

## XXV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

### APONTAMENTOS ACERCA DA SUSCEPTIBILIDADE A DESLIZAMENTOS NO BRASIL NO CONTEXTO DA EXPANSÃO POPULACIONAL E DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

*Gean Paulo Michel<sup>1</sup>; Franciele Zanandrea<sup>2</sup> & Pedro Luis Borges Chaffe<sup>3</sup>*

**Abstract:** Landslides are among the most dangerous and deadly natural disasters, both worldwide and in Brazil. There is a strong relation between landslide triggering and the hydrometeorological dynamics, which is also under influence of the populational dynamics. When considering climate change and land management policies, questions about how these issues can interact or influence landslide prone areas emerge. Thus, this study used landslide susceptibility maps, geomorphic maps, Brazilian census data and data about Brazilian streamflow trend to establish some considerations associated to landslides in Brazil. The main considerations are: (i) in Brazil, there is relevant populational occupation in landslide prone areas; (ii) in general, there are some evidences showing that the most vulnerable people occupy the landslide prone areas; and (iii) the majority of landslide prone areas are in a drying streamflow condition.

**Resumo:** Os deslizamentos figuram entre os desastres naturais mais perigosos e fatais para a população global, sendo que a mesma constatação se repete para a comunidade brasileira. Existe uma intrínseca relação entre ocorrência de deslizamentos e a dinâmica hidrometeorológica, sendo que esta relação sofre e causa forte influência na dinâmica populacional. Ao se considerar as mudanças climáticas e as políticas de gestão territorial, emergem indagações sobre como estes processos podem influenciar ou interagir com áreas susceptíveis a deslizamentos. Assim, este trabalho utilizou recentes observações sobre o efeito das mudanças climáticas e da gestão territorial sobre ciclo hidrológico no Brasil, informações topográficas, dados de susceptibilidade a deslizamentos e informações demográficas de diferentes censos para estabelecer alguns apontamentos associados aos deslizamentos. As principais considerações são: (i) A maioria das áreas propensas a escorregamento demonstram um padrão de secamento do ponto de vista do ciclo hidrológico; (ii) Há significativa expansão populacional no Brasil sobre áreas propensas a deslizamentos; e (iii) Em geral, as áreas propensas a deslizamentos tendem a abrigar populações de maior vulnerabilidade.

**Palavras-Chave** – Deslizamentos, Mudanças Climáticas, Expansão Territorial.

1) Afiliação: Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH), Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Avenida Bento Gonçalves, 9500 - Prédio 44302 - Agronomia, RS, 91501-970, Fone: (51) 3308 6414, [gean.michel@ufrgs.br](mailto:gean.michel@ufrgs.br).

2) Afiliação: Universidade Federal Fluminense, Rua Passo da Pátria, 152-470 Campus Praia Vermelha, Niterói/RJ, Universidade Federal Fluminense, [francielez@id.uff.br](mailto:francielez@id.uff.br).

3) Afiliação: Universidade Federal de Santa Catarina, R. Eng. Agrônomo Andrei Cristian Ferreira, s/n - Trindade, Florianópolis - SC, 88040-900, [pedro.chaffe@ufsc.br](mailto:pedro.chaffe@ufsc.br).

## INTRODUÇÃO

Os deslizamentos, quando deflagrados devido à ocorrência de chuvas, são classificados como desastres hidrológicos pelo *Centre for Research on the Epidemiology of Disasters* (CRED). Tendo em conta os cenários apontados pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, 2022), onde fica explícita a condição de rápido aquecimento do planeta, os processos hidrológicos deflagradores de deslizamentos também sofrem alterações, podendo assim influenciar no modo, frequência e magnitude de deflagração de deslizamentos. As alterações causadas pelas mudanças climáticas no ciclo hidrológico podem ser espacialmente e temporalmente de diferentes ordens, direções e aspectos, consequentemente afetando de maneira distinta a deflagração dos deslizamentos, a depender, inclusive, do tipo de deslizamento em questão (Jakob, 2022).

Alguns pesquisadores têm se voltado para a tentativa de compreender o efeito das mudanças climáticas na ocorrência de deslizamentos. Crozier (2010), a partir de uma extensa revisão, pontuou que existem fortes evidências de aumento da ocorrência de deslizamentos com as mudanças climáticas previstas, entretanto ainda existe um alto nível de incerteza de como estas mudanças gerarão impactos na prática, devido às margens de erro associadas aos cenários de mudança e à resolução espacial dos dados das projeções. Resultado similar foi encontrado por Gariano e Guzzetti (2016), que elaboraram um modelo probabilístico para deslizamentos e concluíram que os resultados da simulação dependiam mais dos cenários climáticos simulados e de seu *downscaling* (logo também estava mais sujeito às incertezas destes cenários) do que das características que controlam a estabilidade das encostas. Desta maneira, mostra-se a necessidade de despende esforços na redução das incertezas associadas aos cenários climáticos e à adaptação espaço-temporal dos dados para obtenção de conclusões mais específicas.

Em uma análise em nível nacional, Chagas et al. (2022) avaliaram o efeito das mudanças climáticas e da gestão territorial na aceleração do ciclo hidrológico no Brasil, mostrando que determinadas atividades associadas ao uso da água e ao desflorestamento amplificaram os efeitos das mudanças climáticas na ocorrência de vazões extremas em rios brasileiros. Estes efeitos observados nas vazões dos rios guardam relação com os processos de deflagração de deslizamentos, visto que tanto a geração de escoamento quanto a ocorrência de deslizamentos úmidos são resultado de processos hidrológicos que podem ser avaliados a partir do balanço hídrico. Também buscando avaliar os efeitos das mudanças climáticas e da gestão territorial em processos geomorfológicos superficiais, inclusive os deslizamentos, Cendredo et al. (2020) concluíram que a intensificação destes processos está mais relacionada às extensas transformações territoriais do que às mudanças climáticas exclusivamente. Ao também considerar, além das mudanças climáticas, o fator humano e, então, a ocorrência de desastres, Ozturk et al. (2022), em uma análise global, mostraram que cada vez mais comunidades sofrerão com desastres causados por deslizamentos à medida que as chuvas ficam mais intensas e a expansão territorial irregular desloca-se na direção das encostas mais declivosas. Para estes autores, há necessidade premente de estabelecer onde e em que extensão o risco de desastres associados a deslizamentos aumentará.

Gariano e Guzzetti (2016) constataram que existe uma carência de estudos sobre os efeitos das mudanças climáticas nos deslizamentos na América do Sul, Ásia e África. São escassos na literatura trabalhos que façam alguma pontuação específica sobre como as mudanças climáticas afetam a deflagração de deslizamentos, exercendo e sofrendo influência da expansão territorial, no Brasil. Além disso, ao considerar não apenas o fenômeno físico, mas também os desastres associados a deslizamentos, é necessário que os estudos abarquem informações sobre a distribuição populacional no Brasil, as condições de vida desta população e os vetores de expansão territorial predominantes. Assim, este trabalho busca estabelecer alguns primeiros apontamentos em nível nacional, para o

Brasil, acerca da relação entre susceptibilidade a deslizamentos, mudanças climáticas e expansão territorial.

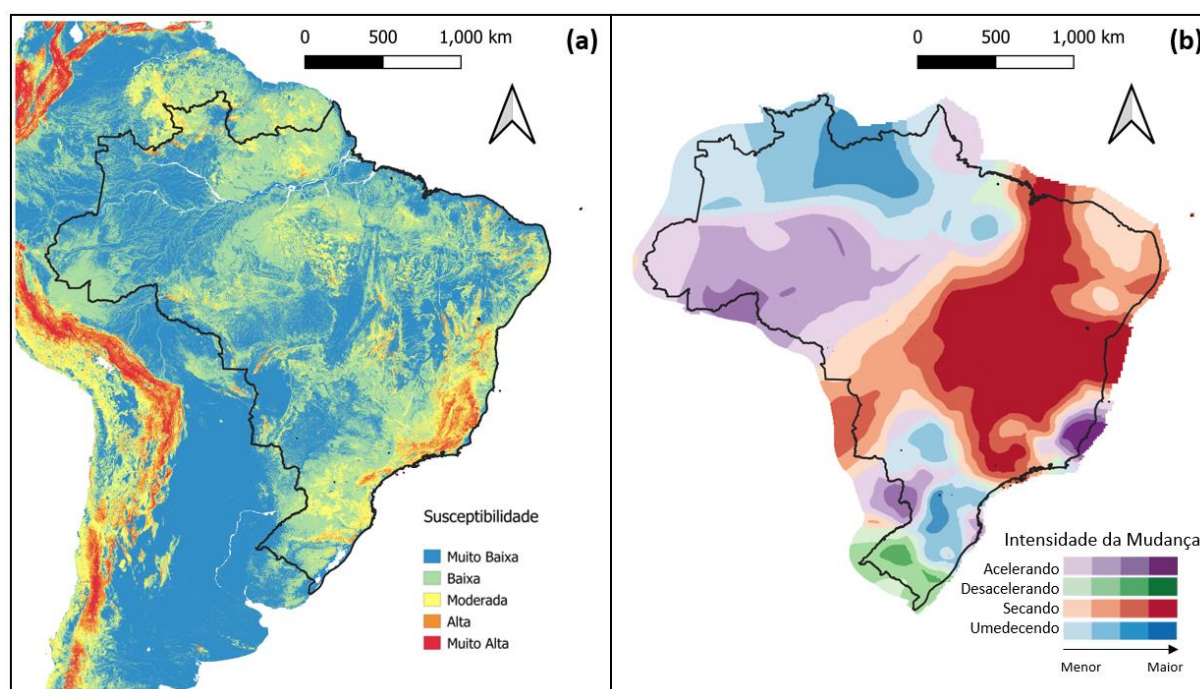
## MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho buscou estabelecer alguns apontamentos, em nível nacional, para o Brasil, das relações existentes entre: (i) áreas susceptíveis a deslizamentos, (ii) características geomorfológicas do território, (iii) tendências de mudanças no comportamento hidrológico de rios brasileiros devido a mudanças climáticas e gestão do território; e (iv) dados demográficos da população brasileira.

As áreas susceptíveis a deslizamentos para todo o território brasileiro foram extraídas do trabalho de Stanley a Kirschbaum (2017), que desenvolveram um mapa global de susceptibilidade a escorregamentos. O mapa foi desenvolvido a partir de uma metodologia heurística *fuzzy* utilizando dados de declividade, falhas geológicas, formações geológicas, desflorestamento e malhas de estradas. Os dados do mapa foram confrontados com inventários de deslizamentos disponíveis no *Global Catalog Landslide* da NASA e outros inventários locais. Além disso, este mapa de susceptibilidade a deslizamentos é dado base para funcionamento do *Landslide Hazard Assessment for Situational Awareness* – LHASA, um modelo de perigo de deslizamento em tempo quase-real em escala global (<https://landslides.nasa.gov/viewer>).

As características geomorfológicas do terreno foram calculadas a partir de dados do modelo digital de elevação elaborado a partir da *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM). Os dados foram obtidos de maneira preliminarmente processada por Weber et al. (2004) e as análises complementares foram conduzidas no *software* QGIS 3.22. O mapa com as tendências no comportamento hidrológico de rios brasileiros devido a mudanças climáticas e gestão do território foi obtido do trabalho de Chagas et al. (2022). Os dados demográficos da população brasileira foram extraídos do banco de dados do censo do IBGE para o ano de 2010. Também foram utilizadas as malhas dos setores censitários, em formato *shape*, para os anos de 2010. A partir destas diferentes bases de dados, utilizando como principal unidade de análise os setores censitários brasileiros, foram estabelecidas algumas relações. Os dados utilizados nas análises estão na Figura 1.

Figura 1 – 1a. Mapa de susceptibilidade a deslizamentos de Stanley a Kirschbaum (2017). 1b. Mapa de tendências no comportamento hidrológico de Chagas et al. (2022).



## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Segundo o mapa de susceptibilidade adotado, o Brasil apresenta cerca de 0,6% de sua área classificada como de muito alta susceptibilidade e 2,5% como de alta susceptibilidade. Esta porcentagem corresponde a cerca de 265.000 km<sup>2</sup> de área e está distribuída, principalmente, no cordão litorâneo do país, junto às encostas da Serra Geral e da Serra do Mar. Entretanto, é justamente nestas regiões onde existe maior densidade demográfica e quando analisado o número de pessoas vivendo em setores censitários que apresentam susceptibilidade a deslizamentos muito alta e alta, as porcentagens sobem para 3,8% e 6,6%, respectivamente, alcançando um valor de aproximadamente 20 milhões de pessoas. Assim, percebe-se a tendência de intensa ocupação territorial em áreas com propensão significativa a deslizamentos ou próximo destas. A Tabela 1 apresenta os dados de área e população e cada classe de susceptibilidade.

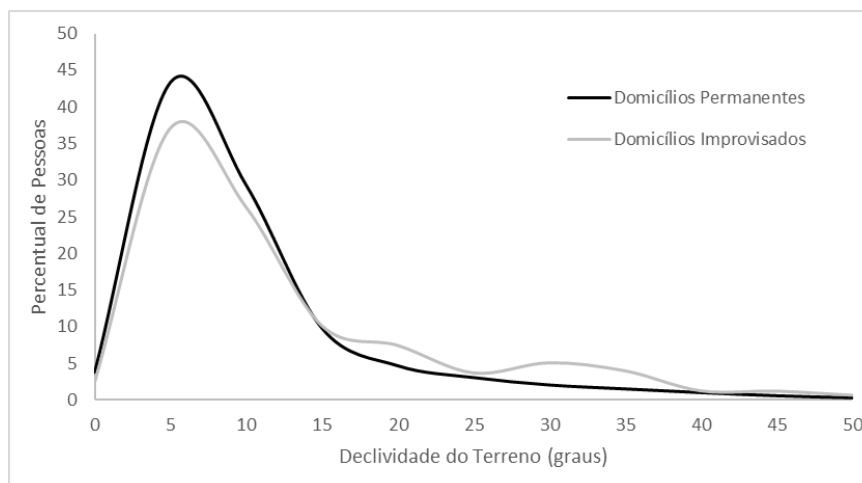
Tabela 1 – Dados de área e pessoas em cada uma das classes de susceptibilidade a deslizamentos.

Classes	Área (km <sup>2</sup> )		Pessoas*	
	Total	Percentual	Total	Percentual
Muito Baixa	3582340	42.1%	33205254	17.4%
Baixa	3730014	43.8%	102561847	53.8%
Moderada	934575	11.0%	35138271	18.4%
Alta	213300	2.5%	12634583	6.6%
Muito Alta	49874	0.6%	7184393	3.8%

\*Valores calculados a partir do censo de 2010.

Em relação às características geomorfológicas do terreno onde localizam-se as residências no Brasil, constata-se que há uma maior número de pessoas residindo em regiões de declividade amena (entre 5° e 10° de declividade), porém com significativa parcela (cerca de 6% para domicílios permanentes e 12% para domicílios improvisados) vivendo em regiões com declividade mais acentuada (acima de 30°). Esta discrepância entre domicílios permanentes e improvisados é indício de uma tendência de que as regiões mais declivosas, e conseqüentemente mais propensas a deslizamentos, tenham maior percentual de ocupação por populações mais vulneráveis a desastres associados ao processo. Estes dados estão apresentados na Figura 2.

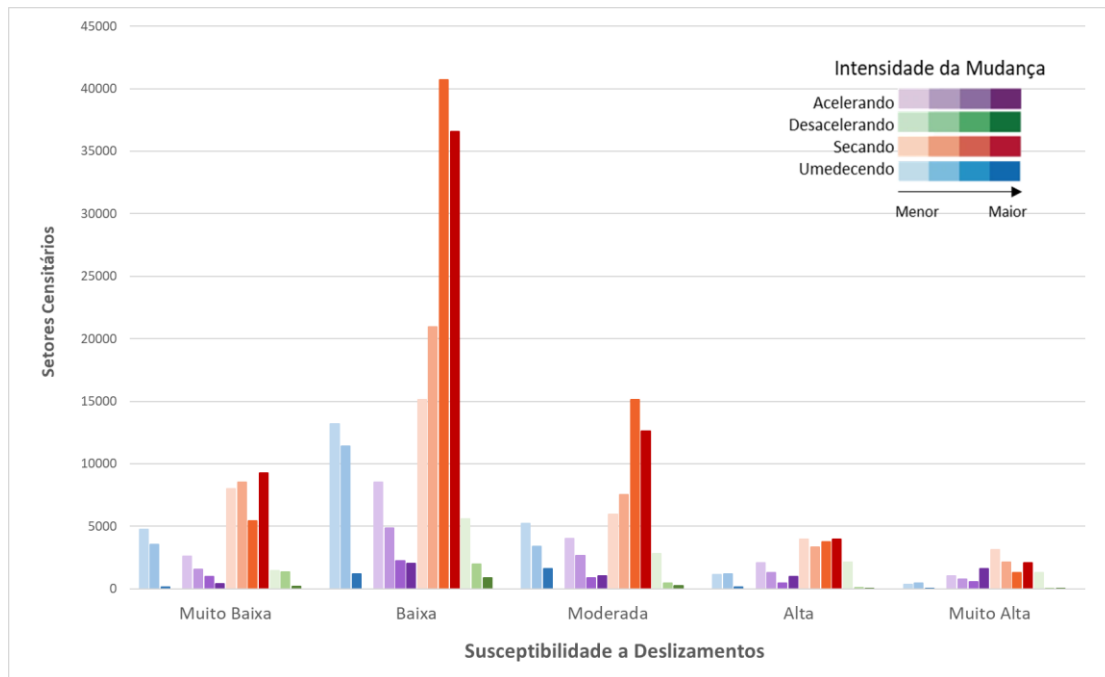
Figura 2 – Distribuição percentual de pessoas vivendo em domicílios permanentes e improvisados de acordo com a declividade do terreno no setor censitário.





Ao analisar-se o mapa de tendências de mudança no ciclo hidrológico confrontado com o mapa de susceptibilidade a deslizamentos, nas classes de muito alta e alta susceptibilidade, houve predominância de condições de secamento, seguida de condições de aceleração. As condições de secamento corresponderam a 59% e 61% do total de unidades censitárias para as classes muito alta e alta de susceptibilidade, respectivamente. Já para a condição de aceleração, os percentuais foram de 27% e 19% para as classes muito alta e alta, respectivamente. A distribuição está apresentada na Figura 3.

Figura 3 – Distribuição de setores censitários conforme a classe de susceptibilidade e a tendência de mudança no ciclo hidrológico.



Na tentativa de aprofundar os possíveis impactos dos resultados demonstrados na Figura 3, algumas hipóteses podem ser estabelecidas. Uma condição hidrológica mais seca, em relação à deflagração de escorregamentos, quando associada a uma redução na magnitude e frequência das chuvas, pode resultar na redução da frequência dos deslizamentos. Entretanto, conforme estabelecido por Kobiyama et al. (2018), uma redução na frequência de deslizamentos pode significar um aumento da magnitude dos mesmos, quando estes vierem a ocorrer durante um evento discrepante de alta intensidade. No caso de a condição de secamento estar mais associada a altas taxas de uso de água, não necessariamente gerará impactos diretos na deflagração de deslizamentos. Nos casos de aceleração do ciclo hidrológico, o efeito esperado é aquele relatado pelos diversos trabalhos já citados (Crozier, 2010; Jakob, 2022; Ozturk et al., 2022), onde as chuvas mais frequentes e mais intensas deflagrariam uma quantidade maior de deslizamentos. A condição de aceleração é observada, por exemplo, na região da serrana do Rio de Janeiro, região esta de reconhecida alta susceptibilidade a deslizamentos e com registros frequentes de desastres associados aos mesmos.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

As mudanças climáticas e a expansão territorial são duas das principais forçantes para o aumento da ocorrência de deslizamentos. No Brasil, há uma carência de estudos que coloquem esforços em entender as condições atuais e as tendências futuras de ocorrência de deslizamentos em escala nacional, sendo que este trabalho buscou estabelecer algumas primeiras conexões. Os

apontamentos aqui apresentados são apenas uma primeira abordagem à temática de deslizamentos, mudança climática e expansão territorial e precisam ser aprofundados em estudos futuros.

Os resultados demonstraram que as áreas de mais alta susceptibilidade a deslizamentos situam-se próximas ou coincidem com regiões de alta densidade populacional, evidenciando que esforços devem ser despendidos para gestão de risco de desastres nestas áreas. Também foram apresentados indícios de que as populações que ocupam as áreas de mais alta susceptibilidade apresentam maior vulnerabilidade, em geral, requerendo ainda mais atenção. Do ponto de vista hidrológico, as mudanças que foram detectadas no trabalho de Chagas et al. (2022) podem reduzir a frequência (e a longo prazo aumentar a magnitude) de deslizamentos, no caso das áreas onde há o secamento; ou aumentar a frequência, no caso das áreas de aceleração, conforme os estudos vêm apontando de maneira geral.

## REFERÊNCIAS

- CENDRERO, A.; FORTE, L. M.; REMONDO, J.; CUESTA-ALBERTOS, J. A.. (2020) Anthropocene Geomorphic Change. Climate or Human Activities?. *Earth's Future*. <https://doi.org/10.1029/2019EF001305>
- CHAGAS, V.B.P., CHAFFE, P.L.B. & BLÖSCHL, G. (2022) Climate and land management accelerate the Brazilian water cycle. *Nature Commun* 13, 5136. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-32580-x>
- CROZIER, M.J. (2010) Deciphering the effect of climate change on landslide activity: A review, *Geomorphology*, Volume 124, Issues 3–4, Pages 260–267 <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2010.04.009>.
- GARIANO, S.L; FAUSTO GUZZETTI, F. (2016) Landslides in a changing climate. *Earth-Science Reviews*, Volume 162, Pages 227–252, <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2016.08.011>.
- IPCC, 2022: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Lössche, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 3056 pp., doi:10.1017/9781009325844.
- JAKOB, M. (2022). Landslides in a changing climate. *Landslide Hazards, Risks, and Disasters*.
- KOBIYAMA, M., GOERL, R. F., FAN, F. M., CORSEUIL, C. W., MICHEL, G. P., & DULAC, V. F. (2018). ABORDAGEM INTEGRADA PARA GERENCIAMENTO DE DESASTRE EM REGIÃO MONTANHOSA COM ÊNFASE NO FLUXO DE DETRITOS. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, 7, 31–65. <https://doi.org/10.19177/rgsa.v7e0201831-65>
- OZTURK, U.; BOZZOLAN, E.; HOLCOMBE, E.A.; SHUKLA, R.; PIANOSI, F.; WAGENER, T. (2022) How climate change and unplanned urban sprawl bring more landslides. *Nature (Comment)*, 4p.
- STANLEY, T., KIRSCHBAUM, D.B. (2017). A heuristic approach to global landslide susceptibility mapping. *Natural Hazards* 87, 145–164. <https://doi.org/10.1007/s11069-017-2757-y>
- WEBER, E.; HASENACK, H.; FERREIRA, C.J.S. (2004). Adaptação do modelo digital de elevação do SRTM para o sistema de referência oficial brasileiro e recorte por unidade da federação. Porto Alegre, UFRGS Centro de Ecologia. ISBN 978-85-63843-02-9. Disponível em <http://www.ufrgs.br/labgeo>.