

TÉCNICAS DE ENGENHARIA NATURAL PARA REVITALIZAÇÃO E CONTROLE DE PROCESSOS EROSIVOS NO CÓRREGO LAGOÃO DO OURO, SANTA MARIA/RS

Rita dos Santos Sousa¹ ; Junior Joel Dewes² & Fabrício Jaques Sutili³

RESUMO – A expansão urbana exerce impactos profundos sobre os cursos d’água urbanos ao alterar o ciclo hidrológico e a dinâmica geomorfológica das bacias hidrográficas. Tradicionalmente, o controle de erosão em taludes fluviais é realizado com técnicas convencionais da engenharia, que desconsideram a conectividade ecológica dos cursos d’água. Com o aumento da conscientização ambiental surge a demanda por técnicas de menor impacto ambiental que valorizem as características ecológicas dos sistemas fluviais. A Engenharia Natural mostra-se como uma Solução Baseada na Natureza viável que considera critérios técnicos no dimensionamento das estruturas e valorização das características ecológicas. O objetivo deste trabalho é apresentar uma obra de Engenharia Natural executada para revitalização e controle de processos erosivos no Córrego Lagoão do Ouro no Campus da Universidade Federal de Santa Maria. As técnicas de Engenharia Natural mostraram-se tecnicamente eficientes para estabilizar e mitigar os processos erosivos nas margens e fundo do Córrego Lagoão do Ouro. Além dos benefícios técnicos, as soluções executadas trouxeram melhorias nas funções ecológicas e ambientais, com restabelecimento de vegetação autóctone e aumento da biodiversidade florística e faunística. A Engenharia Natural aplicada a rios urbanos contribui para a implementação de infraestrutura verde nas cidades, ao integrar soluções que restauram funções ecológicas dos cursos d’água e reforçam a resiliência urbana frente às mudanças climáticas.

Palavras-Chave – Erosão fluvial; Soluções Baseadas na Natureza; Estabilização de taludes

ABSTRACT– Urban expansion has significant impacts on urban watercourses by altering the hydrological cycle and the geomorphological dynamics of river basins. Traditionally, erosion control on riverbanks is carried out using conventional engineering techniques that disregard the ecological connectivity of watercourses. With increasing environmental awareness, there is a growing demand for lower-impact techniques that value the ecological characteristics of fluvial systems. Soil Bioengineering emerges as a viable Nature-based Solution, as it incorporates technical criteria in the design of structures while enhancing ecological functions. The objective of this work is to present a Soil Bioengineering project executed for the revitalization and control of erosive processes in the Lagoão do Ouro stream on the Universidade Federal de Santa Maria Campus. The applied techniques proved to be technically effective in stabilizing and mitigating erosive processes along the banks and bed of the stream. In addition to technical benefits, the implemented solutions led to improvements in ecological and environmental functions, including the restoration of autochthonous vegetation and an increase in floristic and faunal biodiversity. Soil Bioengineering applied to urban rivers contributes to the implementation of green infrastructure in cities by integrating solutions that restore ecological functions of watercourses and enhance urban resilience to climate change.

Key-words – Fluvial erosion; Nature Based Solutions; Slope stabilization

1) Pós-doutora em Engenharia Florestal, Laboratório de Engenharia Natural, Universidade Federal de Santa Maria, 97105-900, Santa Maria, Brasil, 55-996486284, rita.sousa@valliseng.com

2) Pós-doutorando em Engenharia Florestal e graduando em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, 97105-900, Santa Maria, Brasil, 55-996486284, junior.dewes@acad.ufsm.br

3) Professor Dr., Departamento de Ciências Florestais, Laboratório de Engenharia Natural, Universidade Federal de Santa Maria, 97105-900, Santa Maria, Brasil, fjsutili@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

A expansão urbana exerce impactos profundos sobre os cursos de água urbanos ao alterar significativamente o ciclo hidrológico e a dinâmica geomorfológica das bacias hidrográficas. A ampliação da infraestrutura urbana caracterizada pelo aumento das superfícies impermeáveis, como rodovias e edificações, reduz a infiltração e aumenta o escoamento superficial, resultando em picos de vazão mais intensos e frequentes, fenômeno descrito como “síndrome dos rios urbanos” (Cabral et al., 2025; Paul; Meyer, 2001). Estas mudanças hidrológicas aceleram a erosão das margens, o aprofundamento do leito e o transporte excessivo de sedimentos, além de contribuir para a degradação da qualidade da água devido ao carregamento de poluentes difusos (Booth; Jackson, 1997; Gregory, 2006; Leopold, 1968; Shuster et al., 2005). Adicionalmente, intervenções como canalização, retificação e supressão da vegetação ripária reduzem a complexidade estrutural dos habitats fluviais, comprometendo a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos associados (Chin, 2006; Palmer; Menninger; Bernhardt, 2010). Assim, o crescimento urbano, quando não planejado de forma integrada, intensifica os processos de degradação fluvial e reforça a necessidade de estratégias de gestão que conciliem o desenvolvimento urbano e a conservação dos sistemas aquáticos (Gurnell; Bertoldi; Corenblit, 2012; UN World Water Assessment Programme, 2018).

Apesar da erosão corresponder a um processo natural e contínuo responsável pela redistribuição de sedimentos na superfície terrestre, quando intensificada por fatores como a ação da água, do vento, da gravidade e principalmente das atividades antrópicas, passa a configurar um dos principais desafios ambientais, agrícolas e socioeconômicos em escala global (Abeyasingha; Ray, 2025; Pimentel *et al.*, 1995).

Os processos erosivos em taludes fluviais envolvem mecanismos complexos, uma vez que a erosão é condicionada por múltiplos fatores, como o nível da água, o fluxo subterrâneo, as propriedades dos solos das margens e a presença de vegetação ciliar (Yang *et al.*, 2024). A erosão fluvial desempenha um papel natural relevante na manutenção da capacidade de escoamento dos canais aluviais (Henshaw; Thorne; Clifford, 2013), além de contribuir para a diversidade biológica em ambientes ribeirinhos e planícies de inundação (Salo *et al.*, 1986).

Entretanto, taxas elevadas de meandrização em cursos de água podem provocar danos à infraestrutura, perda de áreas agrícolas e representar uma parcela significativa da carga total de sedimentos em uma bacia hidrográfica (Sekely; Mulla; Bauer, 2002; Wilson *et al.*, 2008). Outra particularidade é que o assoreamento tem graves implicações para os habitats aquáticos e qualidade da água (Martins *et al.*, 2003; Owens *et al.*, 2005; Stover; Montgomery, 2001).

Eventos climáticos extremos, como secas e estiagens prolongadas, chuvas intensas, inundações e incêndios florestais, intensificam os processos erosivos, podendo gerar impactos significativos, como perda de vidas, danos à infraestrutura e interrupção de serviços essenciais. Nos últimos anos, o Brasil tem sido recorrentemente afetado por desastres naturais associados a eventos hidrológicos, resultando em alagamentos, enxurradas, inundações severas e expressivos prejuízos econômicos e ambientais, principalmente em áreas urbanas (BRASIL, 2026; CNM, 2025).

Tradicionalmente, o controle e a mitigação de processos erosivos em taludes fluviais têm sido realizados, sobretudo, por meio de técnicas convencionais de Engenharia Civil, como revestimentos em concreto, muros de contenção, colchões de gabião, sacos de solo-cimento e enrocamentos (Dewes *et al.*, 2018; Kettenhuber *et al.*, 2023). Em contraposição, também se adotam métodos baseados apenas no plantio de espécies vegetais ou na aplicação de mantas orgânicas, como fibra de coco ou palha. Enquanto as primeiras se caracterizam por serem estruturas rígidas, que desconsideram a conectividade hidráulica e ecológica dos cursos de água, as segundas, embora mais naturais, frequentemente não incorporam critérios técnicos fundamentais, como rugosidade hidráulica, velocidade do escoamento, coesão e ângulo de atrito interno do solo, o que pode comprometer a sua eficácia na proteção e na estabilidade das margens.

Desta forma, com o aumento da preocupação relativa à preservação de recursos naturais, principalmente em áreas de maior fragilidade ambiental, como as áreas no entorno de cursos de água urbanos, surge a demanda por técnicas de menor impacto ambiental que valorizem as características ambientais e a conectividade hidráulica de sistemas fluviais e que, simultaneamente, levem em consideração critérios técnicos projetuais. As técnicas de Engenharia Natural mostram-se como uma solução viável, uma vez que, além de levarem em consideração critérios técnicos no dimensionamento das intervenções, também valorizam os fatores ecológicos e ambientais (Coppin; Richards, 2007; Sousa *et al.*, 2021).

A Engenharia Natural é uma área da Engenharia que utiliza principalmente materiais construtivos vivos, (sementes, plantas e partes de plantas) que podem, ou não, ser combinados com materiais inertes (solo, pedra, madeira, etc.) (Schiechtl, 1980). As técnicas de Engenharia Natural proporcionam soluções baseadas na natureza como uma alternativa ou como medidas complementares às abordagens convencionais de engenharia hidráulica ou civil (Hörbinger, 2021). Podem ser aplicadas em problemas estruturais de estabilização geotécnica e hidráulica, controlar processos erosivos superficiais, e simultaneamente projetar ecossistemas em equilíbrio dinâmico (Sousa, 2015). São técnicas com baixo impacto ambiental com esquemas construtivos mais flexíveis e permeáveis facilmente integráveis à natureza, não sofrendo recalques e movimentações de solo

(SOUSA, 2015). Devido ao uso de plantas, essas técnicas exibem características como capacidade de deformação, resiliência e regeneração das partes danificadas, algo que não é observado em estruturas tradicionais construídas usando apenas materiais inertes (Sousa *et al.*, 2020).

O objetivo deste trabalho é apresentar uma obra de Engenharia Natural executada para revitalização e controle de processos erosivos no Córrego Lagoão do Ouro no Campus da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) no município de Santa Maria, Rio Grande do Sul.

2. METODOLOGIA

2.1 Caracterização da Área de Estudo

A área de estudo está localizada no município de Santa Maria, Rio Grande do Sul, especificamente no campus da Universidade Federal de Santa Maria (Figura 1). O Córrego Lagoão do Ouro apresenta aproximadamente um comprimento total de 11 km, sendo que o trecho alvo de projeto tem uma extensão de 800 m, dividida em 4 áreas de intervenção. O Córrego Lagoão do Ouro no trecho de estudo é um curso de água de 1ª ordem que pertence à bacia hidrográfica do rio Vacacaí-Mirim.

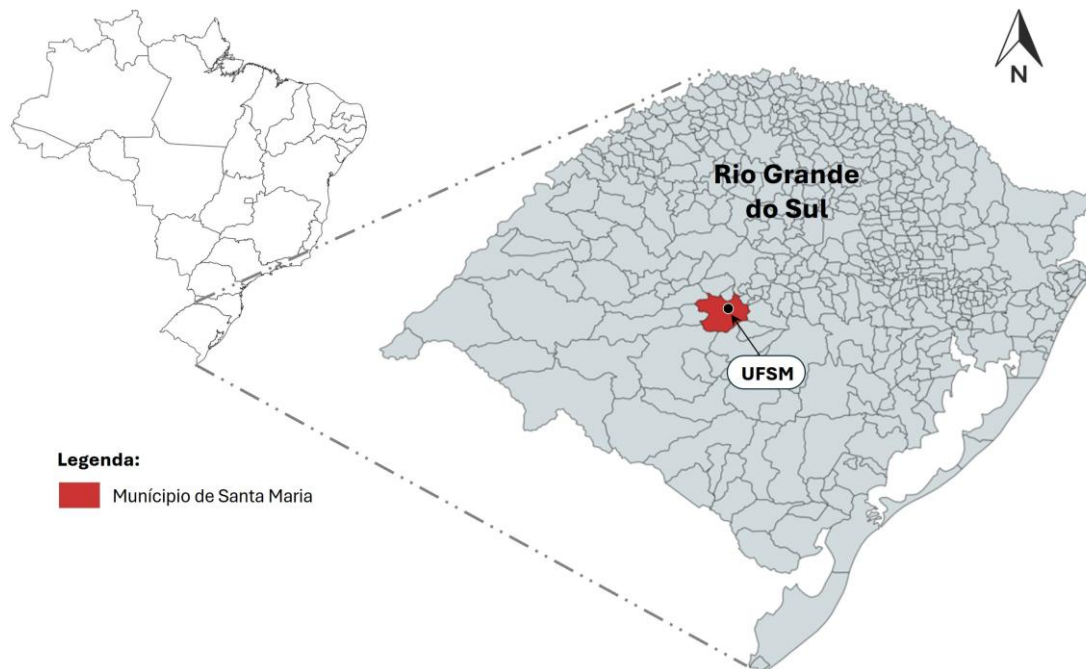


Figura 1 – Localização do Campus da Universidade Federal de Santa Maria, no município de Santa Maria – RS.

A área de estudo está inserida em região urbana, sendo a sua bacia de contribuição consideravelmente impermeabilizada por construções residenciais. De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região é subtropical úmido, do tipo Cfa, com verões quentes e sem estação seca

definida (Alvares *et al.*, 2013). Na região de Santa Maria, a temperatura média anual normal é considerada relativamente baixa em relação à média do Brasil (Heldwein *et al.*, 2009). O clima do tipo Cfa é caracterizado por apresentar temperaturas entre -3°C e 18°C no mês mais frio do ano e apresentar temperaturas superiores a 22°C no mês mais quente (Alvares *et al.*, 2013).

A área de estudo situa-se na região de transição entre os biomas Pampa e Mata Atlântica (Löbner *et al.*, 2015) e é composta majoritariamente por argissolos vermelhos e amarelos, podendo também haver presença de planossolos háplicos (Dalmolin; Pedron, 2009).

O trecho de estudo apresenta 120 m de extensão e está localizado imediatamente à jusante da passagem hidráulica sob a Avenida Roraima, sendo o principal ponto de acesso ao campus e apresenta processos erosivos acentuados nas duas margens do córrego e que têm evoluído nos últimos anos.

A margem esquerda apresenta elevada altura e inclinação devido à ocorrência de vários deslizamentos nos últimos anos. Em períodos de elevadas precipitações e vazões, o fluxo de água adquire velocidade elevada, principalmente na saída da galeria de concreto da passagem hidráulica, que apresenta baixa rugosidade hidráulica. A posição esconsa da galeria em relação ao canal combinado com o fato de o curso de água apresentar uma ligeira curvatura e, por isso, o talude estar localizado no raio externo do rio, faz com que o fluxo de água colida diretamente com a margem esquerda. Além disso, as curvas causam resistência adicional ao fluxo de água, o que faz com que o eixo do curso de água e consequentemente a região de maior velocidade de fluxo se desloquem por força inercial para o raio externo (zona de erosão), ocorrendo perda de velocidade no raio interno (zona de deposição). Acompanhando o eixo do curso de água está a maior força erosiva e de transporte. O deslocamento do potencial de erosão e da capacidade de transporte, do centro para o raio externo da curva, causa a remoção do solo da base da margem, o aprofundamento do leito neste ponto e, consequentemente, o desconfinamento do talude.

A margem direita também é caracterizada por apresentar elevada inclinação e altura, devido à ocorrência de movimentos de massa. Isso ocorreu devido à deposição de materiais (pedras, solo e resíduos) na margem esquerda e no leito que causaram obstrução parcial do canal e direcionaram o fluxo de água para a margem direita causando remoção do solo da base do talude, desconfinamento e consequentemente perda da estabilidade do maciço com ocorrência de diversos escorregamentos rotacionais. Além disso, a existência de materiais irregulares dentro do canal causa turbulência e altera o regime de fluxo tornando-o mais torrencial, o que aumenta o seu potencial erosivo sobre as margens e à jusante.

Ambas as margens encontram-se incipientemente vegetadas com plantas exóticas herbáceas que oferecem pouca proteção. Os fatores como ocorrência de precipitações elevadas, características

geométricas desfavoráveis do canal, aumento da saturação do solo (poropressão) e a ausência de proteção no talude e sua base contribuem para a perda de estabilidade do maciço de solo e, consequentemente, para a ocorrência de movimentos de massa no talude

A situação do trecho pode ser considerada grave porque além da tendência de evolução do processo erosivo nas duas margens, existe um risco à infraestrutura (posto de combustível, estacionamento, drenagens, cabeceiras da ponte, entre outros) e à segurança dos pedestres, uma vez que o ponto está localizado numa região da universidade com intensa circulação, sejam alunos, servidores, mas também outras pessoas que acedem aos bancos ou ao Hospital Universitário.

A elaboração do projeto foi solicitada pela Pró-Reitoria de Infraestrutura (PROINFRA) da UFSM no âmbito da renovação da Licença de Operação da UFSM no que concerne ao Córrego Lagoão do Ouro e respectivas condições e restrições definidas pela Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luis Roessler (FEPAM).

Considerando que o local de intervenção está localizada em Área de Preservação Permanente (APP), foi elaborado um projeto que atendesse às condições técnicas impostas pela tipologia de processo erosivo, mas que também apresentasse um carácter ecológico, visando a mitigação do impacto nas características ambientais da APP, optando-se pela prescrição de soluções de Engenharia Natural. O projeto foi desenvolvido pela equipe do Laboratório de Engenharia Natural da UFSM em 3 fases: projeto conceitual, projeto básico e projeto executivo elaboradas entre 2023 e 2024.

2.2 Descrição das Técnicas de Intervenção

O projeto de Engenharia Natural foi dimensionado considerando um TR de 25 anos e consistiu na estabilização e proteção da margem esquerda com muro de contenção em gabião vivo e no topo do talude enrocamento vivo e plantio de mudas arbustivas e herbáceas. Na margem direita foi projetado um muro de suporte vivo parede dupla assente numa base de pedra ($\emptyset$ 60 cm) e no topo do talude plantio de mudas arbustivas e herbáceas. No fundo do leito foi projetado um enrocamento de fundo (pedra montante $\emptyset$ 60 cm e pedra jusante $\emptyset$ 40 cm) combinado com 3 soleiras em pedra ($\emptyset$ 80 cm). Os detalhes construtivos referentes às técnicas descritas estão apresentadas na Figura 2. Na porção central e jusante do trecho de intervenção não foi projetado enrocamento de fundo e as margens foram estabilizadas com enrocamento vivo e foi realizado no topo do talude plantio de mudas arbustivas e herbáceas.

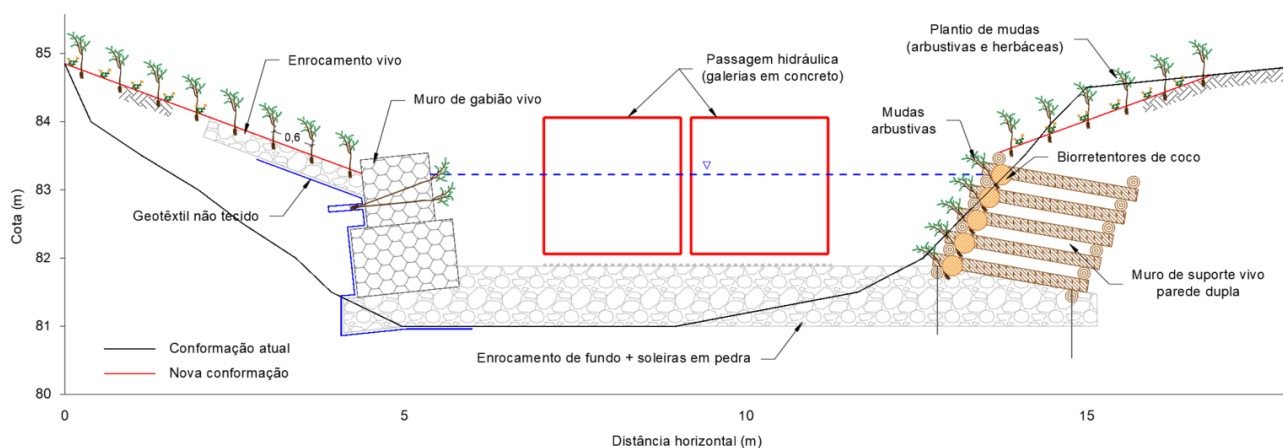


Figura 2 – Perfil tipo do projeto de Engenharia Natural implementado no Córrego Lagoão do Ouro no trecho de estudo (parte montante) (Sousa; Dewes; Sutili, 2024).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A execução da obra foi concluída em Dezembro de 2025 e de modo geral, até ao mês de Abril de 2026 verificou-se que a vegetação apresentou boas taxas de sobrevivência e desenvolvimento, conforme se pode observar na Figura 3. Não foram detectados processos erosivos, observando-se inclusive desenvolvimento de vegetação macrófita aquática na porção jusante do trecho de solo devido à redução da velocidade de fluxo na margem causada pelo aumento da rugosidade hidráulica.

Destaca-se a importância da adequada seleção das espécies vegetais a serem empregadas em intervenções de Engenharia Natural em taludes fluviais, considerando, sobretudo, características biotécnicas como porte, flexibilidade e tipo de sistema radicular. Nesse sentido, recomenda-se a utilização de espécies arbustivas, com elevada flexibilidade e sistemas radiculares densos e profundos. Por outro lado, árvores de grande porte nas margens podem aumentar a sobrecarga, transmitir esforços decorrentes da ação dos ventos e induzir turbilhonamento do escoamento, fatores que tendem a comprometer a estabilidade geotécnica dos taludes, devendo apenas ser utilizadas para recomposição da Área de Preservação Permanente afastadas da crista do talude fluvial.

Adicionalmente, a Engenharia Natural favoreceu o início do desenvolvimento de uma mata ciliar mais resiliente a impactos climáticos. As Áreas de Preservação Permanente desempenham papel fundamental ao fornecer uma ampla gama de funções e serviços ecossistêmicos essenciais. As zonas ripárias contribuem para a estabilização das margens, o controle de processos erosivos e da sedimentação (Moraes *et al.*, 2014; Rauch; Sutili; Hörbinger, 2014), atuam como barreiras naturais na filtragem de poluentes (Rieger *et al.*, 2014), oferecem habitats relevantes para a fauna silvestre (Viegas *et al.*, 2014) e promovem a conectividade ecológica entre fragmentos de habitat (Fremier *et al.*, 2015).



Figura 3 – Evolução da área de intervenção (vista de montante para jusante) entre Outubro de 2025 (início da obra) e fim de Abril de 2026 (5 meses após a intervenção).

A Engenharia Natural aplicada a rios urbanos constitui uma estratégia eficaz para a implementação de infraestrutura verde nas cidades, ao integrar soluções baseadas na natureza que promovem a estabilização de margens, a melhoria da qualidade da água, o aumento da biodiversidade e a regulação hidrológica, contribuindo para sistemas urbanos mais resilientes e sustentáveis.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As técnicas de Engenharia Natural mostraram-se tecnicamente eficientes para estabilizar e mitigar os processos erosivos nas margens e fundo do Córrego Lagoão do Ouro, apresentando resistência e resiliência às precipitações ocorridas até Abril de 2026. Além dos benefícios técnicos, as soluções implementadas trouxeram melhorias nas funções ecológicas e ambientais, com restabelecimento de vegetação autóctone e aumento da biodiversidade florística e faunística. Uma vez que as intervenções de Engenharia Natural têm eficiência técnica crescente com o passar do tempo, espera-se que as mesmas continuem a atender os critérios para os quais foram projetadas.

Em ações de restauro e conservação, principalmente em áreas ripárias, a mitigação dos impactos ambientais tem um papel fundamental e, por isso, se pode assumir que as soluções baseadas na natureza têm um valor intrínseco elevado, por serem obras com alto valor agregado, devido ao seu caráter ecológico e paisagístico.

Além disso, a revitalização de cursos de água em áreas urbanas assume crescente relevância no contexto da adaptação às mudanças climáticas. Intervenções que recuperam a dinâmica natural dos rios, ampliam áreas de inundação controlada e restabelecem a vegetação ciliar contribuem para a redução do risco de enchentes, a regulação térmica e o aumento da infiltração de água no solo. Dessa forma, tais ações não apenas reforçam a resiliência dos sistemas fluviais frente a eventos extremos mais frequentes e intensos, como também promovem maior segurança hídrica e qualidade de vida nas cidades.

REFERÊNCIAS

- ABEYSINGHA, N.; RAY, R. Rivers at risk, soil erosion in a changing climate: a comprehensive review. **Discover Soil**. v. 2. 2025
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; DE MORAES GONÇALVES, J. L.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**. v. 22, n. 6, p. 711–728. 2013
- BOOTH, D. B.; JACKSON, C. R. Urbanization of Aquatic Systems: Degradation Thresholds, Stormwater Detection, and the Limits of Mitigation. **Journal of the American Water Resources Association**. v. 33, n. 5, p. 1077–1090. 1997
- BRASIL. **Atlas Digital de Desastres no Brasil**. 2026. Disponível em: <http://atlasdigital.mdr.gov.br/>. acesso em: 19 abr. 2026
- CABRAL, J. J. da S. P.; SANTOS, C. C. R. L.; SILVA, D. B.; SILVA, S. R.; FILHO, J. A. A. de C. Urban stream syndrome at the hydrographic network in Recife city, Brazil. **Revista Brasileira de Gestão Urbana**. v. 17. 2025
- CHIN, A. Urban transformation of river landscapes in a global context. **Geomorphology**. v. 79, n. 3, 37th Binghamton Geomorphology Symposium, p. 460–487. 2006
- CNM. **Panorama dos desastres no Brasil 2013 a 2024**. Estudo técnico. Brasília: Confederação Nacional de Municípios. 2025
- COPPIN, N. J.; RICHARDS, I. G. (ORG.). **Use of Vegetation in Civil Engineering**. 2ª. London, UK: Construction Industry Research and Information Association (CIRIA). 2007
- DALMOLIN, R. S. D.; PEDRON, F. de A. Solos do município de Santa Maria. **Ciência & Ambiente**, v. 38, p. 59-77, 2009
- DEWES, J.; SOUSA, R.; KETTENHUBER, P.; SUTILI, F. Proteção físico-mecânica da base de uma encosta na margem do rio Uruguai com enrocamento vivo. **Enciclopédia Biosfera**. v. 15, n. 27, p. 9–19. 2018

- FREMIER, A. K.; KIPARSKY, M.; GMUR, S.; AYCRIGG, J.; CRAIG, R. K.; SVANCARA, L. K.; GOBLE, D. D.; COSENS, B.; DAVIS, F. W.; SCOTT, J. M. A riparian conservation network for ecological resilience. **Biological Conservation**. v. 191, p. 29–37. 2015
- GREGORY, K. J. The human role in changing river channels. **Geomorphology**. v. 79, n. 3, 37th Binghamton Geomorphology Symposium, p. 172–191. 2006
- GURNELL, A. M.; BERTOLDI, W.; CORENBLIT, D. Changing river channels: The roles of hydrological processes, plants and pioneer fluvial landforms in humid temperate, mixed load, gravel bed rivers. **Earth-Science Reviews**. v. 111, n. 1, p. 129–141. 2012
- HELDWEIN, A. B.; BURIOL, G. A.; STRECK, N. A. O clima de Santa Maria. **Ciência & Ambiente**, v. 38, p. 43–58, 2009
- HENSHAW, A. J.; THORNE, C. R.; CLIFFORD, N. J. Identifying causes and controls of river bank erosion in a British upland catchment. **CATENA**. v. 100, p. 107–119. 2013
- HÖRBINGER, S. **Decision-Making Framework to Support Green-Blue Infrastructure Multifunctionality**. Viena, Austria: University of Natural Resources and Life Sciences. 2021
- KETTENHUBER, P. L. W.; DOS SANTOS SOUSA, R.; DEWES, J. J.; RAUCH, H. P.; SUTILI, F. J.; HÖRBINGER, S. Performance assessment of a soil and water bioengineering work on the basis of the flora development and its associated ecosystem processes. **Ecological Engineering**. v. 186, p. 106840. 2023
- LEOPOLD, L. B. **Hydrology for urban land planning - A guidebook on the hydrologic effects of urban land use**. Washington: U.S. Geological Survey. 1968
- LÖBLER, C. A.; SCCOTI, A. A. V.; WERLANG, M. K. Contribuição à delimitação dos biomas Pampa e Mata Atlântica no município de Santa Maria, RS. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental Santa Maria**, v. 19, n. 2, p. 1250–1257, 2015
- MARTINS, S. G.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; FERREIRA, M. M.; FONSECA, S.; MARQUES, J. J. G. S. M. Perdas de solo e água por erosão hídrica em sistemas florestais na região de Aracruz (ES). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 27, p. 395–403. 2003
- MORAES, A. B.; WILHELM, A. E.; BOELTER, T.; STENERT, C.; SCHULZ, U. H.; MALTCHIK, L. Reduced riparian zone width compromises aquatic macroinvertebrate communities in streams of southern Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**. v. 186, n. 11, p. 7063–7074. 2014
- OWENS, P. N.; BATALLA, R. J.; COLLINS, A. J.; GOMEZ, B.; HICKS, D. M.; HOROWITZ, A. J.; KONDOLF, G. M.; MARDEN, M.; PAGE, M. J.; PEACOCK, D. H.; PETTICREW, E. L.; SALOMONS, W.; TRUSTRUM, N. A. Fine-grained sediment in river systems: environmental significance and management issues. **River Research and Applications**. v. 21, n. 7, p. 693–717. 2005
- PALMER, M. A.; MENNINGER, H. L.; BERNHARDT, E. River restoration, habitat heterogeneity and biodiversity: a failure of theory or practice? **Freshwater Biology**. v. 55, n. s1, p. 205–222. 2010
- PAUL, M. J.; MEYER, J. L. Streams in the Urban Landscape. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**. v. 32, n. Volume 32, 2001, p. 333–365. 2001
- PIMENTEL, D.; HARVEY, C.; RESOSUDARMO, P.; SINCLAIR, K.; KURZ, D.; MCNAIR, M.; CRIST, S.; SHPRITZ, L.; FITTON, L.; SAFFOURI, R.; BLAIR, R. Environmental and Economic Costs of Soil Erosion and Conservation Benefits. **Science**. v. 267, n. 5201, p. 1117–1123. 1995

- RAUCH, H. P.; SUTILI, F.; HÖRBINGER, S. Installation of a Riparian Forest by Means of Soil Bio Engineering Techniques - Monitoring Results from a River Restoration Work in Southern Brazil. **Open Journal of Forestry**. v. 04, n. 02, p. 161–169. 2014
- RIEGER, I.; LANG, F.; KOWARIK, I.; CIERJACKS, A. The interplay of sedimentation and carbon accretion in riparian forests. **Geomorphology**. v. 214, p. 157–167. 2014
- SALO, J.; KALLIOLA, R.; HÄKKINEN, I.; MÄKINEN, Y.; NIEMELÄ, P.; PUHAKKA, M.; COLEY, P. D. River dynamics and the diversity of Amazon lowland forest. **Nature**. v. 322, n. 6076, p. 254–258. 1986
- SCHIECHTL, H. **Bioengineering for land reclamation and conservation**. Edmonton, Canada: Department of the Environment, Government of Alberta. University of Alberta Press. 1980
- SEKELY, A. C.; MULLA, D. J.; BAUER, D. W. Streambank slumping and its contribution to the phosphorus and suspended sediment loads of the Blue Earth River, Minnesota. **Journal of Soil and Water Conservation**. v. 57, n. 5, p. 243–250. 2002
- SHUSTER, W. D.; BONTA, J.; THURSTON, H.; WARNEMUENDE, E.; SMITH, D. R. Impacts of impervious surface on watershed hydrology: A review. **Urban Water Journal**. v. 2, n. 4, p. 263–275. 2005
- SOUSA, R. S. **Metodologia para especificação de plantas com potencial biotécnico em Engenharia Natural**. (Dissertação de Mestrado). Santa Maria, Brasil: Universidade Federal de Santa Maria. 2015
- SOUSA, R. S.; DEWES, J. J.; MAFFRA, C. R. B.; SUTILI, F. J. Economic viability of streambank stabilization work with nature-based solutions applied to a pipeline stream crossing in South America. **International Journal of Development Research**. v. 11, n. 5, p. 46864–46868. 2021
- SOUSA, R. S.; DEWES, J. J.; SUTILI, F. J. **Projeto Executivo de estabilização e revegetação de trecho da Sanga Lagoão D'Ouro com técnicas de Engenharia Natural**. Santa Maria: Laboratório de Engenharia Natural - UFSM. 2024
- SOUSA, R. S.; MAFFRA, C. R. B.; DEWES, J. J.; PINHEIRO, R. J. B.; SUTILI, F. J. Engenharia natural: o uso e avaliação de plantas de uma perspectiva de engenharia. **Scientia Vitae**. v. 9, n. 27, p. 1–13. 2020
- STOVER, S. C.; MONTGOMERY, D. R. Channel change and flooding, Skokomish River, Washington. **Journal of Hydrology**. v. 243, n. 3, p. 272–286. 2001
- UN WORLD WATER ASSESSMENT PROGRAMME (ORG.). **The United Nations World Water Development Report 2018: Nature-Based Solutions for Water**. Paris: UNESCO. 2018. p. 139
- VIEGAS, G.; STENERT, C.; SCHULZ, U. H.; MALTCHIK, L. Dung beetle communities as biological indicators of riparian forest widths in southern Brazil. **Ecological Indicators**. v. 36, p. 703–710. 2014
- WILSON, C. G.; KUHNLE, R. A.; BOSCH, D. D.; STEINER, J. L.; STARKS, P. J.; TOMER, M. D.; WILSON, G. V. Quantifying relative contributions from sediment sources in Conservation Effects Assessment Project watersheds. **Journal of Soil and Water Conservation**. v. 63, n. 6, p. 523–532. 2008
- YANG, J.; JIA, D.; ZHAI, B.; CHEN, X.; WANG, J. Bank erosion under the impacts of fluvial erosion, frost heaving/freezing-thaw process of rivers in seasonal frozen regions. **Heliyon**. v. 10, n. 17, p. e37448. 2024