MAPEAMENTO E ASPECTOS GEOTÉCNICOS DOS MOVIMENTOS DE MASSA DO MEGADESASTRE DO RIO GRANDE DO SUL EM 2024

Marcio Roberto Magalhães de Andrade
Geólogo, Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN), São José dos Campos-SP
Programa de Pós-Graduação em Desastres Naturais (UNESP/CEMADEN), São José dos Campos-SP
E-mail: marcio.andrade@cemaden.gov.br
Harideva Marturano Egas
Geógrafo, Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN), São José dos Campos-SP
Programa de Pós-Graduação em Desastres Naturais (UNESP/CEMADEN), São José dos Campos-SP
E-mail: harideva.egas@cemaden.gov.br
Rodrigo Augusto Stabile
Geógrafo, Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN), São José dos Campos-SP
E-mail: rodrigo.stabile@cemaden.gov.br
João Paulo Carvalho de Araújo
Geógrafo, Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN), São José dos Campos-SP
E-mail: joao.araujo@cemaden.gov.br
Tulius Dias Nery
Geógrafo, Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN), São José dos Campos-SP
E-mail: tulius.nery@cemaden.gov.br
Gean Paulo Michel
Engenheiro Ambiental, Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH), Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre-RS
E-mail: gean.michel@ufrgs.br
Tatiana Sussel Gonçalves Mendes
Engenheira Cartógrafa, Instituto de Ciência e Tecnologia (ICT), Universidade Estadual Paulista (UNESP), São José dos Campos-SP
Programa de Pós-Graduação em Desastres Naturais (UNESP/CEMADEN), São José dos Campos-SP
E-mail: tatiana.mendes@unesp.br
Danielle Silva de Paula
Geógrafa, Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN), São José dos Campos-SP
E-mail: danielle.depaula@cemaden.gov.br
Elisabete Weber Reckziegel
Geógrafa, Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN), São José dos Campos-SP
E-mail: elisabete.reckziegel@cemaden.gov.br
Demerval Aparecido Gonçalves
Cientista da Computação, Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN), São José dos Campos-SP
E-mail: demerval.goncalves@cemaden.gov.br

RESUMO
Entre o final de abril e o início de maio de 2024, o Rio Grande do Sul vivenciou o desastre geohidrológico mais severo da história. A precipitação acumulada de até 850 mm ao longo de 13 dias causou deslizamentos e inundações históricas. Este evento hidrometeorológico extremo impactou mais de 2.000.000 de pessoas, resultando em aproximadamente 500.000 pessoas deslocadas ou desabrigadas, 183 mortes confirmadas e 27 desaparecidos. As imagens Planet do Programa Brasil MAIS de 06, 07 e 08 de maio de 2024 foram utilizadas por especialistas em geodinâmica do CEMADEN para o reconhecimento visual das feições produzidas pelos movimentos de massa que foram digitalizadas gerando um banco de dados abrangente do evento. A alta resolução espacial e temporal foram imprescindíveis para a execução do mapeamento das áreas afetadas por este evento de alta magnitude, permitindo a avaliação dos processos em várias escalas, a validação de modelos

geológico-geotécnicos, a análise de limiares críticos de chuva e o diagnóstico dos impactos decorrentes, fundamentais para atender ao sistema de alerta antecipados de movimentos de massa e a demanda de resposta do governo federal. Os trabalhos de campo permitiram a observação dos fatores condicionantes, a identificação de diferentes tipologias e auxiliaram na compreensão dos mecanismos de deflagração dos movimentos de massa. Foram reconhecidas determinadas tipologias de movimentos de massa que acompanham um forte controle geológico-geotécnico em função de estruturas resultantes de derrames vulcânicos que, por sua vez, condicionam o perfil morfológico das encostas. Na região de Bento Gonçalves, Vale do Rio das Antas, foram reconhecidas ocorrências concentradas de deslizamentos rasos (*debris slide*) e avalanches (*debris avalanche*), ocorrências determinadas por deslizamentos de rocha fraturada (*rock irregular slide*), intensas e amplas corridas de massa (*debris flow*) e ocorrências de rastejo em coberturas coluvionares com espessura e textura variada (planar/rotacional slide). Os mecanismos diferenciados estão relacionados com modelos geológico-geotécnicos específicos que definem diferentes abordagens para avaliação de suscetibilidade e planejamento do monitoramento de fatores ambientais de deflagração de movimentos de massa na região. Os resultados colaboraram ainda para análise de locais para o monitoramento ambiental pela rede observacional do CEMADEN.

PALAVRAS-CHAVE: Desastre geohidrológico, Escarpa da Serra Geral, Sistema de Alerta Antecipado, Mapeamento de feições de movimentos de massa, Imagem Planet.

MAPPING AND GEOTECHNICAL ASPECTS OF MASS MOVEMENTS FROM THE MEGA-DISASTER IN RIO GRANDE DO SUL IN 2024

ABSTRACT

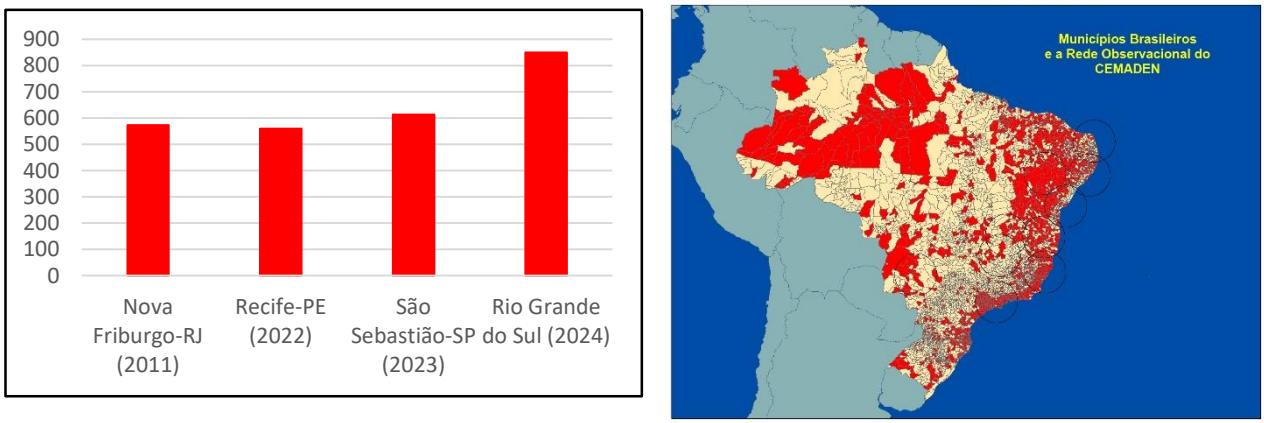
Between the end of April and the beginning of May 2024, Rio Grande do Sul experienced the most severe geohydrological disaster in history. Accumulated rainfall of up to 850 mm over 13 days caused historic landslides and flooding. This extreme hydro-meteorological event impacted more than 2,000,000 people, resulting in approximately 500,000 displaced or homeless people, 183 confirmed deaths and 27 missing persons. Planet images from the Brasil MAIS Program from May 6, 7 and 8, 2024 were used by CEMADEN's geodynamics experts to visually recognize the features produced by the mass movements, which were digitized to generate a comprehensive database of the event. The high spatial and temporal resolution were essential for mapping the areas affected by this high-magnitude event, allowing for the assessment of processes at various scales, the validation of geological-geotechnical models, the analysis of critical rainfall thresholds and the diagnosis of the resulting impacts, which are fundamental for meeting the mass movement early warning system and the federal government's response requirements. The field work enabled the observation of conditioning factors, the identification of different types and helped to understand the mechanisms that trigger mass movements. Certain types of mass movement were recognized, which are accompanied by strong geological-geotechnical control due to structures resulting from volcanic spills which, in turn, condition the morphological profile of the slopes. In the region of Bento Gonçalves, in the Rio das Antas Valley, there have been concentrated occurrences of shallow landslides (debris slide) and avalanches (debris avalanche), occurrences determined by fractured rock slides (irregular rock slide), intense and wide mass flows (debris flow) and occurrences of creep on colluvial cover with varying thickness and texture (planar/rotational slide). The different mechanisms are related to specific geological-geotechnical models that define different approaches to assessing susceptibility and planning the monitoring of environmental factors that trigger mass movements in the region. The results also contributed to the analysis of sites for environmental monitoring by CEMADEN's observational network and the Civil Defense.

KEYWORDS: geohydrological disaster, Serra Geral Escarpment, Early Warning System, Mapping mass movement features, Planet Image.

INTRODUÇÃO

A presente década vem revelando, ao longo dos anos, um histórico significativo de desastres causados por precipitação pluviométrica extrema em eventos hidrometeorológicos intensos, motivo principal dos movimentos de massa no Brasil. Nos últimos anos (Figura 1) destacam-se desastres de movimento de massa desencadeados nas Regiões Nordeste, Sudeste e Sul do país, tais como os de Recife e Jaboatão dos Guararapes (maio de 2022), São Sebastião (fevereiro de 2023) e Rio Grande do Sul (abril-maio 2024).

Figura 1 - Comparativo do volume total das chuvas acumuladas (mm) ocorridas em desastres recentes no Brasil com relação ao Megadesastre das Serras Fluminenses (Nova Friburgo). Brasil e municípios prioritários para monitoramento de chuvas pelo CEMADEN.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2025

A busca pela mitigação do elevado impacto social causado pelos desastres de movimento de massa tem intensificado a criação de sistemas de alertas antecipados pelo Brasil, sendo o Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais um marco a nível nacional criado em 2011 após um dos maiores desastres naturais da história do país, ocorrido nas Serras Fluminenses no Estado do Rio de Janeiro. Conforme Decreto Nº 11.493 compete ao CEMADEN, entre outras ações, elaborar alertas de desastres naturais relevantes para ações de proteção e de defesa civil no território nacional (Brasil, 2023). Com isto, estabelecer uma rede de monitoramento nas áreas de risco e definir índices operacionais para aplicação nos sistemas de alertas são fundamentais para atender as Defesas Civis. A imensa quantidade de paisagens físicas e sociais presentes no Brasil são determinantes de diferentes quantidades de chuva deflagradora de movimentos de massa. Desta forma, um sistema de

alerta de escala nacional obriga a adoção de métodos de monitoramento e limiares pluviométricos em várias escalas e, obrigatoriamente de forma regional, para milhares de municípios prioritários.

A coleta de dados históricos de ocorrência de movimentos de massa colabora fortemente para a qualidade dos mapas de perigo e risco geológico, e pode permitir a identificação da quantidade de chuva que causou os deslizamentos para efeito de cálculo de limiares, culminando na melhor antecipação de alertas e organização das ações de resposta (Consoni, 2018). O mapeamento de feições de movimentos de massa permite documentar a extensão dos processos em uma região e, com isto, a observação da distribuição espacial, a investigação dos tipos, padrões e recorrência e, análises estatísticas das rupturas nas encostas visando determinar a suscetibilidade, o perigo e o risco geológico e, ainda, estudar a evolução de paisagens dominadas por processos de dinâmica externa (Guzzetti *et al.*, 2012). O registro de dados de ocorrências de movimentos de massa adquire papel fundamental no âmbito dos sistemas de alertas antecipados, em especial por reunir informações como localização, data de ocorrência, tipologia, causas, danos causados, entre outras, de eventos que são elementos prioritários para o conhecimento do risco geológico e dos fatores de deflagração que contribuem para a definição do modelo de monitoramento.

Os inventários de movimentos de massa podem ser apresentados em diferentes formatos que vão desde o simples preenchimento de ocorrência em formulários de registro até o mapeamento de cicatrizes e áreas atingidas por meio de imagens em diferentes escalas. O mapeamento de feições de movimentos de massa que podem incluir a delimitação cartográfica de feições relacionadas a cicatrizes das rupturas nas encostas, trechos erodidos, bem como os depósitos de acumulação, imediatamente aplicada na avaliação da magnitude e impactos de desastres naturais (Calvello; Pecoraro, 2018).

Os inventários e mapeamentos de movimentos de massa tem permitindo a realização de estudos para a análise de chuva padrão e determinação de limiares de chuva crítica (Tatizana *et al*, 1987; Santoro *et al*, 2010; Stabile; Colângelo, 2017; CEMADEN 2020; Metodiev *et al*, 2018; Stabile; Colângelo, 2024). Neste caso é importante frisar a necessidade de dados acurados nos inventários para diminuição de incertezas na previsão de deslizamentos ocasionados por chuvas, pois sem um elevado nível de precisão, a precipitação responsável pelo início dos deslizamentos de terras não pode ser reconstruída de forma confiável, tornando assim ineficaz a previsão da ocorrência de deslizamentos de terras (Peruccacci *et al*, 2023).

Os métodos de mapeamento de cicatrizes no geral utilizam imagens aéreas ou orbitais e os produtos gerados podem apresentar média à grande escala cartográfica em função da dimensão das

superfícies de ruptura e dos depósitos a depender da magnitude dos eventos. A crescente utilização de imagens de alta resolução tem demonstrado o ganho de qualidade e precisão nestes mapeamentos, conferindo desempenho consistente no cadastro e na delimitação de feições de movimentos de massa. Tal fato, aliado a frequência diária de recobrimentos e ao acúmulo de dados históricos, como no caso das imagens da Planet (Plataforma BrasilMAIS) tem permitido análises fundamentais para o entendimento dos diferentes eventos que deixam suas marcas sobrepostas na paisagem.

A despeito da significativa importância que um cadastro nacional sistemático de ocorrências de movimentos de massa apresenta para o estabelecimento de políticas públicas no país, sua consolidação ainda encontra barreiras na falta de integração e investimentos, muito embora a infraestrutura e capacidades tecnológicas atuais sustentem plenamente essa possibilidade. No Brasil, os dados de ocorrência de movimentos de massa são escassos, os estudos são em sua maioria sobre alguns eventos e desastres específicos, e o histórico de registros possui lacunas expressivas, havendo inventários dispersos que não estão integrados e tampouco padronizados, embora haja tentativas de se estabelecer bancos de dados, como por exemplo, o Sistema de Cadastro de Deslizamentos e Inundações-SCDI do Serviço Geológico do Brasil.

A partir dos resultados cartográficos e investigação de campo do mapeamento de cicatrizes de movimentos de massa do evento de 2024 no Estado do Rio Grande do Sul, o presente trabalho tem por objetivo discutir algumas observações geotécnicas que permitem ampliar a discussão dos fatores condicionantes e levantar hipóteses, propondo estudos para avançar no conhecimento do perigo e monitoramento do risco geológico na região.

O DESASTRE GEOHIDROLÓGICO DO RS

O território brasileiro de dimensões continentais apresenta uma diversidade climática, geológica e social bastante contrastante, palco de diferentes experiências com desastres naturais. Se por um lado o território apresenta baixo perigo geofísico, dada a sua relativa estabilidade tectônica, por outro a suscetibilidade climática vem determinar a presença de riscos meteorológicos contrastantes, produzindo regiões mais propensas a secas devido a escassez hídrica e regiões mais propensas à desastres geológico-hidrológicos em decorrência de excedentes hídricos.

O histórico de desastres causados por eventos hidrometeorológicos de grande amplitude no Brasil é conhecido, muito embora apenas em tempos mais recentes esses eventos tenham sido melhor estudados a partir de registros de dados ambientais mais acurados. Desta maneira, é possível afirmar que o megadesastre de abril e maio de 2024 deflagrado no RS correspondeu a um evento com

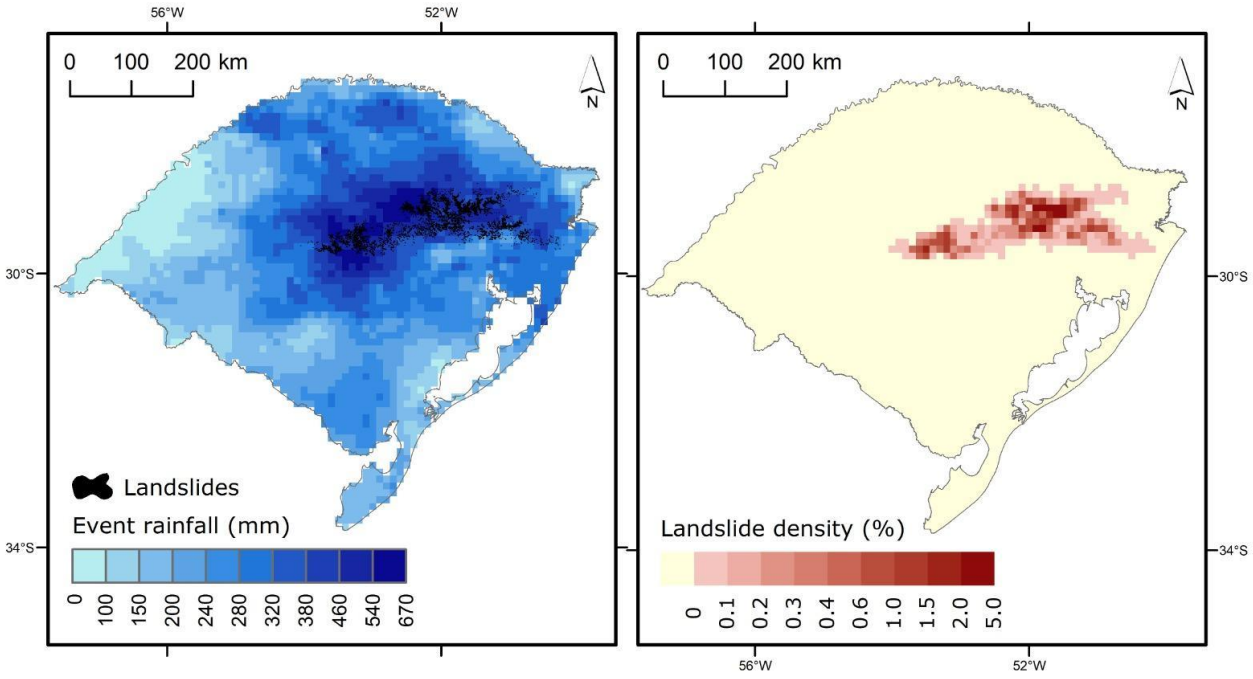
inundações e movimentos de massa de magnitude extraordinária, certamente o maior já registrado na história do Brasil. A intensidade, a duração e o volume de chuvas, assim como, área territorial atingida, destacam-se em comparação com qualquer evento conhecido no país.

O desastre de 2024 no Estado do Rio Grande do Sul impactou centenas de municípios com mais de 2.000.000 de pessoas, resultando em aproximadamente 500.000 pessoas deslocadas ou desabrigadas, 183 mortes confirmadas e 27 desaparecidos. Cabe ressaltar que há exatamente 8 meses anteriores, em setembro de 2023, o Rio Grande do Sul havia sofrido com os severos impactos sociais e econômicos de outro evento hidrometeorológico similar, embora de menor amplitude geográfica, que ocasionou perdas irreparáveis em diversos municípios, destacando-se aqueles localizados na Bacia Hidrográfica do Rio Taquari-Antas. O evento de 2024 desta forma se deu sobre um momento de recuperação em diversos municípios, o que tornou este um evento sobre regiões que enfrentavam forte vulnerabilidade (Alvalá *et al*., 2024).

Uma visão ampla do contexto hidrológico deste evento é apresentada por Collischonn *et al* (2025). As causas meteorológicas do desastre que apresentou precipitações acumuladas de até 850mm ao longo de 13 dias, deram-se no contexto de duas frentes frias geradas no extremo sul do continente que passaram sobre o Rio Grande do Sul de 27 de abril a 2 de maio e foram bloqueadas por uma massa de ar quente situada sobre a região central do Brasil. As altas temperaturas dos oceanos foram responsáveis pela produção de precipitação intensa no Sul do Brasil, provocando o transporte de umidade principalmente do Atlântico tropical sobre a Amazônia para o sul e sudeste, por meio do Jato de Baixos Níveis a leste dos Andes. Foram evidenciados diversos Sistemas Convectivos de Mesoescala com nuvens profundas desenvolvidos sobre o Rio Grande do Sul que contribuíram para a chuva forte (Reboita *et al*. 2024).

A região mais afetada pela chuva volumosa do evento correspondeu a uma área bem demarcada formando uma faixa com mais de 300km de extensão de direção oeste-leste a partir do centro-norte do Estado até próximo à costa oceânica (Figura 2), envolvendo especialmente a Bacia do Rio Taquari-Antas.

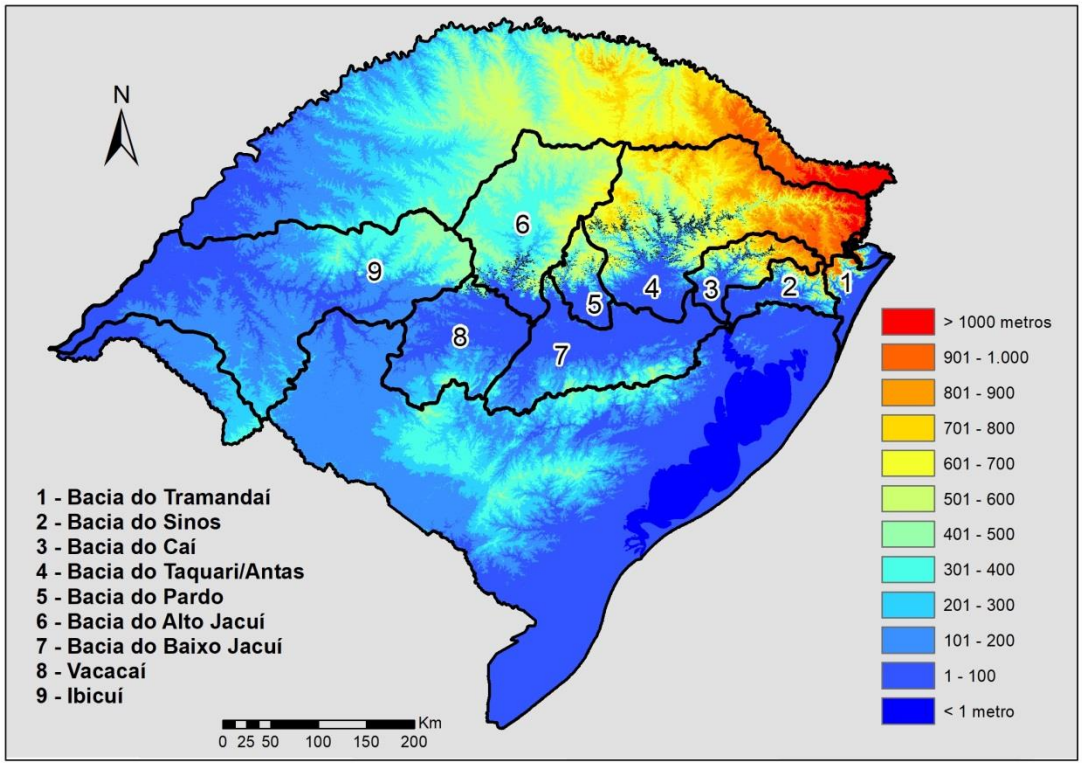
Figura 2 - Distribuição espacial das estimativas das chuvas acumuladas (MERGE) e densidade de rupturas de deslizamentos mapeadas.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2025

As ocorrências de movimentos de massa se concentraram na região geomorfológica dos Patamares da Borda Oriental da Bacia do Paraná que formam o relevo de transição de morfologia escalonada e acidentada a partir do Planalto das Araucárias, onde se destaca a Escarpa da Serra Geral, feição proeminente cortada por vários vales fluviais que se estende por centenas de quilômetros na direção Oeste-Leste elevada a acerca de 800 m acima do nível do mar (IBGE, 2006). Esta unidade geomorfológica tem especialmente nas Bacias Hidrográficas do Taquari-Antas e do Caí (Figura 3), terrenos muito suscetíveis a movimentos de massa, destacando-se deslizamentos rasos translacionais no contato solo-rocha durante eventos meteorológicos de extrema pluviosidade (CPRM, 2010).

Figura 3 - Topografia do Estado do Rio Grande do Sul com destaque para as Bacias Hidrográficas envolvidas no desastre. Notar a região mais elevada no extremo nordeste do Estado com cores quentes onde ocorre o Planalto das Araucárias associado aos Patamares da Borda Oriental e Escarpas da Serra Geral.



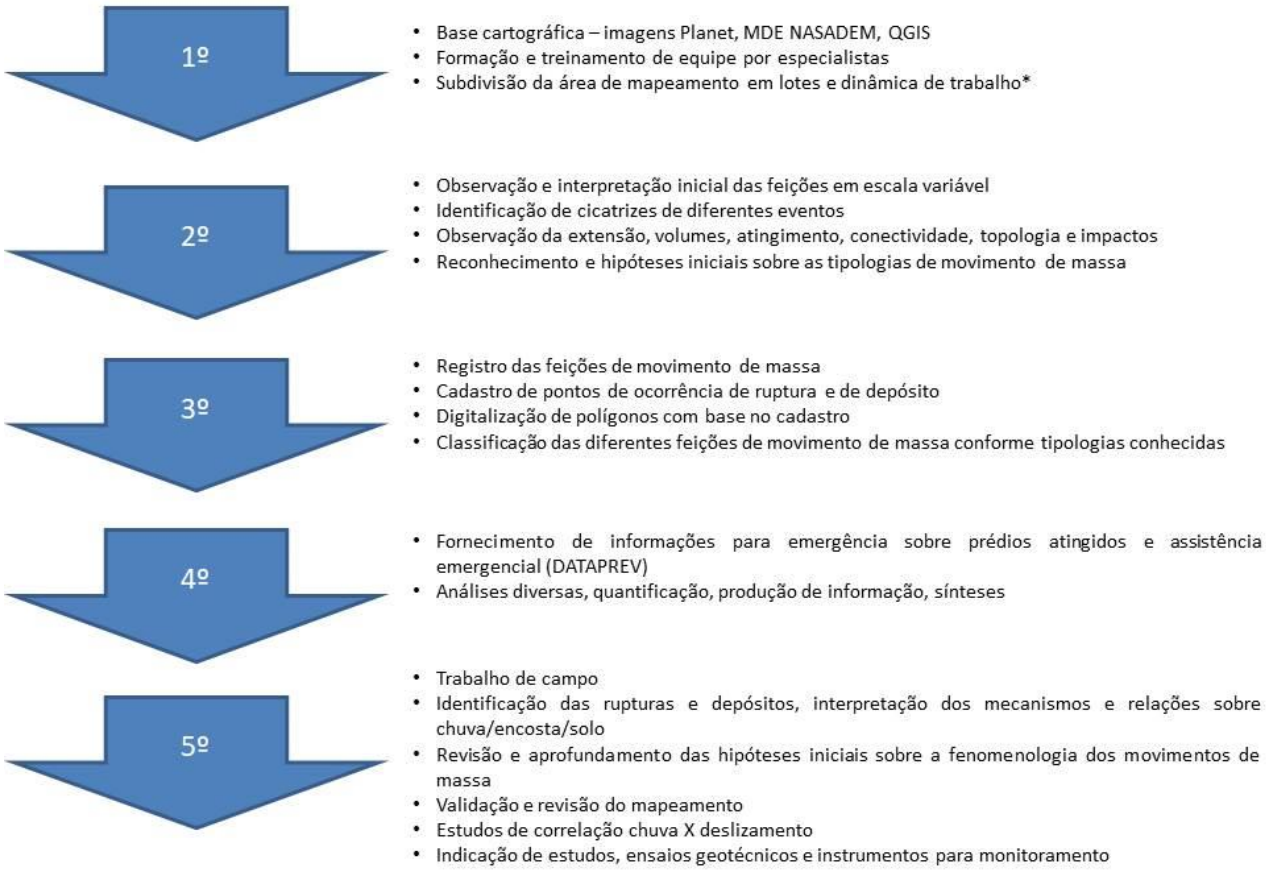
Fonte: Elaborado pelos autores, 2025

METODOLOGIA DO MAPEAMENTO DOS MOVIMENTOS DE MASSA

O mapeamento das feições de movimento de massa foi realizado manualmente a partir da interpretação visual de imagens do satélite Dove da Planet Labs (resolução de 3m), dias 06, 07, 08 de maio de 2024 e do Sentinel-2 do Copernicus (resolução de 10 m), dia 06 de maio de 2024. As cenas foram acessadas por meio do Plugin Planet para o QGIS onde foi possível efetuar a digitalização manual sobre os produtos ortorretificados, disponibilizadas pela Plataforma Brasil Mais (Rede MAIS/MJSP, inclui material © 2023 Planet Labs Inc. Todos os direitos reservados).

O desenvolvimento do mapeamento de feições de movimentos de massa seguiu o conjunto de procedimentos apresentados no fluxograma da Figura 4.

Figura 4 - Fluxograma metodológico das etapas do mapeamento das feições de movimentos de massa



Fonte: Elaborado pelos autores, 2025

Inicialmente, foi montada equipe de profissionais que trabalharam sobre a base de dados por cerca de três meses interpretando e mapeando as feições de movimentos de massa do evento sobre uma região com cerca de 200.000 Km². O trabalho foi programado com base na relação de municípios em estado de calamidade (46 municípios) e situação de emergência (320 municípios) indicados no Decreto Estadual Nº 57.614 de 13 de maio de 2024 (Rio Grande do Sul, 2024). Durante o desenvolvimento do trabalho, dados e informações produzidas eram liberadas visando o atendimento da situação de emergência.

Foram utilizados materiais de apoio de outras fontes (Corpo de Bombeiros, NASA *landslides*) como suporte para ajudar na orientação de regiões onde ocorreram movimentos de massa, colaborando com a interpretação de feições no mapeamento ou mesmo na validação do cadastramento em execução. Em determinadas situações, as informações ajudaram também a trazer realidade de campo que era acessível apenas por agentes da força de resposta atuante nas frentes de socorro. A

base cartográfica contou com dados topográficos produzidos com o NASADEM e vetores municipais do IBGE.

O procedimento de nivelamento da equipe por especialistas no uso do material e interpretação visual das feições foi realizado, seguiu-se então o cadastramento de pontos próximos às superfícies de ruptura dos deslizamentos para depois serem delimitados os polígonos. Cada município mapeado por profissional era reavaliado por especialistas para sua validação e, assim o trabalho prosseguiu (CEMADEN, 2024a).

Os polígonos correspondentes às feições de movimentos de massa foram interpretados a partir de chaves de identificação como cor, forma, padrões das feições, com o apoio da observação da topografia. As feições foram subdivididas em dois grupos principais, sendo o primeiro aquele que incluiu as áreas de ruptura na encosta na maioria dos casos demarcada junto com a zona de transporte e depósito (cicatrizes de deslizamentos); o segundo aquele que incluiu as áreas de corridas de massa (fluxos de massa ou detritos) onde se observaram depósitos de fundo de canal, leques de detritos e manchas atingidas por depósitos de lama na zona distal dos leques de detritos. As rupturas foram múltiplas formando nuvens concentradas que muitas vezes formaram contínuos na forma de uma rede imbricada de superfícies de deslizamentos com características topológicas diversas.

Os dados produzidos para cada município foram integrados numa base única para o Estado do Rio Grande do Sul, o mapeamento foi publicado e disponibilizado de forma aberta. As informações colaboraram com o Corpo de Bombeiros na contingência e com a Secretaria Especial de Articulação e Monitoramento – SAM da Casa Civil da Presidência da República para liberação de ajuda emergencial na resposta.

Os trabalhos de campos contribuíram para a obtenção de dados, a compreensão dos fatores e o refinamento dos modelos geológico-geotécnicos, a identificação das tipologias e dos mecanismos de deflagração dos movimentos de massa, colaborando para a formulação das hipóteses e aprofundamento das pesquisas voltadas a previsão de desastres. As informações obtidas contribuíram para elaboração do plano de instalação de pluviômetros automáticos e monitoramento ambiental da região.

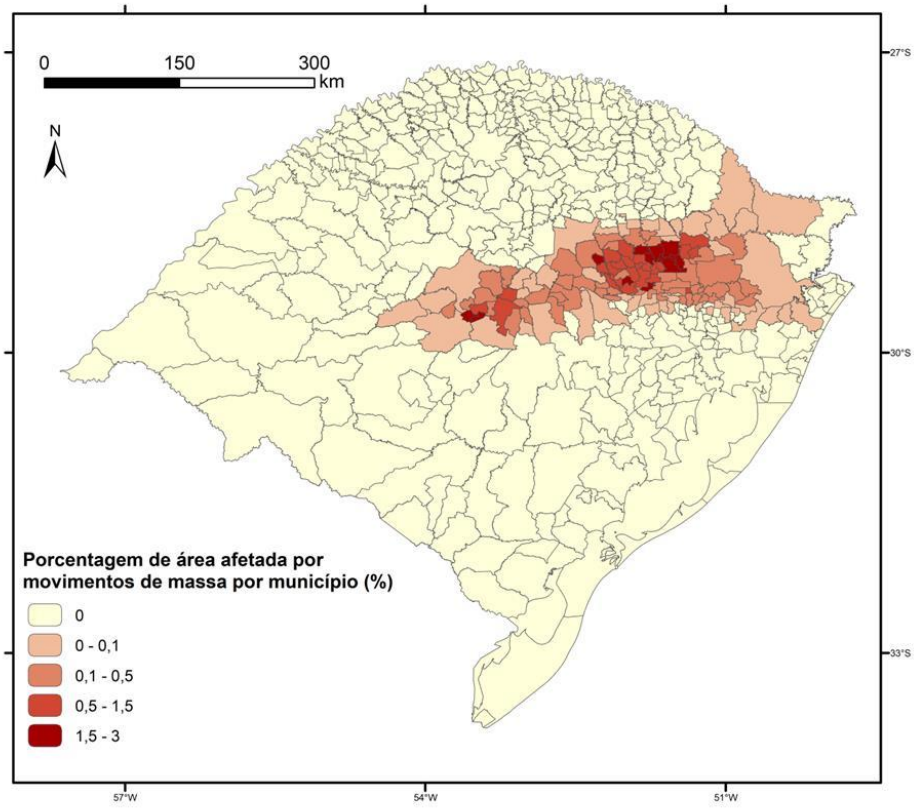
RESULTADOS

As imagens Planet do Programa Brasil MAIS dos dias 06, 07 e 08 de maio de 2024, utilizadas para o reconhecimento visual das feições produzidas pelos movimentos de massa, permitiram a geração de um banco de dados espaciais abrangente do Megadesastre do Rio Grande do Sul. As

imagens de satélite serviram como fonte primária para o mapeamento e foram fundamentais para o planejamento e execução dos trabalhos de campo subsequentes.

O mapeamento das feições de movimento de massa revelou um total de 15.057 feições de movimentos de massa que atingiram severamente 131 municípios, abrangendo uma extensa região com cerca de 42.000 Km² (Figura 5), equivalente em cerca 15% de todo o território do Estado do Rio Grande do Sul, o que representa o maior inventário de um único evento até então realizado no Brasil.

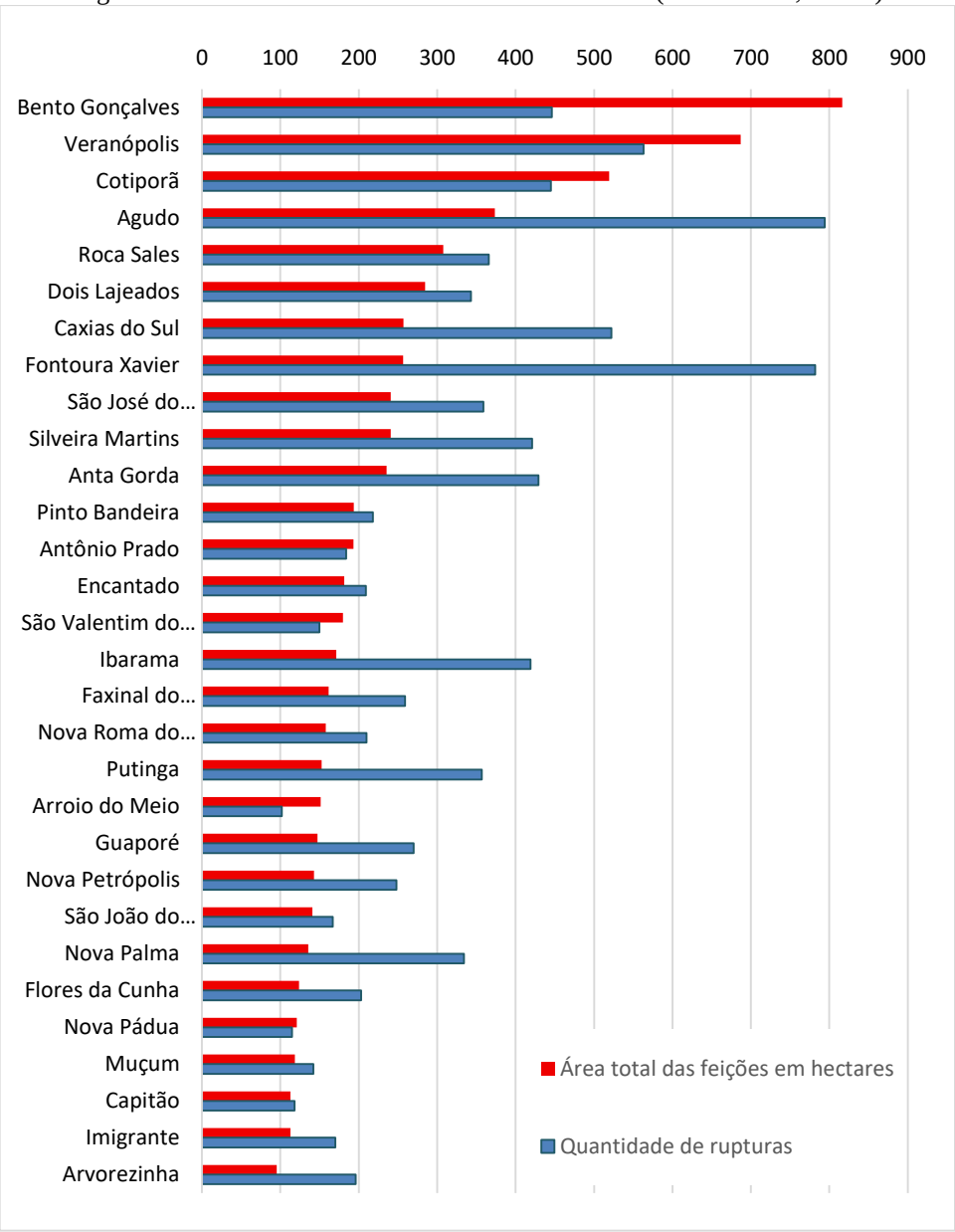
Figura 5 - Região dos 131 municípios atingidos por movimentos de massa no megadesastre de 2024 no Estado do Rio Grande do Sul, classificados quanto a área do município relativa ao total de feições de movimento de massa.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2025

A análise da área superficial das feições mapeadas revelou que entre os 131 municípios afetados por movimentos de massa o de Bento Gonçalves, Veranópolis e Cotiporã figuraram como os mais atingidos em termos de superfície somadas (Figura 6).

Figura 6 - Ranking dos 30 primeiros municípios com maior área afetada por movimentos de massa mapeados no megadesastre de 2024 no Estado do Rio Grande do Sul (CEMADEN, 2024b).

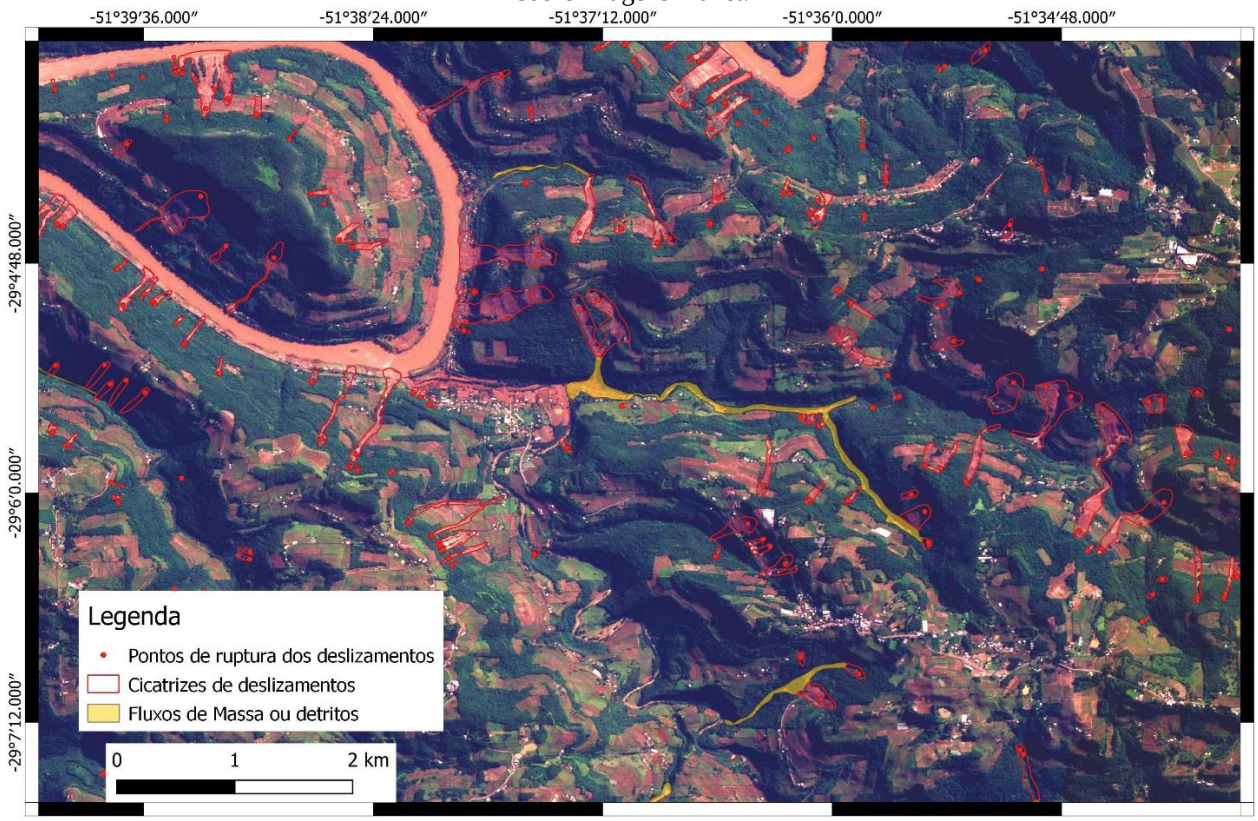


Fonte: Elaborado pelos autores, 2025

O mapeamento das feições de movimento de massa revelou a extrema magnitude decorrente de elevados níveis de energia impostos pelo evento hidrometeorológico, rompendo terrenos expressivos de encostas, escoando e convergindo para o sistema de canais de drenagem, mobilizando volumes extraordinários de material com impactos severos sobre estradas, ferrovias, travessias, áreas naturais, glebas e terrenos com uso e ocupação principalmente rural (Figura 7). As características topológicas observadas em agrupamentos com padrões diferenciados de cicatrizes e depósitos indicaram origem em mecanismos deflagradores próprios de ruptura e sedimentação, tipologias com

fatores condicionantes específicos confirmados pelas observações de campo, que apontam para diferentes limiares e cenários progressivos de deflagração.

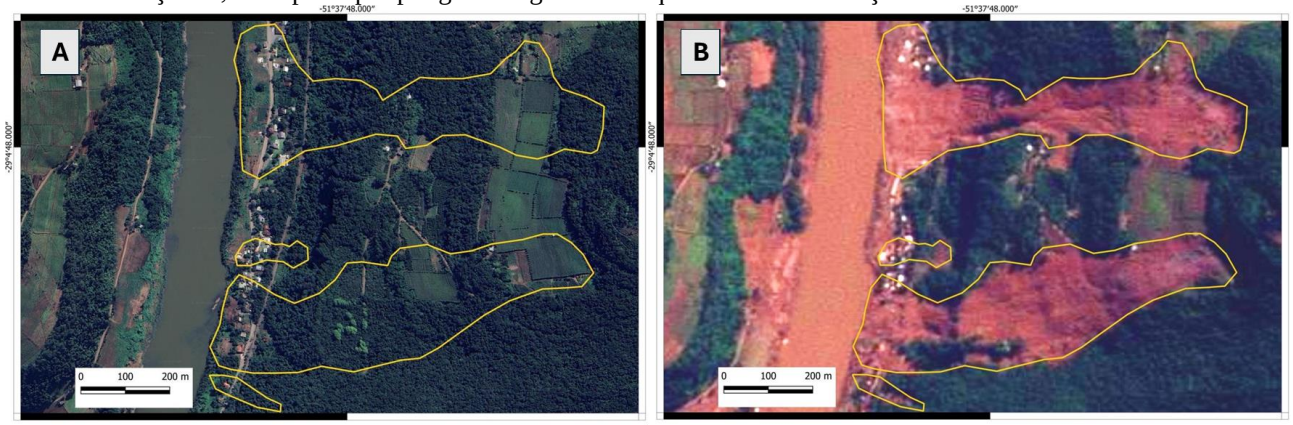
Figura 7 - Mapeamento de feições de movimento de massa do megadesastre de 2024 na região de Bento Gonçalves sobre imagens Planet.



Fonte: CEMADEN, 2024b

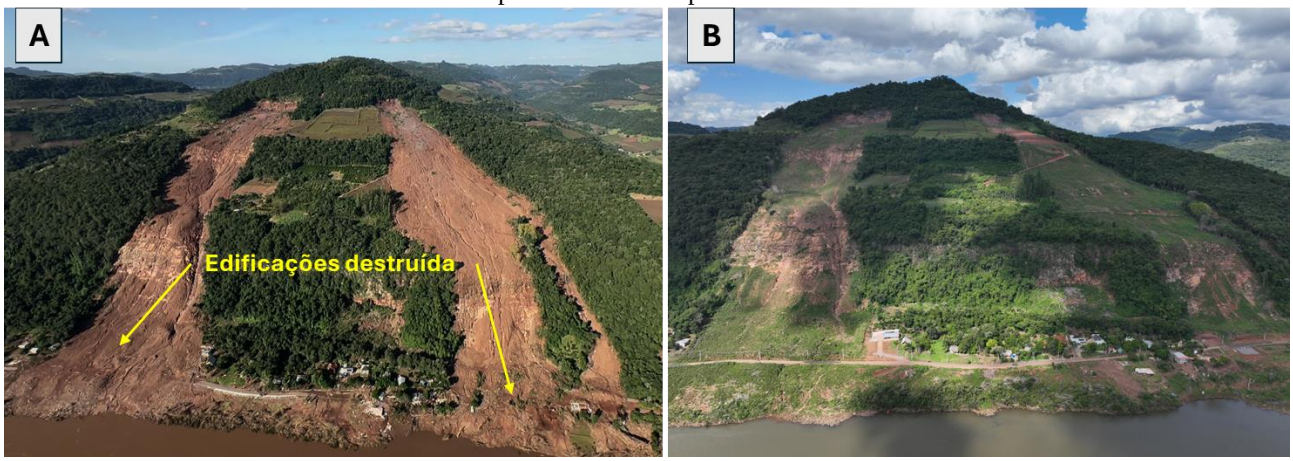
Como exemplo da aplicação dos trabalhos de mapeamento, destaca-se a identificação de edificações realizada a pedido do Corpo de Bombeiros do Estado. No Bairro da Imaculada, foram reconhecidas 17 edificações pré-existentes que foram completamente destruídas por movimentos de massa, conforme evidenciado nas Figuras 8, 9, 10 e 11. Durante a emergência, foram identificadas 597 edificações diretamente afetadas no mapeamento todo.

Figura 8 - (A) Imagem do Google Earth anterior à ocorrência no Bairro da Imaculada, em Bento Gonçalves, sobreposta por polígonos digitalizados das feições de movimento de massa, permitindo a verificação da existência pretérita de 17 edificações no local. (B) Imagem Planet de 07 de maio de 2024 da área afetada no Bairro da Imaculada, em Bento Gonçalves, sobreposta por polígonos digitalizados que delimitam as feições de movimento de massa.



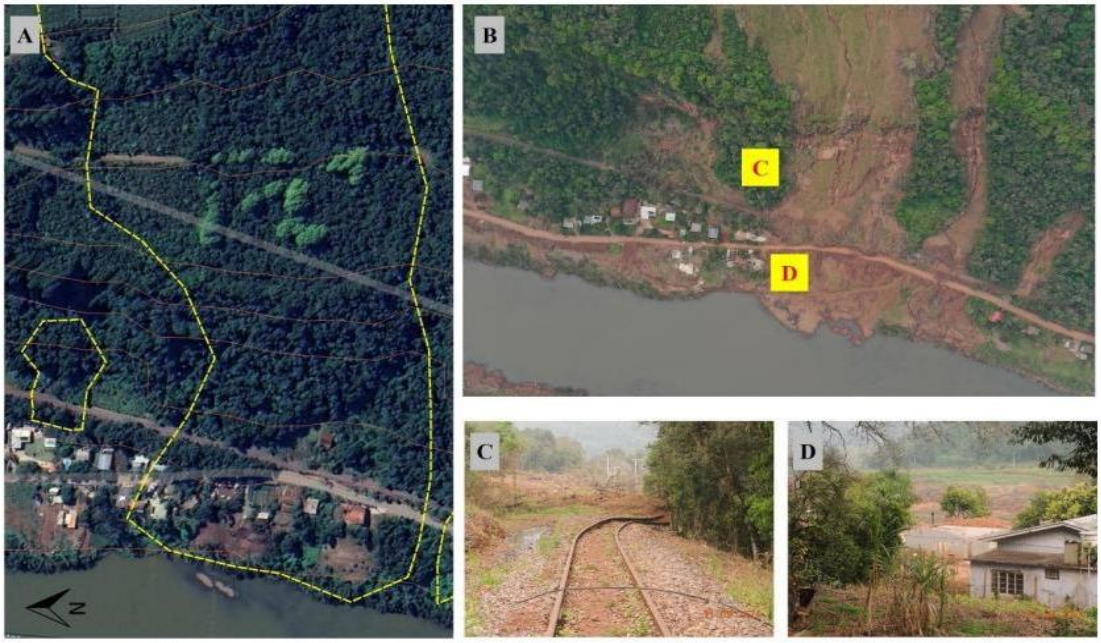
Fonte: Elaborado pelos autores, 2025

Figura 9 - Grandes deslizamentos na localidade de Imaculada Conceição (−29,08079; −51,63175), município de Bento Gonçalves, RS. (A) Imagem aérea registrada por helicóptero do Corpo de Bombeiros Militar do Rio Grande do Sul em maio de 2024, poucos dias após o evento. (B) Imagem obtida em março de 2025, evidenciando a regeneração parcial da vegetação e a reconstrução da estrada. Dezessete edificações foram destruídas, e algumas vítimas da área ainda permanecem desaparecidas.



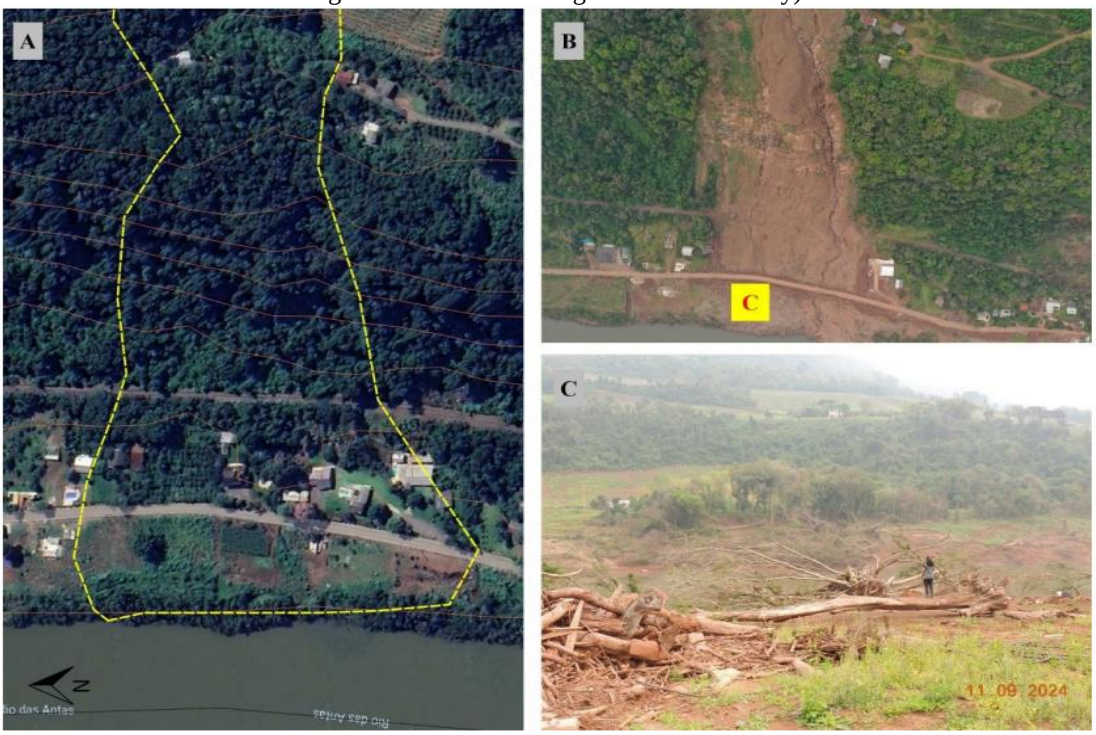
Fonte: Elaborado pelos autores, 2025

Figura 10 - Detalhe dos deslizamentos deflagrados em 01/05/2024 na localidade de Imaculada, Bento Gonçalves (RS). (A) Imagem do Google Earth (modo híbrido) anterior ao desastre. (B) Imagem aérea obtida por drone após o evento. (C) e (D) Fotografias que ilustram os impactos causados pelos deslizamentos e pela inundação na localidade, incluindo a interrupção das atividades ferroviárias, danos à área agrícola, destruição de edificações e desaparecimento de moradores (Imagens de drone e fotografias: Harideva M. Egas e Tulius D. Nery).



Fonte: Elaborado pelos autores, 2025

Figura 11 - Detalhe do deslizamento deflagrado em 01/05/2024 na Linha Imaculada, Bento Gonçalves (RS). (A) Limite do deslizamento sobreposto à imagem do Google Earth (modo híbrido), registrada antes do desastre. (B) Área destruída pelo deslizamento, permitindo a comparação com a imagem anterior e a identificação das edificações atingidas. (C) Trecho por onde o deslizamento se propagou, incluindo a área inundada pelo rio das Antas (Imagens de drone e fotografias: Harideva M. Egas e Tulius D. Nery).



Fonte: Elaborado pelos autores, 2025

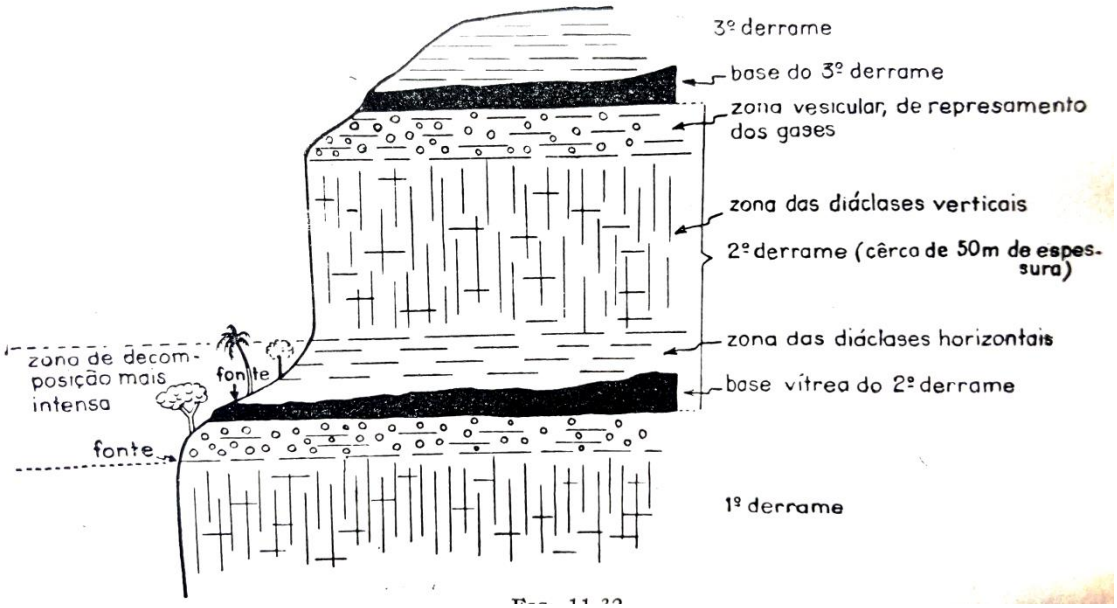
A utilização de imagens de satélite de alta resolução, registros aéreos por drones e análises geomorfológicas permitiu a delimitação precisa das feições de instabilidade e a sobreposição com dados anteriores ao evento. Essa abordagem foi fundamental para a confirmação de perdas estruturais, direcionamento de buscas por vítimas desaparecidas e suporte às ações de resposta, contribuindo também para o planejamento de medidas de reconstrução e mitigação de riscos futuros.

Os principais resultados obtidos por meio do mapeamento de áreas afetadas encontram-se detalhados em CEMADEN (2024b) e nos trabalhos de Egas *et al*. (2024; 2025), que apresentam análises multiescalares e integradas de movimentos de massa no contexto do evento. Esses estudos evidenciam a importância do mapeamento de alta resolução e da articulação interinstitucional durante a emergência.

Além disso, outras fontes relevantes que abordam de forma abrangente os impactos e a magnitude do megadesastre ocorrido no sul do Brasil incluem Possantti *et al*. (2024), que discute os efeitos hidrológicos e sociais do evento, e CEMADEN (2024c), que reúne dados técnicos e operacionais consolidados ao longo do monitoramento em tempo real e da resposta ao desastre.

As observações em campo permitiram confirmar que o substrato geológico de natureza vulcânica é formado por derrames mais antigos de basalto que evoluem na coluna estratigráfica para derrames riolíticos (riodacitos) que passam a predominar nas cotas próximas da altitude 400metros. O relevo regional da Serra Geral apresenta aspecto de escadaria caracterizado por escarpas íngremes associadas com patamares de inclinação baixa à moderada em diferentes níveis topográficos (escadas de piemonte). O perfil das escarpas segue o padrão de derrames vulcânicos apontado na Figura 12.

Figura 12 - Morfologia de uma escarpa constituída por derrames basálticos do Sul do Brasil onde a variação no perfil topográfico da encosta deve-se a variação da estrutura dos derrames



Fonte: Leinz; Amaral, 1962.

As tipologias de movimentos de massa observadas descritas a seguir seguem a classificação proposta por Hungr *et al* (2014), tendo sido reconhecidos deslizamentos translacionais e corridas de massa de forma geral, com destaque para os deslizamentos rasos (*debris slide*), deslizamentos de rocha fraturada (rock irregular slide), avalanches (*debris avalanche*) e corrida de detritos (*debris flow*). De forma mais restrita observaram-se quedas e rolamento de blocos. Movimentos curtos do tipo "rasrtejo" (*planar slide*) completam esse quadro.

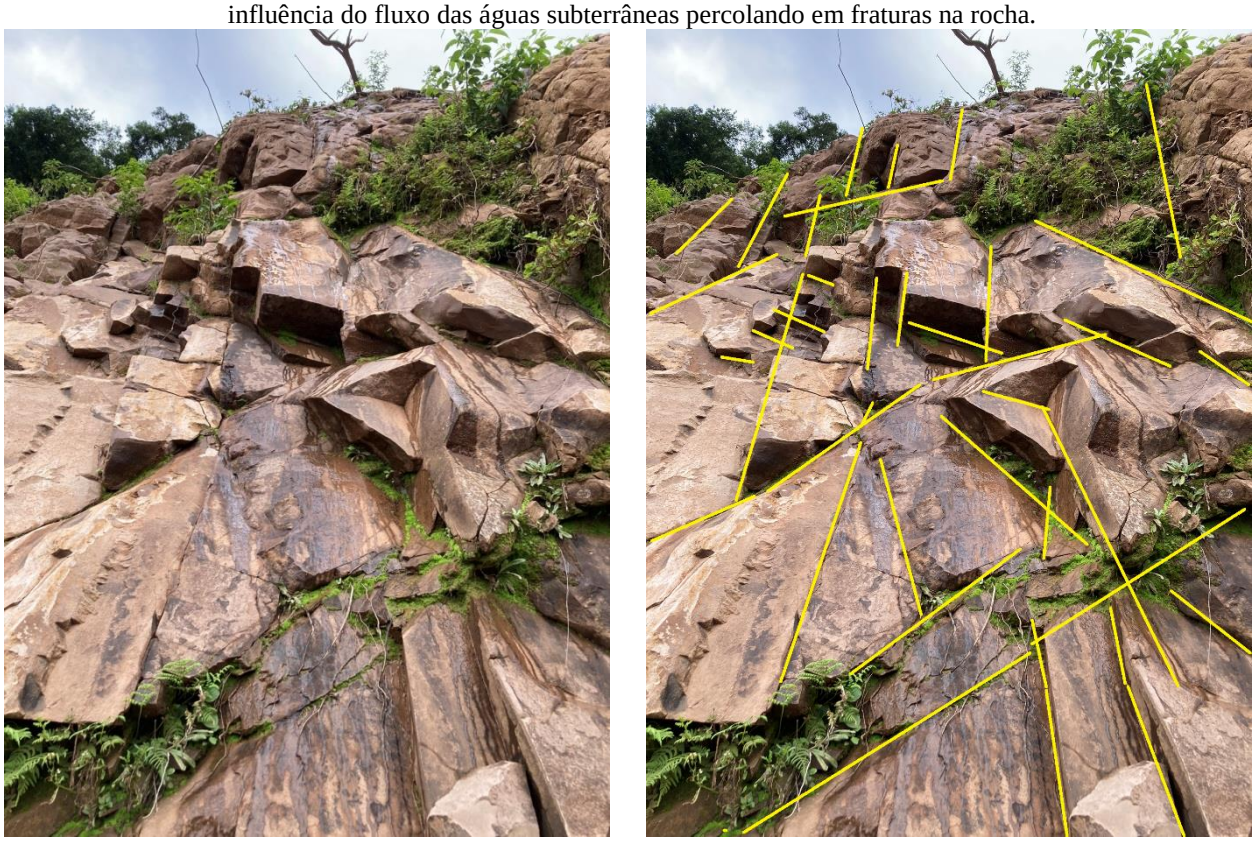
Os deslizamentos rasos (*debris slide*) observados em campo se demonstraram extremamente frequentes na região do desastre tendo origem nas áreas mais escarpadas onde o solo residual, quando presente, é muito raso e imaturo (solo de alteração de rocha), predominando nestas condições coberturas coluvionares muito rasas, ambos materiais sobrepostos a rocha sã que por vezes é encontrada parcialmente exposta. O mecanismo de ruptura neste caso é controlado pela perda de coesão aparente e atrito em função da diminuição da sucção do solo que pode atingir a saturação completa. A erosão laminar intensa pode ser considerada na associação com este processo, causada na ação do escoamento viscoso em trechos de alta inclinação da encosta. Este processo pode indicar um cenário que pode começar a se manifestar nas primeiras fases do evento, neste caso a quantidade de chuva imediata seria preponderante e indicaria um limiar de alta intensidade em curtos períodos com marcante presença de "*runoff*".

Os deslizamentos de rocha fraturada (*rock irregular slide*) foram observados com forte controle geológico formados em determinadas porções da encosta notadamente localizadas na base das escarpas rochosas em maciços de rocha fraturados (zonas de decomposição mais intensa), apresentam rupturas formando superfícies irregulares semi-circulares. Estes processos foram observados comumente interrelacionados com os deslizamentos rasos e avalanches e revelam o papel preponderante das estruturas vulcânicas na causa das rupturas nas encostas e produção principal de detritos. As rupturas observadas ocorrem nos estratos dos derrames que concentram uma densa rede de diaclases e expõe um maciço intensamente fraturado onde se dá a percolação e fluxo turbulento com forte componente horizontal das águas subterrâneas provenientes da recarga pela porção superior da encosta, onde se infiltram águas das chuvas pelas diaclases verticais expostas no estrato imediatamente sobreposto, resultando em forte pressão nas fraturas que causa a desagregação e deslocamento de blocos (Figuras 13, 14, 15 e 16). A mobilização dos blocos envolve também a desagregação do colúvio-tálus desenvolvido na margem da rocha fraturada. Este processo pode indicar a incidência de um cenário de chuva mais avançado com a evolução da dinâmica geológica onde a quantidade de chuva antecedente teria um papel fundamental na recarga subterrânea e pressão nas fraturas, indicando um limiar representado por maiores volumes de chuva acumulada que devem coincidir com os picos de chuva imediata de alta intensidade. A mobilização de massa rochosa deste processo deve ainda disparar as rupturas de deslizamentos rasos em determinados trechos em posição abaixo na encosta.

Figura 13 - Visão de uma cicatriz de deslizamento em Bento Gonçalves (Rua São Paulo, Divisa com Pinto Bandeira). Na porção superior, atrás da mata, observa-se (a) a escarpa rochosa de um derrame de riodacito apresentando diáclases verticais. Na porção média está (b) o local da ruptura no maciço rochoso fraturado (*Rock irregular slide*) e na porção inferior (c) a zona de transporte do debris avalanche onde a erosão expôs o maciço rochoso de um derrame mais antigo de riodacito.

Fonte das fotografias: Marcio de Andrade

Figura 14 - Visão da zona de transporte do debris avalanche onde a erosão expôs do maciço rochoso do derrame vulcânico (riodacito) com diaclases verticais e oblíquas apresentando surgências de água que demonstram a forte influência do fluxo das águas subterrâneas percolando em fraturas na rocha.



Fonte das fotografias: Marcio de Andrade

Figura 15 - Visão em detalhe ruptura vista na cicatriz de deslizamento em Bento Gonçalves da Figura 13, expondo (a) maciço rochoso de riodacito fraturado, (b) maciço rochoso riodacito muito intemperizado, (c) maciço de riodacito pouco intemperizado e (d) bloco de riodacito rolado do derrame sobreposto

Fonte das fotografias: Marcio de Andrade

Figura 16 - Visão em detalhe ruptura vista na cicatriz de deslizamento em Bento Gonçalves da Fig. 11. (a) maciço rochoso de riodacito fraturado, (b) maciço rochoso de riodacito intemperizado e (c) colúvio-tálus produzido na evolução da encosta a partir do desprendimento dos blocos produzidos na margem do maciço fraturado

Fonte das fotografias: Marcio de Andrade

As avalanches (*debris avalanche*) observados em campo se demonstraram dominantes na região de estudo, resultado da acumulação do material proveniente dos deslizamentos rasos (*debris slides*), eventualmente associados aos deslizamentos em rocha fraturada (*rock irregular slide*), compondo um fluxo liquefeito acumulativo que se desenvolve ao longo da encosta associado a um escoamento excessivo *(runoff*) desde a primeira ruptura mais acima formando uma enxurrada com detritos em direção ao fundo de vale. A erosão laminar intensa em determinados trechos da encosta é uma característica deste processo, dada a amplitude e comprimento de rampa muito extenso em alta inclinação média da encosta. Essas tipologias estão intimamente relacionadas com o aporte de material detrítico que gerou as corridas de massa (*debris flow*) cujo fluxo com altas viscosidade e carga de sedimentos produziram depósitos que podem ser observados em inúmeros canais de drenagem (Figura 17). Esse processo (acumulativo) foi responsável pela maior parte da destruição das infraestruturas e das fatalidades, especialmente decorrentes das avalanches que apresentam movimentos rápidos com alcance muito extenso que atravessaram muitas propriedades rurais. As avalanches (*debris avalanche*) se dão em um quadro que associa as condições de alta concentração de deslizamentos rasos, sendo mais intensas e destrutivas quando estas se relacionam com o desencadeamento de deslizamentos em rocha fraturada. Marcante é a presença de alta intensidade da chuva imediata.

Figura 17 - Depósitos resultantes de corridas de detritos sedimentados em fundos de vales do Município de Silveira Martins (CEMADEN 2025b)

Fonte das fotografias: Harideva Egas e João Paulo Araújo.

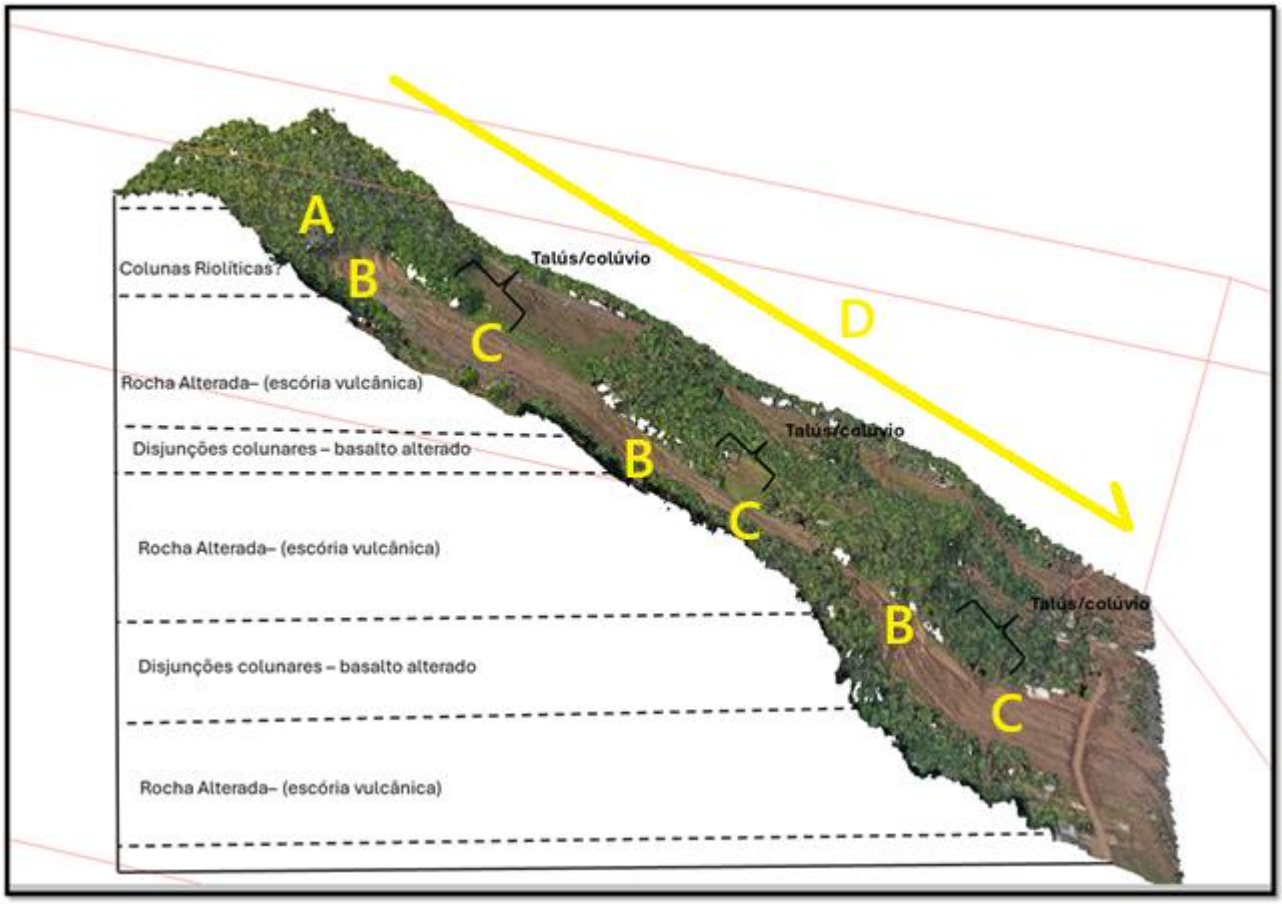
Outra tipologia que se demonstrou relativamente frequente está relacionada com amplas massas de colúvio mais espesso e matriz mais fina (muito argilosa) identificadas em patamares elevados amplamente distribuídos no relevo, onde as declividades são moderadas. Localmente, foram observados deslocamentos na horizontal de pequena amplitude (centimétrico) no entanto, formando trincas de tração com dezenas a centenas de metros de extensão, desde trincas sem rejeito significativa (poucos centímetros) até trincas que podem apresentar rejeitos de mais de um metro de desnível, indicativas de movimentação interrompida envolvendo terrenos com dimensões bastante significativas (Figura 18). Na região, esses processos foram designados de “rastejo”, no entanto, as características em campo sugerem a possibilidade de superfícies de ruptura mais profundas o que podem indicar a presença de outras tipologias com influência direta da oscilação do lençol freático. O rastejo parece estar relacionado a deslizamentos que podem envolvem rupturas planares (*planar slide*) ou rotacionais (*rotational slide*) que acompanham a topografia e variação na espessura dos colúvios. Estudos mais avançados precisam ser efetuados para confirmar mais claramente este processo. Esta tipologia, assim como os tipos relacionados a queda, tombamento e rolamento de blocos rochosos, rupturas de taludes de corte e aterro de pequenas dimensões, ambos muitas vezes relacionados com situações de ocorrências pontuais, apresenta sérias restrições quanto ao mapeamento por reconhecimento visual de imagens Planet.

Figura 18 - Visão de terreno expondo trincas de tração no Município de Nova Petrópolis (foto de CEMADEN 2025b) e de uma edificação danificada no Município de Bento Gonçalves causadas por movimentação do terreno do tipo rastejo, tipologia de movimento de massa não detectável pelas imagens de satélite utilizadas

Fonte das fotografias: Gean Michel e Marcio de Andrade

Uma síntese sobre as diferentes suscetibilidades quanto a processos de movimentos de massa determinados por múltiplas tipologias geológica-geotécnicas é apresentada na Figura 17 onde o perfil da ocorrência do Bairro Imaculada em Bento Gonçalves foi utilizado como modelo. As diferentes tipologias, forma/composição e mecanismos representados estão relacionados a observação de determinados trechos do padrão de encostas observado na região de Bento Gonçalves.

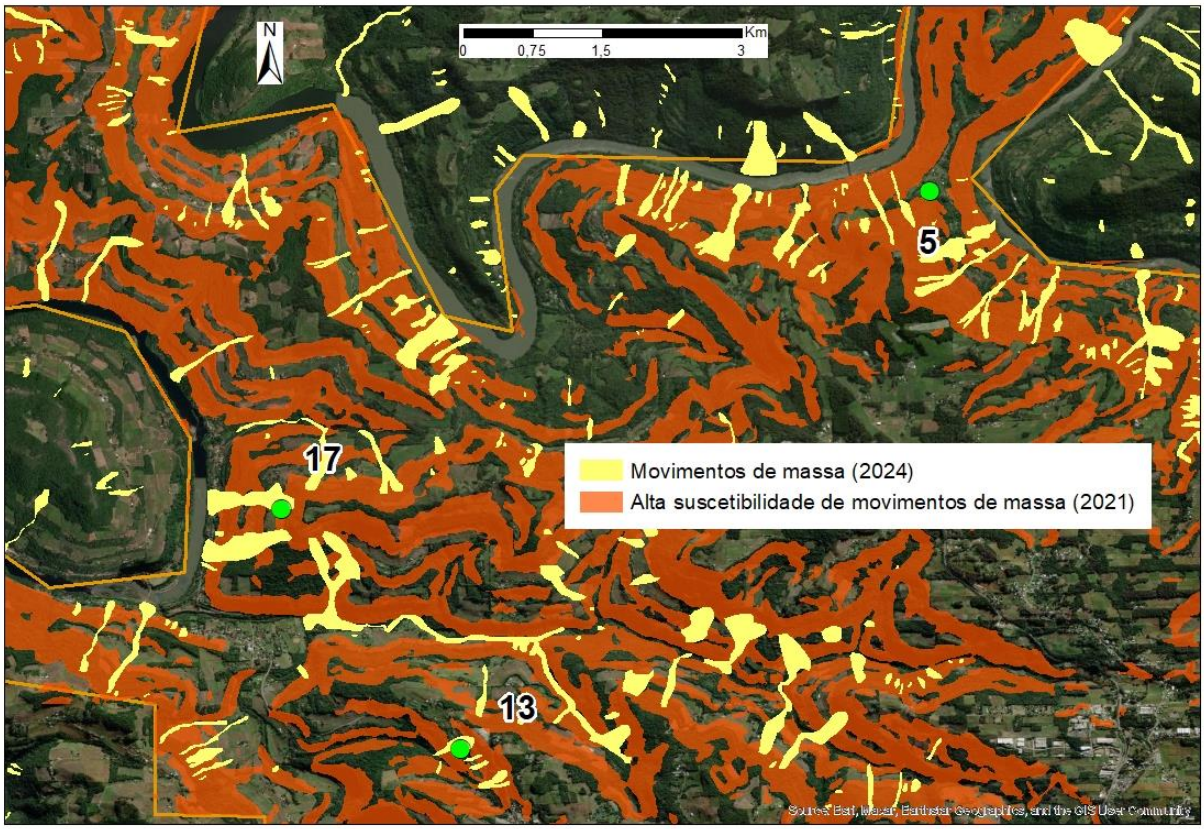
Figura 19 - Seção topográfica levantada na ocorrência da Imaculada e modelo geológico-geotécnico dos materiais, tipos de processos de movimentos de massa e mecanismos envolvidos por segmento da encosta. (A) *Debris slide*– Solo/colúvio delgado – perda de coesão (sucção) que pode evoluir para saturação e liquefação, (B) *Rock irregular slide* – Rocha intensamente fraturada/colúvio – poro pressão positiva e fluxo turbulento em fraturas com componente horizontal (fonte principal de detritos), (C) rastejo – colúvios moderadamente profundos – variação do lençol freático, (D) *Debris avalanche* – *runoff* e fluxo laminar de massa saturada na encosta (A + B).



Fonte: Adaptado de Egas *et al*, 2025.

O mapeamento e o trabalho de campo permitiram ainda a análise e o levantamento de locais potenciais para instalação da rede de monitoramento geotécnica do Projeto REMADEN/REDEGEO composta por pluviômetros e sensores de umidade do solo (Figura 20).

Figura 20 - Levantamento para indicação de locais potenciais (pontos verdes) para a instalação da REDEGEO em Bento Gonçalves com base no mapeamento de feições de movimentos de massa e carta de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa da CPRM (2021).



Fonte: CEMADEN 2025a.

As condições geotécnicas observadas, em especial com relação a pouca espessura de solo e a elevada pedregosidade dos colúvios, gera impedimentos para o método de monitoramento das PCDs Geotécnicas. Em função disso, foram observados de forma aparente os locais que demonstraram colúvios mais espessos e menos pedregosos, buscando-se efetuar o monitoramento de forma piloto, procurando a possibilidade de observação nas PCDsGeo do comportamento entre a pluviosidade e a infiltração da água destes solos cruzando com as ocorrências de movimento de massa e, assim, estabelecer a correlação com as condições regionais.

A diversidade de tipos de movimentos de massa com diferentes comportamentos e mecanismos demanda um conjunto de medidas de monitoramento geotécnico com diferentes instrumentos de monitoramento integrados com soluções estruturais de execução de obras de contenção. As estratégias tecnológicas de comunicação do risco e ações protocolares de resposta precisam ser definidas e estimuladas com base no conhecimento e monitoramento do risco, visando a mitigação dos impactos dos desastres naturais a ser promovido pelo sistema de alerta antecipado.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As hipóteses sobre os mecanismos que causam a deflagração dos diferentes tipos de movimentos de massa reconhecidos, notadamente controlados pelo arcabouço geológico-geotécnico e o padrão morfológico observado nas encostas, contribuem para orientação dos métodos de mapeamento de suscetibilidade e risco de movimentos de massa para a região, podendo auxiliar em diretrizes para a investigações geotécnicas mais aprofundadas (mapeamento geotécnico em escala de detalhe, perfuração de sondagens, levantamentos geofísicos, sensores LIDAR) necessárias para a comprovação de hipóteses e detalhamento dos modelos geológico-geotécnicos, tendo em vista além do planejamento do monitoramento (pluviômetros, radares meteorológicos, sensores de umidade, tensiômetros, inclinômetros, piezômetros, etc), a definição de medidas estruturais (obras de contenção e drenagem de taludes, barragens de detritos, etc) direcionadas para mitigar os efeitos dos movimentos de massa em áreas de risco geológico.

Considerando os fatores condicionantes dos mecanismos dos diferentes tipos de processos de movimento de massa reinantes na região, o monitoramento de chuva e estabelecimento de limiares críticos numa abordagem empírica, visando índices operacionais, corresponde ao mais indicado como forma mais abrangente e eficiente para o gerenciamento do risco geológico. No entanto, cabe destacar que face às especificidades dos mecanismos envolvidos das diferentes tipologias e considerando a viabilidade técnica para instalação em grande número de sensores nas encostas, os métodos de monitoramento indicados para cada caso representa um grande desafio. Muitas situações ensejam alternativas de monitoramento local (inclinômetros, piezômetros, etc) como no caso dos processos de rastejo com rupturas mais profundas.

As Imagens Planet utilizadas se demonstraram eficazes para o mapeamento das feições de movimento de massa resultantes do desastre do Rio Grande do Sul, apresentando características técnicas que permitem sua aplicação em inventários de movimentos de massa de eventos geohidrológicos de alta magnitude, especialmente nos casos de avalanches de detritos e corridas de massa generalizadas que se expressam por grandes áreas, podendo conferir as primeiras observações da amplitude e dos efeitos adversos de desastres naturais de forma mais imediata em escala adequada de forma abrangente. Sua alta resolução espacial e temporal foram imprescindíveis para a execução do mapeamento das áreas afetadas, permitindo a avaliação dos processos, validação de modelos e diagnóstico dos impactos decorrentes, fundamentais para atender a demanda de resposta do governo federal. Ainda, demonstraram-se muito vantajosas para a separação de feições de movimento de

massa originárias de diferentes eventos hidrometeorológicos em diferentes datas, item fundamental para estudos de limiares críticos de chuva e de modelagem de estabilidade de encostas, visando aplicação de um inventário de movimentos de massa de qualidade para utilização em sistemas de alertas antecipados.

Estudos geológico-geotécnicos mais detalhados e abrangentes precisam ser efetuados continuamente para avanço no conhecimento do risco geológico, monitoramento ambiental e aperfeiçoamento do sistema de alertas antecipados de movimentos de massa para a região das Escarpas da Serra Geral no Estado do Rio Grande do Sul.

Por fim, considera-se de fundamental importância a organização de um inventário nacional de movimentos de massa que integre diversas fontes e formatos de dados, tendo em vista a urgência desenvolvimento de ações que atendam às políticas públicas de gerenciamento de riscos de desastres naturais.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Ten. Leonardo Siqueira do Corpo de Bombeiros do Rio Grande do Sul, à Prefeitura Municipal de Bento Gonçalves, ao Projeto Rede Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (REMADEN) financiado pela FINEP, ao Sistema de Alerta Antecipado para Deslizamentos (SALAD) financiado pelo CNPq, todos pelo apoio no desenvolvimento de ações de prevenção de desastres de deslizamentos junto com o CEMADEN que permitiram a realização deste trabalho.

BIBLIOGRAFIA

ALVALA, R. C. S. *et al*, Analysis of the hydrological disaster occurred in the state of Rio Grande do Sul, Brazil in September 2023: vulnerabilities and risk management capabilities, **Int. J. Disaster Risk Reduct**. 110 (2024).

BRASIL. Decreto Federal Nº 11.493 de 17 de abril de 2023. Aprova a Estrutura Regimental e o Quadro Demonstrativo dos Cargos em Comissão e das Funções de Confiança do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação e remaneja e transforma cargos em comissão e funções de confiança

CALVELLO, M., PECORARO, G. **Franeitalia**: a catalog of recent Italian landslides. Geoenviron Disasters 5, 13 (2018).

CEMADEN. Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais – CEMADEN, 2020. **Meta 4 do Projeto RedeGeo (Convênio nº 01.16-0068.00 – FINEP/REMADEN) e Plano**

Integrado de Pesquisa e Operação – PIPO (Boletim de Serviço Nº 05/2018) (Nota Técnica, No. 412/2024/Sei-CEMADEN). Brasília.

CEMADEN. Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais – CEMADEN, 2024a. **Mapeamento das manchas de inundações e enxurradas e das cicatrizes dos movimentos de massa, associadas ao desastre do estado do Rio Grande do Sul em maio de 2024** (Nota Técnica, No. 279/2024/Sei-CEMADEN). Brasília.

CEMADEN. Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais – CEMADEN, 2024b. **Mapeamento dos movimentos de massa relacionados ao desastre de abril-maio de 2024 no estado do Rio Grande do Sul** (Nota Técnica, No. 412/2024/Sei-CEMADEN). Brasília.

CEMADEN. Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais – CEMADEN, 2024c. **Mapeamento das manchas de inundações e enxurradas relacionadas ao desastre ocorrido no Estado do Rio Grande do Sul em abril-maio de 2024** (Nota Técnica, No. 469/2024/Sei-CEMADEN). Brasília.

CEMADEN. Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais – CEMADEN, 2025a. **Relatório de levantamento de pontos para instalação das PCDs Geotécnicas do CEMADEN no Município de Bento Gonçalves-RS - Região Serras Gerais (Redegeo/Remaden)** (Nota Técnica, No. 124/2025/Sei-CEMADEN). Brasília.

CEMADEN. Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais – CEMADEN, 2025b. **Relatório de campo do mapeamento dos movimentos de massa relacionados ao desastre de abril-maio de 2024 no Estado do Rio Grande do Sul**. SEI: 01242.000195/2024-93.

COLLISCHONN, W.; FAN, F. M.; POSSANTTI, I. *et al*, The exceptional hydrological disaster of April-May 2024 in southern Brazil. **Revista Brasileira De Recursos Hídricos – RBRH**, 2025. ISSN 1415-4366. vol. 1.

CONSONI, A. (Org.). **Manual técnico para elaboração, transmissão e uso de alertas de risco de movimentos de massa**. CEMADEN/MCTI, Projeto Gides, Volume 2. São José dos Campos, 2018.

CPRM. Serviço Geológico do Brasil. **Geodiversidade do Estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, RS. 250p, 2010. Disponível em: https://rigeo. sgb.gov.br/handle/doc/16774

CPRM. Serviço Geológico do Brasil. **Carta de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundação**: Bento Gonçalves, RS, 2021.

EGAS, H. M.; STÁBILE, R. A.; ANDRADE, M. R. M. *et al*. **Landslides Rio Grande do Sul April - May**. Zenodo / Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN). 2024. Disponível em: https://zenodo.org/records/13225473:

EGAS, H. M.; STÁBILE, R. A.; ANDRADE, M. R. M. *et al*. Comprehensive inventory and initial assessment of landslides triggered by autumn 2024 rainfall in Rio Grande do Sul, Brazil. **Landslides** (2025) 22:579–589.

EGAS, H. M. **Inventário e avaliação inicial dos movimentos de massa deflagrados pela precipitação de abril e maio de 2024 no Rio Grande do Sul, Brasil**. Palestra apresentada na sessão temática "Mapeamento de Áreas de Inundação e Movimentos de Massa do Desastre de Maio de 2024 no Rio Grande do Sul", durante o XXI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), Salvador, BA, 13–16 abr. 2025.

GUZZETTI, F.; MONDINI, A. C.; CARDINALI, M.; FIORUCCI, F.; SANTANGELO, M.; CHANG, K-T. Landslide inventory maps: New tools for an old problem. Earth-Science Reviews 112 (1–2), 2012, p. 42–66

HUNGR O., LEROUEIL S.; PICARELLI, L. The Varnes classification of landslide types, an update. **Landslides** 11, 2014, p. 167-194. https://doi.org/10.1007/s10346-013-0436-y

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2006) Mapa de Unidades de Relevo do Brasil. 1:5.000.000. Rio de Janeiro, 2a ed. Disponíve em: https://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/geomorfolo gia/mapas/brasil/relevo_2006.pdf

LEINZ, V.; AMARAL, S. E. **Geologia Geral**. São Paulo, Ed. Nacional, 1962. 523p.

METODIEV, D., ANDRADE, M.R.M., MENDES, R.M., MORAES, M.A.E., PACHECO, T.C.K.F., BORTOLOZO, C.A., BERNARDES, T., LUIZ, R.A.F.; COELHO, J.O.M. Correlation between Rainfall and Mass Movements in North Coast Region of Sao Paulo State, Brazil for 2014-2018. **International Journal of Geosciences (on line)** 9, 2018. p. 669-679.

Plataforma BrasilMAIS. **Rede MAIS/MJSP**, inclui material © 2023 Planet Labs Inc. Todos os direitos reservados). Ministério da Justiça e Segurança Pública. Governo Federal.

POSSANTTI, I.; AGUIRRE, A.; ALBERTI, C.; *et al* (2024). **Banco de dados das cheias na Região Hidrográfica do Lago Guaíba em Maio de 2024** (versão 1.2). https://doi.org/10.5281/zenodo.11164049.

REBOITA, M. S., MATTOS, E. V., CAPUCIN, B. C., SOUZA, D. O. D.; FERREIRA, G. W. D. S. A multi-scale analysis of the extreme precipitation in southern Brazil in April/May 2024. Atmosphere, 15(9), 1123, 2024.

RIO GRANDE DO SUL. Decreto Estadual Nº 57.614, de 13 de maio de 2024. Altera o Decreto nº 57.600, de 4 de maio de 2024, que reitera o estado de calamidade pública no território do Estado do Rio Grande do Sul afetado pelos eventos climáticos de chuvas intensas, COBRADE 1.3.2.1.4, que ocorrem no período de 24 de abril ao mês de maio de 2024, e especifica os Municípios atingidos.

SANTORO, J.; MENDES, R. M.; PRESSINOTTI, M. M. N.; MANOEL, G. R. Correlação entre chuvas e deslizamentos ocorridos durante a operação do PPDC em São Paulo, SP. In: VII SBCGG - 7º Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental, Maringá, **Anais,** pp. 1-15, 2010.

STÁBILE, R. A.; COLÂNGELO, A. C. Environmental controls on landslide size distribution in the Paraitinga River basin, SE Brazil. **Landslides**, v. 21, p. 371-378, 2024.

STÁBILE, R. A.; COLÂNGELO, A. C. Estudo pluviométrico dos escorregamentos deflagrados no verão de 2009/2010 no Planalto do Paraitinga (SP). **XVII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada**. Campinas, SP, 2017.

TATIZANA, C. O.; OGURA, A. T.; CERRI, L. E. S.; ROCHA, M. C. M. Análise de correlação entre chuvas e escorregamentos: Serra do Mar, município de Cubatão. **V Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia**, 2, pp. 225-236. São Paulo: ABGE, 1987.

DOI: 10.5281/zenodo.16383749
Recebido em: 30/05/2025
Aceito em: 14/07/2025