023.
23. QGIS Development Team. QGIS Geographic Information System (versão 3.28.4). 2021. Disponível em: <<http://qgis.osgeo.org>>.
24. SANTORO, J.; Erosão continental. In: Tominaga, L. K.; Santoro, Jair; Amaral, R. **Desastres naturais: conhecer para prevenir**. São Paulo: 3ª Edição: Instituto Geológico, 2015. p. 53 – 70.
25. SILVA, S. D. A.; CANDEIAS, A. L. B.; GOMES, D. D. M.; SOUZA, W. M. De. VARIABILIDADE ESPAÇO-TEMPORAL DA PRECIPITAÇÃO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MUNDAÚ (PE/AL). **Revista Brasileira de Climatologia**, [s. l.], v. 23, 2018.
26. SILVA, C. A.; DUARTE.; C. R.; SOUTO. M. V. S.; SABADIA. J. A.B. Utilização de VANT para geração de ortomosaicos e aplicação do Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO (SBSR), João Pessoa, 2015. p.1137- 1144. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/sbsr2015/files/p0211.pdf>. Acesso em: 20 de dez. de 2023.