



15º SIMPÓSIO NACIONAL DE
GEOMORFOLOGIA

SUSCETIBILIDADE À EROSÃO DO SOLO NO OESTE DO RIO GRANDE DO SUL: TRABALHOS DESENVOLVIDOS NA ÁREA

George Gabriel Schnorr¹
Lucas da Silva Ribeiro²
Lucas Krein Rademann³
Antonio Von Ende Dotto⁴
Marinéli Moraes Gaberti⁵
Romario Trentin⁶
Luis Eduardo de Souza Robaina⁷

RESUMO

Em função das suas características geológicas, a região oeste do estado do Rio Grande do Sul -RS possui suscetibilidade natural à ocorrência de processos de arenização e voçorocamento. O objetivo deste trabalho é integrar e discutir os principais estudos desenvolvidos pelo Laboratório de Geologia Ambiental (LAGEOLAM) acerca da temática da erosão do solo no Sudoeste do RS e as diferentes metodologias desenvolvidas com o uso de geotecnologias. A organização metodológica baseou-se em levantamento bibliográfico utilizando dos principais indexadores disponíveis, para a discussão seguindo a sequência: representação das áreas de pesquisa; metodologias utilizadas nos trabalhos; principais atividades/impactos dos trabalhos na área. Desde o ano de 1996, a principal área de estudo em que o LAGEOLAM concentra as suas pesquisas refere-se à Bacia Hidrográfica do Rio Ibicuí. Assim, uma série de abordagens foram utilizadas, dentre as quais destaca-se o mapeamento geoambiental, o Processo Analítico Hierárquico e, mais recentemente, a utilização de Veículos Aéreos Não Tripulados para a geração de produtos cartográficos de alta resolução para análises de nível de detalhe. Metodologias voltadas à utilização de modelos hidrológicos também têm ganhado destaque recente nas pesquisas do laboratório, dado o seu potencial para a simulação de cenários complexos, dentre estes, a erosão e perda de solo. Os produtos das pesquisas realizadas pelo LAGEOLAM, além de produtos científicos, servem como materiais didáticos para escolas, bem como ferramentas de planejamento e ordenamento territorial.

INTRODUÇÃO

A degradação solo é um sério problema ambiental, sendo importante fator que levou a colapsos de civilizações ao longo da história (MINAMI, 2009). Isso se deve principalmente à importância da qualidade do solo para produção de alimentos, tendo em vista que a sua

¹ Mestrando em Geografia da Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, gorgeschnorr@gmail.com;

² Doutorando em Geografia da Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, lucassilvaribeiro12@gmail.com;

³ Doutor em Geografia pela Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, lucasrademann@yahoo.com;

⁴ Doutorando em Geografia da Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, dottovon@gmail.com;

⁵ Doutoranda em Geografia da Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, marinelimoraes@gmail.com;

⁶ Doutor, Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, romario.trentin@gmail.com;

⁷ Doutor, Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, lesrobaina@yahoo.com.br;



degradação é uma das principais causas para a estagnação do crescimento da produtividade (BINDRABAN et al., 2012). Dessa forma, este recurso é finito e não renovável na escala de tempo humana, sendo frágil frente ao uso inadequado da terra e sua má gestão (LAL, 1998).

Esse fenômeno vem ganhando destaque nas discussões científicas devido ao aumento da preocupação com a questão ambiental, sobretudo com a perda de áreas agricultáveis, a diminuição da fertilidade dos solos e ao assoreamento de canais fluviais (SELBY, 1993). Além disso, o desmatamento da vegetação natural provoca maior suscetibilidade das vertentes, pois essas atingiram alto grau de fragilidade (AMORIM, 2007).

A erosão dos solos pode ocorrer nos espaços urbanos e rurais e com diferentes tipos (laminar ou linear), e intensidades (sulcos, ravinamentos e voçorocamentos), sendo necessária no seu estudo a análise através das escalas temporal e espacial (FRANCISCO, 2011). Com base em Drew (1989), as atividades de uso e ocupação do solo aceleram os processos erosivos como, por exemplo, a movimentação de sedimentos nas encostas ocupadas por práticas agropecuárias. A quantidade de sedimentos que a natureza sozinha removeria ao longo de muito tempo, hoje o homem faz em poucos anos com práticas agrícolas inadequadas, deixando a parte superficial sem cobertura, o que contribui para maior vulnerabilidade do solo aos agentes erosivos (MARINHESKI, 2016).

Como forma de monitoramento de processos erosivos, as técnicas de geoprocessamento implementadas nos Sistemas de Informação Geográfica (SIG), são de extrema importância para realização do planejamento e avaliação do uso e degradação do solo, permitindo a realização de estimativas de perdas de solo por erosão, a classificação das terras segundo a capacidade de uso, a simulação da degradação do solo através de cenários e diversas análises espaciais com rapidez e precisão, através da álgebra de mapas (DEMARCHI, 2012).

No Brasil, a temática da erosão do solo começou a ser discutida entre as décadas de 1950 e 1970, principalmente no Sul e Sudeste do país (BARRETTO, LINO e SPAROVEK, 2009). No Rio Grande do Sul (RS), a partir do final da década de 1990, a região Sudoeste do estado vem sendo alvo de uma série de estudos desenvolvidos pelo Laboratório de Geologia Ambiental (LAGEOLAM/UFSM), voltados à análise e quantificação de processos erosivos por meio da aplicação de diferentes metodologias, em função da sua suscetibilidade natural à ocorrência de processos erosivos, dentre eles, a formação de areais (SUERTEGARAY, 1989; BELLANCA, 2002) e de voçorocas (CABRAL, 2018). Nesse sentido, o objetivo deste trabalho é integrar e discutir os principais estudos desenvolvidos pelo LAGEOLAM acerca da temática da erosão do solo no Sudoeste do RS e as diferentes metodologias desenvolvidas com o uso de geotecnologias.

METODOLOGIA



Para a resolução do objetivo proposto para o presente trabalho, inicialmente foi realizado um levantamento bibliográfico nos principais indexadores disponíveis: *Scopus*, *Web Of Science* e Google Acadêmico. Com os trabalhos reunidos, partiu-se para a discussão, por meio da sequência: representação das áreas de pesquisa; metodologias utilizadas nos trabalhos; principais atividades/impactos dos trabalhos na área.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Apresentação Inicial

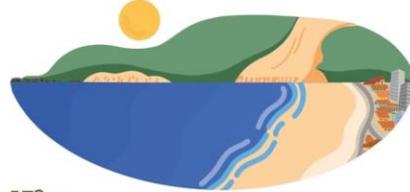
O LAGEOLAM iniciou suas atividades no ano de 1996 com o objetivo de agregar professores/pesquisadores que desenvolvem atividades nas áreas de diagnóstico ambiental e geologia aplicada. Desde então, o laboratório tem buscado se consolidar através da integração de trabalhos, qualificação de sua infraestrutura e estabelecimento de convênios. Os trabalhos que têm sido desenvolvidos pelo grupo estão associados, principalmente, à estudos de áreas de risco geológico-geomorfológico, de processos erosivos acelerados e mapeamentos geomorfológicos e geoambientais.

Uma vez que a Bacia Hidrográfica do Rio Ibicuí (BHRI), a qual é responsável por drenar as porções central e oeste do Rio Grande do Sul, está em um território com predisposição natural para formação de areais com significativa presença de ravinas e voçorocas que podem ser intensificadas pelo manejo inadequado do solo (SUERTEGARAY, 2011), o LAGEOLAM centraliza suas pesquisas nessa área.

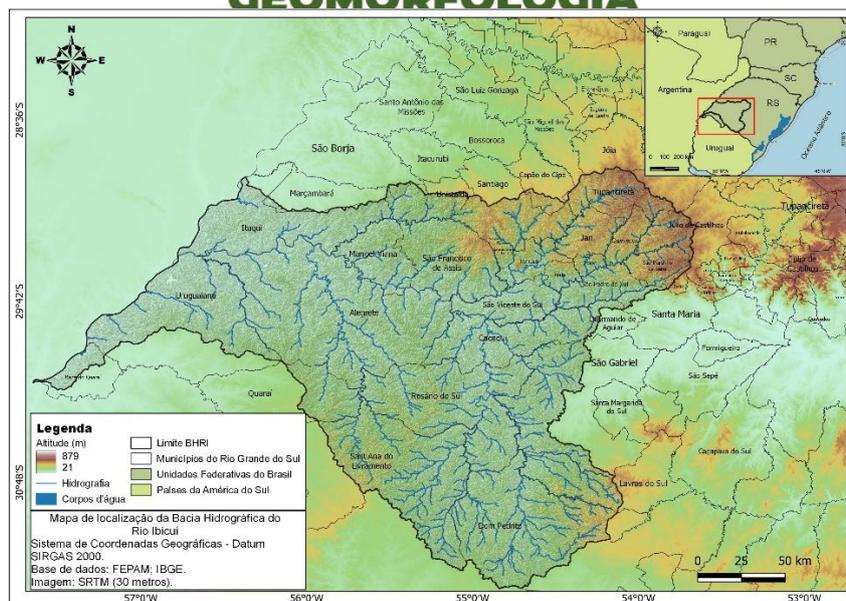
As sub-bacias hidrográficas do Rio Ibicuí também são recorrentemente adotadas como unidades de recorte espacial, conferindo maior precisão às investigações, assim como o estudo em municípios baseados na demanda existente, por parte de educadores e técnicos municipais, especialmente de pequeno porte, de informações ligadas a temas ambientais de forma especializada e georreferenciada.

A área da bacia possui uma área de 46.602,58 km², o perímetro de 1268,76 km e o canal principal apresenta uma extensão de 1.302 km, desde a nascente do Rio Santa Maria até a foz quando o Rio Ibicuí deságua no rio Uruguai (ROBAINA, 2015). Na Figura 1, pode ser conferida a localização da área de estudo, disposta entre as coordenadas de latitude sul 29°01' e 31°20' e entre as longitudes oeste 56°47' e 53°29', englobando totalmente ou de forma parcial, 30 municípios.

Figura 1 – Mapa de localização da BHRI.



15º SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Trabalhos desenvolvidos

Trentin e Robaina (2005) propuseram um mapeamento que serviu de base para estudos geoambientais posteriores no LAGEOLAM. Neste trabalho, são sistematizados os procedimentos para o cruzamento de informações para unidades geoambientais que são formas do terreno resultantes da ação dos agentes internos e externos, responsáveis pela delimitação de regiões constituídas de parâmetros naturais ou antrópicos distintos e característicos. O zoneamento geoambiental ainda pode ser considerado uma técnica de integração e síntese de informações temáticas que identificam padrões de vulnerabilidade e potencialidade diferenciados com base no uso e ocupação da terra e na estrutura morfolitológica da região de interesse. Para a delimitação de unidades nesse método, geralmente, são seguidos critérios qualitativos dos pesquisadores a partir da interpretação dos resultados de mapeamentos derivados de dados básicos (Modelo Digital de Elevação - MDE, imagem de satélite, bases vetoriais, etc.), trabalhos de campo e ensaios laboratoriais.

Em estudo de caso, De Nardin e Robaina (2010) estabeleceram o zoneamento geoambiental em bacias hidrográficas contíguas que ficam entre os municípios de Manoel Viana e São Francisco de Assis no sudoeste do RS. Como resultados, definiram unidades que indicam zonas de fragilidade, principalmente sobrepostas em arenitos da Formação Guarú, com ocorrência de areais e voçorocas, locais de plantio de espécies arbóreas exóticas e a existência de espécies endêmicas do Bioma Pampa.

Bazzan e Robaina (2008) identificaram como áreas de fragilidade na sub-bacia do Arroio Curuçu (entre Santiago e Nova Esperança do Sul, RS), aquelas com solos de baixa coesão e suscetibilidade à ravinamento, áreas de tensão ecológica e com risco de perda de solo por erosão



laminar e degradação de matas ciliares com assoreamento de canais provocados por erosões de margens.

Essa análise multicriterial de variáveis geoambientais é uma técnica que está fortemente relacionada com a aptidão do geógrafo. Isso porque, a ciência geográfica tem como seu principal objeto de estudo o espaço, observando-o com caráter interdisciplinar nas relações da sociedade e natureza. Gomes (2004) explica que o Apoio Multicritério à Decisão pode ser definido como um conjunto de técnicas de apoio à tomada de decisão, que têm a finalidade de investigar um número de alternativas, considerando múltiplos critérios e objetivos em conflito. É possível gerar soluções de compromisso e uma hierarquização das alternativas, de acordo com o grau de atração destas para o tomador de decisão.

Sob esse viés, o Processo Analítico Hierárquico (AHP) é uma técnica desenvolvida por Saaty (1986; 1991) representada por uma matriz de julgamento ou uma comparação pareada entre dois elementos que pertencem ao mesmo par, buscando estabelecer graus de importância para cada variável definida, e pode ser aplicado em diferentes propostas de mapeamento, como, por exemplo, a definição de áreas suscetíveis a processos erosivos.

Nos últimos anos, o LAGEOLAM aderiu ao AHP possibilitando ao pesquisador a estimativa métrica das variáveis envolvidas em seus estudos. Dias (2021) utilizou da AHP na BHRI e elencou fatores condicionantes como: relevo (baseado na hipsometria, declividade e forma das vertentes), solos, litologia e uso e ocupação da terra. Nesse estudo, foram definidas as classes com altitudes superiores a 300 metros, declividades de 5% a 15%, vertentes côncavas-convergentes, arenitos finos, argissolos e lavouras, com os maiores pesos dentro de cada variável. Como forma de validação, observou-se na classe de suscetibilidade “Muito Alta”, 583 feições erosivas lineares resultando em uma razão de frequência de 3,028, sendo assim, a classe de suscetibilidade com maior correlação na BHRI.

Robaina et al. (2022) aplicaram o AHP, considerando apenas características geomorfológicas, como as altitudes, declividades e formas das encostas para estabelecer um zoneamento de suscetibilidade ao desenvolvimento de erosões lineares profundas na bacia hidrográfica do Rio Santa Maria (BRHSM), maior tributário do rio Ibicuí, com ponderação semelhante a realizado por Dias (2021). No cruzamento final, a forma das encostas teve a maior importância, com quase 60% de influência, seguida pela declividade e, com relativa menor influência, a altitude. Com isso, os principais resultados apontaram a identificação das áreas mais suscetíveis que estão localizadas na faixa oeste, associadas morrotes e colinas onduladas da Serra do Caverá; na porção sudeste que corresponde às elevações da borda do Escudo sul-rio-grandense e; na porção nordeste, associado a colinas onduladas da bacia do rio Cacequi.

Dotto, Gaberti e Robaina (2023) identificaram e validaram a suscetibilidade ao voçorocamento com o AHP no município de Capão do Cipó a partir das formas das vertentes,



solos, litologia, uso e cobertura da terra. As classes Côncavo-Convergente, Argissolo Vermelho, litologia Tupanciretã, lavoura e declividades de 5 a 8% tiveram os maiores pesos dentro de suas variáveis. Para o cruzamento final, a forma de encosta teve maior importância, com 39%, seguido por solos e litologias, e em menor expressão uso da terra e declividade. Os principais resultados estão apresentados pela validação dos autores, observando que 93% das feições erosivas verificadas em campo estão inseridas nas classes “Muito Alta/Alta” do mapeamento.

A álgebra de mapas também serviu para Petsch et al. (2023) estabelecerem uma metodologia inédita adaptada de Crepani (2001) para vulnerabilidade à erosão na BHRSM. Esse método utilizou da geologia, solos, uso da terra, erosividade da chuva e elementos de *Geomorphons* (JASIEWICZ e STEPINSKI, 2013) em planos de informação classificados com valores que variam entre 1 e 3, de acordo com o grau de vulnerabilidade, baseado nos processos de pedogênese e morfogênese. Os autores apresentam como vantagem a possibilidade de mudança de classe de vulnerabilidade em decorrência da variação da erosividade e uso da terra, dados que apresentam mudanças anuais no cenário brasileiro. O uso de *Geomorphons* nesta pesquisa permitiu um maior detalhamento do relevo, sobretudo em uma bacia hidrográfica de grande proporção, ao definir dez elementos do relevo baseados na similaridade textural do MDE.

Compreendendo o contexto de desenvolvimento e acessibilidade às geotecnologias, ressalva-se que o zoneamento geoambiental e demais mapeamentos com cruzamento de informações, são considerados trabalhos em escala de representação média com a ocorrência de algumas generalizações do ambiente (DUTRA e ROBAINA, 2022). A análise em nível de detalhe de processos erosivos durante muito tempo foi limitada pela tecnologia disponível para o mapeamento das feições erosivas. O uso de fotogrametria tradicional através de fotografias aéreas e outros métodos de mapeamento como utilização de estacas para a medição do avanço de voçorocas foram importantes durante um grande período de tempo (ROBAINA et al., 2002; VANDEKERCKHOVE, POESEN e GOVERS, 2003; VANMAERCKE et al., 2021).

Com o desenvolvimento dos Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) e da tecnologia *Structure from Motion* (SfM) que tornaram acessível a análise em nível de detalhe e de alta qualidade (WESTOBY et al., 2012; COLOMINA e MOLINA, 2014), houve um aumento dos estudos de processos erosivos, sobretudo voçorocas como reportado por Castillo e Gomez (2016).

A aplicação destas ferramentas para a análise da erosão no LAGEOLAM se deu de diversas maneiras. Petsch et al. (2022) e Schnorr e Scoti (2023) fizeram o uso de VANT para a captura de imagens de alta resolução, permitindo a observação das feições erosivas em diferentes perspectivas e auxiliando na interpretação dos mecanismos erosivos atuantes. Rademann (2019), Rademann e Trentin (2020), e Dotto et al. (2024), utilizaram dos dados obtidos a partir de aerolevanteamento com uso de VANT e do algoritmo SfM para a morfometria e análise de voçorocas, obtendo parâmetros derivados de Modelos Digitais do Terreno de altíssima resolução



para avaliar a erosão. Ainda, Rademann et al. (2022) e Rademann, (2024) utilizaram dos dados derivados de aerolevantamento com VANT para caracterizar e interpretar os mecanismos erosivos atuantes em voçorocas no oeste do RS.

No período mais recente, o tema da modelagem hidrológica tem se desenvolvido bastante, principalmente pela aplicação do modelo *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT). Trentin, Robaina e Laurent (2023), na BHRS, utilizaram o modelo SWAT para analisar a vazão em cenários de mudança de uso do solo. As trocas de campos nativos para culturas anuais demonstraram alteração no regime do fluxo do rio, aumentando os picos de fluxo.

Na bacia do Rio Jaguari, tributária do Rio Ibicuí, Dotto, Robaina e Trentin (2024) aplicaram o SWAT para a simulação de cenários hidrológicos. Por meio das diferentes simulações, os autores destacam a importância da preservação de matas ciliares para o armazenamento da água subterrânea e posterior aumento do fluxo superficial, em função da maior disponibilidade de água no fluxo de base.

Os resultados obtidos por meio da utilização do modelo SWAT nas diferentes sub-bacias do Rio Ibicuí são de suma importância para o entendimento da dinâmica hídrica da bacia. Em trabalhos futuros, esse modelo também pode ser utilizado para a previsão de erosão do solo e produção de sedimentos (TIBEBE e BEWKET, 2010; MOSBAHI, BENABDALLAH e BOUSSEMA, 2013; DUTTA e SEN, 2018), bem como outros modelos também já utilizados na temática (KOKO, 2011; ZHANG et al., 2014; FERNANDES et al., 2017; HARTWIG e ALVES, 2025).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As pesquisas realizadas no sudoeste do RS, tendo como destaque a BHRI, são extremamente necessárias visto a alta suscetibilidade aos processos erosivos que existem neste território. Dessa forma, o LAGEOLAM integra estudos e trabalhos há mais de duas décadas visando a compreensão e os impactos humanos nesse espaço, para futuras tomadas de decisão.

É válido destacar que as atividades realizadas pelo LAGEOLAM, para além dos produtos técnicos transmitidos para o público científico na forma de artigos, servem para comunidade geral como subsídio público. Dessa forma, também são produzidos materiais didáticos para escolas, e demais produtos que servem como ferramentas de gestão para prefeituras municipais, enfatizando a importância da ciência e educação no meio social.

Palavras-chave: Erosão acelerada; Voçoroca; Pampa.

REFERÊNCIAS

AMORIM, R. R.; OLIVEIRA, R. C. Análise geoambiental dos setores de encosta da área urbana de São Vicente-SP. *Sociedade & Natureza*, v. 19, p. 123-138, 2007.



BARRETTO, A. G. O. P.; LINO, J. S.; SPAROVEK, G. Bibliometria da pesquisa brasileira em erosão acelerada do solo: instituições, temas, espaço e cronologia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 1845-1854, 2009.

BAZZAN, T.; ROBAINA, L. E. S. Análise e determinação das unidades de uso e ocupação da terra na bacia hidrográfica do arroio Curuçu, oeste do Rio Grande do Sul¹. **Ciência e Natura**, p. 155-170, 2008.

BELLANCA, E. T. **Uma contribuição para a explicação da gênese dos areais do Sudoeste do Rio Grande do Sul**. 2002. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2002.

BINDRABAN, P. et al. Assessing the impact of soil degradation on food production. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, v. 4, n. 5, p. 478-488, 2012.

CABRAL, T. L. **Distribuição e classificação de voçorocas por meio de indicadores morfométricos em sub-bacias no município de Cacequi-RS**. 2018. Tese (Doutorado em Geografia) – Centro de Ciências Naturais e Exatas, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2018.

CASTILLO, C; GÓMEZ, J. A. A century of gully erosion research: Urgency, complexity and study approaches. **Earth-Science Reviews**, v. 160, p. 300-319, 2016.

CREPANI, E. et al. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial**. São José dos Campos: Inpe, 2001.

COLOMINA, I; MOLINA, P. Sistemas aéreos não tripulados para fotogrametria e sensoriamento remoto: uma revisão. **ISPRS Revista de fotogrametria e sensoriamento remoto**, v. 92, p. 79-97, 2014.

DEMARCHI, J. C. **Geotecnologias aplicadas à estimativa de perdas de solo por erosão hídrica na Sub-Bacia do Ribeirão das Perobas, município de Santa Cruz do Rio Pardo-SP**. 2012. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, SP, 2012.

DE NARDIN, D.; ROBAINA, L. E. S. Zoneamento geoambiental no Oeste do Rio Grande do Sul: um estudo em bacias hidrográficas em processo de arenização. **Sociedade & Natureza**, v. 22, p. 487-502, 2010.

DIAS, D. F. **Utilização da análise hierárquica ponderada para o estudo dos processos erosivos lineares na bacia hidrográfica do rio Ibicuí-RS**. 2021. Tese (Doutorado em Geografia) – Centro de Ciências Naturais e Exatas, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2021.

DOTTO, A. V. E.; GABERTI, M. M.; ROBAINA, L. E. S. Aplicação do Processo Hierárquico Analítico (AHP) para o Mapeamento de Suscetibilidade ao Voçorocamento no município de Capão do Cipó-RS/Brasil. **Confins. Revue franco-brésilienne de géographie**, n. 60, 2023.

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'E GA**, v. 60, n.1, p. 159-187, 2024.

DOTTO, A. V. E. et al. Técnicas automatizadas para análise integrada em erosões lineares de sub- bacias no município de Cacequi/RS. **Caminhos de Geografia**, v. 25, n. 102, 2024.

DUTRA, D. S; ROBAINA, L. E. S. Zoneamento geoambiental do município de Canguçu/RS. **Geoambiente On-line**, n. 43, 2022.

DUTTA, S.; SEN, D. Application of SWAT model for predicting soil erosion and sediment yield. **Sustainable Water Resources Management**, v. 4, n. 3, p. 447-468, 2018.



DREW, D. **Processos interativos homem-meio ambiente**. 2. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1989.

FERNANDES, J. et al. SIMWE model application on susceptibility analysis to bank gully erosion in Alto Douro Wine Region agricultural terraces. **Catena**, v. 153, p. 39-49, 2017.

FRANCISCO, A. B. A erosão de solos no extremo oeste paulista e seus impactos no campo e na cidade. **Revista Geomae-Geografia Meio Ambiente e Ensino**, v. 2, n. 2, p. 57-68, 2011.

GABERTI, M. M.; ROBAINA, L. E. S.; TRENTIN, R. Relação entre Condicionantes Ambientais e Ocorrência de Voçorocas no Município de Capão do Cipó/RS. **Geografia (Londrina)**, v. 33, n. 1, p. 189-207, 2024.

GOMES, L. F. et al. **Tomada de decisões em cenários complexos: Introdução aos métodos discretos do apoio multicritério à decisão**. Editora Thompson, 2004.

HARTWIG, M. E.; ALVES, J. P. I. Gully evolution and numerical simulation using the SIMWE model in Brazil. **Catena**, v. 254, 2025.

JASIEWICZ, J.; STEPINSKI, T. F. Geomorphons—a pattern recognition approach to classification and mapping of landforms. **Geomorphology**, v. 182, p. 147-156, 2013.

KNIERIN, I. S.; TRENTIN, R.; ROBAINA, L. E. S. Relação dos processos erosivos lineares com os atributos do relevo no município de Unistalda-RS. **Geo UERJ**, n. 32, 2018.

KOKO, Š. Simulation of gully erosion using the SIMWE model and GIS. **Landform Analysis**, v. 17, p. 81-86, 2011.

LAL, R. Soil erosion impact on agronomic productivity and environment quality. **Critical reviews in plant sciences**, v. 17, n. 4, p. 319-464, 1998.

MARINHESKI, V. Aspectos Sobre A Erosão Pluvial Em Usos Agropecuários. **Revista Espacios**. Nº 5, v. 37, p.1-8, 2016.

MOSBAHI, M.; BENABDALLAH, S.; BOUSSEMA, M. R. Assessment of soil erosion risk using SWAT model. **Arabian Journal of Geosciences**, v. 6, n. 10, p. 4011-4019, 2013.

PETSCH, C.; DO AMARAL, E. C.; DE OLIVEIRA SANCHES, F.. Eventos extremos de precipitação e sua relação com a erosão na Bacia Hidrográfica do rio Santa Maria (RS). **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 33, p. 1-28, 2023.

PETSCH, C., SCCOTI, A. A. V., ROBAINA, L. E. S; TRENTIN, R. Controlling factors and mapping of linear erosive features in Santa Maria river watershed –RS. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, 23(4), 1876–1892, 2022.

RADEMANN, L. K.; TRENTIN, R. Novas geotecnologias aplicadas ao estudo geomorfológico: exemplo de morfometria da Voçoroca do Areal, Cacequi-RS. **GeoTextos**, 2020.

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, 2022.

RADEMANN, L. K.; TRENTIN, R.; ROBAINA, L. E. S. Relação das variáveis ambientais com os processos erosivos no município de Cacequi, Rio Grande do Sul. **Revista Geoaraguaia**, v. 8, n. 2, 2018.

RADEMANN, L. K. **Fatores erosivos e a sua influência na morfologia de voçorocas no município de Cacequi, Rio Grande do Sul**. 2024. Tese (Doutorado em Geografia) – Centro de Ciências Naturais e Exatas, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS 2024.



- RADEMANN, L. K. **Identificação e caracterização dos mecanismos erosivos atuantes na Voçoroca do Areal no município de Cacequi/RS com auxílio de Veículo Aéreo Não Tripulado**. 2019. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Centro de Ciências Naturais e Exatas, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2019.
- ROBAINA, L. E. S. et al. Processo erosivo acelerado no RS: voçorocamento no município de Cacequi. **Geografia**, p. 109-120, 2002.
- ROBAINA, L. E. S. et al. Utilização da Análise Hierárquica Ponderada em Atributos do Relevo para o Zoneamento de Suscetibilidade a Voçorocamentos na Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria/RS. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 15, n. 2, p. 994-1008, 2022.
- ROBAINA, L. E. S. et al. Zoneamento morfolitológico da bacia hidrográfica do rio Ibicuí e sua relação com processos superficiais e o uso do solo. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 16, n. 1, 2015.
- SAATY, T. L. Axiomatic foundation of the analytic hierarchy process. **Management science**, v. 32, n. 7, p. 841-855, 1986.
- SAATY, T. L. Response to Holder's comments on the analytic hierarchy process. **Journal of the Operational Research Society**, v. 42, n. 10, p. 909-914, 1991.
- SCHNORR, G. G.; SCCOTI, A. A. V. Processos erosivos na voçoroca do buraco fundo, centro-oeste do RS. **William Morris Davis-Revista de Geomorfologia**, v. 4, n. 2, p. 1-17, 2023.
- SELBY, M.J. Hillslope Materials and processes. **Oxford University Press**, Oxford, 1993. 451p.
- SUERTEGARAY, D. M. A. A trajetória da natureza: um estudo geomorfológico sobre os areas de Quaraí-RS: uma síntese. **Boletim Gaúcho de Geografia**. Porto Alegre. n. 17, p. 16-31, 1989.
- SUERTEGARAY, D. Erosão nos campos sulinos: amenização no sudoeste do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, n.3, V.12, p.1-14,2011.
- TIBEBE, D.; BEWKET, W. Surface runoff and soil erosion estimation using the SWAT model in the Keleta watershed, Ethiopia. **Land Degradation & Development**, v. 22, n. 6, p. 551-564, 2010.
- TRENTIN, R.; LAURENT, F.; ROBAINA, L. E. S. Vazão e balanço hídrico relacionado a mudanças no uso da terra em uma bacia hidrográfica de médio porte no bioma Pampa do Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 16, n. 2, p. 873, 2023.
- TRENTIN, R; ROBAINA L. E. S. Metodologia para mapeamento geoambiental no oeste do Rio Grande do Sul. *In: Anais do XI Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada*, p. 3606-3615, 2005.
- TRENTIN, R.; ROBAINA, L. E. S. Unidades geoambientais na bacia hidrográfica do rio Itu–oeste do estado do Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 23, p. 267-287, 2012.
- VANDEKERCKHOVE, L.; POESEN, J.; GOVER, G. Taxas de recuo de médio prazo no sudeste da Espanha determinadas a partir de fotografias aéreas e medições do solo. **Catena**, v. 50, n. 2-4, p. 329-352, 2003.
- VANMAERCKE, M. et al. Medindo, modelando e gerenciando a erosão de ravinas em grandes escalas: um estado da arte. **Revisões de Ciências da Terra**, v. 218, p. 103637, 2021.
- ZHANG, Q. et al. Quantifying detachment rate of eroding rill or ephemeral gully for WEPP with flume experiments. **Journal of Hydrology**, v. 519, p. 2012-2019, 2014.
- WESTOBY, M. J. et al. Fotogrametria 'Estrutura-de-Movimento': Uma ferramenta eficaz e de baixo custo para aplicações em geociências. **Geomorfologia**, v. 179, p. 300-314, 2012.