

# **AVALIAÇÃO DA CONECTIVIDADE HIDROSEDIMENTOLÓGICA NA BACIA DO RIO TAQUARI- ANTAS (RS): IMPACTO DOS MOVIMENTOS DE MASSA NAS INUNDAÇÕES DE ABRIL/MAIO 2024**

João Paulo de Carvalho Araújo<sup>1</sup>  
Carolina Bastos Marques Lopes<sup>2</sup>  
Tulius Dias Nery<sup>3</sup>  
Harideva Marturano Egas<sup>4</sup>  
Marcio Roberto Magalhães Andrade<sup>5</sup>  
Rodrigo Augusto Stabile<sup>6</sup>  
Danielle Silva de Paula<sup>7</sup>  
Tatiana Sussel Gonçalves Mendes<sup>8</sup>  
Diogo Costa Buarque<sup>9</sup>

## **INTRODUÇÃO**

Entre o final do mês de abril e começo do mês de maio de 2024, o estado do Rio Grande do Sul (RS) registrou o evento meteorológico mais severo de sua história, com acumulados de chuva que superaram os 600 mm em apenas 3 dias (INPE, 2024a). As inundações e movimentos gravitacionais de massa (MMs) que se sucederam atingiram 478 municípios (de um total de 497 municípios), afetando mais de dois milhões de pessoas, sendo aproximadamente meio milhão de desalojados/desabrigados, 182 óbitos e 31 pessoas desaparecidas (GOV.RS, 2024; INPE, 2024a; PAULA *et al.*, 2024; SFPDF, 2024) . Os

---

<sup>1</sup> Doutor pelo Curso de Geografia da Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, [jpaulo\\_geo@hotmail.com](mailto:jpaulo_geo@hotmail.com);

<sup>2</sup> Mestre pelo Curso de Geociências da Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ, [cbastoslopes@gmail.com](mailto:cbastoslopes@gmail.com);

<sup>3</sup> Doutor pelo Curso de Geografia da Universidade de São Paulo - USP, [tulius.nery@cemaden.gov.br](mailto:tulius.nery@cemaden.gov.br)

<sup>4</sup> Mestre pelo Curso de Geografia da Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, [harideva.egas@cemaden.gov.br](mailto:harideva.egas@cemaden.gov.br);

<sup>5</sup> Doutor pelo Curso de Geografia da Universidade de São Paulo – USP, [marcio.andrade@cemaden.gov.br](mailto:marcio.andrade@cemaden.gov.br);

<sup>6</sup> Doutor pelo Curso de Geografia da Universidade de São Paulo - USP, [rodrigo.stabile@cemaden.gov.br](mailto:rodrigo.stabile@cemaden.gov.br);

<sup>7</sup> Mestre em Sensoriamento Remoto pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, [danielle.depaula@cemaden.gov.br](mailto:danielle.depaula@cemaden.gov.br);

<sup>8</sup> Professora Doutora na Universidade Estadual Paulista – UNESP, [tatiana.mendes@unesp.br](mailto:tatiana.mendes@unesp.br);

<sup>9</sup> Professor orientador: Dep. Eng. Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo – UFES, [diogo.buarque@ufes.br](mailto:diogo.buarque@ufes.br).

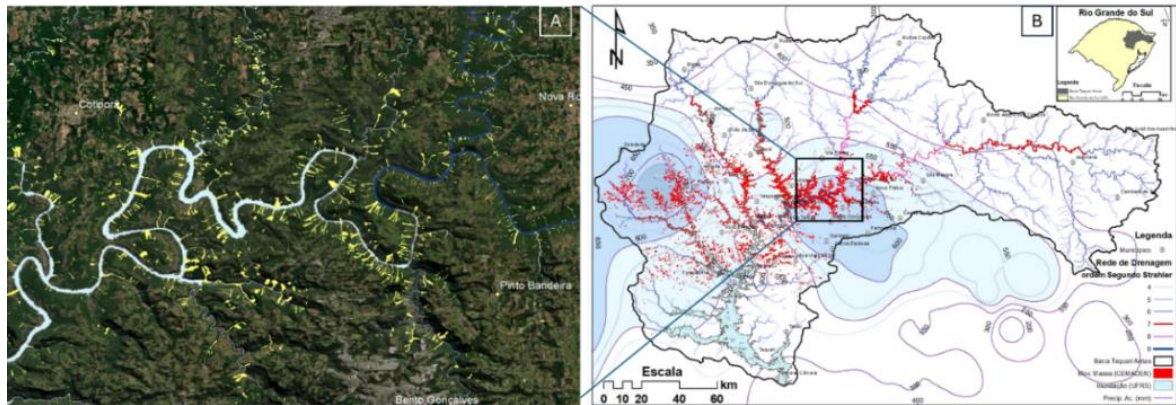
prejuízos totais ainda não foram contabilizados e os esforços para mapear as áreas de inundação e de MMs envolvem diversas instituições Federais e Estaduais do País (CEMADEN, 2024b; INPE, 2024b; UFRS, 2024).

Diante da grande dimensão territorial das inundações, os MMs parecem ter desempenhado papel secundário neste desastre. Contudo, o Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN) mapeou  $\cong$  15 mil rupturas de MMs em 130 municípios do estado, sendo um total de 9.175 hectares impactados (CEMADEN, 2024a; CEMADEN, 2024c; EGAS *et al.*, 2024b). Parte dos sedimentos destes MMs convergiram diretamente para os canais de drenagem durante as inundações e parte deste material será remobilizado à medida que os processos gravitacionais e erosivos forem reativados e que as redes de drenagem adquiram, novamente, capacidade para tanto.

Este trabalho avalia as relações geoespaciais, cartograficamente inferidas, entre a encosta e a rede de drenagem, decorrentes dos eventos de abril/maio de 2024, na bacia hidrográfica do Rio Taquari-Antas (RS). Foram analisados, de forma empírica e estatística, alguns fatores predisponentes dos MMs (precipitação, elevação, ângulo de encosta e orientação das encostas) e a relação espacial de proximidade/tamanho dos MMs com a rede de drenagem. Analisamos, ainda, preliminarmente, a conectividade de sedimentos na bacia hidrográfica e nas cicatrizes dos escorregamentos utilizando os índices de conectividade de Borselli *et al.* (2008) e Cavalli *et al.* (2013).

## ÁREA DE ESTUDO

A bacia hidrográfica do Rio Taquari-Antas (BHRTA/26.491 km<sup>2</sup>) está localizada na porção noroeste do estado do Rio Grande do Sul (Figura 1), na Região Hidrográfica da Bacia do Guaíba. A BHRTA possui uma amplitude altimétrica de  $\cong$  1.270 m, sendo os gradientes médio e máximo, respectivamente, de 10° e 66°. Entre os dias 23 de abril e 6 de maio, os acumulados de chuva na bacia alcançaram  $\cong$  780 mm - dados obtidos da rede observacional do CEMADEN e do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) - (EGAS *et al.*, 2024a), deflagrando 7.918 MMs (7.815 deslizamentos e 103 corridas de detritos), que atingiram 6.276 hectares da bacia (CEMADEN, 2024a; CEMADEN, 2024c; EGAS *et al.*, 2024b).



**Figura 1 – Área de estudo:** Em “A”, destaque para um recorte da paisagem afetada por movimentos de massa (em amarelo) e por inundações (em azul). Em “B”, bacia hidrográfica do rio Taquari-Antas com isoietas das chuvas acumuladas entre os dias 23/04/2024 e 06/05/2024 e rede de drenagem ordenada por Strahler (9 ordens).

## MATERIAIS E MÉTODOS

As análises dos fatores predisponentes dos escorregamentos (elevação, ângulo de encosta e orientação de encostas, precipitação) e da relação de proximidade/tamanho das cicatrizes com a rede de drenagem foram realizadas utilizando técnicas de geoprocessamento em ambiente de Sistemas de Informação Geográfica (SIG). Utilizamos como dados de entrada: (1) Modelo Digital de Elevação (MDE) proveniente de imagens de satélite *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM/NASADEM) com resolução espacial de 30m; (2) o inventário de MMS do CEMADEN (CEMADEN, 2024c; a; EGAS *et al.*, 2024b); (3) a rede de drenagem do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE -1:25.000); (4) as drenagens extraídas do mapa de uso e cobertura do MAPBIOMAS (coleção 2022) e (5) a área inundada, mapeada pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul<sup>10</sup>. A rede de drenagem foi reorganizada segundo critério de *Strahler*, a partir da qual, diferentes distâncias foram calculadas (*buffers*) para se estimar o alcance dos MMs.

A avaliação preliminar da conectividade de sedimentos utiliza os índices de conectividade (ICs) propostos por Borselli *et al.* (2008) e Cavalli *et al.*, (2013). Os ICs consideram as características das encostas, as fontes locais de sedimentos, os mecanismos, direções do transporte, distâncias e os usos do solo (WAINWRIGHT *et al.*, 2011; BRACKEN *et al.*, 2013). Borselli *et al.* (2008) utilizam o fator C da USLE/RUSLE (equação universal de perda de solos) como fator de impedância (resistência) e calculam a

<sup>10</sup><https://www.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=0149f5a72e4e4ec48fa52469a78b270b&extent=-5780508.5275%2C-3414054.1618%2C-5777928.7777%2C-3412322.3854%2C102100>

direção de fluxo pelo método D8. A implementação do índice seguiu os mesmos procedimentos adotados por Marchioro *et al.* (2023); Cavalli *et al.* (2013) incorporou o algoritmo *D-infinity*, proposto por Tarboton (1997) e um ângulo limite, acima do qual, assume-se não haver mais transferências de sedimentos. Neste trabalho, utilizamos a metodologia de Zanandrea *et al.* (2019) e o coeficiente de Manning's (PERSICHILO *et al.*, 2018; CHOW, 1959) para computar o fator de peso (rugosidade) e o programa SedInConnect (*open source*) (CAVALLI *et al.*, 2015; CREMA e CAVALLI, 2018) para calcular o IC de Cavalli *et al.* (2013). Os valores de impedância foram calculados a partir do mapa de uso e cobertura os parâmetros morfométricos foram obtidos do MDE. A classificação dos mapas utilizou o método “*natural breaks*”.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A maior parte dos escorregamentos (81%) ocorreu entre os acumulados de chuva de 450 e 700 mm (entre os dias 23/04 e 06/05), com destaque para os acumulados entre 500 e 550 mm (Figura 2A). Contudo, apesar de menos frequentes, os acumulados de chuva entre 700 e 780 mm possuem maior potencial de escorregamento (P.E). Não foram encontradas tendências evidentes entre tamanho dos escorregamentos e a intensidade das precipitações para este intervalo de tempo (Figura 2B).

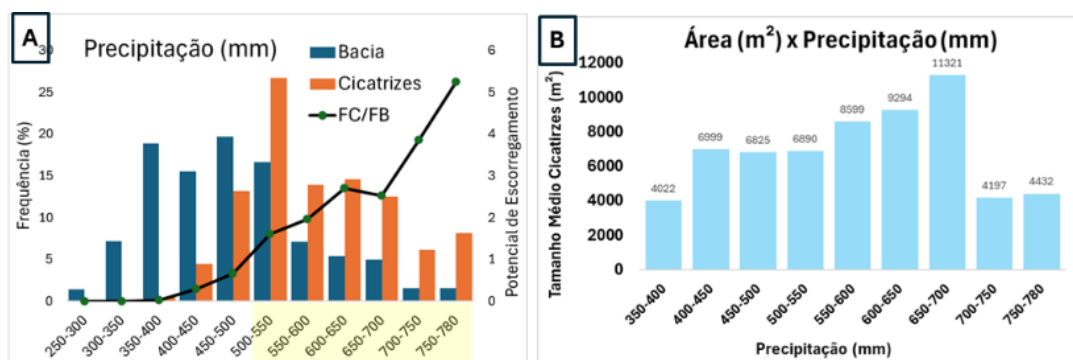
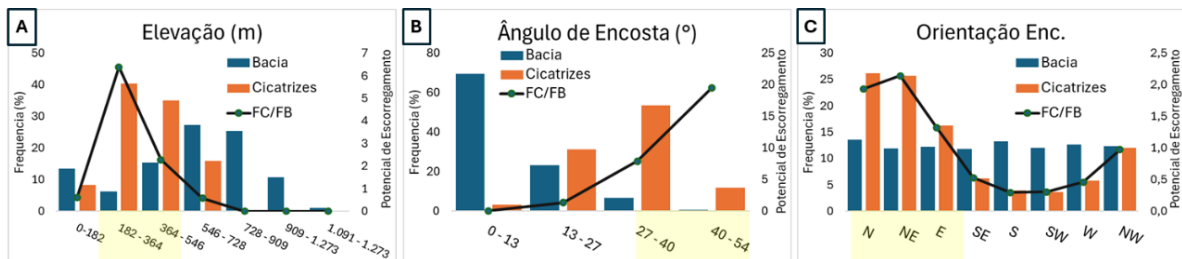


Figura 2: Em “A”, relação de frequência dos acumulados de precipitação na BHRTA (FB), nas áreas de ocorrência de MMs (FC) e a razão entre as frequências indicando o potencial de escorregamentos. Em “B”, relação entre tamanho médio das cicatrizes e intensidade de precipitação.

A grande maioria dos escorregamentos foram deflagrados entre as cotas de 182 m e 546 m (75%) (Figura 3A) e nas encostas com ângulo entre 27° e 40° (57%) (Figura 3B). Merece destaque os ângulos de encosta entre 40° e 54° que, apesar de pouco frequentes, tem sua ocorrência associada a um elevado P.E. É notável, ainda, o controle das faces entre norte e leste sobre os MMs (67%), em detrimento das faces opostas, entre sul e oeste (13%) (Figura 3C). As classes de elevação e ângulo de encosta que concentram a maior parte dos

MMs se encontram, majoritariamente, associadas ao padrão de relevo denominado “vale encaixado” (56% dos MMs), com vertentes predominantemente retilíneas à côncavas (VIERO e SILVA, 2010), fortemente entalhadas pela incisão vertical dos canais de ordem mais elevada e que avançam sobre os planaltos (16% dos MMs) e escarpas serranas (27% dos MMs) da BHRTA. A orientação das encostas, juntamente com a elevação e ângulo da encosta, pode influenciar diretamente a recepção da radiação solar, dos ventos e da precipitação. Indiretamente, a orientação das encostas pode estar relacionada a outros fatores como umidade do solo, tipo de vegetação e a espessura do solo e a geologia.



**Figura 3 – Fatores predisponentes topográficos associados aos movimentos de massa na BHRTA. Frequência das classes do mapa na bacia (FB) e frequência das classes do mapa nas cicatrizes (FC).**

78% das cicatrizes do banco de dados têm sua ocorrência dentro de uma área de influência de até 120 m de todas as drenagens, estando 35% destas cicatrizes sob a influência de mais de um canal de drenagem ou tendo sido verificadas na confluência de dois canais de drenagem. A maior parte dos MMs ocorreu próximo dos canais de menor ordem e um menor número de MMs foi observado distante dos canais de maior ordem (Figura 4A). Aproximadamente 36% dos MMs estão conectados à rede de drenagem e 53% dos MMs convergiram diretamente para a rede de drenagem, durante as inundações, e/ou se depositaram a uma distância de até 15m de todos os canais de drenagem.

Apesar de a maior parte das cicatrizes estarem associadas aos canais de menor ordem, os canais de maior ordem concentram, proporcionalmente à sua frequência na bacia, um número maior de cicatrizes (Figura 4B). Os canais de ordem 8 e 9, que ocorrem majoritariamente nos vales encaixados, correspondem, respectivamente, a 0,3% e 0,001% da rede de drenagem analisada na BHRTA; concentram, contudo, respectivamente, 3,1% e 4,3% dos MMs, sendo extremamente importantes, quando da sua ocorrência, no controle indireto ou direto dos MMs.



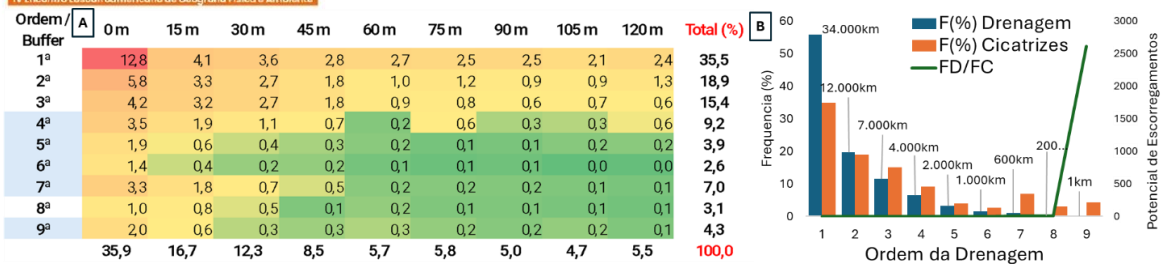


Figura 4 – Em “A”, mapa de calor da frequência dos MMs (%), por hierarquia de drenagem (*Strahler*) e por área de influência (*buffer*) na BHRTA. Em azul, na coluna vertical à esquerda, as ordens de drenagem onde ocorreram as inundações. Em “B”, relação entre frequência das drenagens e frequência dos MMs.

O tamanho médio das cicatrizes dos escorregamentos apresenta relação com o tipo de drenagem (hierarquia) e com a distância da rede de drenagem (Tabela 1). De forma geral, as cicatrizes que alcançaram a rede de drenagem apresentam um tamanho médio superior, uma vez que os MMs de maior dimensão possuem maior energia cinética e percorrem maiores distâncias. Esta relação é inversamente proporcional à distância em todas as ordens de drenagem. As cicatrizes associadas aos canais de ordem 8 e 9 possuem tamanho médio superior (de até duas ordens de magnitude), quando comparadas às drenagens de ordem inferior. Estes resultados apontam para uma evolução da paisagem pelo recuo lateral das encostas (*backwearing*) nos vales encaixados, dissecados, principalmente pelas drenagens ordem 8 e 9, e um rebaixamento mais generalizado (*downwearing*), pelas capilaridades da drenagem, com a importante participação dos MMs e controle do nível base local; qual seja, a planície flúvio-lacustre localizada no exutório da bacia, onde grande parte deste material vem sendo depositado.

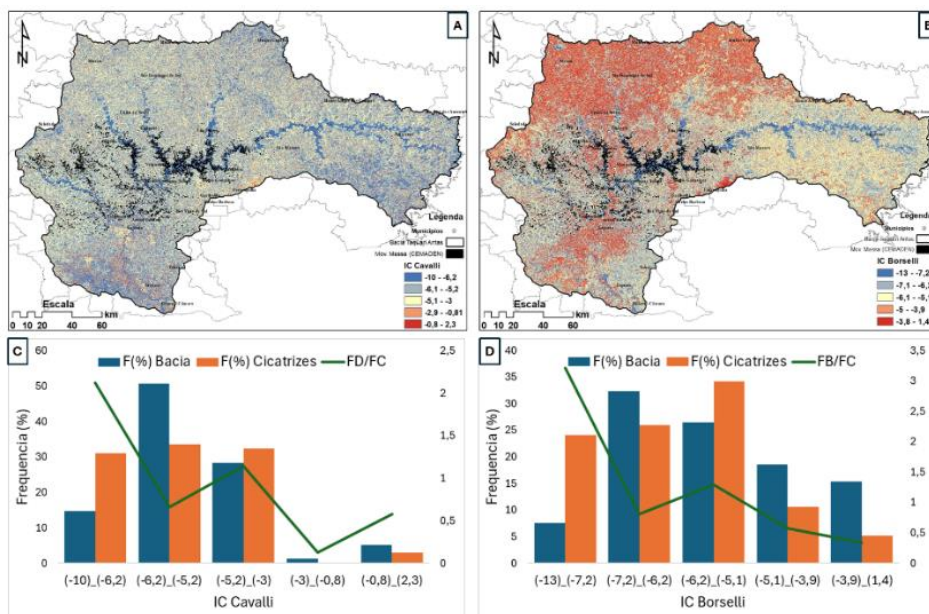
Ordem / Buffer (m)	0	15	30	45	60	75	90	105	120	Média m2 Acumulado
1ª	17056,23	13902,05	12431,03	11583,89	11185,92	10761,54	10447,95	10216,47	9930,29	11946,2
2ª	17811,06	13114,96	11193,43	10292,86	10033,63	9867,57	9533,27	9345,93	9093,01	11142,9
3ª	16870,89	12184,12	10019,65	9427,69	9122,2	8934,18	8734,28	8458,55	8322,34	10230,4
4ª	16338,31	13217,85	12204,99	11844,31	11475,5	11283,94	11210,19	10944,09	10720,84	12137,8
5ª	10507,54	9821,65	9191,27	9068,09	8925,96	8955,72	8812,58	8836,47	8711,5	9203,4
6ª	9080,01	8785,32	8501,98	8090,57	7834,61	7655,08	7529,87	7446,45	7373,19	8033,0
7ª	14665,3	12075,3	11206,77	10965,4	10881,02	10695,49	10684,43	10527,31	10424,01	11347,2
8ª	21749,62	18244,46	16523,46	16350,98	15572,98	15091,5	14780,74	14504,76	14258,64	16341,9
9ª	34281,5	30354,24	27892,41	26518,28	25150,93	24024,32	23290,41	22587,69	22134,68	26248,3
	17595,6	14633,3	13240,6	12682,5	12242,5	11918,8	11669,3	11429,7	11218,7	12959,0

Tabela 1 – Tamanho médio acumulado (m<sup>2</sup>) das cicatrizes dos movimentos de massa por hierarquia de drenagem (*Strahler*) e por área de influência. Em azul, na coluna à esquerda, as hierarquias de drenagem associadas ao mapeamento de inundações.

Os mapas dos ICs na figura 5 destacam a distribuição geoespacial dos graus de conectividade dos fluxos e sedimentos na BHRTA, para o ano de 2022, computados a partir dos ICs de Cavalli *et al.* (2013) (Figura 5A) e Borselli *et al.* (2008) (Figura 5B). Os valores mais elevados de IC, em ambos os mapas, foram observados nas áreas urbanas (1% da

BHRTA), de solo exposto (0,2% da BHRTA), plantações (20% da BHRTA) e grama/pasto (19% da BHRTA). A maior parte dos MMs ocorreram nos segmentos da paisagem com baixa conectividade (Figuras 5C e 5D); classe observada, principalmente, nas áreas de floresta (58% da BHRTA) com o gradiente médio elevado (15°).

Destacamos, contudo, que quando da transferência de sedimentos na paisagem, o fator de peso, representado pela rugosidade da vegetação, não pode ser entendido como um elemento favorável/desfavorável para os MMs, uma vez que as características da paisagem associadas à predisposição natural para os processos gravitacionais de transferência de sedimentos não estão contempladas no modelo. A cobertura vegetal ajuda, entretanto, a minimizar os efeitos de conectividade, aumentando rugosidade da superfície e a infiltração, minimizando o escoamento superficial e protegendo o solo dos efeitos erosivos. Espera-se, portanto, que em áreas florestadas, os MMs se desloquem por distâncias menores, apesar de a energia cinética associada a MMs ser maior que a dos processos erosivos.



**Figura 5 – Índice de Conectividade (IC). Em “A”, mapa do IC (Cavalli) e em “B”, mapa do IC (Borselli). Em “C”, distribuição das frequências das classes de IC (Cavalli) na BHRTA (FB) e nas cicatrizes (FC). Em “D”, distribuição das frequências das classes de IC (Borselli) na BHRTA (FB) e nas cicatrizes (FC).**

Uma vez deflagrados, os MMs podem ser considerados uma fonte ativa de sedimentos (solo exposto) no mapa de uso e cobertura. Persichillo *et al.* (2018) identificaram padrões espaciais de conectividade mais elevados em zonas “erodidas” pelos MMs, indicando áreas que podem ser danificadas *à posteriori*, como estradas e/ou, potencialmente inundadas, induzidas pelo assoreamento ou pela obstrução do leito do canal. Já Zanandrea *et al.* (2020) identificaram valores mais elevados do IC nas cicatrizes conectadas à drenagem em comparação às cicatrizes não conectadas.

As metodologias utilizadas neste estudo expressam a possibilidade dos sedimentos alcançarem a drenagem a partir das relações geoespaciais estabelecidas entre vertentes e canais. Podem ser consideradas, desta forma, uma ferramenta de apoio ao planejamento territorial, em especial para gestão dos recursos hídricos - com forte viés em segurança hídrica - e para gestão dos riscos e desastres, dentro de uma abordagem multi-risco dos desastres, que trata dos efeitos cumulativos e das reações em cadeia entre fenômenos naturais, utilizando uma perspectiva sistêmica integrada e uma visão holística da paisagem.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

1 – As classes dos mapas temáticos que representam os fatores predisponentes mais críticos, com maior potencial de gerar escorregamentos (P.E), são os acumulados de chuva entre 700 e 780 mm, as elevações entre 182 m e 364 m, os ângulos de encosta entre 40° e 54° e as faces das encostas entre norte e leste.

2 – A maior parte dos MMs ocorreu próximo e/ou conectado aos canais de drenagem de menor ordem e um menor número de MMs ocorreu distante dos canais de drenagem de maior ordem. Quanto mais próximas e/ou conectadas são as zonas de depósito dos escorregamentos das redes de drenagens, maior o tamanho médio das cicatrizes. Contudo, os canais de maior ordem, concentram, proporcionalmente à sua frequência, um maior número de MMs e as cicatrizes dos canais de ordem 8 e 9 possuem um tamanho médio superior, em até duas ordens de magnitude, quando comparadas às drenagens de ordem inferior.

3 – A maior parte dos MMs ocorreram nos segmentos da paisagem com baixa conectividade, nas áreas de floresta com gradiente mais elevado. Acreditamos que a floresta atenuou a transferência dos sedimentos dos MMs para rede de drenagem, evitando maiores danos à jusante (investigações futuras).

5 – Finalmente, destacamos a grande necessidade de um mapeamento topográfico regional, em escala de detalhe, para obtenção dos modelos digitais do terreno, tão importantes para investigação dos processos verificados na escala de encosta, como os processos erosivos, de movimentos gravitacionais de massa, de escoamento superficial etc.

**Palavras-chave:** Conectividade hidrossedimentológica; inundações; movimentos de massa.



O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior - Brasil (CAPES). Agradeço ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - ProfÁgua, Projeto CAPES/ANA AUXPE Nº 2717/2015, pelo apoio técnico científico aportado até o momento. Agradeço também ao MSc. Geraldo André Rosseto Barreto, pela ajuda nas atividades de modelagem do índice de conectividade.

## REFERÊNCIAS

- BORSELLI, L.; CASSI, P.; TORRI, D. Prolegomena to sediment and flow connectivity in the landscape: A GIS and field numerical assessment. *CATENA*, v. 75, n. 3, p. 268-277, 2008/11/15/ 2008. ISSN 0341-8162.
- BRACKEN, L. J. et al. Concepts of hydrological connectivity: Research approaches, pathways and future agendas. *Earth-Science Reviews*, v. 119, p. 17-34, 2013/04/01/ 2013. ISSN 0012-8252.
- CAVALLI, M. et al. Toward the development of a stand-alone application for the assessment of sediment connectivity. *Rendiconti online della Società Geologica Italiana*, v. 34, p. 58-61, 2015. ISSN 20358008.
- CAVALLI, M. et al. Geomorphometric assessment of spatial sediment connectivity in small Alpine catchments. *Geomorphology*, v. 188, p. 31-41, 2013. ISSN 0169555X.
- CEMADEN. Landslides Rio Grande do Sul April/ May 2024. 2024a. Disponível em: < <https://cemadengeo.maps.arcgis.com/apps/mapviewer/index.html?webmap=84aaac9f5c95482e8e38a8dd3a0a44d1> >. Acesso em: April.
- \_\_\_\_\_. Nota técnica Nº 279/2024/SEI-CEMADEN: 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. Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais, p.13. 2024b. (01242.000199/2024-71)
- \_\_\_\_\_. Nota técnica Nº 412/2024/SEI-CEMADEN: Mapeamento dos movimentos de massa relacionados ao desastre de abril-maio de 2024 no Estado do Rio Grande do Sul. CEMADEN 26/07/2024, p.13. 2024c
- Chow, V. T., 1959. Open-Channel Hydraulics, ed. McGraw-Hill, New York.
- CREMA, S.; CAVALLI, M. SedInConnect: a stand-alone, free and open source tool for the assessment of sediment connectivity. *Computers & Geosciences*, v. 111, p. 39-45, 2018. ISSN 00983004.
- EGAS, H. M. et al. Comprehensive inventory and initial assessment of landslides triggered by autumn 2024 rainfall in Rio Grande do Sul, Brazil. *No prelo*, 2024a.
- \_\_\_\_\_. Landslides Rio Grande do Sul April - May. <https://zenodo.org/records/13225473>: Zenodo / Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN). 1 2024b.
- GOV.RS. Boletins sobre o impacto das chuvas no RS. 2024. Disponível em: < <https://www.estado.rs.gov.br/boletins-sobre-o-impacto-das-chuvas-no-rs> >. Acesso em: 14/07.
- INPE. Evento extremo no Rio Grande do Sul entre final de abril e início de maio de 2024. p.1-18. 2024a
- \_\_\_\_\_. Metodologia da produção de mapa de inundação e movimentos de massa do desastre do RS em maio de 2024. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos (SP): Junho de 2024, p.1-39. 2024b
- MapBiomass – Coleção [2022] da série [anual / mensal] de Mapas de Cobertura e Uso da Terra /do Brasil, acessado em maio/2024 através do link: <https://brasil.mapbiomas.org/>
- MARCHIORO, E. et al. Sediment connectivity in a hot and humidity tropical watershed: Contribution to environmental planning and management. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 132, 2023. ISSN 08959811.
- PAULA, D. S. D. et al. Mapeamento preliminar dos movimentos de massa no Estado do Rio Grande do Sul: apoio ao corpo de bombeiros durante o desastre de maio de 2024. IV END (Encontro Nacional de Desastres) - ABRHidro, 2024.
- PERSICILLO, M. G. et al. The role of human activities on sediment connectivity of shallow landslides. *Catena*, v. 160, p. 261-274, 2018. ISSN 03418162.
- SFPDF. Relatório de operação Rio Grande do Sul (Num. 039). 05/07/2024, p.1-69. 2024
- TARBOTON, D. G. A new method for the determination of flow directions and upslope areas in grid elevation models. *Water Resources Research*, v. 33, n. 2, p. 309-319, 1997.
- UFRS. Nota Técnica Conjunta IGEO/CEPSRM - 04/2024: Mapeamento das cicatrizes de movimentos de massa decorrentes do acumulado de chuva no RS entre 27/04 e 13/05 de 2024. Instituto de Geociências (IGEO) e Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia (CEPSRM) Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), p.1-5. 2024
- VIERO, A. C.; SILVA, D. R. A. D., Eds. *Geodiversidade do estado do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre (RS): Serviço Geológico do Brasil (CPRM)ed. 2010.
- WAINWRIGHT, J. et al. Linking environmental régimes, space and time: Interpretations of structural and functional connectivity. *Geomorphology*, v. 126, n. 3-4, p. 387-404, 2011. ISSN 0169555X.
- ZANANDREA, F. et al. Evaluation of different DTMs in sediment connectivity determination in the Mascarada River Watershed, southern Brazil. *Geomorphology*, v. 332, p. 80-87, 2019. ISSN 0169555X.
- ZANANDREA, F.; MICHEL, G. P.; KOBAYAMA, M. Impedance influence on the index of sediment connectivity in a forested mountainous catchment. *Geomorphology*, v. 351, 2020. ISSN 0169555X.