

# INVENTÁRIO DE CICATRIZES DE MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA DO DESASTRE DE 16 E 17 DEZEMBRO DE 2020, NOS MUNICÍPIOS DE PRESIDENTE GETÚLIO, IBIRAMA E RIO DO SUL, SANTA CATARINA

Luiz Felipe Poli Schramm<sup>1</sup>, Liliana Sayuri Osako<sup>2</sup>

<sup>1</sup>UFSC, luizfelipeschramm@gmail.com; <sup>2</sup>UFSC, liliana.osako@ufsc.br

## RESUMO

Os inventários de cicatrizes de movimentos gravitacionais de massa (MGM) constituem uma importante ferramenta em avaliações de risco e suscetibilidade, a fim de mitigar os impactos desses fenômenos. Este trabalho delimitou e caracterizou as cicatrizes dos MGM deflagrados por um evento de precipitação intensa em 16 e 17 de dezembro de 2020, na divisa entre Presidente Getúlio, Ibirama e Rio do Sul, no estado de Santa Catarina. Os métodos utilizados compreendem a análise multitemporal de imagens Sentinel-2 e CBERS-04a, análise das redes de drenagem e validação em campo. Foram identificadas 143 cicatrizes, com uma área total de 0,54 km<sup>2</sup>. Os tipos de MGM compreendem deslizamentos planares com grande extensão lateral e fluxos de detritos, que ocorrem na direção dos trechos de drenagem. Os resultados revelam que o método utilizado é eficaz devido à alta concentração de cicatrizes em uma área reduzida e os produtos poderão auxiliar estudos futuros na região.

**Palavras-chave** — *Movimentos gravitacionais de massa, inventário, deslizamentos, fluxos de detritos.*

## ABSTRACT

*Landslide inventory maps are an important tool in risk and susceptibility assessments, in order to mitigate the impacts of these events. The following study identified the scars of landslides triggered by a extreme rainfall event in December 16 and 17, 2020, in the border between Presidente Getúlio, Ibirama and Rio do Sul, in the state of Santa Catarina, southern Brazil. The methods include multitemporal analysis of Sentinel-2 and CBERS-04a satellite images, analysis of drainage networks and field validation. 143 scars were mapped, with a total area of 0.54 km<sup>2</sup>. The main types of landslides identified were planar landslides, with large lateral extension and debris flows, which occur in the direction of drainage stretches. The results obtained show that the methods used are effective due to the high number of scars found in a small area, and the products may contribute in future studies in the region.*

**Key words** — *Landslides, inventory map, planar landslides, debris flow.*

## 1. INTRODUÇÃO

Os movimentos gravitacionais de massa (MGM) são definidos como o transporte de solo, rocha e/ou vegetação ao longo de uma encosta. No Brasil, esses eventos estão frequentemente associados a impactos econômicos, danos ambientais e perdas de vidas [1].

Com o intuito de reduzir os impactos causados pelos MGM, o mapeamento e estudo das cicatrizes deixadas por tais fenômenos é imprescindível em avaliações de risco e suscetibilidade. Nesse contexto, os inventários de MGM representam um conjunto de informações como a localização, tipo de movimento, superfícies de ruptura e extensão das cicatrizes, além de indicar áreas que necessitam de estudos mais detalhados [2], [3].

Entre os diferentes métodos utilizados na elaboração dos inventários de cicatrizes se destacam as análises por imagens de satélite. Diversos trabalhos nacionais e internacionais utilizam análises baseadas na interpretação visual de imagens de média e alta resolução. Nesse âmbito, trabalhos como [4], [5], [6] destacam a importância da aplicação de imagens de satélites, como o Sentinel, na análise de desastres naturais.

No Brasil, o estado de Santa Catarina é historicamente afetado por desastres naturais associados a MGM e enchentes. Nesse contexto, destaca-se a tragédia de 16 e 17 de dezembro de 2020, ocorrida na divisa entre os municípios de Ibirama, Presidente Getúlio e Rio do Sul, próximo a Serra do Tucano. Na tragédia, um episódio de precipitação intensa seguido de uma série de MGM causou a morte de 21 moradores da região e resultou em centenas de desalojados devido às inundações que ocorreram associadas ao evento [7].

A área de estudo deste trabalho compreende as regiões dos bairros Valada São Paulo (Rio do Sul), Ribeirão das Pedras (Ibirama) e Revólver (Rio do Sul). Entre os trabalhos publicados na mesma região, se destacam [7] e [8], que identificaram a ocorrência de 98 cicatrizes de MGM através métodos semiautomáticos de geoprocessamento utilizando imagens de satélite Sentinel-2.

Dessa forma, este trabalho possui como objetivo elaborar o inventário de MGM em escala 1:5.000 do desastre de 16 e 17 de dezembro de 2020, através da análise multitemporal de imagens de satélite Sentinel-2 e CBERS-04a. Além disso, propõe-se classificar os tipos de MGM identificados, caracterizar a morfologia e extensão das cicatrizes e criar um banco de dados com as informações obtidas.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

As cicatrizes dos MGM ocorridos nos dias 16 e 17 de dezembro de 2020 foram identificadas e delimitadas através da interpretação visual de imagens dos satélites Sentinel-2 e CBERS-04a, anteriores e posteriores ao evento. As informações de data, satélite/sensor, resolução espacial e bandas utilizadas são apresentadas na Tabela 1.

As imagens foram processadas no *software* de geoprocessamento QGIS. Foram realizados procedimentos de composição colorida RGB na região do visível e fusão (*pan-sharpening*) das bandas 1, 2, 3 e 8 das imagens do satélite CBERS-04a, com o intuito de atingir a resolução espacial de 2 metros.

| Data       | Satélite /sensor   | Resolução espacial | Bandas  |
|------------|--------------------|--------------------|---|
| 26/09/2020 | Sentinel-2/<br>MSI | 10 metros          | 2 - azul                                      |
| 18/02/2021 |                    |                    | 3 - verde<br>4 - vermelho                     |
| 25/05/2021 | CBERS-04a/<br>WPM  | 2 metros           | 1 - azul                                      |
| 28/12/2021 |                    |                    | 2 - verde<br>3 - vermelho<br>8 - pancromática |

**Tabela 1. Imagens de satélites utilizadas na elaboração do inventário de cicatrizes.**

Após o processamento das imagens, as cicatrizes foram primeiramente identificadas e delimitadas manualmente através da análise das imagens Sentinel-2 e posteriormente o traçado foi refinado pela interpretação das imagens CBERS-04a. A análise de imagens de satélites diferentes se deu pela resolução temporal distinta do Sentinel-2 e CBERS-04a e considerou que o primeiro ofereceu imagens com menor cobertura de nuvens e mais próximas à data de ocorrência do desastre.

O critério utilizado na delimitação foi a presença de solo exposto em encostas nas imagens posteriores ao evento e que apresentavam vegetação florestal na imagem anterior, do dia 26 de setembro de 2020. As cicatrizes foram delimitadas em forma de polígonos e as respectivas cabeceiras em forma de pontos. A partir dos dados obtidos, foram extraídas estatísticas do total de cicatrizes e cabeceiras e a área dos polígonos em km<sup>2</sup>.

Na sequência, foram analisados os aspectos morfológicos das cicatrizes. Para isso, foi verificada a geometria e a relação entre as cicatrizes e a rede de drenagem. Nessa etapa, os dados do inventário foram sobrepostos com a rede de trechos de drenagem disponibilizada pela Secretaria de Desenvolvimento Sustentável de Santa Catarina (SDS/SC) e a relação espacial entre os dados foi interpretada visualmente com auxílio das imagens de satélite.

Após a caracterização morfológica das cicatrizes e análise dos trechos de drenagem, foi realizada uma etapa de campo entre os dias 6 e 9 de maio de 2022, com o intuito de validar

as informações obtidas. Na visita à área de estudo foram coletadas fotografias e observações *in loco* das cicatrizes mapeadas, além de informações referentes à litologia e estruturas geológicas.

Por último, as cicatrizes foram classificadas em diferentes tipos de MGM, segundo a classificação proposta por [9]. Além disso, os dados obtidos foram armazenados em um banco de dados no *software* QGIS. As informações compiladas incluem as coordenadas geográficas das cabeceiras, tipo de movimento e área das cicatrizes (km<sup>2</sup>) e litologia predominante.

## 3. RESULTADOS

### 3.1. Inventário de cicatrizes de MGM

A partir da análise multitemporal de imagens Sentinel-2 e CBERS-04a, foram identificadas 143 cicatrizes de MGM nas regiões da Valada São Paulo, Ribeirão das Pedras e Revólver (Figura 1). Destas, 107 foram observadas em campo. As demais 36 cicatrizes foram mapeadas somente através das imagens de satélite e não puderam ser observadas *in loco* devido à dificuldade de acesso e relevo do local, que não permitiram a observação em detalhe ou à distância.

As estatísticas referentes ao total de cicatrizes mapeadas, porcentagem por região e a extensão em área são apresentadas na Tabela 2. Foi identificado que o vale da Valada São Paulo, em Rio do Sul, registou o maior número de ocorrências de movimentos de massa no desastre, assim como a maior área em quilômetros quadrados.

| Região              | Número de cicatrizes | Porcentagem de cicatrizes | Área (km <sup>2</sup> ) |
|---------------------|----------------------|---------------------------|-------------------------|
| Valada São Paulo    | 93                   | 65,0%                     | 0,34                    |
| Ribeirão das Pedras | 31                   | 21,7%                     | 0,089                   |
| Revólver            | 19                   | 13,2%                     | 0,13                    |
| <b>Total</b>        | <b>143</b>           | <b>100%</b>               | <b>0,56</b>             |

**Tabela 2. Estatísticas das cicatrizes de MGM identificadas no inventário.**

### 3.2. Deslizamentos planares

Os deslizamentos planares foram os principais tipos de MGM identificados nos bairros Valada São Paulo e Ribeirão das Pedras. Esses movimentos se desenvolveram próximos à crista dos morros e se transformaram em fluxos de detritos ao atingir o fundo do vale.

A superfície de ruptura é planar, caracterizada pela alta declividade, morfologia côncava e sobre solo de origem sedimentar. O solo na cabeceira se desenvolveu a partir de arenitos finos a médios. O material transportado é composto



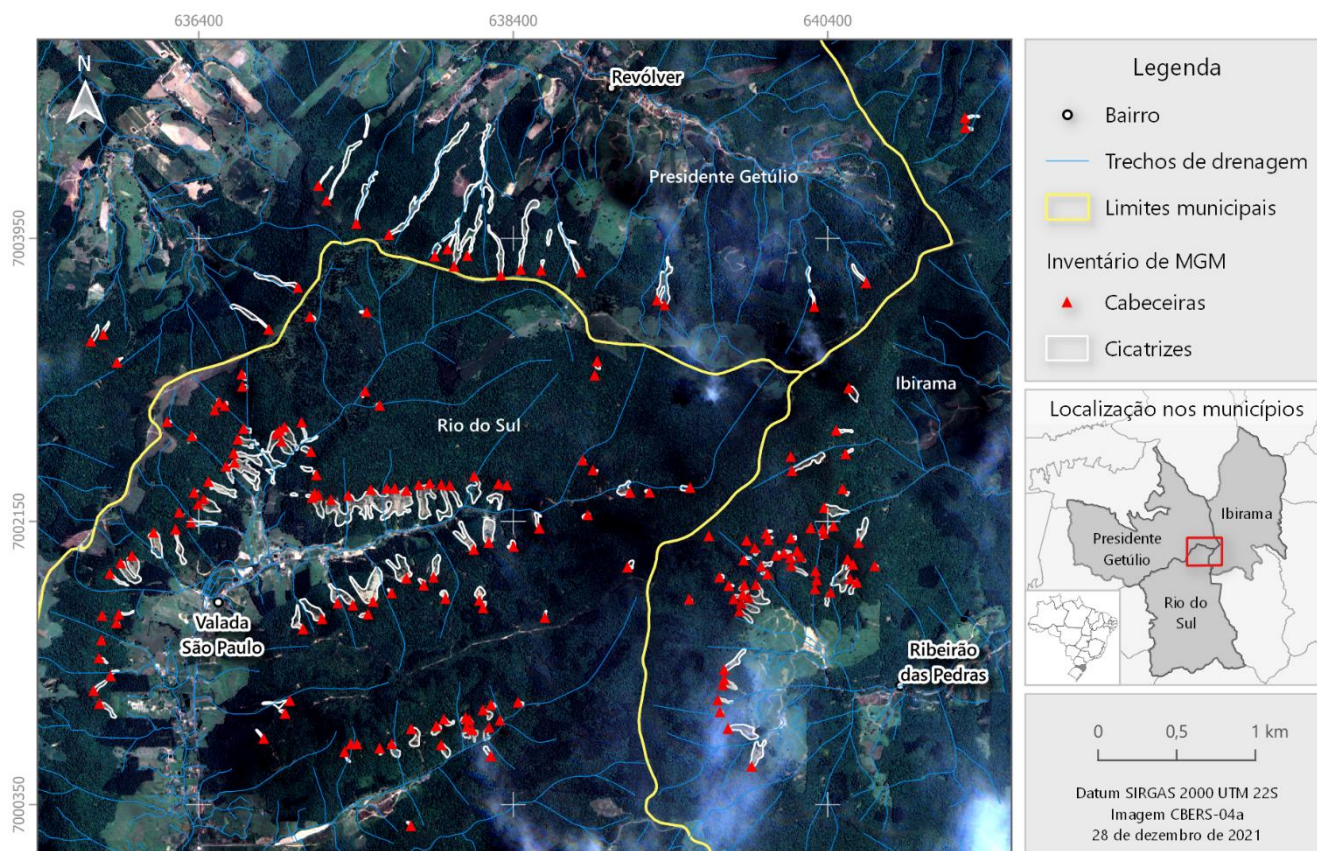


Figura 1: Mapa do inventário de cicatrizes de MGM da região dos bairros Valada São Paulo, Ribeirão das Pedras e Revólver.

por blocos de arenito, solo, vegetação nativa e eucaliptos. Os colúvios foram formados em declividades menos acentuadas e apresentam morfologia convexa.

Além disso, a interseção entre as cicatrizes e a rede de trechos de drenagem revelou que os fluxos aquosos não estão conectados à maioria das superfícies de ruptura identificadas (Figura 1). Apenas quando o material foi transportado para declividades menos acentuadas, já próximo ao fundo do vale, parte dos colúvios formados atingiu os trechos de drenagem principais das regiões. Dessa forma, os deslizamentos planares se transformaram em fluxos de detritos com alto poder de destruição, devido a mistura do material transportado com águas fluviais e pluviais.

#### 4.1. Fluxos de detritos

Os fluxos de detritos foram os principais tipos de MGM identificados no bairro Revólver. Esses movimentos se desenvolveram a partir de deslizamentos planares próximos à crista do Planalto Mirador e percorreram centenas de metros até as áreas residenciais do bairro.

A superfície de ruptura é caracterizada pela morfologia planar, alta declividade e ocorre sobre solo sedimentar pouco espesso, originado pela alteração de arenitos. A morfologia das cicatrizes mapeadas revelou um padrão distinto do observado na Valada São Paulo e Ribeirão das Pedras.

Foi verificado que as cicatrizes seguem a direção dos trechos de drenagem da região e possuem um formato alongado, com pouca extensão lateral (Figura 1). Através dessas características foi possível determinar que o movimento responsável pela ruptura das encostas se trata de deslizamentos planares, os quais rapidamente atingiram os trechos de drenagem próximos e se transformaram em fluxos de detritos. Assim, o material composto por solo, rochas e vegetação percorreu centenas de metros até atingir a drenagem principal do bairro Revólver, onde foi responsável pela destruição de casas e perdas de vidas.

#### 4. DISCUSSÃO

Os resultados parciais obtidos revelaram que os deslizamentos planares e os fluxos de detritos são os principais movimentos de massa relacionados ao desastre de 16 e 17 de dezembro de 2020.

Ao todo foram identificadas 143 cicatrizes desses eventos na área de estudo, o que representa 45 a mais do que o total identificado nos trabalhos de [7] e [8]. Essa diferença mostra um nível de detalhe maior do inventário elaborado neste trabalho e pode ser explicada pelos diferentes métodos utilizados nas pesquisas, o que indica que a análise visual e detalhada de diversas imagens de satélite é eficaz na identificação de cicatrizes.

Os diferentes padrões de interação entre as cicatrizes e as redes de drenagem, indicam que os deslizamentos planares se transformaram em fluxos de detritos nas três regiões analisadas. Essa dinâmica de transformação também foi identificada na mesma área de estudo por [7] e [8], que caracterizam parte das inundações registradas na tragédia.

## 5. CONCLUSÕES

O presente trabalho identificou e delimitou 143 cicatrizes de movimentos gravitacionais de massa (MGM) associadas ao desastre de 16 e 17 de dezembro de 2020, que atingiu os bairros Valada São Paulo, Ribeirão das Pedras e Revólver, na divisa entre Presidente Getúlio, Ibirama e Rio do Sul, em Santa Catarina.

Os dados obtidos revelam que a Valada São Paulo possui o maior número de ocorrências e a maior extensão em quilômetros<sup>2</sup> de cicatrizes. Os principais tipos de MGM identificados compreendem deslizamentos planares e fluxos de detritos, que possuem características morfológicas distintas. Os deslizamentos planares ocorreram principalmente na Valada São Paulo e Ribeirão das Pedras, apresentam maior extensão lateral e não estão diretamente conectados com a rede de drenagem. Enquanto os fluxos de detritos foram observados principalmente no bairro Revólver e apresentam morfologia alongada na direção dos trechos de drenagem.

Os métodos utilizados, baseados na interpretação visual de imagens dos satélites Sentinel-2 e CBERS-04a anteriores e posteriores à ocorrência dos MGM, se mostraram eficazes devido à extensão da área atingida e o grande número de cicatrizes identificadas em escala de detalhe.

Os resultados obtidos neste trabalho são de grande relevância para futuros estudos de avaliação de risco, suscetibilidade e condicionantes do desastre de 16 e 17 de dezembro de 2020. O inventário de cicatrizes elaborado também poderá indicar áreas adjacentes que necessitam de estudos detalhados e poderá ser utilizado no monitoramento de MGM da região.

## 8. REFERÊNCIAS

- [1] L. K. Tominaga. J. Santoro. R. Amaral. *Desastres Naturais: conhecer para prevenir*. São Paulo: Instituto Geológico, 197p. 2009.
- [2] F. Guzzetti, Fausto. Landslide inventory maps: New tools for an old problem. *Earth-science Reviews*, [s.l.], v. 112, n. 1-2, p.42-66, abr. 2012.
- [3] L. M. Highland. P. Bobrowsky. *The landslide handbook – A guide to understanding landslides*. Virginia, 2008. United States Geological Survey Circular 1325, 129. 2008.
- [4] A.C. Mondini. M. Santangelo. M. Rocchetti. E. Rossetto. A. Manconi. O. Monserrat. *Sentinel-1 SAR Amplitude Imagery for Rapid Landslide Detection*. *Remote Sens*. 11, 760. 2019.
- [5] P. Confuorto. D.S. Matteo. L. Solari. D. Festa. S. Bianchini. F. Raspini. N. Casagli. Sentinel-1-based monitoring services at regional scale in Italy: State of the art and main findings. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 102. 2021.
- [6] G. L. Cardozo. F. Zanandrea. G. P. Michel, G. P. M. KOBİYAMA. *Mass movements inventory of the Mascarada river watershed/RS*. *Ciência E Natura*, 43, e31. 2021.
- [7] G. Michel. H. Schwarz. B. Abatti. L. Paul. M. Silva. F. Zanandrea. C. Salvador. G. Censi. A. Biehl. M. Kobiyama. *Relatório técnico dos desastres de dezembro de 2020 nos municípios de presidente getúlio, ibirama e rio do sul -sc*. 2021.
- [8] T. Dutra. V. Hilquias. *Cadastro de ocorrências de movimentos gravitacionais de massa: Rio do Sul, Santa Catarina*. 2021.
- [9] D. J. Varnes. Slope Movement Types and Processes. In: Schuster, R.L. and Krizek, R.J. Eds. *Landslides: Analysis and Control*. Transportation Research Board, Special Report No. 176, National Academy of Sciences, 11-33. 1978.