

IMPACTO DOS MOVIMENTOS DE MASSA NA MALHA VIÁRIA DO MEGA DESASTRE DO ANO DE 2024 NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL

Morvana Machado

Engenheira Cartógrafa e Agrimensora

Mestranda no Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto (PPGSR - UFRGS) / Latitude (UFRGS/CNPq)
E-mail: morvana.machado@gmail.com

Eléia Righi

Doutora em Geografia -UFRGS, Pós-doutora no PPGSR - UFRGS

Professora adjunta da Universidade Estadual do Rio Grande do Sul (UERGS)

E-mail: eleia-righi@uergs.edu.br

Clódis de Oliveira Andrade Filho

Doutor em Geociências (Geoquímica e Geotectônica) - USP

Professor Adjunto da Universidade Federal do Rio Grande do Sul

E-mail: clodisfilho@gmail.com

Guilherme Garcia de Oliveira

Doutor em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental – UFRGS

Professor Adjunto da Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Campus Litoral Norte

E-mail: g.g.oliveira10@gmail.com

RESUMO

Os movimentos de massa são fenômenos geomorfológicos potencialmente destrutivos, associados a fatores naturais e antrópicos. Esses processos afetam diretamente a infraestrutura viária, comprometendo a conectividade, o escoamento da produção agrícola e a logística regional. Neste sentido, esse estudo buscou corroborar com a análise do impacto dos movimentos de massa nas estradas do mega desastre decorrente do acumulado de chuvas no Estado do Rio Grande do Sul, entre 27/04 e 13/05 do ano de 2024. Na metodologia foram utilizados inventários dos movimentos de massa e da rede viária dos municípios. No mega desastre do ano de 2024, o peso e a força dos materiais que deslizaram danificaram a pavimentação, causando buracos, fissuras e até mesmo a destruição de trechos inteiros da malha viária. Assim, foram encontrados um total de 2.430 trechos de estradas/rodovias impactados por movimentos de massa, com uma distância de 102 km, aproximadamente. Esses trechos foram encontrados em 113 municípios. A relação entre o traçado viário e os movimentos de massa ocorridos no Rio Grande do Sul no ano de 2024 é complexa, e envolve tanto a influência da construção de estradas na ocorrência de deslizamentos, quanto o impacto dos deslizamentos na infraestrutura viária. Um planejamento e gestão adequados são essenciais para mitigar os riscos e garantir a segurança das vias e das comunidades.

PALAVRAS-CHAVE: Destrução; Planejamento; Resiliência.

IMPACT OF LANDSLIDE ON THE ROAD NETWORK OF THE MEGA DISASTER OF 2024 IN THE STATE OF RIO GRANDE DO SUL

ABSTRACT

Landslides are potentially destructive geomorphological phenomena associated with natural and anthropogenic factors. These processes directly affect road infrastructure, compromising connectivity, the flow of agricultural production, and regional logistics. In this sense, this study sought to corroborate the analysis of the impact of landslides on roads in the mega disaster resulting from accumulated rainfall in the State of Rio Grande do Sul, between April 27 and May 13, 2024.

The methodology used inventories of landslides and the road network of the municipalities. In the mega disaster of 2024, the weight and force of the materials that slid damaged the pavement, causing holes, cracks, and even the destruction of entire sections of the road network. Thus, a total of 2,430 sections of roads/highways impacted by landslides were found, with a distance of approximately 102 km. These sections were found in 113 municipalities. The relationship between road layout and landslides in Rio Grande do Sul in 2024 is complex and involves both the influence of road construction on landslide occurrence and the impact of landslides on road infrastructure. Proper planning and management are essential to mitigate risks and ensure the safety of roads and communities.

KEYWORDS: Destruction; Planning; Resilience.

INTRODUÇÃO

Movimentos de massa são perigos naturais muito comuns e podem causar vítimas, danificar várias infraestruturas, além de perdas agrícolas, pecuárias, de solos e vegetação. Em relação às rodovias, que são consideradas infraestruturas lineares, inevitavelmente atravessam várias unidades geomorfológicas, encontrando uma ampla gama de condições geológicas e topográficas complexas, ao mesmo tempo em que permanecem vulneráveis a diversos desastres naturais (Liu *et al.*, 2022; Zhou *et al.*, 2024).

As redes rodoviárias desempenham um papel vital na manutenção de uma sociedade, e muitos eventos adversos podem afetar o fornecimento de transportes ao longo dessas redes, especialmente desastres naturais provocados por inundações, movimentos de massa e terremotos (Bíl *et al.*, 2015). Os movimentos de massa, em particular, podem ser imensamente destrutivos e restringir a livre circulação de pessoas e bens quando afetam direta ou indiretamente as malhas rodoviárias (Winter *et al.*, 2013; Bíl *et al.*, 2015; Meneses *et al.*, 2019).

Os danos causados por movimentos de massa em rodovias podem variar de pequenas interrupções, como congestionamentos e danos a veículos, a repercussões mais profundas que afetam economias locais, operações militares, defesa nacional e outros setores críticos (Ma; Mei, 2021).

Em relação às perdas locais e regionais indiretas, alguns estudos revelam que o bloqueio de estradas impacta significativamente o turismo. Dhakal *et al.* (2020), verificaram que os deslizamentos, que ocorreram em várias regiões nepalesas, causaram a perda de receitas dos hotéis em algumas cidades, que foi de 50% a 100% em 2015, 20% a 100% em 2016, 5% a 75% em 2017 e de 35% em 2018. Esses resultados fornecem *insights* sobre o efeito sinérgico e seu impacto nas fontes de renda das comunidades locais.

Na China, uma pesquisa trouxe o custo da perda esperada em vários tipos de estradas, assim, Liu *et al.* (2023), descrevem que estradas com baixo risco de deslizamento, com foco na perda esperada é de 0,0–0,1 milhões de CNY (moeda chinesa), enquanto as linhas de Tahe-Great Khingan-Mohe e Mohe-Huma mantêm o maior risco, e a perda esperada excede 0,8 milhões de CNY. Além disso, quanto menor a classe da estrada, não apenas maior a perda esperada, mas maior a quilometragem da estrada exposta a deslizamentos de terra.

Hearn, Kerridge e Pongpanya (2021), analisaram a região de Laos, na Ásia, pois grande parte da rede rodoviária está localizada em terrenos montanhosos, onde deslizamentos de terra causam danos de engenharia regulares e bloqueios ao tráfego. A estação chuvosa de 2018 foi particularmente severa e desencadeou muitos deslizamentos de terra que bloquearam estradas por horas e, em alguns casos, dias. O custo de limpeza desses deslizamentos foi, em média, de quase US\$ 5.000 por km. No entanto, a análise econômica demonstra que investimentos em medidas de estabilização de deslizamentos, no valor médio de US\$ 50.000 para deslizamentos acima da estrada e US\$ 120.000 para aqueles abaixo da estrada.

No Brasil, no Rio Grande do Sul, somente o governo do Estado gastou aproximadamente R\$ 1,26 bilhões em investimentos exclusivamente em transportes/estradas após o desastre do ano de 2024, o qual foi considerado, aproximadamente, 40% de todos os investimentos feitos, até abril de 2025 (Governo do Estado do Rio Grande do Sul, 2025).

Neste sentido, esse estudo buscou corroborar com a análise espacial do impacto dos movimentos de massa na malha viária do mega desastre decorrente do acumulado de chuvas no Estado do Rio Grande do Sul, entre 27/04 e 13/05 do ano de 2024.

METODOLOGIA

O mapeamento dos movimentos de massa foi conduzido pelo Instituto de Geociências (IGEO) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e pelo Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia (CEPSRM), a partir da coordenação do Laboratório Latitude. Após, todo o material elaborado foi divulgado para a comunidade a partir de notas técnicas (IGEO, 2024). O mapa digital está disponível em “WebMapa de Movimentos de Massa para equipes de apoio na situação de calamidade / 2024”, no seguinte link: <https://arcg.is/ejzvW>.

Assim, as cicatrizes foram delimitadas a partir de imagens de satélite de alta resolução espacial, por interpretação visual, na composição colorida RGB cor-verdadeira, conforme as Notas

Técnicas Conjuntas do IGEO/CEPSRM 2024 (IGEO, 2024). Posteriormente, foram disponibilizadas no formato de polígonos na extensão *shapefile*. Neste sentido, as seguintes bases foram utilizadas:

- a) imagens dos satélites World View concedidas para uso emergencial pela National Geospatial Intelligence Agency - NGA / Diretoria de Serviço Geográfico – DSG – Fonte das Imagens Maxar Technologies 2024 (resolução espacial: 0,3 m a 0,4 m);
- b) imagens concedidas pela Força Aérea do Chile e Força Aérea Brasileira para uso emergencial advindos dos sistemas EROS C e BlackSky (resolução espacial: 0,9 m);
- c) imagens do satélite sino-brasileiro CBERS 4, sensor WPM, com processamento pansharpening (resolução espacial: 2 m) oriundas do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Brasil.

Em relação ao sistema viário completo, em formato de linhas e na extensão *shapefile*, foi disponibilizado pelo 1º Centro de Geoinformação do Exército Brasileiro, da região de abrangência de mapeamento dos movimentos de massa, com aproximadamente 18 mil km², sendo das bacias hidrográficas Taquari-Antas, Caí, Sinos, Pardo, Alto e Baixo Jacuí e Vacacaí-Mirim. A combinação de dados foi feita usando diversas fontes, como o DAER, Exército Brasileiro e também de dados livres como o OpenStreetMaps.

Os temas foram organizados na extensão *shapefile*, que consiste no formato vetorial mais utilizado no mundo inteiro, cujo uso é permitido nos mais diversos *softwares* de geoprocessamento. A compilação dos resultados foi elaborada utilizando o Sistema de Informação Geográfica (SIG) *software* ArcGis. A organização de um Banco de Dados dentro de um SIG possibilita o planejamento das diversas atividades do território.

A partir da ferramenta de sobreposição espacial disponível no ArcGIS, foi possível realizar a interseção entre essas bases de dados, identificando com precisão os trechos da infraestrutura viária que apresentaram interferência direta das áreas de movimentos de massa.

Posteriormente, em função da grande quantidade de dados gerados, foram utilizadas tabelas dinâmicas no *software* Excel, as quais resumiram as informações processadas a fim de fornecer uma análise sintetizada e clara.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

No mega desastre do ano de 2024, o peso e a força dos materiais que deslizaram danificaram a pavimentação, causando buracos, fissuras e até mesmo a destruição de trechos inteiros da malha

viária. Neste sentido, levando em consideração a base usada neste estudo, foram encontrados um total de 2.430 trechos de estradas/rodovias impactados por movimentos de massa.

Em relação às distâncias, com a presença de detritos ou cicatrizes na estrada/rodovias, a quantidade total foi de 101.946,24 metros impactados, ou 102 km, aproximadamente. Esses trechos são encontrados em 113 municípios, de um total de 150 que foram inicialmente mapeados com movimentos de massa.

A maior distância danificada/destruída em um único trecho do sistema viário foi de 442 metros, no município de Gramado, que está localizado na Serra Gaúcha. O G1 (2024), trouxe imagens que mostraram o antes e o depois da Rua Henrique Bertoluci, que desabou após intensas chuvas que atingiram todo o Estado (Figura 1). Diversos bairros e localidades rurais foram atingidos neste município, incluindo Piratini, Três Pinheiros e Linha Pedras Brancas. A Avenida das Hortênsias que liga Gramado à Canela, também sofreu com movimentos de massa.

Para o município de Gramado, o Serviço Geológico do Brasil (SGB) avançou na Serra Gaúcha com estudos que contribuem para a prevenção de desastres. Os pesquisadores mapearam as áreas de risco nos locais indicados pelas defesas civis. As atividades em campo começaram no dia 17/06/2024. Esse mesmo trabalho foi realizado na cidade vizinha, Canela (RS), e em vários outros municípios severamente impactados, conforme SGB (2024).

Figura 1 - Rua desmorona após chuvas intensas na área urbana de Gramado (RS).



Fonte: G1 (2024).

Portanto, a quantidade dos maiores trechos identificados, acima de 200 metros, foram 26, em vários municípios, somando aproximadamente 7 km (Quadro 1). Os municípios que mais apresentaram trechos grandes impactados foram Cotiporã e Bento Gonçalves, com 6 registros cada um.

Quadro 1 - Municípios que registraram as maiores distâncias de trechos de rodovias/estradas impactadas, acima de 200 metros por trecho.

Município	Tipo	Distância dos trechos (m)
Veranópolis	Terciária	200,74
Rolante	Caminho carroçável	201,09
Carlos Barbosa	Terciária	201,24
Cotiporã	Terciária	201,71
Vespasiano Correa	Caminho carroçável	201,89
Roca Sales	Terciária	201,90
Muçum	Terciária	202,84
Cotiporã	Terciária	206,65
Bento Gonçalves	Terciária	207,64
Cotiporã	Terciária	215,67
Bento Gonçalves	Terciária	217,16
Bento Gonçalves	Terciária	233,18
Cotiporã	Terciária	238,55
Encantado	Terciária	245,89
Cotiporã	Terciária	258,58
Cotiporã	Terciária	264,44
Encantado	Terciária	264,99
Bento Gonçalves	Caminho carroçável	269,17
Bento Gonçalves	Terciária	284,90
Arroio do Meio	Terciária	306,67
Anta Gorda	Terciária	325,57
Faxinal do Soturno	Caminho carroçável	345,32
Bento Gonçalves	Terciária	347,25
Dois Lajeados	Trilha	370,98
Bento Gonçalves	Terciária	391,63
Gramado	Caminho carroçável	442,60

Fonte: Autores (2025).

Considerando os municípios que tiveram mais impactos na malha viária analisada, encontrou-se doze, com o maior destaque para Bento Gonçalves, que somou um total de mais de 12 km do sistema viário impactado (Quadro 2). Esses doze municípios mencionados, concentraram mais de 50% do total de quilometragem impactada da área total analisada (113 municípios). As rodovias que cortam Bento Gonçalves e arredores, desempenham um papel crucial para a mobilidade local, conectando cidades e facilitando o transporte de bens e pessoas na Serra Gaúcha.

Quadro 2 - Total de estradas impactadas por município, somente acima de 2 km

Município	Distância em metros total por município
Pinto Bandeira	2.092,80
Muçum	2.118,25
Putinga	2.224,75
Gramado	2.303,45
Arroio do Meio	2.701,74
Nova Petrópolis	2.871,87
Encantado	2.888,80
Caxias do Sul	4.677,93
Roca Sales	5.732,71
Cotiporã	6.554,89
Veranópolis	8.031,18
Bento Gonçalves	12.656,06

Fonte: Autores (2025).

O 1º Centro de Geoinformação do Exército Brasileiro classifica as estradas mapeadas em categorias, sendo elas: caminho carroçável, primária, principal, secundária, terciária e trilha. Neste sentido, este trabalho também levou em consideração esses tipos para gerar os dados quantitativos (Quadro 3). Assim, na área em estudo o maior impacto foi registrado na categoria “terciária”. Essas estradas normalmente são encontradas nas áreas rurais dos municípios e não possuem pavimentação asfáltica. Foram construídas em terreno natural, sem atendimento às normas, podendo eventualmente receber revestimento primário.

A lei nº 9.503, de 23 de setembro de 1997 (Brasil, 1997), que institui o Código de Trânsito Brasileiro, traz uma classificação sobre a malha viária no Art. 2º, como sendo vias terrestres urbanas e rurais as ruas, as avenidas, os logradouros, os caminhos, as passagens, as estradas e as rodovias, que terão seu uso regulamentado pelo órgão ou entidade com circunscrição sobre elas, de acordo com as peculiaridades locais e as circunstâncias especiais.

Quadro 3 - Estradas por tipo, conforme a classificação do exército.

Categoria	Distância em metros – total da área em estudo
Caminho carroçável	12.305,28
Primária	2.287,41
Principal	1.127,20
Secundária	2.201,65
Terciária	79.755,34
Trilha	4.100,84

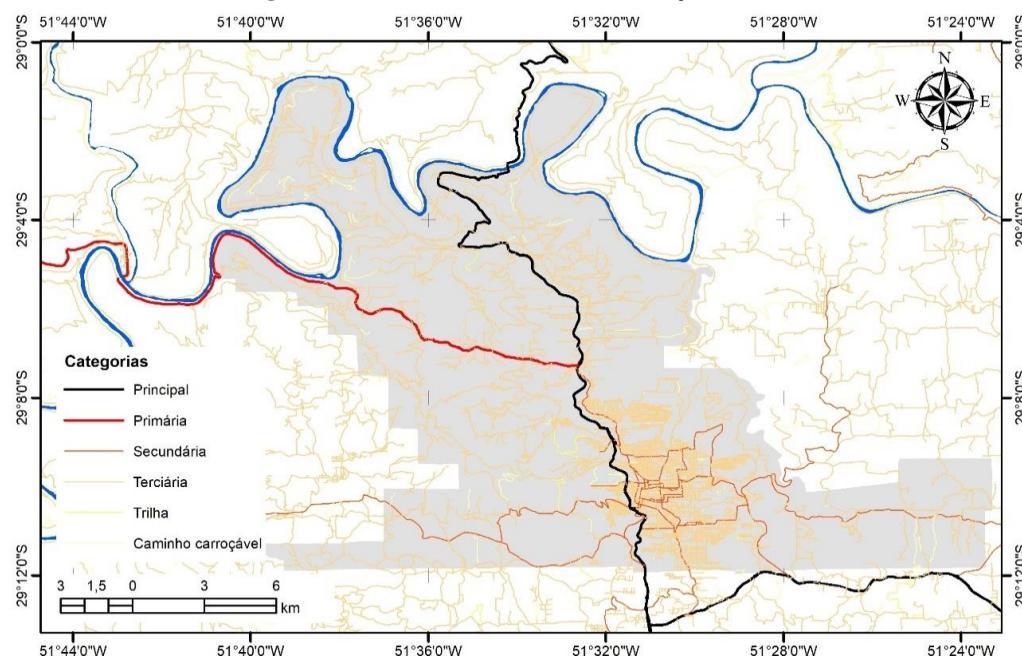
Fonte: Autores (2025).

No mapa da Figura 2, foi possível representar todas as categorias viárias no município de Bento Gonçalves. A Serra das Antas, que é a BR-470, entre Veranópolis e Bento Gonçalves, está com problemas de tráfego até os dias atuais (abril de 2025), e em vários locais o traçado original foi destruído. A rodovia ficou totalmente bloqueada por muitos dias/meses, deixando dezenas de pessoas ilhadas. A ponte dos Arcos sofreu danos por causa da pressão da água e muitos movimentos de massa.

Entre as principais estradas/rodovias da Serra Gaúcha, estão as rodovias federais, geridas pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), as estaduais sob responsabilidade do Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem (DAER) e as pedagiadas, administradas pela Concessionária Caminhos da Serra Gaúcha (CSG), que atua na Serra e no Vale do Caí, e pela Empresa Gaúcha de Rodovias (EGR).

Para o DNIT, as rodovias federais dividem-se em: rodovias radiais, cuja quilometragem é iniciada a partir de Brasília; rodovias longitudinais, iniciadas a partir do litoral; rodovias transversais; rodovias diagonais e rodovias de ligação (DNIT, 2025).

Figura 2 - Sistema viário em Bento Gonçalves (RS)

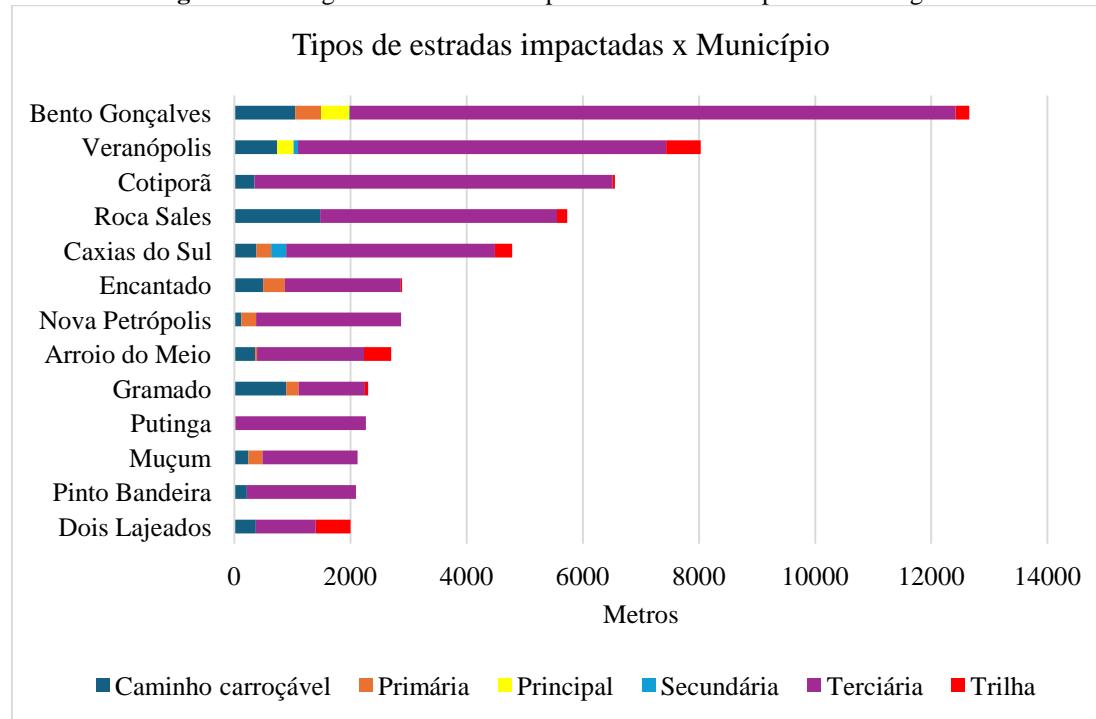


No Rio Grande do Sul, o DAER é a autarquia responsável pela conservação de toda a malha rodoviária sob sua circunscrição, incluindo as obras de arte especiais. O departamento é responsável por administrar 10.310,69 quilômetros de rodovias, sendo 7.124,99 km pavimentados e 3.185,70 km não-pavimentados (DAER, 2025).

A CSG, atuou no decorrer do mega desastre e após o evento, e recomendou expressamente que a população não se deslocasse pelas rodovias ERS-122, ERS-446, ERS-240, RSC-453, BR-470 e RSC-287, nem utilizasse desvios ou rotas alternativas. Foram registrados 26 pontos de alagamentos (água acumulada sobre a pista e transbordo de rios), 58 quedas de barreiras, 15 quedas de árvores e 100 pontos de obstrução causados por sujeiras, entulhos, terras e pedras. No período, a companhia ainda atendeu cerca de dois mil clientes através dos canais oficiais (CSG, 2024). De acordo com a CSG, não foi possível estimar o valor investido nas obras, pois elas ocorreram de forma emergencial, pontuais e a médio / longo prazo.

Levando em consideração todas as categorias de estradas, nos municípios mais atingidos, também foi possível verificar que as estradas terciárias foram as mais comprometidas pelos movimentos de massa (Figura 3). As estradas terciárias são vias de menor porte, geralmente não pavimentadas, que conectam áreas rurais, pequenas comunidades e propriedades agrícolas.

Figura 3 - Categorias de estradas impactadas nos municípios mais atingidos



Fonte: Autores (2025)

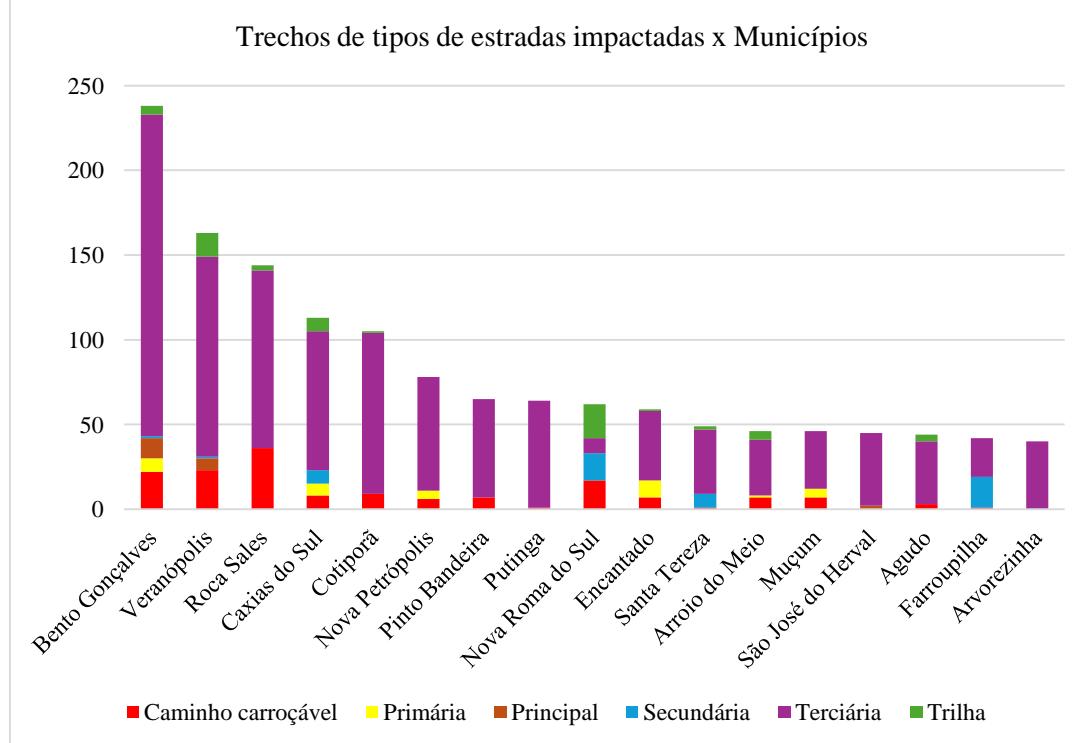
Conforme Lopes, Machado e Souza (2002), as estradas terciárias têm como principais características o baixo volume de tráfego, às vezes temporário, e o tráfego pesado e extrapesado, ocorrendo normalmente em um único sentido, por meio de veículos com capacidade de carga entre 30 e 40 toneladas e de veículos com carga acima de 40 toneladas, respectivamente.

No Brasil, grande parte da malha rodoviária ainda é composta por estradas não pavimentadas, ou seja, que não possuí a superfície de rolamento revestida por material asfálticos, concreto ou por alvenaria poliédrica e mesmo com tamanha importância socioeconômica, é comum a situação de estado inadequado das condições de trafegabilidade em muitas dessas estradas (Martins; Campos; Nascimento, 2020).

Para Pinheiro, Silva e Salomão (2023), a malha rodoviária é de extrema importância para o desenvolvimento de qualquer região ou país, principalmente no contexto econômico, pois são vias essenciais para o escoamento de insumos e mercadorias, possibilitando que pequenas cidades e produtores agrícolas cheguem aos grandes centros urbanos. Esse escoamento da produção (colheita agrícola) geralmente é realizado por estradas vicinais ou estradas de terra, por isso, a importância da sua conservação e manutenção.

Em relação a quantidade de trechos, por tipo de estradas, também temos as terciárias com as maiores quantidades, um total de 1874 trechos, em segundo lugar estão os caminhos carroçáveis com 297 trechos, as trilhas com 100 trechos estão em terceira posição, em quarto as secundárias com 79 trechos, em quinto aparecem as primárias com 51 trechos e por último as principais com 29 trechos. Na figura 4, é possível verificar os trechos nos municípios mais atingidos, acima de 40 trechos.

Figura 4 - Trechos de tipos de estradas impactadas nos municípios mais atingidos (somente acima de 40)



Fonte: Autores (2025).

156

Portanto, as malhas viárias são a espinha dorsal das infraestruturas críticas quando ocorrem movimentos de massa, pois fornecem acesso a outros sistemas e operações de resgate imediatamente após a ocorrência de um desastre e durante os processos de restauração (Aydin *et al.*, 2018). Neste sentido, torna-se necessário, aumentar a resiliência e compreender a complexidade para a recuperação dessas redes de transporte.

Importante, também se torna, verificar o total de quilometragem nos municípios mais impactados. Portanto, quando comparamos esse total geral da malha viária com o que foi impactado pelos movimentos de massa, verificamos que cinco municípios tiveram mais de 1% de registro (Quadro 4).

Quadro 4 - Estradas geral e impactadas nos municípios mais atingidos

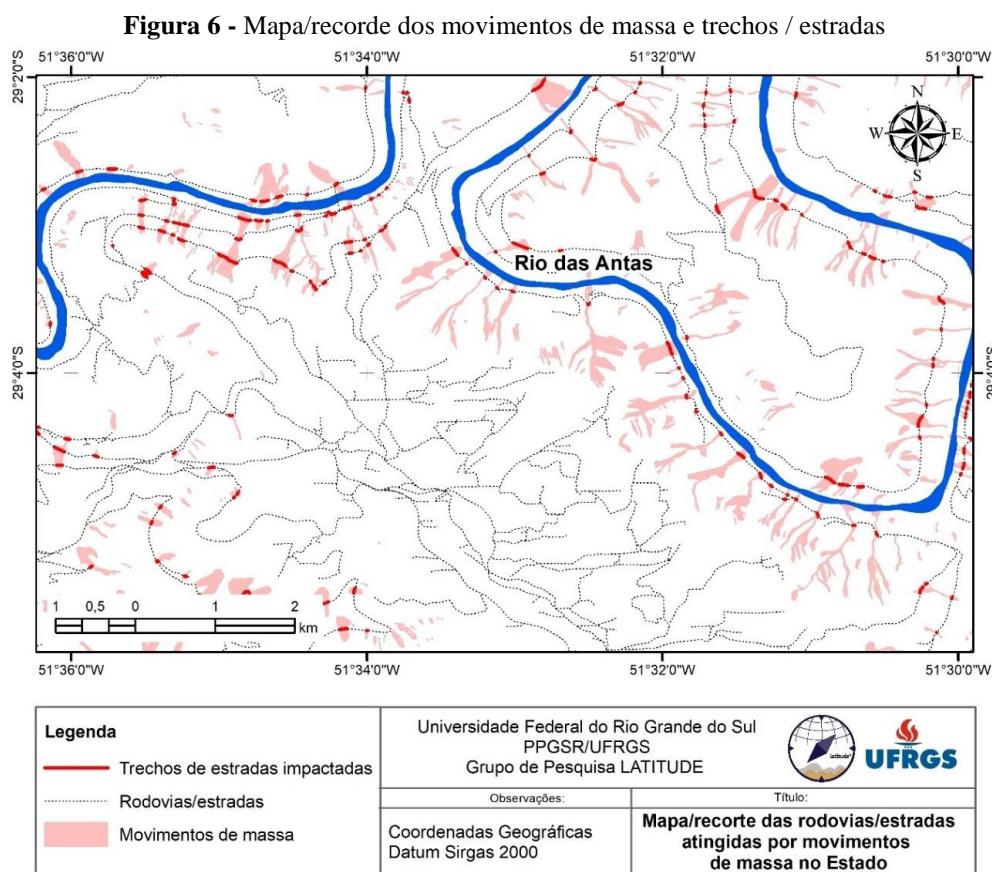
Município	Total Geral (km)	Total Geral Impactada (km)	%
Pinto Bandeira	178,75	2,09	1,17%
Cotiporã	303,84	6,55	2,15%
Veranópolis	534,21	8,01	1,50%
Roca Sales	574,82	5,72	1,00%
Bento Gonçalves	1030,54	12,63	1,23%

Fonte: Autores (2025)

Na Figura 6, está apresentado um recorte com o traçado viário e os movimentos de massa. Portanto, o mega desastre do ano de 2024 destacou a vulnerabilidade da infraestrutura viária em áreas de relevo declivoso e a importância de um planejamento cuidadoso. Os movimentos de massa causaram danos significativos às estradas, incluindo bloqueios, destruição de trechos da via, interrupção do tráfego e isolamento de comunidades. Isso dificultou o transporte de pessoas e mercadorias, além de aumentar os custos de manutenção e recuperação da infraestrutura.

Segundo a Emater (2024), os municípios em calamidade do Planalto Meridional obtiveram perdas significativas para a região, com impactos expressivos em construções e estradas. Houve dificuldades no escoamento da produção de mais de 4 mil comunidades devido às estradas vicinais afetadas. A interrupção das vias de transporte e a incerteza quanto à demanda prejudicaram severamente o setor agrícola, impactando a logística de distribuição da produção remanescente.

Além disso, o Decreto nº 57.626, de 21 de maio de 2024 (Rio Grande do Sul, 2024) indicou que 78 municípios estavam em estado de calamidade pública, enquanto outros 340 estavam em situação de emergência, sendo este um dos maiores desastres climáticos já registrados no Estado.



Fonte: Autores (2025)

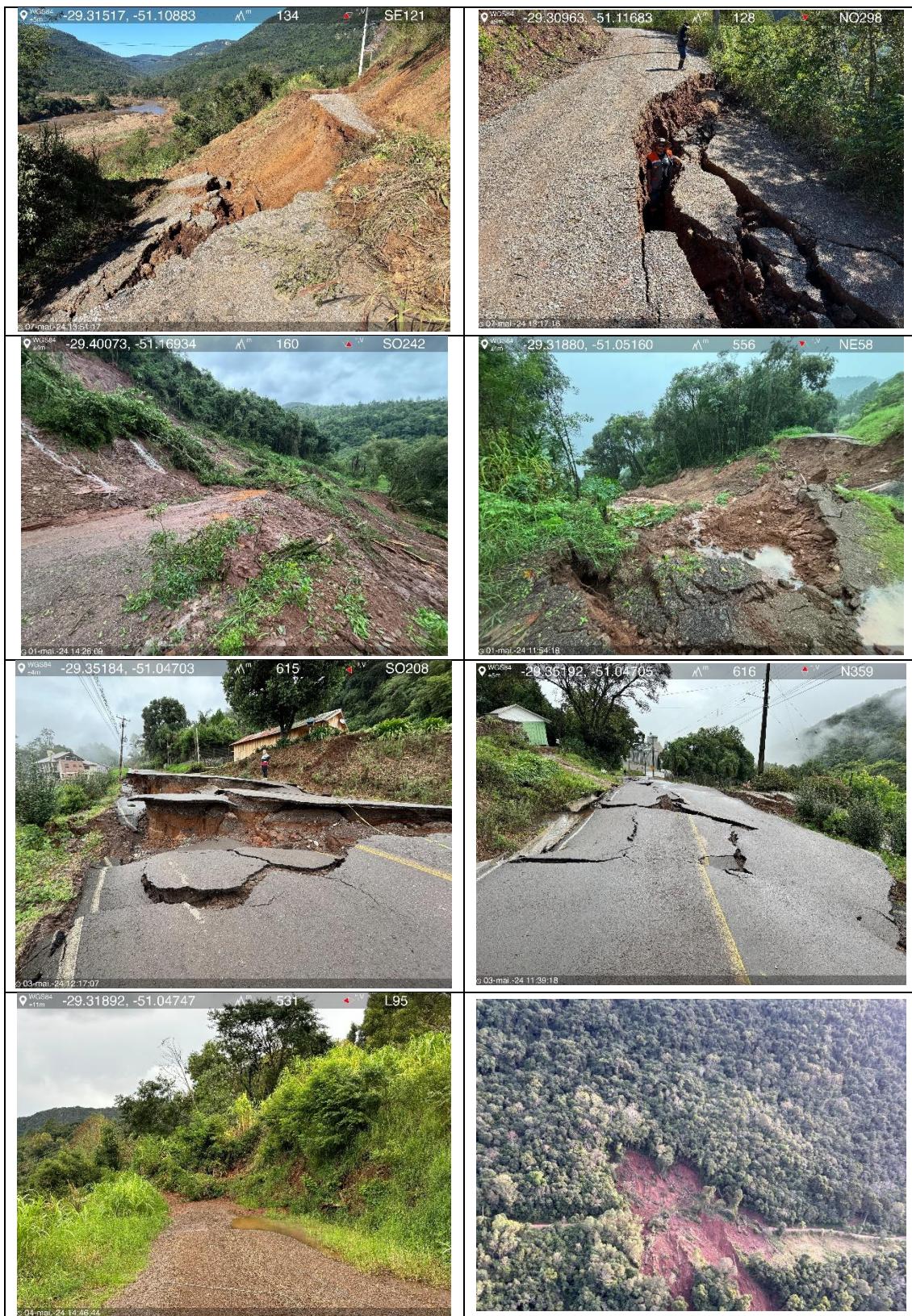
Os movimentos de massa na Encosta Sul do Planalto Meridional foram devastadores para a infraestrutura viária e o setor agrícola, com perdas significativas na produção de leite e de aves. Em maio de 2024, cerca de 10 milhões de litros de leite deixaram de ser coletados, enquanto mais de 1 milhão de aves foram perdidas devido às inundações e deslizamentos (Emater, 2024). As imagens de satélite de alta resolução, juntamente com os relatórios técnicos, mostraram que os movimentos de massa ocorreram principalmente nas encostas dos vales, causando deslizamentos, quedas de blocos e rastejo do solo.

Os bloqueios nas estradas vicinais, como em Caxias do Sul, afetaram o escoamento da produção agrícola, com destaque para os produtores de caqui, por exemplo, que enfrentaram grandes prejuízos devido ao isolamento das vias (Emater, 2024). As dificuldades logísticas e incerteza de demanda, com estradas interrompidas prejudicaram seriamente o setor agrícola da região.

Para o município de Nova Petrópolis, o Serviço Geológico do Brasil (SGB) publicou o primeiro relatório da ação emergencial para mapear áreas de risco no Rio Grande do Sul, também foram disponíveis as cartografias do município (Bellettini; Queiroz, 2024). Assim, o estudo indicou as áreas de risco associadas a movimentos gravitacionais de massa englobam 52 setores, destes 21 são de risco alto e 31 de risco muito alto. As tipologias predominantes são deslizamentos, rastejo e queda de blocos.

O relatório ressalta que os riscos mapeados na cidade estão relacionados com características naturais da região e casos de ocupação irregular do território. Para isso, o documento recomenda ações de segurança, como sistemas de monitoramento e alerta de desastres, sistemas de drenagem fluvial e desenvolvimento de políticas públicas de ordenamento territorial. No quadro 5, estão algumas imagens do município.

Quadro 5 - Imagens do município de Nova Petrópolis / RS



Fonte: Imagens cedidas por Peter Klaus Hillebrand – Geólogo / Mestrando no PPGSR.

Importante salientar, que a zona rural do município engloba áreas em relevo de escarpas degradadas de borda de planalto, onde as ocupações normalmente situam-se em patamares litoestruturais estreitos (muitas vezes estes são cobertos por rampas de colúvio/tálu em declividades médias) com encostas de alta declividade abaixo e acima. Estes locais foram muito afetados com movimentos de massa no evento pluviométrico elevado que ocorreu no fim do mês de abril e início do mês de maio de 2024 (Bellettini; Queiroz, 2024).

Corroborando com o assunto, Postance *et al.* (2017), organizaram um estudo sobre riscos de deslizamentos na rede rodoviária da Escócia. Os resultados indicaram que pelo menos 152 segmentos de estradas são suscetíveis a deslizamentos, o que pode causar perdas econômicas indiretas superiores a £35 mil (Libra Esterlina) para cada dia de fechamento. Além disso, estimativas anteriores para eventos históricos de deslizamentos podem ter subestimado significativas perdas socioeconômicas.

Já, Haigh e Rawat (2011), estudaram os movimentos de massa e inundações que atingiram o distrito himalaio de Almora (Uttarakhand), durante o fim da monção de 2010. O fenômeno afetou milhares de quilômetros de estradas e seus danos somaram mais de \$ 125.000.000. Portanto, a altura do corte da estrada, a incisão do canal que minou o corte da estrada e, especialmente, a inclinação da encosta na encosta se mostraram significativas.

Movimentos de massa e queda de rochas são os riscos naturais mais comuns e perigosos para infraestrutura de tráfego linear em regiões montanhosas, conforme aponta Laimer (2017). O autor traz um inventário de movimentos de massa que afetaram a rede das Ferrovias Federais Austríacas entre 2005 e 2015, e a análise dos 106 eventos da série histórica mostrou que os induzidos antropogenicamente (71,7%) superam os induzidos naturalmente (28,3%). As atividades humanas no contexto da construção de infraestrutura de transporte constituem mais da metade de todas as causas de deslizamentos de terra (Laimer, 2017).

Um trabalho organizado no Nepal, verificou que mais de 40% dos movimentos de massa recentemente desencadeados cruzaram uma estrada e 84% deles estão localizados a uma distância de 40 metros dela. As estradas estão, portanto, influenciando a estabilidade da encosta por meio do corte e concentrando água da superfície, alterando assim os padrões hidrológicos, que estão desestabilizando as partes superiores (Vuillez *et al.*, 2018).

Deslizamentos / movimentos de massa causam danos severos à malha viária da zona atingida, tanto em termos de custos diretos (destruição parcial ou completa de uma estrada ou bloqueios) quanto indiretos (restrição de tráfego ou interdição de uma determinada área), conforme enfatiza Bordoni *et al.* (2018). Neste sentido, os autores realizaram um estudo em uma bacia hidrográfica do

nordeste de Oltrepò Pavese (norte da Itália), onde vários movimentos de massa superficiais afetaram estradas nos últimos anos. Os resultados demonstram a capacidade da metodologia desenvolvida na avaliação de estradas suscetíveis, trazendo aos gestores de infraestrutura informações sobre a criticidade das diferentes características das estradas, permitindo assim que a atenção e os orçamentos econômicos sejam transferidos para os ativos mais críticos, onde medidas de mitigação estruturais e não estruturais poderiam ser implementadas (Bordoni *et al.*, 2018).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A relação entre o traçado viário e os movimentos de massa ocorridos no Rio Grande do Sul no ano de 2024 é complexa e envolve a influência da construção de estradas em áreas potenciais de ocorrência de deslizamentos. Portanto, um planejamento e gestão adequados são essenciais para mitigar os riscos e garantir a segurança das vias e das comunidades.

As lições aprendidas no megaevento de maio de 2024 evidenciaram, com clareza, as fragilidades das malhas viárias e os desafios na gestão de desastres em regiões suscetíveis, como o Planalto Meridional do Rio Grande do Sul. Portanto, um planejamento adequado do traçado viário, levando em consideração a geologia, a topografia e a hidrologia da região, é fundamental para minimizar os riscos de movimentos de massa. Isso inclui a realização de estudos de impacto ambiental, a implementação de medidas de contenção (como muros de arrimo e sistemas de drenagem) e o monitoramento constante das áreas de risco.

161

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS), pela Concessão de Apoio Financeiro a Projetos de Pesquisa com o Termo de outorga: 24/2551-0002124-8, pelo Edital FAPERGS 06/2024 - Programa de pesquisa e desenvolvimento voltado a desastres climáticos.

REFERÊNCIAS

AYDIN, N. Y.; *et al.* Framework for improving the resilience and recovery of transportation networks under geohazard risks. **International Journal of Disaster Risk Reduction**. Volume 31, October 2018. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2018.07.022>

BELLETTINI, A. S.; QUEIROZ, L. J. S. **Cartografia de risco geológico**: Nova Petrópolis, RS. SGB – CPRM / Relatórios Técnicos. 2024. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/24929>. Acesso em: 13 abr. 2025.

BÍL, M.; *et al.* Evaluating road network damage caused by natural disasters in the Czech Republic between 1997 and 2010. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, 80, 90–103, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2015.07.006>

BORDONI, M.; *et al.* Estimation of the susceptibility of a road network to shallow landslides with the integration of the sediment connectivity, **Nat. Hazards Earth Syst. Sci.**, 18, 1735–1758, 2018. <https://doi.org/10.5194/nhess-18-1735-2018>

BRASIL. Presidência da República. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. **Lei nº 9.503, de 23 de setembro de 1997**. Institui o Código de Trânsito Brasileiro. 1997. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19503compilado.htm. Acesso em: 23 abr. 2025.

CSG - Concessionária Caminhos da Serra Gaúcha. **Em 10 dias, CSG soluciona 78% das ocorrências causadas pelas chuvas**. 10/05/2024. Disponível em: <https://www.csg.com.br/noticias/em-10-dias-csg-solucionou-78-das-ocorrencias-causadas-pelas-chuvas>. Acesso em: 23 abr. 2025.

DAER - Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem. **Composição da Malha**. 2025. Disponível em: <https://www.daer.rs.gov.br/composicao-da-malha>. Acesso em: 23 abr. 2025.

DHAKAL, S.; *et al.* Landslide characteristics and its impact on tourism for two roadside towns along the Kathmandu Kyirong Highway. **Journal of Mountain Science**. 17, 1840–1859, 2020. <https://doi.org/10.1007/s11629-019-5871-3>

DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Infraestrutura Rodoviária**. 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/infraestrutura-rodoviaria>. Acesso em: 23 abr. 2025.

EMATER - Associação Riograndense de Empreendimentos de Assistência Técnica e Extensão Rural. **Impactos das chuvas e cheias extremas no Rio Grande do Sul em maio de 2024**. Boletim Efeito Adverso, Nº 01, maio de 2024. Disponível em: <https://www.estado.rs.gov.br/upload/arquivos/202406/relatorio-sisperdas-evento-enchentes-em-maio-2024.pdf>. Acesso em: 11 abr. 2025.

GOVERNO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL. **Calamidade Pública 2024, Despesas Enchentes de 2024 – Pagamentos**. Data da última atualização: 07/04/2025. Disponível em: <https://www.transparencia.rs.gov.br/calamidade-publica-2024/1-principal-despesas-enchentes-de-2024-pagamentos/dados/>. Acesso em: 09 abr. 2025.

G1 – Rio Grande do Sul. **Antes e depois**: veja como era e como ficou a rua que desmoronou em Gramado. 2024. Disponível em: <https://g1.globo.com/rs/rio-grande-do-sul/noticia/2024/05/13/antes-e-depois-veja-como-era-e-como-ficou-a-rua-que-desmoronou-em-gramado.ghtml>. Acesso em: 11 abr. 2025.

HAIGH, M.; RAWAT, J. S. Landslide causes: Human impacts on a Himalayan landslide swarm. **Belgeo** [En ligne], 3-4 | 2011. <https://doi.org/10.4000/belgeo.6311>

HEARN, G. J.; KERRIDGE, M. S. P.; PONGPANYA, P. Landslide costs on the national road network of Laos, with some regional implications. **Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology**, 54, 4, 2021. <https://doi.org/10.1144/qjegh2021-023>

IGEO - Instituto de Geociências. **Mapeamento de Movimentos de Massa – Notas Técnicas**. 2024. Disponível em: <https://www.ufrgs.br/igeo/2347/mapeamento-de-movimentos-de-massa-nota-tecnica/>. Acesso em: 17 mar. 2025.

LAIMER, H. J. Anthropogenically induced landslides – A challenge for railway infrastructure in mountainous regions. **Engineering Geology**. 222, 18 May 2017, Pages 92-101. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2017.03.015>

LIU, Y.; et al. Chinese High Resolution Satellite Data and GIS-Based Assessment of Landslide Susceptibility along Highway G30 in Guozigou Valley Using Logistic Regression and MaxEnt Model. **Remote Sens.** 14, 3620. 2022. <https://doi.org/10.3390/rs14153620>

LIU, Q.; et al. Landslide risk of regional roads: Consider the road mileage of expected losses. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**. V 120, July, 103771, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2023.103771>

LOPES, E. S.; MACHADO, C. C.; SOUZA, A. P. de. Classificação e custos de estradas em florestas plantadas na região sudeste do Brasil. **R. Árvore**, Viçosa-MG, v.26, n.3, p.329-338, 2002. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622002000300008>

MA, Z.; MEI, G. Deep learning for geological hazards analysis: data, models, applications, and opportunities. **Earth Sci. Rev.**, 223, Article 103858, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2021.103858>

MARTINS, A. S.; CAMPOS, D. B. C.; NASCIMENTO, M. V. Unpaved back roads: evaluation of traffic conditions on a stretch contained in a community in the Sertão de Pernambuco. **Brazil. Research, Society and Development**, [S. l.], v. 9, n. 10, p. e4409108652, 2020. <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i10.8652>

MENESES, B. M.; PEREIRA, S.; REIS, E. Effects of different land use and land cover data on the landslide susceptibility zonation of road networks. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, 19, 471–487, 2019.

PINHEIRO, A. V. S.; SILVA, M. F. de S.; SALOMÃO, P. E. A. Patologias em estradas vicinais: a importância da manutenção e conservação de vias rurais para o desenvolvimento regional. **Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro**, 2(1). 2023. Disponível em: <https://revista.unipacto.com.br/index.php/multidisciplinar/article/view/790>. Acesso em: 23 abr. 2025.

POSTANCE, B.; *et al.* Extending natural hazard impacts: an assessment of landslide disruptions on a national road transportation network. **Environ. Res. Lett.** 12, 014010, 2017.
<https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa5555>

RIO GRANDE DO SUL. **Decreto nº 57.626, de 21 de maio de 2024**. 2024. Disponível em:
<https://www.diariooficial.rs.gov.br/materia?id=1000161>. Acesso em: 11 abr. 2025.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – SGB. **Avança o mapeamento de áreas de risco na Serra Gaúcha**. 2024. Disponível em: https://www.sgb.gov.br/sala-de-imprensa/-/asset_publisher/ujyx/content/avanca-o-mapeamento-de-areas-de-risco-na-serra-gaucha. Acesso em: 13 abr. 2025.

VUILLEZ, C.; *et al.* Land use changes, landslides and roads in the Phewa Watershed, Western Nepal from 1979 to 2016. **Applied Geography**, Volume 94, 2018.
<https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2018.03.003>.

ZHOU, M.; *et al.* Risk analysis of road networks under the influence of landslides by considering landslide susceptibility and road vulnerability: A case study. **Natural Hazards Research**. Volume 4, Issue 3, September, Pages 387-400, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.nhres.2023.09.013>

WINTER, M. G.; *et al.* Landslide hazard and risk assessment on the Scottish road network. **Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Geotechnical Engineering**, 166:6, 522-539, 2013. <https://doi.org/10.1680/geng.12.00063>