

# GEOMORFOLOGIA E A OCORRÊNCIA DE EVENTOS EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO EM AMBIENTES URBANAS

*Geomorphology and the Occurrence of Extreme Precipitation Events in Urban Environments*

**Luis Eduardo de Souza Robaina**

Universidade Federal de Santa Maria/LAGEOLAM, Brasil.

[lesrobaina@yahoo.com.br](mailto:lesrobaina@yahoo.com.br)

## Resumo

A Geomorfologia assume cada vez maior importância nos estudos dos processos de dinâmica fluvial e de encostas que ocorrem em áreas urbanas, frente a precipitações extremas, que podem gerar desastres. A população com menor capacidade econômica acaba por se estabelecer em áreas com maior suscetibilidade a desenvolvimento de processos geomorfológicos caracterizando as áreas de risco no ambiente urbano. A avaliação dos fatores condicionantes se baseia na correlação direta ou indireta de um conjunto mais ou menos amplo de fatores, sendo a ação antrópica potencializador ou indutor da ruptura do equilíbrio dinâmico. O apoio de instrumentos como GNSS RTK e VANTs (Drones) para obter levantamentos em escala de detalhe e de geotecnologias associadas ao geoprocessamento e a estatística permite a simulação do comportamento do excedente hídrico em uma bacia hidrográfica baseada na construção de cenários. A participação dos profissionais da geomorfologia, em particular das Universidades, permite apoiar os municípios no desenvolvimento de políticas bem-sucedidas, na medida em que permite hierarquizar os problemas, avaliar a necessidade de investimentos, e dar suporte técnico ao poder público que, junto com a comunidade possam encontrar soluções.

**Palavras-chave:** Dinâmica fluvial, Dinâmica de encosta, Áreas de risco, Desastres.

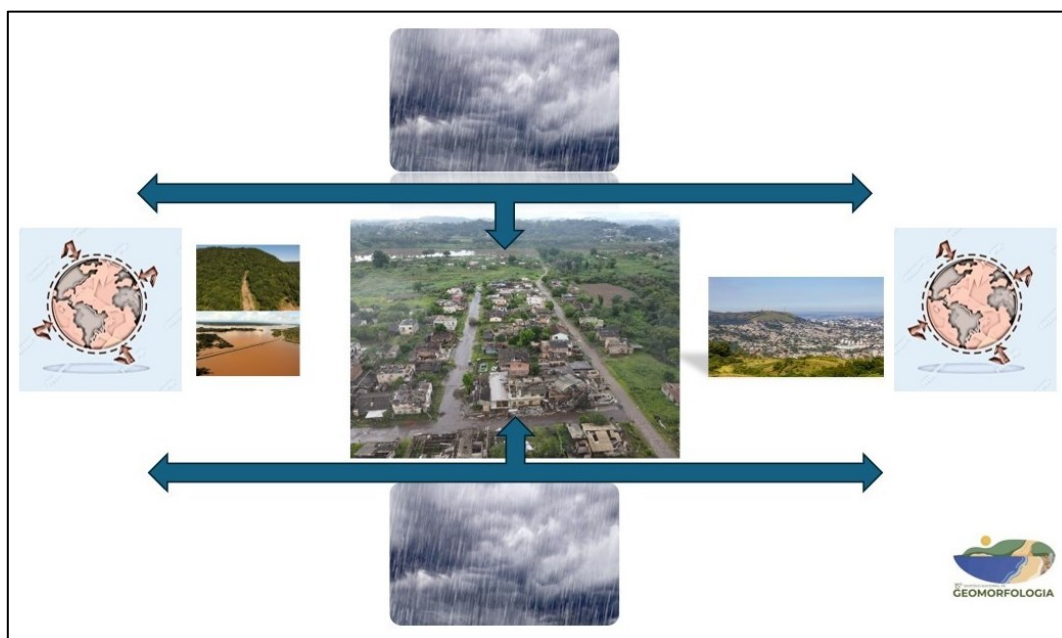
## Abstract

Geomorphology is fundamental in the study of river dynamics and slope processes that occur in urban areas, in the face of extreme precipitation, which can lead to disasters. The population with lower economic capacity occupies areas with greater susceptibility to the development of geomorphological processes, characterizing risk areas in the urban environment. The assessment of conditioning factors is based on the direct or indirect correlation of a more or less broad set of factors, with human action being a potentializer or inducer of the disruption of dynamic equilibrium. The support of instruments such as GNSS RTK and UAVs (Drones) to obtain detailed surveys and geotechnologies associated with geoprocessing and statistics allows the simulation of the behavior of water surplus in a river basin based on the construction of scenarios. The participation of geomorphology professionals, particularly from universities, allows municipalities to support them in developing successful policies. This allows to prioritize problems, assess investment needs, and provide technical support to public authorities so they can work with the community to find solutions.

**Keywords:** River dynamics, Slope dynamics, Risk areas, Disasters.

## 1. GEOMORFOLOGIA E DESASTRES

O conhecimento geomorfológico permite entender as bases físicas do relevo, a gênese das formas e os condicionantes aos processos geomorfológicos. Além disso, frente a precipitações extremas, é uma ferramenta para avaliar a ação antrópica como potencialmente indutor da ruptura do equilíbrio dinâmico. Assim, como indica Pedrosa (2012) a Geomorfologia assume cada vez maior importância nos estudos de planejamento, reconhecendo os processos responsáveis pela evolução das formas de relevo e as implicações possíveis e prováveis que podem ocorrer gerando desastres quando da ocorrência de processos geomorfológicos de dinâmica das encostas e de dinâmica fluvial em áreas urbanas (Figura 1).



**Figura 1** - Relações entre eventos extremos, processos geomorfológicos e desastres em ambiente urbano. **Fonte:** Autor.

Os processos morfogenéticos são potencializados com eventos meteorológicos extremos que têm causado impactos significativos na sociedade, e no ambiente. As definições sobre eventos extremos variam de acordo com os temas de estudo e as disciplinas, não encontrando uma definição explícita sobre eventos extremos (McPhillips *et al.*, 2018). Marchezini *et al.* (2023) apresentam uma discussão do conceito de “eventos extremos” sob três enfoques: o da meteorologia, da engenharia e da sociologia. Na perspectiva da meteorologia, os eventos extremos de tempo caracterizam a variação inesperada das condições instantâneas da atmosfera e a sucessão desses eventos provoca mudanças imprevistas na componente climatológica local, configurando os extremos de

clima. Portanto, pode ser considerado que os eventos extremos meteorológicos representam a um determinado evento que excede um padrão probabilístico de acordo com os dados históricos relacionados ao tipo de evento. Esses eventos são geralmente associados às mudanças climáticas.

Vários estudos têm mostrado o aumento da temperatura média da Terra, atribuídos tanto a processos naturais, quanto a processos antropogênicos. Tais mudanças climáticas influenciam na ocorrência de eventos extremos em todas as regiões do mundo que ganham cada vez mais força, como: ondas de calor, grandes precipitações, secas e ciclones tropicais (IPCC, 2023).

Quando se avalia a relação desastres e eventos extremos, observa-se que são frequentemente associados, no entanto, para um evento ser classificado como um desastre, devem ser consideradas as condições físicas, geográficas e sociais de uma determinada região. Do ponto de vista da análise de risco, diversos eventos que não são considerados extremos podem ser considerados desastres, pois geraram impactos sociais e/ou econômicos negativos a uma determinada comunidade. Entretanto, eventos meteorológicos extremos tem o potencial de gerarem grandes desastres. Por esse motivo, a recorrência de eventos extremos que causam danos a população se torna um assunto que preocupa cada vez a sociedade no geral.

A sociedade sempre manteve uma relação de apropriação e transformação dos recursos da natureza, que foi se alterando à medida que surgiram novas tecnologias e a ampliação da capacidade humana de intervenção. A cidade se institui como afirmação do Homem frente a natureza, sendo fundamental no desenvolvimento industrial pela necessidade de concentração espacial da mão de obra. núcleos de ocupação, ocorre uma nova fase de transformações do espaço e da relação do homem com a natureza. No processo de desenvolvimento das cidades, o Estado, especialmente em países de capitalismo periférico, na formulação de políticas urbanas, se coloca aos ditames do setor imobiliário e, de modo mais amplo, aos interesses do setor privado, os efetivos agentes de estruturação do espaço urbano. Dessa forma, a cidade que deveria abrigar todas as populações buscando qualidade de vida, apresenta um desenvolvimento extremamente seletivo que se reflete na distribuição espacial e de serviços (Robaina & Oliveira, 2013). De acordo com Bernardes e Ferreira (2003) as relações sociais e econômicas nas cidades estão socialmente inseridas em uma materialidade espacial onde o modo de produção vincula os seus valores de troca e uso, funcionando como instrumento de concentração de renda. A ocupação dos espaços urbanos depende das condições sociais dos habitantes,

refletindo espacialmente a segregação que impera no âmbito das relações econômicas. A população com menor capacidade econômica acaba por se estabelecer em áreas com maior suscetibilidade a desenvolvimento de processos geomorfológicos caracterizando as áreas de risco no ambiente urbano. Em países de capitalismo central, o acesso à moradia ocorre predominantemente pelo livre mercado ou por políticas públicas para o setor. No Brasil, assim como em outros países da periferia capitalista, grande parte do acesso à moradia ocorre às margens do mercado formal (Maricato, 1995; Moraes, 2008). Neste sentido, milhares de pessoas vivem em assentamentos precários, sem condições de acesso a uma moradia adequada. Em razão disso, é possível discriminar no espaço urbano duas cidades, sendo uma formal ou legal, que se caracteriza pelo uso e ocupação pautados em preceitos urbanísticos, e outra informal ou ilegal, a qual se caracteriza por ocupações com diferentes situações fundiárias e aspectos espaciais de distribuição e construção das edificações.

Processos geomorfológicos causam desastres, especialmente, nas áreas mais vulneráveis com ocupação informal. Dessa forma, as áreas de risco devem ser consideradas como elementos historicamente construídos no espaço urbano ao longo dos seus processos de ocupação, resultado das relações sociais e naturais, permeadas pela desigualdade que se materializam no espaço.

Os eventos de precipitação extrema e concentrada vão desencadear processos geomorfológicos de dinâmica fluvial e de dinâmica de encosta que atuando em ambientes urbano podem causar desastres. O termo desastre refere-se ao resultado de eventos adversos, naturais ou provocados pelo homem, sobre um ecossistema (vulnerável), causando danos humanos, materiais e/ou ambientais e consequentes prejuízos econômicos e sociais (Castro, 2003).

## **2. GEOMORFOLOGIA, FATORES CONDICIONANTES E ÁREAS SUSCETÍVEIS**

A análise dos fatores condicionantes aos processos geomorfológicos representa a primeira contribuição do profissional da geomorfologia. A avaliação baseia-se na correlação direta ou indireta de um conjunto mais ou menos amplo de fatores. Nas encostas sua forma e a composição. As formas apresentam a relação entre escoamento e infiltração, indicam áreas com variada velocidade e concentração dos fluxos. A composição das encostas está indicada pelos solos, depósitos superficiais e litologias, onde a presença de descontinuidades marca zonas de rupturas. Essas descontinuidades podem estar

associadas a contato brusco solo/rocha, contato litológicos com variação da infiltração, presença e orientação de fraturas e as características das estruturas sedimentares e metamórficas.

Além das características naturais é necessário analisar as ações antrópicas. O Homem é um interveniente ativo de qualquer paisagem, podendo a sua ação modificar o ritmo e o modo de atuação dos processos morfogenéticos. A sua intervenção tem causado a ruptura do equilíbrio ambiental existente, influenciando a ocorrência de processos geomorfológicos ou emergindo como principal fator desencadeante desses processos.

A partir disso, a geomorfologia pode atuar no mapeamento de áreas suscetíveis a processos de dinâmica fluvial e de encosta. Observa-se na figura 2, as informações geradas para análise e determinação da suscetibilidade a inundação no município de Candelária no RS (SILVA *et al.*, 2024). O estudo da suscetibilidade representa a base para a realização de análise mais detalhada da área estudo, sendo a primeira etapa na análise das áreas de risco, considerando a área suscetível na cidade.

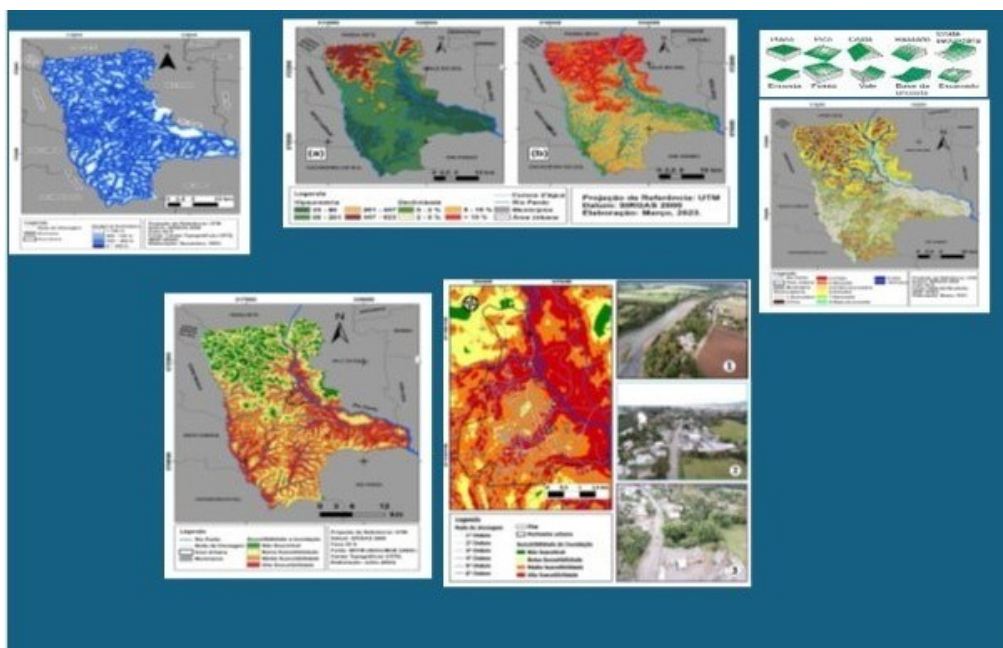


Figura 2 - Suscetibilidade a processos hidrológicos na cidade de Candelária/RS.  
Fonte: SILVA *et al.* 2024.

### 3. GEOMORFOLOGIA E ESTUDOS DE RISCO

Os estudos e mapas de zoneamento de risco são muito efetivos como fontes de informações, pois possuem um importante papel no sistema de mitigação e prevenção dos desastres. Em áreas urbanas os estudos são desenvolvidos na identificação dos processos e seus efeitos na população. Os zoneamentos de risco determinam as áreas com

probabilidade de ocorrência eventos e os danos causados. A noção de risco é complexa, sendo que, na literatura são apresentados diversos conceitos como perigo, vulnerabilidade, exposição e risco. As relações entre esses termos em diversas vezes não são claras, como também os termos podem apresentar significados distintos de acordo com o contexto em que são empregados e a área de atuação e origem diferentes dos pesquisadores (Bharwani *et al.*, 2008; Robaina e Oliveira, 2013; Veyret e Richemond, 2015b; Brito, 2018).

Nos trabalhos de risco é usado um modelo de análise abrangente e integrativo, que se baseia na identificação do perigo e na vulnerabilidade dos sujeitos e seus ativos (Figura 3). A combinação das distintas variáveis fornece uma avaliação multidisciplinar que combina informações qualitativas e quantitativas com auxílio do Sistema de Informação Geográfica (SIG) (Unisdr, 2019; Tominaga, 2015; Menezes, 2018, Knierin, 2022). O sucesso nessa avaliação é condicionado às características in loco e de disponibilidade de dados consistentes, em que a escolha do método empregado deve estar centralizada no melhor resultado. Considerando áreas em que a disponibilidade de dados é limitada, uma abordagem participativa e mista, que combine a participação dos sujeitos que sofrem os efeitos dos eventos, agentes públicos, análises documentais de diferentes fontes, análises in loco, entre outras abordagens, podem contribuir para superar as limitações e tornarem o produto final e seu posterior uso mais eficazes.

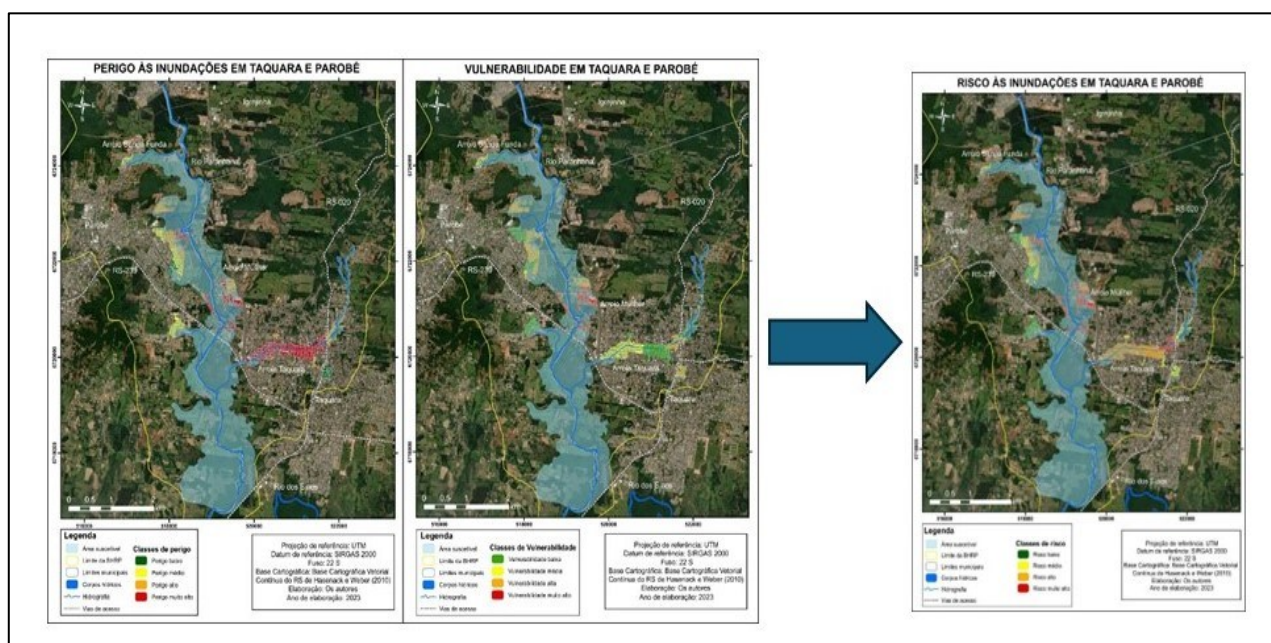


Figura 3 - Mapeamento e zoneamento do Perigo, Vulnerabilidade e Risco nas cidades de Taquara e Parobé, RS. Fonte: Knierin, 2022.

#### 4. GEOMORFOLOGIA E O APOIO DAS GEOTECNOLOGIAS

O apoio de instrumentos como GNSS RTK e VANTs (Drones) permitem obter levantamentos em escala de detalhe. Com o RTK têm-se agilidade na coleta de pontos e mapeamento com precisão milimétrica. Os drones são plataformas remotamente pilotadas capazes de transportar sensores a bordo e adquirir informações sem contato direto com o alvo. Os produtos gerados pelo levantamento podem ser Modelos Digitais de Terreno, ortomosaico e modelos 3D (Figura 4).

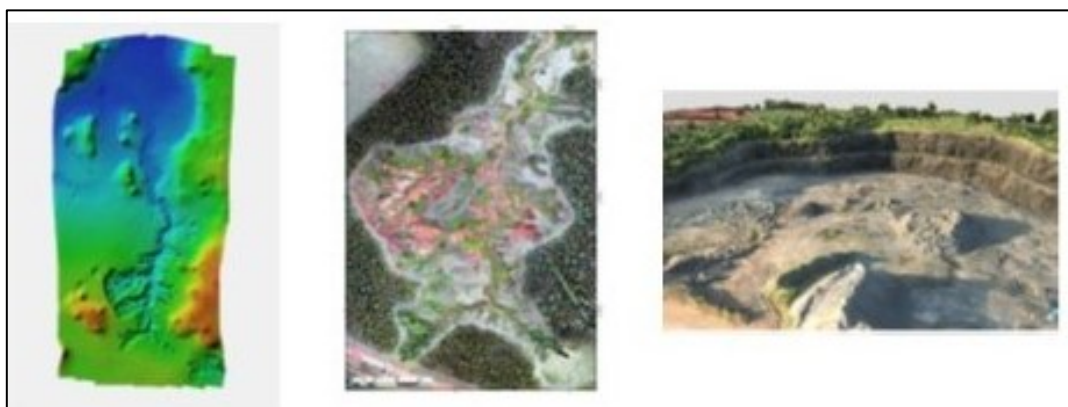


Figura 4 - Produtos gerados pelo levantamento com RTK e Drones .

Fonte: Autor.

Na geomorfologia os levantamentos permitem a análise e monitoramento de processos de encosta e fluviais como erosões, escorregamentos e inundações. O levantamento utilizando apoio de drones foi a base para trabalhos do LAGEOLAM/UFSM (Rademann *et al.*, 2022) nos estudos de voçorocas no oeste do Rio Grande do Sul (Figura 5) e na análise da dinâmica de bancos de areia no rio Arenal do Limeira (Rademann *et al.*, 2023). Também no trabalho de Gong *et al.* (2019) foi utilizado para o monitoramento de voçorocas no Nordeste da China. Os trabalhos de Niethammer *et al.* (2012) e Cook (2017) usam DRONES para monitoramento de movimentos de massa e para detectar mudanças geomorfológicas em sistemas fluviais.

O desenvolvimento de tecnologia associada ao geoprocessamento e a estatística permite a simulação do comportamento do excedente hídrico, em uma bacia hidrográfica, baseado na construção de cenários. A simulação de diferentes processos hidráulicos e hidrológicos têm-se mostrado uma ferramenta muito útil tanto na prevenção de riscos, quanto na gestão de suas consequências (Abdulkareem *et al.*, 2018; Cury *et al.*, 2021; Boza *et al.*, 2021). No LAGEOLAM/UFSM as simulações hidráulicas e hidrológicas são realizadas utilizando o modelo SWAT (Soil and Water Assessment Tool) e o modelo IBER. O modelo

SWAT possui 8 componentes principais: hidrologia, clima, sedimentação, temperatura do solo, crescimento vegetal, nutrientes, pesticidas e manejo agrícola. As aplicações com SWAT são principalmente, para simulação do balanço hídrico de determinada bacia hidrográfica. Dotto *et al.* (2024) aplicou o modelo Soil and Water Assessment Tool (SWAT) para simular cenários hidrológicos na Bacia Hidrográfica do Rio Jaguari (Figura 6). O Cenário I é o atual e no Cenário II foi incorporado mata ciliar nas APPs. Houve redução no escoamento superficial, porém com aumento no escoamento subsuperficial e no escoamento de base.

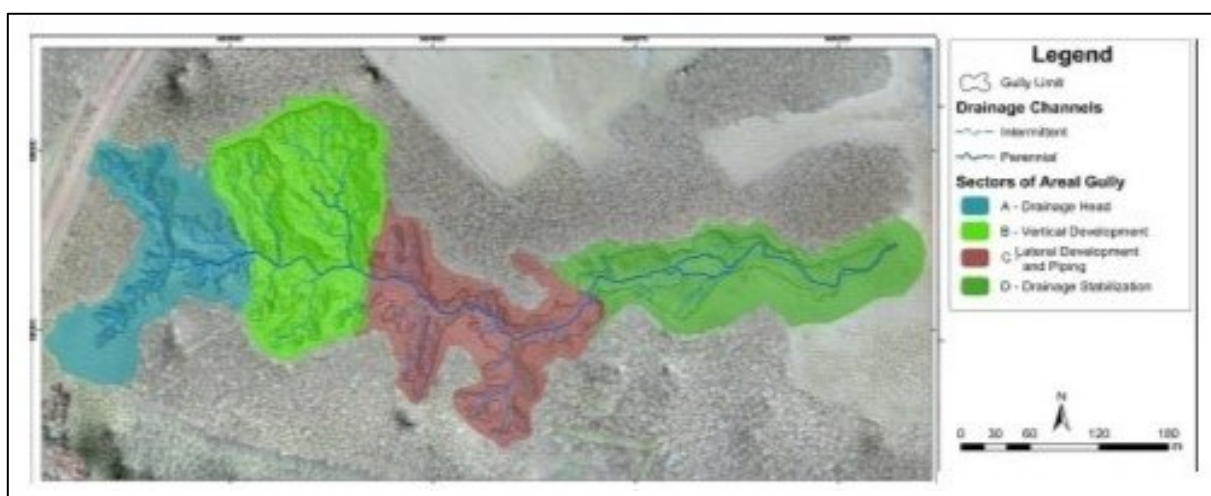


Figura 5 - Estudo de voçorocamento na região de Cacequi/RS.  
Fonte: Rademann *et al.* 2022.

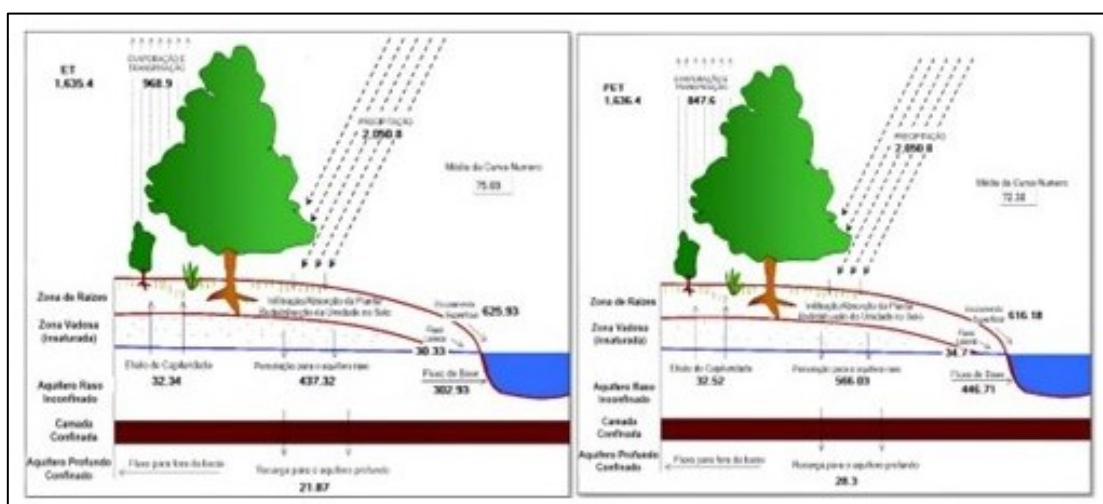
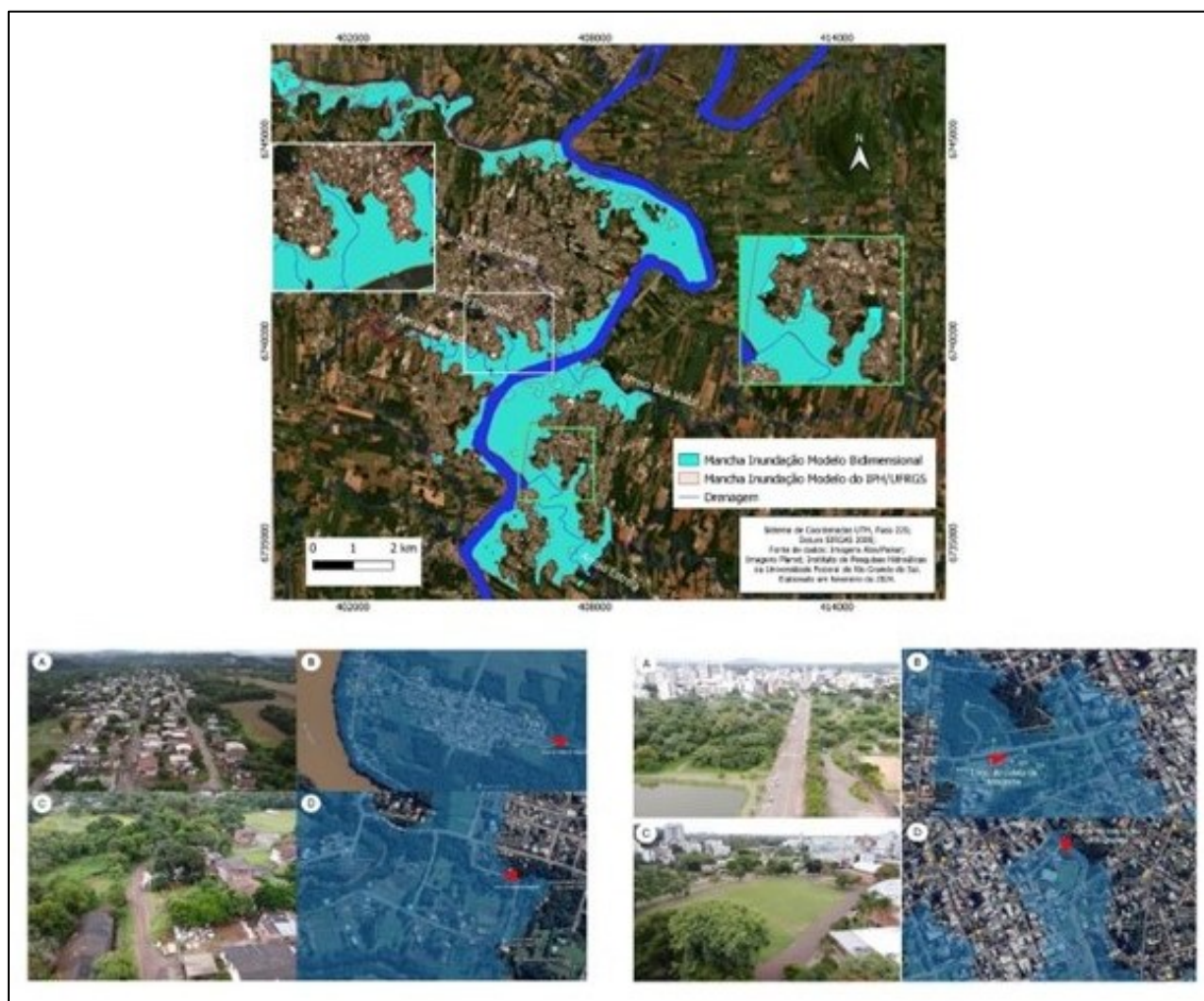


Figura 6 - Modelo SWAT para simular cenários hidrológicos na Bacia Hidrográfica do Rio Jaguari/RS. Fonte: Dotto *et al.*, 2024.

O IBER é um Modelo matemático de modelagem (2D) usado para a simulação de escoamentos em rios. Portanto, pode ser utilizado para realizar modelos de simulações de diferentes desastres naturais como inundações, ruptura de barragens, erosão e a

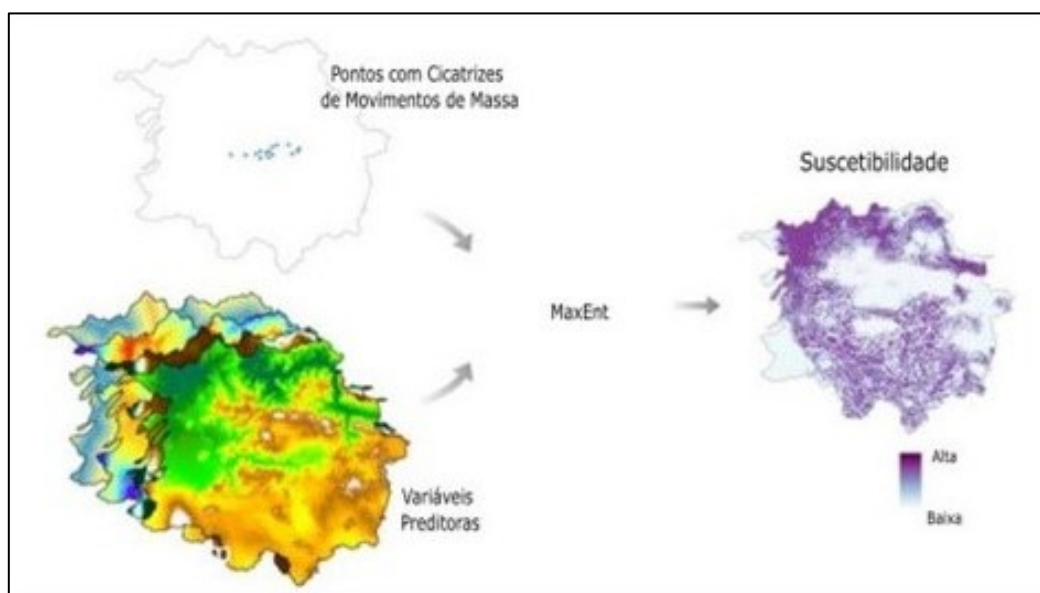
sedimentação (Boza *et al.*, 2021). O modelo hidráulico 2D gerado no IBER foi utilizado na bacia hidrográfica do rio Taquari-Antas, muito afetada por desastres hidrológicos no Rio Grande do Sul, para estimar as áreas inundáveis (Figura 7) e a respectiva altura da água nas áreas urbanas de Estrela e Lajeado, identificando o número de edificações e os tipos de uso e cobertura da terra expostos (Scoti *et al.*, 2024).



**Figura 7-** Mapeamento de áreas de inundação com uso do IBER nas cidades de Estrela e Lajeado/RS.  
**Fonte:** Scoti *et al.* 2024

Nos últimos anos o uso de Machine Learning para estudos de processos geomorfológicos tem aumentado consideravelmente. O algoritmo assume a capacidade de aprender padrões a partir da entrada de dados, desenvolvendo treinamento e construção do modelo. O trabalho de Bersabe & Jun (2025) utiliza Machine Learning para mapear suscetibilidade a alagamentos em Seoul; Bouramtane *et al.* (2022) usa para estudar suscetibilidade de erosão por voçorocas no Mato Grosso do Sul e; Li & Chen (2019) identifica suscetibilidade a escorregamentos. O grupo de pesquisa LAGEOLAM/UFSM tem buscado incorporar essa ferramenta para trabalhos de suscetibilidade a processos

geomorfológicos. O primeiro trabalho foi desenvolvido no doutorado de Francisco Monte Alverene Sampaio, defendido em 2024, com título: “Susceptibilidade a Escorregamentos na Bacia Hidrográfica do Médio/Alto Rio Taquari-Antas, RS: Utilização de Técnicas de Machine Learning”. O modelo foi o Modelo de Máxima Entropia (MAXENT), que calcula quantitativamente a probabilidade de ocorrência de eventos específicos com base nos indicadores do ambiente. O algoritmo MAXENT é baseado no princípio da entropia máxima, que afirma que, dada a informação limitada, a distribuição de probabilidade mais imparcial deve ser aquela com entropia máxima (Yuan *et al.*, 2021). O MAXENT atua a partir de um conjunto de locais de presença conhecidos e de variáveis explicativas que descrevem a área de estudo, para estimar uma superfície de probabilidade de presença (Figura 08).



**Figura 8-** Área de estudo, pontos de presença conhecidos e variáveis explicativas, ou covariáveis, que descrevem os fatores ambientais.

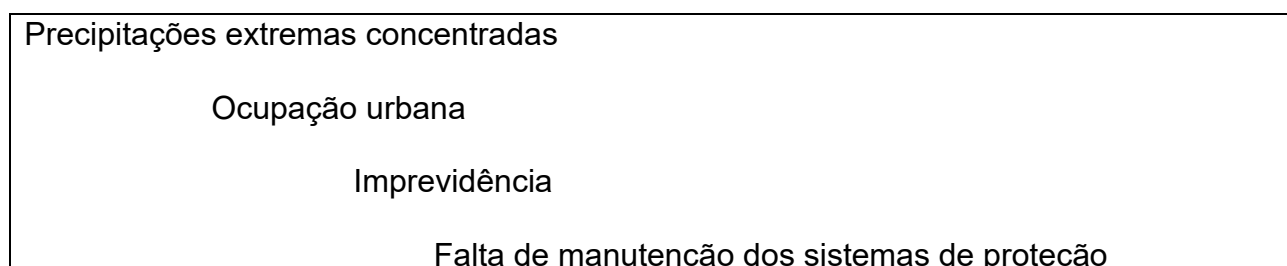
**Fonte:** Sampaio, 2024.

## 5. GEOMORFOLOGIA NO GERENCIAMENTO DO RISCO

As ações de gestão e o gerenciamento de risco possuem, como finalidade, minimizar os impactos sofridos pela sociedade em decorrência de processos que ocasionem danos como, por exemplo, as inundações. Em vista disso, a gestão e o gerenciamento de risco devem atuar tanto na prevenção, mitigação e preparação aos desastres, como também na resposta em momentos de crise e na recuperação. O gerenciamento de risco de desastres em sistemas urbanos, cada vez mais complexos, abrange o processo sistemático de usar diretrizes administrativas, organizações e habilidades e capacidades operacionais para implementar estratégias, políticas e capacidades. O desafio hoje é congregar esforços de

toda a sociedade, em particular de profissionais da Universidade, para apoiar os municípios para o desenvolvimento de políticas bem-sucedidas e auxiliá-los a implantar estruturas permanentes de prevenção de riscos. Estabelecer os diferentes cenários existentes é um importante instrumento para auxiliar no desenvolvimento de políticas públicas, na medida em que permite hierarquizar os problemas, avaliar a necessidade de investimentos, e dar suporte técnico ao poder público que, junto com a comunidade possam encontrar soluções para essas situações.

## 6. MAIO DE 2024 NO RIO GRANDE DO SUL



Combo para os Desastres

Centro de Porto Alegre



Ponte da BR386 que liga as cidades de Lajeado e Estrela (Vale do Taquari)



Região de Santa Maria, centro do RS



Aeroporto Salgado Filho



Cidade de Arroio do Meio (Vale do Taquari)



Região de Santa Maria, centro do RS



## REFERÊNCIAS

ABDRABO, K. I.; KANTOUSH, S. A.; SABER, M.; SUMI, T.; HABIBA, O. M.; ELLEITHY, D.; ELBOSHY, B. Integrated Methodology for Urban Flood Risk Mapping at the Microscale in Ungauged Regions: A Case Study of Hurghada, Egypt. **Remote Sens**, v. 12, 3548. p. 1-22, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs12213548>.

AFIFI, Z.; CHU, H.-J.; KUO, Y.-L.; HSU, Y.-C.; WONG, H.-K.; ZEESHAN ALI, M. Residential Flood Loss Assessment and Risk Mapping from High-Resolution Simulation. **Water**, v. 11, 751, p. 1-15, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/w11040751>.

BERNARDES, J. A; FERREIRA, F. P. de M. Sociedade e Natureza. In: CUNHA, S. B. da; GUERRA, A. J. T. **A Questão Ambiental: Diferentes Abordagens**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003, p. 17-42.

BERSABE, J. T.; JUN, B. W. The Machine Learning-Based Mapping of Urban Pluvial Flood Susceptibility in Seoul Integrating Flood Conditioning Factors and Drainage-Related Data. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, v. 14, n. 2, p. 57, 2025. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijgi14020057>.

BHARWANI, S.; MAGNUSZEWSKI, P.; SENDZIMIR, J.; STEIN, C.; DOWNING, T. E. **Vulnerability, adaptation and resilience: Progress toward incorporating VAR concepts into adaptive water resource management**. Oxford: Stockholm Environment Institute, 2008.

BOURAMTANE, K.; BARBIERO, L.; ABRAHAM, S.; VALLES, V.; KACIMI, I.; SANHAJI, H.; TORRES-RONDON, L.; DE CASTRO, D. D.; SANTOS, J. D. C. V.; OUARDI, J.; BEQQALI, O. E.; KASSOU, N.; MORARECH, M. Mapping Gully Erosion Variability and Susceptibility Using Remote Sensing, Multivariate Statistical Analysis, and Machine Learning in South Mato Grosso, Brazil. **Geosciences**, v. 12, n. 6, p. 235-, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/geosciences12060235>.

BOZA, F. A. A.; ROJAS, C. T.; VIDAL, R. L. L.; LOOR, J. D. B. Simulación y análisis de inundaciones en cabeceras de cuenca, utilizando el software IBER en diferentes tramos. **Revista del Instituto de investigación de la Facultad de minas, metalurgia y ciencias geográficas**, v. 24, n. 47, p. 3-12, 2021. DOI: <https://doi.org/10.15381/iigeo.v24i47.20637>.

BRITO, M. M. **A participatory multi-criteria approach for flood vulnerability assessment**. 2018. 186 f. Tese (Doutorado) – Universität Bonn, Bonn, 2018.

CASTRO, A. L. C. de. **Glossário de Defesa Civil: Estudos de riscos e medicina de desastres**. Brasília: Ministério do Planejamento e Orçamento/Departamento de Defesa Civil, 2003, 173p.

COOK, K. L. An evaluation of the effectiveness of low-cost UAVs and structure from motion for geomorphic change detection. **Geomorphology**, v. 278, p. 195–208, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2016.11.009>.

CURY, M.D.; LADWIG, N.I.; MENEGASSO, J.D.; SUTIL, T.; CONTO, D. Mapeamento de áreas suscetíveis à inundação como informação para o planejamento e a gestão territorial em bacia hidrográfica. **Caminhos de Geografia Uberlândia**, v. 22, n. 83, p. 160-175, 2021. DOI: <https://seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia>.

DOTTO, A.V.E.; ROBAINA, L.E.S.; TRENTIN, R. Simulação de cenários hidrológicos na bacia hidrográfica do rio Jaguari/RS com a utilização do modelo SWAT. **RA'EGA**, Curitiba, v. 60, n. 1, p. 159–187, 2024. DOI: <https://doi.org/10.5380/raega.v60i0.94658>.

FERNANDEZ, P.; MOURATO, S.; MOREIRA, M. Social vulnerability assessment of flood risk using GIS-based multicriteria decision analysis. A case study of Vila Nova de Gaia (Portugal). **Geomatics, Natural Hazards and Risk**, v. 7, n. 4, p. 1367-1389, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1080/19475705.2015.1052021>.

GONG, C.; LEI, S.; BIAN, Z.; LIU, Y.; ZHANG, Z.; CHENG, W. Analysis of the Development of an Erosion Gully in an Open-Pit Coal Mine Dump During a Winter Freeze-Thaw Cycle by Using Low-Cost UAVs. **Remote Sens.**, v. 11, n. 11, p. 1356, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs11111356>.

KIENBERGER, S.; LANG, S.; ZEIL, P. Spatial vulnerability units - expert-based spatial modelling of socio-economic vulnerability in the Salzach catchment, Austria. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, v. 9, p. 767-778, 2009. DOI: <https://doi.org/10.5194/nhess-9-767-2009>.

KNIERIN, I. S. **Proposta Metodológica para o Estudo Integrativo do Risco de Inundações em Áreas com Escassez de Dados: Municípios de Taquara e Parobé - RS – Brasil**. 2022. 71 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2022.

LI, Y.; CHEN, W. Landslide Susceptibility Evaluation Using Hybrid Integration of Evidential Belief Function and Machine Learning Techniques. **Water**, v. 12, n. 1, p. 113, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/w12010113>.

LUU, C.; MEDING, J. A Flood Risk Assessment of Quang Nam, Vietnam Using Spatial Multicriteria Decision Analysis. **Water**, v. 10, 461, p. 1-16, 2018. DOI: <https://doi.org/10.3390/w10040461>.

MARCHEZINI, V.; CUNNINGHAM, C.; DOLIF, G.; CAMARINHA, P. I.; ODA, P.; LACERDA, R.; O que são eventos extremos? Uma reflexão sobre as diferentes perspectivas do termo. **Revista ClimaCom, Desastres**, v.10, n. 25, 2023.

MARICATO, E. **Metrópole na periferia do capitalismo: ilegalidade, desigualdade e violência**. São Paulo: Hucitec, 1995. 139p.

McPHILLIPS, L. E.; CHANG, H.; CHESTER, M. V.; DEPIETRI, Y.; FRIEDMAN, E.; GRIMM, N. B.; KOMINOSKI, J. S.; MCPHEARSON, T.; MÉNDEZ-LÁZARO, P.; ROSI, E. J.; SHAFIEI SHIVA, J. Defining Extreme Events: A Cross-Disciplinary Review. **Earth's Future**, v. 6, n. 3, p. 441-455, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1002/2017EF000686>.

MENEZES, D. J. **Proposta metodológica para análise espaço-temporal de inundações**: aplicação na área urbana de Alegrete - RS. 2018. 267 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2018.

MORAES, D. A. **Apontamentos sobre reforma urbana e produção social do habitat. União Nacional por Moradia Popular**. 2008. Disponível em: [https://unmp.org.br/wp-content/uploads/2008/06/psh\\_2.doc](https://unmp.org.br/wp-content/uploads/2008/06/psh_2.doc) Acesso em: 11 jun. 2025.

NIETHAMMER, U.; JAMES, M.R.; ROTHMUND, S.; TRAVELLETTI, J.; JOSWIG, M. UAV-based remote sensing of the Super-Sauzelandslide: Evaluation and results. **Engineering Geology**, v. 128, p. 2–11, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2011.03.012>.

PEDROSA, A. S. O geógrafo como técnico fundamental no processo de gestão dos riscos naturais. **B. Goiano. Geogr.**, Goiânia, v. 32, n. 1, p. 11-30, 2012. DOI: <https://doi.org/10.5216/gng.v32i1.18953>.

RADEMANN, L. K.; TRENTIN, R.; ROBAINA, L. E. S. Characterization and Analysis of Gully Erosion in Southern Brazil with the Assistance of Unmanned Aerial Vehicle. **Mercator**, Fortaleza, v. 21, e21022, 2022. DOI: <https://doi.org/10.4215/rm2022.e21022>.

RADEMANN, L. K.; TRENTIN, R.; ROBAINA, L. E. S.; BREUNIG, F. M. Assessment of Sandbank Dynamics Using High-Resolution Images in Areal do Limeira River, Southern Brazil. **RAEGA - O Espaço Geográfico em Análise**, v. 57, p. 3–22, 2023. DOI: <https://doi.org/10.5380/raega.v57i0.92335>.

ROBAINA, L. E. S. (2013). Áreas de risco por processos de dinâmica geomorfológica: introdução ao tema. In: GUASSELLI, L. A.; OLIVEIRA, G. G.; ALVES, R. C. M. (Orgs.). **Eventos extremos no Rio Grande do Sul: inundações e movimentos de massa**. Porto Alegre: Evangraf, 2013. p. 11-24.

ROBAINA, L.E.S.; OLIVEIRA, E.L.A. Bases conceituais para o estudo de áreas de risco em ambientes urbanos. In: ROBAINA, L.E.S.; TRENTIN, R. **Desastres Naturais no Rio Grande do Sul**. (Org.). Santa Maria: Editora UFSM, 2013. 376p.

SAMPAIO, D. **Suscetibilidade a Movimentos de massa na Sub Bacia do Médio/Alto Taquari-Antas, RS**: Utilização de Técnicas de Machine Learning. 2024. 106 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2024.

SAR, N.; CHATTERJEE, S.; ADHIKARI, M. Integrated remote sensing and GIS based spatial modelling through analytical hierarchy process (AHP) for water logging hazard, vulnerability and risk assessment in Keleghai river basin, India. **Modeling Earth Systems and Environment**. 1, n. 31, p. 1-21, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40808-015-0039-9>.

SCCOTI, A. A. V.; BATEIRA, C. V. M.; ROBAINA, L. E. S.; PEREIRA, S.; TRENTIN, R. Definição das Áreas Propensas á Inundação em Estrela e Lajeado/RS com Uso de Modelo Hidráulico 2D do IBER. **FINISTERRA**, Lisboa, v. 59, p. 1-19, 2024. DOI: <https://doi.org/10.18055/Finis35402>.

SILVA, W. O.; ROBAINA, L. E. S.; TRENTIN, R.; SCCOTI, A. A. V. Estudo automatizado do relevo: uma proposta para a definição das áreas suscetíveis à inundação em Candelária/RS. **Revista de Geografia**, Recife, v. 41, n. 5, p. 75-95, 2024.

DOI: <https://doi.org/10.51359/2238-6211.2024.262249>.

TOMINAGA, L. K. Análise e mapeamento de risco In: TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. (Orgs.). **Desastres naturais: conhecer para prevenir**. São Paulo: Instituto Geológico, 2015, p. 147-160.

UNISDR - INTERNATIONAL STRATEGY FOR DISASTER REDUCTION. **Terminology on Disaster Risk Reduction**. Disponível em: [www.unisdr.org](http://www.unisdr.org). Acesso em 20 fev. 2019.

VEYRET, Y.; RICHEMOND, N. M. O risco, os riscos. In: VEYRET, Y. (Org.). **Os riscos: o homem como agressor e vítima do meio ambiente**. São Paulo: Contexto, 2015b, p. 23-24.

YUAN, S.; HUANG, G.; XIONG, H.; GONG, Q.; CHEN, J.; WANG, J. Maximum Entropy-Based Model of High-Threat Landslide Disaster Distribution in Zhaoqing, China. **Journal of Risk Analysis and Crisis Response**, v. 7, n. 3, 2021.