

ANÁLISE EVOLUTIVA DE UM PROCESSO DE VOÇOROCAMENTO A PARTIR DE PERFIS LONGITUDINAIS E TRANSVERSAIS NA BACIA DO RIO IRIRI – RJ

Wellington Marins Coutinho Firmino¹

Phillipe Cardoso Valente¹

Vinicius da Silva Seabra¹

1. Faculdade de Formação de Professores da Universidade do Estado do Rio de Janeiro - Departamento de Geografia (wellingtoncoutinho@gmail.com; valentephc@gmail.com; vinigeobr@yahoo.com.br)

RESUMO

Estudos direcionados para o desenvolvimento de metodologias voltadas para o monitoramento e representação de processos erosivos são de grande relevância para a gestão e planejamento ambiental, além de ser também de grande interesse econômico, uma vez que estes processos causam, além de impactos socioambientais consideráveis, relevantes perdas econômicas, reduzindo a produtividade do uso do solo. Neste contexto, os modelos digitais de elevação obtidos a partir do sobrevoo de Remotely-Piloted Aircraft System (RPAS), permitem a geração de dados de sensoriamento remoto capazes de subsidiar a elaboração de representações cartográficas de processos erosivos com precisão centimétrica. Neste trabalho, os levantamentos gerados por RPAS permitiu a criação de perfis longitudinais e transversais, que auxiliam na análise evolutiva do processo de voçorocamento, no município de Magé. O processamento da ortofotografia e do modelo digital de elevação (MDE) foi feito a partir do software PhotoScan Professional. Os perfis foram elaborados a partir do plugin “Profile Tool” no QGIS 3.26 e da linguagem de programação R. Os resultados, interpretados a partir do mapa com as seções dos perfis e gráficos, permitem compreender a evolução do processo erosivo, assim como subsidiam a representação cartográfica da voçoroca em alta resolução.

Palavras-chave: Geomorfologia, Geoprocessamento, Perfis longitudinais e transversais.

ABSTRACT

Studies aimed at the development of methodologies aimed at monitoring and representing erosive processes are of great relevance for environmental management and planning, in addition to being of great economic interest, since these processes cause, in addition to considerable socio-environmental impacts, relevant economic losses, reducing the productivity of land use. In this context, the digital elevation models obtained from the overflight of the Remotely-Piloted Aircraft System (RPAS) allow the generation of remote sensing data capable of supporting the elaboration of cartographic representations of erosive processes with centimeter precision. In this work, the surveys generated by RPAS allowed the creation of longitudinal and transversal profiles, which help in the evolutionary analysis of the gully process, in the municipality of Magé. The orthophotography and digital elevation model (DEM) processing was done using the PhotoScan Professional software. The profiles were created using the “Profile Tool” plugin in QGIS 3.26 and the R programming language. The results, interpreted from the map with sections of profiles and graphs, allow us to understand the evolution of the erosive process, as well as subsidize the cartographic representation of the gully in high resolution.

Keywords: Geomorphology, Geoprocessing, Longitudinal and transversal profiles.

INTRODUÇÃO

A atividade humana sobre a superfície terrestre causa inúmeros problemas, principalmente quando esta ação desprotege o solo, ou causa instabilidade. No primeiro

caso, o solo se torna vulnerável a uma ação erosiva por meio das chuvas, pois o ambiente se torna mais propício ao escoamento superficial com transporte de sedimentos facilitado, e com o passar do tempo, se este problema não for sanado, é provável que ocorra evoluções deste processo, podendo ocasionar erosões cada vez mais destrutivas.

Ao refletir sobre a evolução dos processos erosivos, é relevante destacar as erosões lineares, tais como as ravinas e as voçorocas, esta última sendo foco de estudo do presente artigo.

As voçorocas são feições distintas na paisagem, que são formadas através da erosão provocada pelo escoamento superficial, ou pelo colapso do teto de dutos formados por *piping*. O Voçorocamento é um processo complexo que associa dinâmicas erosivas superficiais e subsuperficiais, tais como os de movimento de massa, destacando o deslizamento, corrida de lama e queda de bloco de rochas altamente intemperizadas (AUGUSTIN, 2008).

Os *pipings* são dutos abertos em subsuperfície, e podem variar de centímetros até vários metros, esses dutos são formados por ação do intemperismo, a partir de condições especiais geoquímicas e hidráulicas. Outro aspecto relevante é que estes dutos são responsáveis pelo transporte de materiais em subsuperfície (GUERRA, 2021).

Na ciência da paisagem contemporânea, as diferentes formas de representações, incluindo a cartografia, são primordiais no estudo das regularidades da organização espaço-temporal. Nesta ideia o mapeamento das paisagens físico-geográficas auxilia no planejamento ambiental, assim como na avaliação dos impactos de projetos econômicos (VICENS, 2019).

Nas últimas décadas, a sociedade tem presenciado uma acelerada evolução tecnológica, e no quesito das geotecnologias não tem sido diferente. Atualmente a utilização dos *Remotely-Piloted Aircraft System* (RPAS), representa uma redução nos custos de aquisição de imagens de altíssima precisão, além disso esta tecnologia permite ao usuário determinar o período em que se deseja realizar o imageamento. Em contrapartida, esses aparelhos são limitados pela condição do tempo, e por produzir cenas menores em comparação com sensores orbitais.

O presente artigo tem como objetivo realizar análises dos perfis longitudinais e transversais gerados por imageamentos realizados em 2020 e 2022, de um processo de voçorocamento, no município de Magé. Esta feição erosiva está localizada na Bacia do Rio Iriri, que por sua vez compõe a Região Hidrográfica V, a figura 1 apresenta a área de estudo.

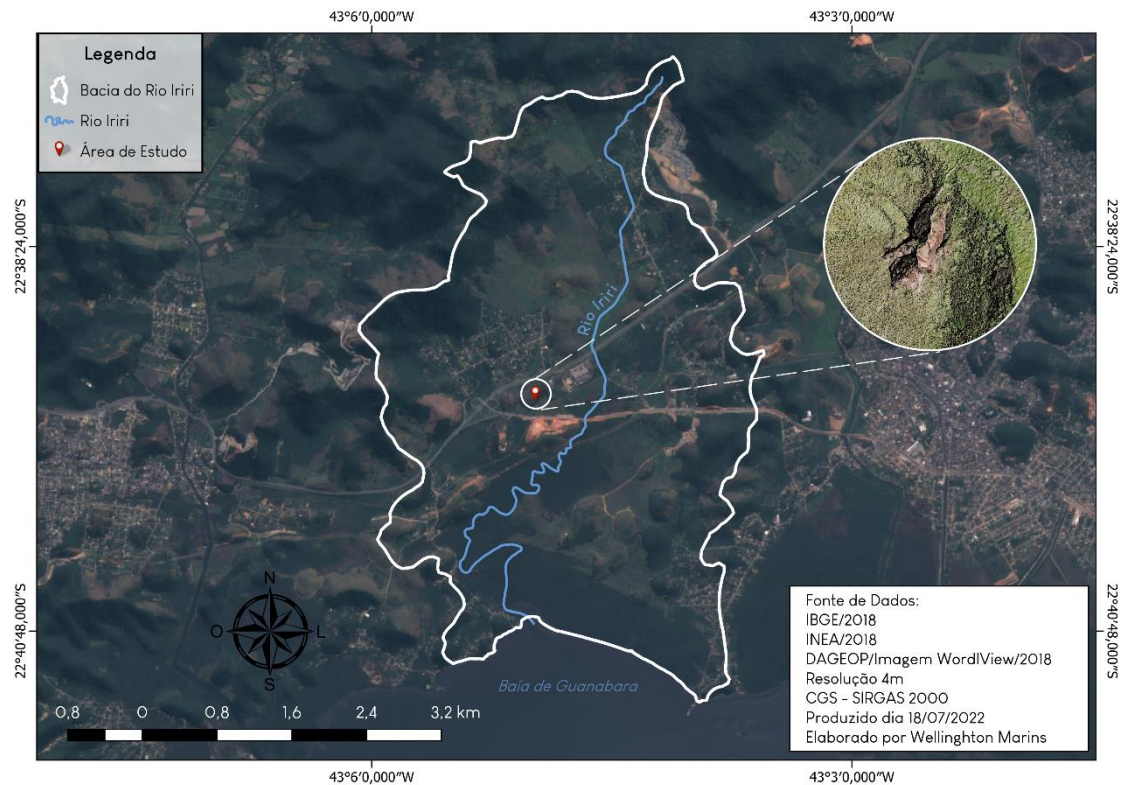


Figura 1. Mapa de localização da área de estudo. Fonte: O autor (2022).

METODOLOGIA

A metodologias deste trabalho será descrita a partir de 3 etapas específicas, porém interdependentes, que consistem no sobrevoo de veículo aéreo não tripulado (VANT), o processamento das imagens e do modelo digital de elevação, e na elaboração e interpretação dos perfis topográficos.

Sobrevoo do VANT

O sobrevoo com VANT ocorreu em dois períodos diferentes, sendo o primeiro em 04 de março de 2020, e o segundo no dia 23 de junho de 2022. Ambos imageamentos foram feitos a partir do modelo de RPA, Mavick Pro, com câmera composta por sensor 1/2.3" (CMOS), Píxeis efetivos: 12.35 M (Píxeis totais: 12.71 M) e lente FOV 78.8° 26 mm (formato equivalente a 35 mm) f/2.2 Distorção <1,5% de foco de 0,5 m a ∞.

No plano de voo do dia 04 de março de 2020 foi elaborado uma missão de dupla grade (Double Grid Mission) no aplicativo de *smartphone* Pix4D em uma área de 100x100m a 50 metros de altura e sobreposição entre as imagens de 70% e ângulo da câmera em 80°, o que gerou um tempo de voo de 5min e 57s e 97 imagens.

No plano de voo do dia 23 de junho de 2022 foi elaborado uma missão de dupla grade (Double Grid Mission) no aplicativo de *smartphone* Pix4D em uma área de 69x110m a

30 metros de altura e sobreposição entre as imagens de 72% e ângulo da câmera em 80°, gerando um tempo de voo de 12min e 34s e 281 imagens.

Processamento das imagens

Em relação ao processamento das imagens, ambos os sobrevoos foram feitos no software *PhotoScan Professional*, no qual gerou-se uma ortofoto e um Modelo Digital de Elevação (MDE) para cada ano, e como etapa pós processamento foi feito um shift diferente em cada MDE para uma aproximação maior em relação a planimetria e altimetria, tendo em vista a não utilização de pontos de controle em ambos os imageamentos, em relação ao imageamento de 2022, foi feito o levantamento por pontos de controle, entretanto não foi utilizado neste primeiro momento. A relação das resoluções espaciais e o shift de cada imageamento estão presentes na tabela a seguir:

TABELA 1: RELAÇÃO DAS RESOLUÇÕES ESPACIAIS E DO SHIFT

Característica	Imageamento de 2020	Imageamento de 2022
Resolução Espacial (Orto)	4,09 cm ² (2,10x1,95 cm)	3,53 cm ² (1,89x1,87 cm)
Resolução Espacial (MDE)	18,49 cm ² (4,30x4,30 cm)	13,84 cm ² (3,72x3,72 cm)
Shift	35,1 m	43,02 m

Fonte: Os autores (2022).

Processo de Criação dos Perfis

O MDE permite a visualização e a interpretação de diferentes características do terreno, e é um interessante recurso é a análise de perfis. Esta etapa foi desenvolvida inteiramente no QGIS (versão 3.26). Apesar da versão 3.26 ter introduzido a análise de perfis nativamente, o processo de criação dos perfis foi realizado a partir do plugin "*Profile Tool*", pois uma das vantagens em utilizar este plugin, está na visualização dos perfis a partir do traço de um arquivo *shapefile* (em linhas ou pontos), facilitando desta forma a edição.

No processo de criação dos perfis longitudinais, foram elaborados dois *shapefiles* no formato de pontos, criados desta maneira para a realização de alterações no traçado, cujo objetivo é seguir o talvegue. Ambos os traçados foram iniciados na borda superior da voçoroca (montante) e convergem no meio seguindo o mesmo traçado. Para auxiliar nesta construção, foi utilizado a ferramenta "*Valley Depth*" do SAGA, presente no QGIS 3.26, os parâmetros utilizados foram os padrões, como resultado deste processamento temos um *raster* com valores relacionados a profundidade. Estes traçados podem ser visualizados na figura 2.

Ainda sobre este processo, optou-se pelo uso da interpolação pelo método TIN, ferramenta executada no QGIS. Para obter êxito na utilização desta ferramenta, foi preciso extrair os vértices do polígono criado para o contorno da área erodida, a partir desta etapa utilizou-se a ferramenta “Amostrar valores do *raster*”, onde assim foi possível criar valores de cota para cada vértice, permitindo a realização da interpolação, estimando assim a forma da encosta antes do processo erosivo.

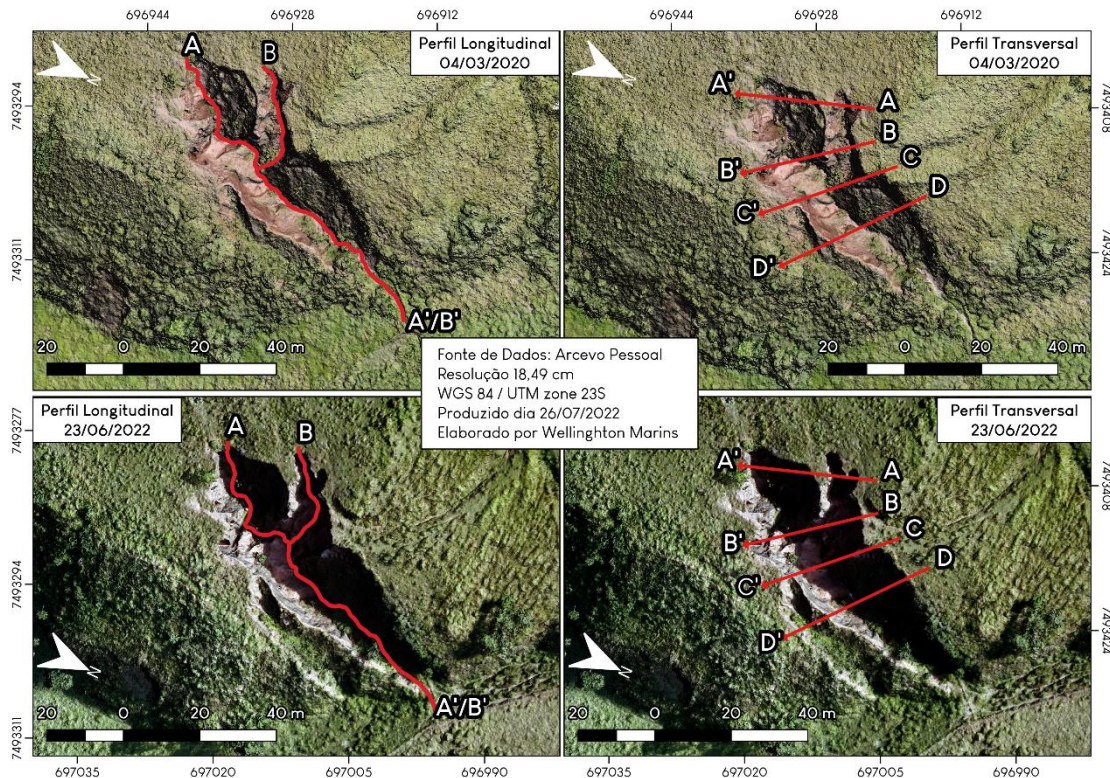


Figura 2. Perfis Longitudinais; Perfis Transversais; e as principais medidas.

A criação dos gráficos pelo plugin “*Profile Tools*” é feita de forma limitada. Então para uma melhor visualização e entendimento do gráfico, a linguagem R foi fundamental, sendo possível a elaboração mais sofisticada deste elemento.

Algumas operações foram necessárias antes de começar a programação pelo R, como a exportação dos dados em formato de “arquivo separado por vírgulas” (.csv), e a utilização deste arquivo para o tratamento do dado, assim como a criação de uma tabela no Microsoft Excel para uso no R.

Na linguagem R, para a criação base dos gráficos, foram utilizadas as funções *geom_line*, *geom_vline*, *annotate*, *labs* e *theme* inclusas no pacote “*ggplot2*” e outras funções como *read_excel* (necessária para leitura dos dados plotados no Excel), *grid.arrange* (necessário para organização em grade dos gráficos) também foram utilizados e estão disponíveis nos pacotes “*readXL*” e “*gridExtra*” respectivamente.

A última etapa do gráfico remeteu ao cálculo da escala horizontal, vertical e do exagero vertical. Para isso, tirou-se as medidas a partir do software Adobe Illustrator CS2, onde o gráfico foi inserido no seu tamanho original de 210x297 mm. A etapa seguinte remeteu a criação de uma reta na horizontal e uma na vertical formando entre si um ângulo de 90°, as retas no modelo ideal seriam de 10 mm (1 cm), atingido apenas nos perfis transversais (onde 1 cm no papel equivale a 350 cm no real), para os perfis longitudinais, na horizontal e na vertical 6 mm (0,6 cm) equivale a 2500 mm (2,5 m).

As razões de escala foram calculadas a partir da divisão entre as distâncias encontradas no terreno e as traçadas nos gráficos dos perfis, e podem ser observadas na tabela abaixo:

TABELA 2: RELAÇÃO DAS ESCALAS DOS GRÁFICOS

	Perfis Longitudinais	Perfis Transversais
Escala Horizontal	1:416,6	1:350
Escala Vertical	1:416,6	1:350
Exagero Vertical	Não há	Não há

Fonte: Os autores (2022).

RESULTADOS

Como parte dos resultados temos a tabela 3, que conta com 4 variáveis que são complementares, ou seja, o comprimento representa a extensão dos seus respectivos perfis, as alturas máximas e mínimas estão relacionadas as variações de elevação que ocorrem no perfil, e a variação de altura consiste na subtração da altura máxima pela mínima.

As alterações no comprimento entre os perfis longitudinais A-A', demonstra que o talvegue se estendeu em $\cong 3$ metros, e apresentou um aumento na variação de altura em $\cong 0,82$ metros, ou seja, a partir destas observações temos um indicativo de novos processos erosivos.

Entretanto, ao verificarmos o perfil longitudinal B-B', ainda temos um avanço em relação a sua extensão, porém na variação de altura temos um decréscimo de 0,73 metros, isso acontece, pois, ao visualizar o traçado dos perfis, temos a mudança na direção de início do perfil por conta da presença de um novo dígito ao lado. Aquela área passou recentemente por novos processos erosivos, o que gerou um maior volume de sedimentos, que por sua vez afetou a altura mínima. Além disso, com o início sendo deslocado, ocorre alteração na altura máxima.

TABELA 2: ESTATÍSTICA BÁSICA DOS PERFIS

Perfil Longitudinal	Comprimento	Altura Máxima	Altura Mínima	Variação de Altura
Perfil A-A' 2020	99,03 m	32,55 m	4,65 m	27,9 m
Perfil A-A' 2022	102,02 m	34,55 m	5,83 m	28,72 m
Perfil B-B' 2020	91,05 m	33,57 m	4,65 m	28,92 m
Perfil B-B' 2022	91,96 m	34,02 m	5,83 m	28,19 m
Perfil Transversal	Comprimento	Altura Máxima	Altura Mínima	Variação de Altura
Perfil A-A' 2020	36,95 m	34,24 m	22,97 m	11,27 m
Perfil A-A' 2022	36,95 m	34,35 m	23,45 m	10,9 m
Perfil B-B' 2020	36,59 m	33,22 m	16,38 m	16,84 m
Perfil B-B' 2022	36,59 m	32,78 m	16,79 m	15,99 m
Perfil C-C' 2020	38,62 m	33,21 m	13,73 m	19,48 m
Perfil C-C' 2022	38,62 m	32,17 m	12,8 m	19,37 m
Perfil D-D' 2020	43,08 m	26,32 m	7,7 m	18,62 m
Perfil D-D' 2022	43,08 m	26,42 m	9,19 m	17,23 m

Fonte: Os autores (2022).

As estatísticas básicas dos perfis levantam observações interessantes acerca da evolução do processo de voçoroca. Mas, não nos trazem total compreensão dos processos que estão ocorrendo na voçoroca. Desta maneira temos a construção dos gráficos, que mostram as variações ao longo do perfil.

Perfis Longitudinais

Os quatro perfis longitudinais têm uma área marcada por uma linha vertical tracejada, que indica o ponto onde o perfil longitudinal A-A' e B-B' se encontram. Um aspecto interessante está na elevação deste ponto de encontro, onde em 2020 tinha uma elevação de $\cong 13,997$ m e atualmente (2022) possui $\cong 13,284$ m, ou seja, houve um aprofundamento de $\cong 0,713$ m.

O perfil longitudinal A-A' do ano de 2020 contém uma observação circulada, que neste caso, significa um erro para o perfil, pois nesta análise está sendo usado um MDE, que é suscetível a este problema, sendo esta interferência representada por uma árvore.

Ao percorrer este perfil observamos irregularidades, que ocasionam aumento nas elevações. Estes aumentos significam acúmulo de sedimentos que ainda não foram carregados ou erodidos. Nestas zonas podemos ter a ocorrência de *pipings*, pois ao ocorrer um deslizamento, aquela zona é bloqueada (este material é possivelmente carregado na próxima chuva, entretanto caso não seja levado pela água, cria obstruções), o que impede a passagem da água.

Nos casos em que os bloqueios não são carregados, a água é forçada a mudar sua rota, ou criar tuneis, que ao longo do tempo irão ceder e o material depositado acima será

carreado pela água. O perfil longitudinal A-A' de 2020 e 2022 pode ser visualizado na figura 3.

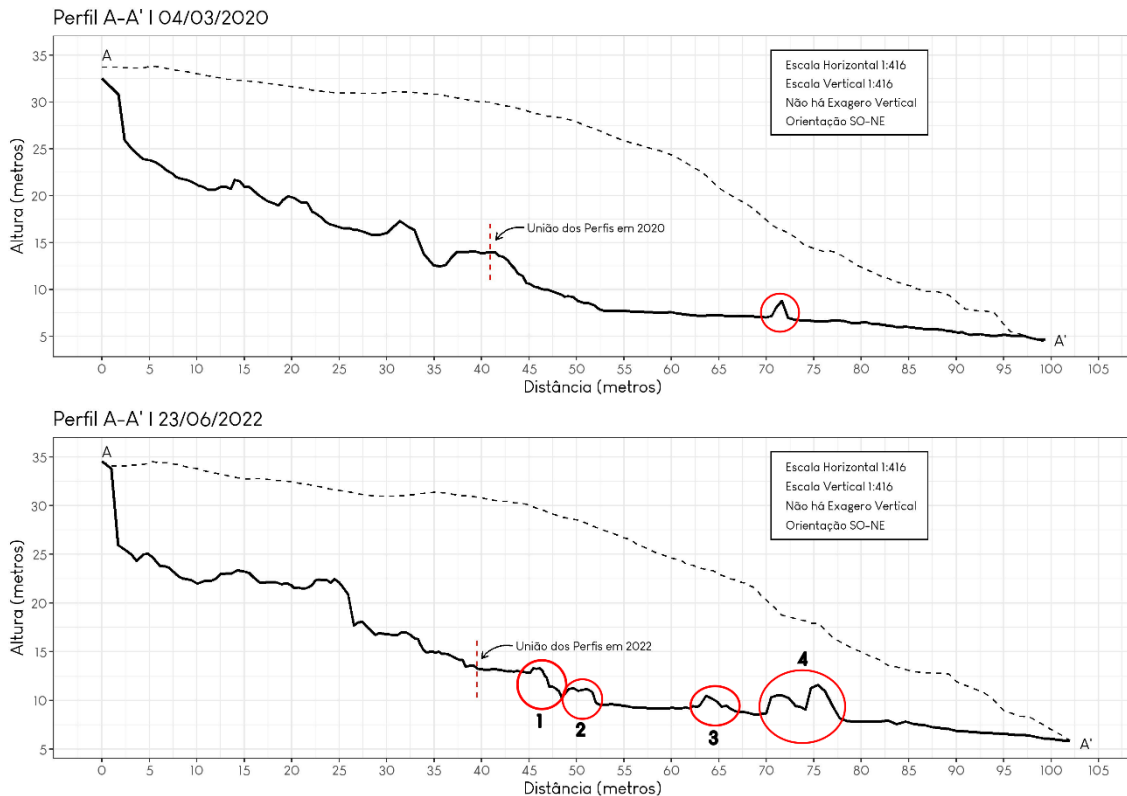


Figura 3. Perfil Longitudinal A-A' de 2020 e 2022. Fonte: Os autores (2022).

O perfil longitudinal A-A' de 2022, possui 4 marcações, nos pontos 3 e 4 aparentemente são árvores que influenciaram nas elevações do MDE. Os pontos 1 e 2 apontam para um acúmulo de sedimentos, de um deslizamento recente, a figura 4 apresenta este acúmulo, inclusive indicando o caminho preferencial da água.

Outra questão interessante está quando observamos o perfil transversal B-B' de 2020 para 2022, onde indica a erosão de uma parede no centro da voçoroca, entretanto não é possível afirmar que este sedimento que bloqueia o caminho é oriundo desta parede, pois por conta do longo tempo para revisita da área de estudo este sedimento pode ser da queda de outras partes da voçoroca.



Figura 4. Observações dos pontos 1 e 2 do perfil longitudinal A-A'. Fonte: Os autores (2022).

Os perfis longitudinais B-B' apresentam diferenças intrigantes, principalmente quando é perceptível uma alteração no grau de inclinação da parede inicial do perfil, pois podemos notar que em 2020 a zona entre 0 e 2,5m era mais íngreme e profunda, e em 2022 apesar de ainda ser íngreme, é apresentado de forma mais suave. Este fato está relacionado com a evolução do processo, como dito anteriormente, o digito o qual descreve o perfil longitudinal B-B' avançou, ou seja, aquela zona demonstra quedas mais recentes. Além disso, é possível observar que no decorrer do perfil até o ponto de união, o perfil do ano de 2022 apresenta um acúmulo maior de sedimentos. Entretanto no ponto de união temos uma queda quase que abrupta. De mesma maneira nos perfis A-A', as irregularidades significam um acúmulo de sedimentos que bloqueiam a passagem da água, o que pode significar que nessas zonas existam *pipings*. O perfil longitudinal B-B' pode ser observado na figura 5.

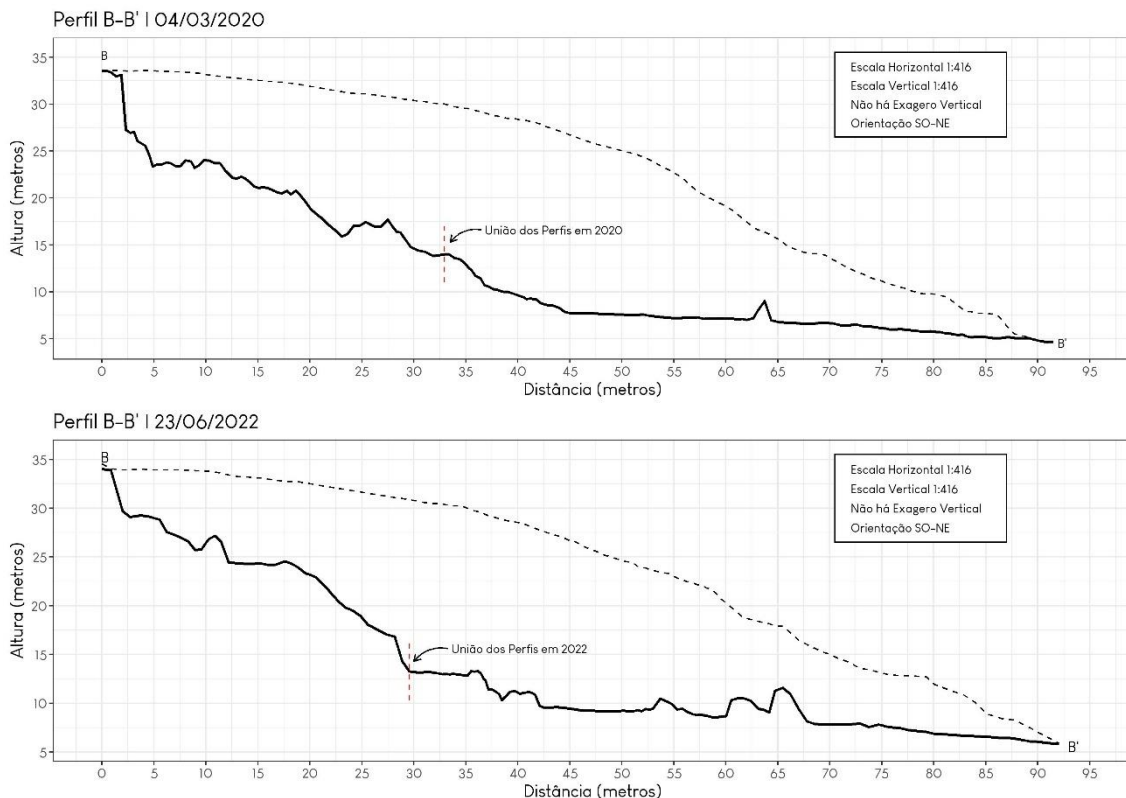


Figura 5. Perfil Longitudinal B-B' de 2020 e 2022. Fonte: Os autores (2022).

Perfis Transversais

Os perfis transversais são importantes nesta análise, pois com eles é possível compreender o aprofundamento do canal, além de possíveis mudanças ao longo dos perfis.

O perfil transversal A-A' de 2020 para 2022 apresenta diferenças sutis, neste existem duas marcações tanto no ano de 2020 quanto no ano de 2022, ambas as marcações

possuem mesma numeração por se tratar da mesma zona. No ponto 1 é possível notar o desgaste da parede, logo levando sedimentos para o interior da voçoroca, o que pode representar o maior volume de sedimentos observados nas partes mais profundas, assim como as diferenças vistas nos perfis longitudinais B-B'.

O perfil transversal B-B' entre os anos analisados, apresenta um resultado importante para a presente pesquisa, pois é um indicativo que a voçoroca está em evolução. O ponto 3 em 2020 apresentava uma parte de uma parede da voçoroca, que em 2022 deixou de existir, ou seja, parte desta parede caiu, o que pode representar as alterações de volume observados nos perfis longitudinais de 2022. Além desta queda, o perfil em 2022 apresenta o surgimento de mais um dígito, nas distâncias entre 30 e 36m. Estes perfis podem ser vistos na figura 6.

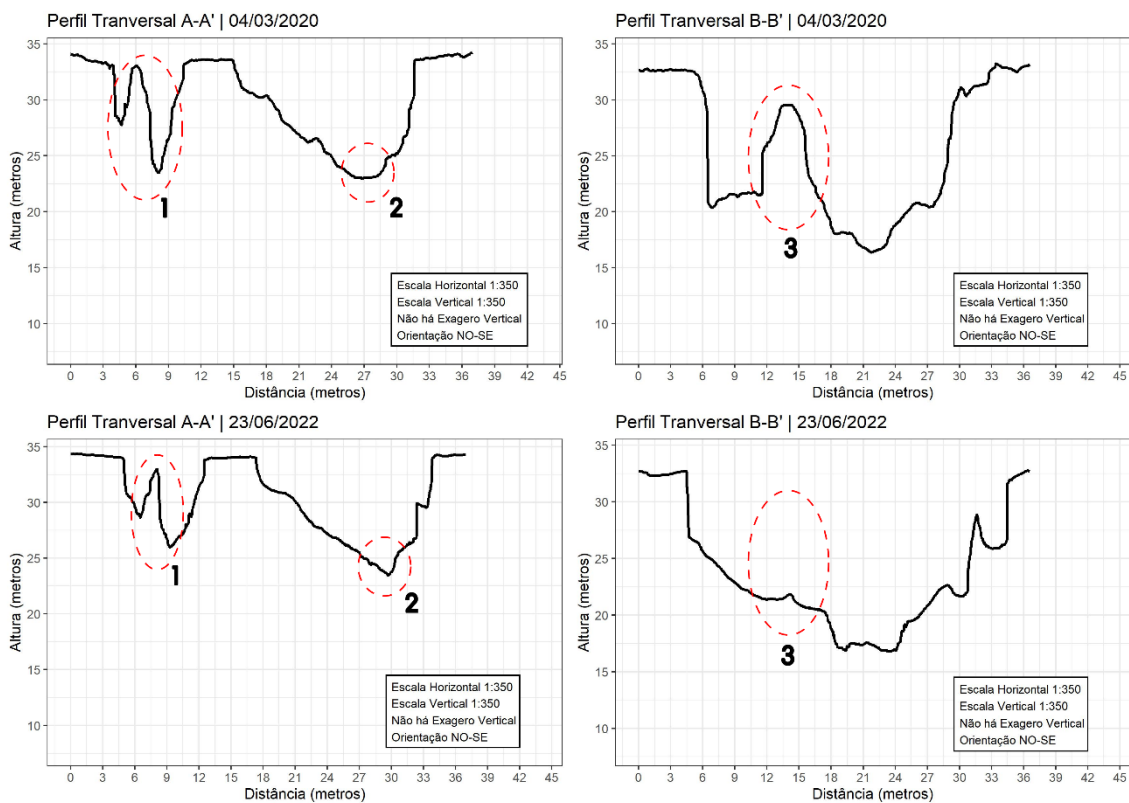


Figura 6. Perfil Transversal A-A' e B-B' de 2020 e 2022. Fonte: Os autores (2022).

O perfil transversal C-C' apresenta como principal diferença, o aprofundamento do canal principal da voçoroca, marcado no ponto 1. O perfil transversal D-D' por sua vez apresenta a evolução de um dígito, inclusive onde pode ser visto uma das paredes apresentando uma inclinação de 90° , esta observação está marcada no ponto 2. Estes perfis podem ser vistos na figura 7.

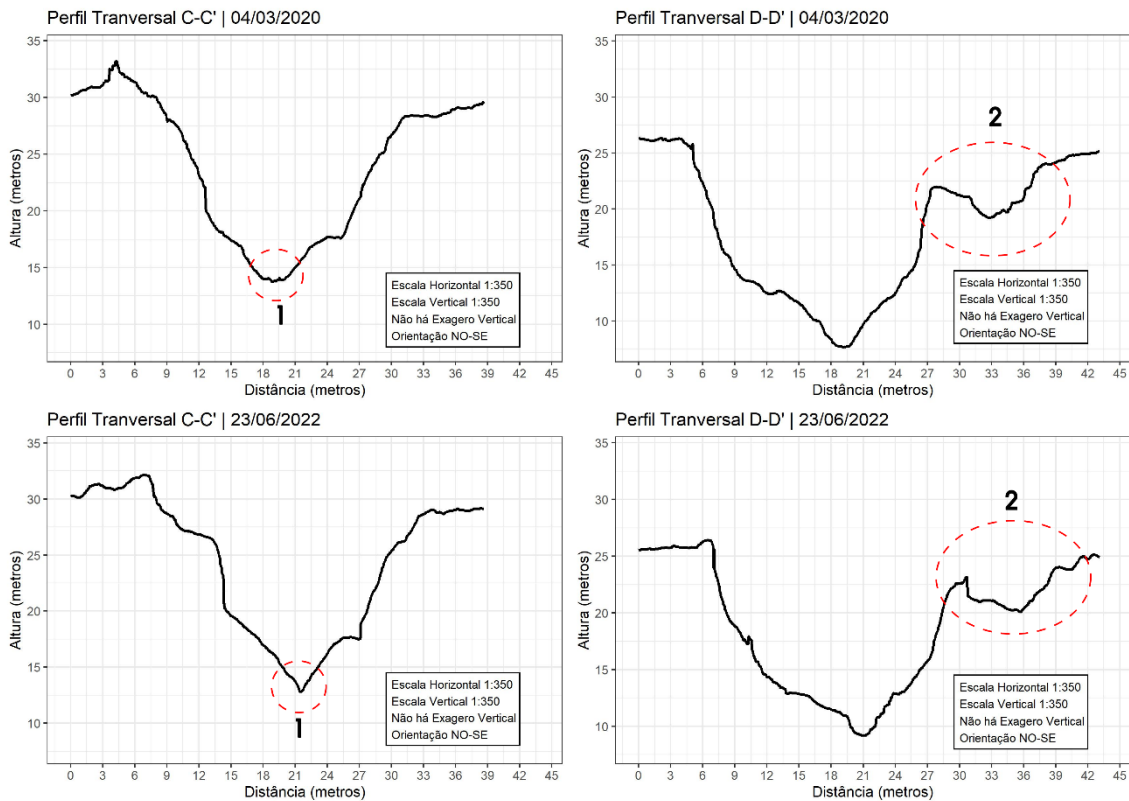


Figura 7. Perfil Transversal A-A' e B-B' de 2020 e 2022. Fonte: Os autores (2022).

Uma observação a ser feita está relacionada as escalas apresentadas nos gráficos. É preciso levar em consideração as alterações provocadas pelo manuseio da figura para sua incorporação no artigo.

CONCLUSÕES

Para concluir, as observações levantadas no presente artigo apresentaram aspectos que indicam a evolução no processo de voçorocamento, tanto em área, se tratando do seu entorno, como internamente.

Os perfis longitudinais foram traçados a partir do talvegue, e as mudanças foram perceptíveis. A primeira observação a ser feita é em relação a sua extensão, os perfis A-A' e B-B' apresentam maiores extensões.

No perfil longitudinal A-A' temos evoluções também na variação entre as alturas, enquanto no perfil longitudinal B-B' não se tem o mesmo padrão, o motivo observado está relacionado a extensão do talvegue e sua mudança de direção.

Todos os perfis transversais apresentaram mudanças, porém a mais relevante está presente no perfil transversal B-B', onde é perceptível a queda de uma parede interna da voçoroca, sendo um indicativo claro da evolução do processo de voçorocamento. Além desta queda, é possível observar a presença de um novo dígito.

A análise dos perfis topográficos representa uma importante contribuição, pois eles apresentam possíveis locais de *pipings* e quando analisados de forma comparativa, é possível se chegar à compreensão da evolução do processo erosivo.

Os resultados obtidos revelam a atividade deste processo erosivo, além disso, trazem a importância do imageamento por RPAS, pois esta tecnologia tornou possível uma análise de detalhe, de uma feição relativamente pequena, o que não seria possível a partir de imagens orbitais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AUGUSTIN, Cristina Helena Ribeiro Rocha; ARANHA, Paulo Roberto Antunes. A OCORRÊNCIA DE VOÇOROCAS EM GOUVEIA, MG: CARACTERÍSTICAS E PROCESSOS ASSOCIADOS. Geonomos, 2006.

GUERRA, A. J. T. Processo Erosivo nas Encostas. In: GUERRA, A. J. T. & CUNHAS, S. B. (org.). Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos. 15. Ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 2021. 149-209 p.

VICENS, R. S.; RODRIGUEZ, J. M.; CRONEMBERGER, F. M. A PAISAGEM FÍSICO-GEOGRÁFICA: REPRESENTAÇÃO CARTOGRÁFICA. Revista Brasileira de Geografia, Rio de Janeiro, v. 64, n. 2, p. 2-17, 2019. Disponível em: <https://rbg.ibge.gov.br/index.php/rbg/article/view/1648>.