

IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS SUSCETÍVEIS À EROSÃO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO ARROIO SÃO LOURENÇO, SÃO LOURENÇO DO SUL - RS.

Vinícius Bartz Schwanz¹

Lucas Pires Ferreira²

Gracieli Trentin³

Edvania Aparecida Corrêa Alves⁴

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi realizar uma análise de cunho quali-quantitativo das perdas de solo ocorridas na Bacia Hidrográfica do Arroio São Lourenço, localizada no Município de São Lourenço do Sul - RS. Para tal análise foi utilizada a *Universal Soil Loss Equation (USLE)*, uma equação que utiliza levantamentos de dados físicos e antrópicos que são posteriormente cruzados em ambiente SIG e possibilitam estimar as perdas de solo. A partir da análise, constatou-se que 16,95% da área apresenta as classes de perda de solo Moderada, Alta e Muito Alta, as quais representam respectivamente os valores percentuais de 12,23%, 3,81% e 0,90% enquanto os demais 83,03% da área registra as classes de Nenhuma ou Ligeira perda de solo. A diferenciação da morfogênese das duas unidades de relevo presentes na área de estudo, O Planalto Sul-riograndense e a Planície Costeira, influenciam nos resultados obtidos quanto às classes de perda de solo. O planalto representa as áreas mais frágeis à erosão enquanto a planície representa as áreas de baixa fragilidade. Tendo em vista as condições físico naturais da Bacia Hidrográfica do Arroio São Lourenço, a qual apresenta relevo predominantemente ondulado a forte ondulado e solos como Neossolos Regolíticos, Argissolos Vermelho e Planossolos Háplicos sobre a influência de intensos usos agro-silvo-pastoris, a devida atenção deve ser dada às alterações de cobertura e usos da terra da bacia. Dado os fatos elucidados, torna-se importante a implementação e articulação a partir do planejamento ambiental, com a adoção de estratégias que visem manejos conservacionistas e auxiliem na mitigação dos impactos e o uso sustentável da terra.

Palavras-chave: USLE, Solo, Modelagem, Gestão territorial, Planejamento ambiental.

ABSTRACT

The objective of this study was to perform a qualitative-quantitative analysis of soil loss in the São Lourenço Stream Watershed, located in the municipality of São Lourenço do Sul - RS. For this analysis, the *Universal Soil Loss Equation (USLE)* was used, an equation that utilizes surveys of physical and anthropic data, which are later cross-referenced in a GIS environment to estimate soil losses. From the

¹ Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Pelotas - viniciusbschwanz@gmail.com

² Graduando em Geografia da Universidade Federal de Pelotas - lucasxicara@gmail.com

³ Professora Doutora da Universidade Federal do Rio Grande - gracieli.trentin@gmail.com

⁴ Professora Doutora da Universidade Federal de Pelotas - edvania.correa86@gmail.com



analysis, it was observed that 16.95% of the area exhibits Moderate, High, and Very High soil loss classes, representing respective percentage values of 12.23%, 3.81%, and 0.90%, while the remaining 83.03% of the area records classes of No or Slight soil loss. The differentiation in the morphogenesis of the two relief units present in the study area, the Southern Rio Grande Plateau and the Coastal Plain, influences the results obtained regarding soil loss classes. The plateau represents the areas most vulnerable to erosion, while the plain represents low fragility areas. Considering the natural physical conditions of the São Lourenço Stream Watershed, which has predominantly undulating to strongly undulating relief and soils such as Regolithic Neosols, Red Argisols, and Haplic Planosols under the influence of intensive agro-silvopastoral uses, due attention should be given to changes in land cover and land use in the watershed. Given the elucidated facts, it becomes important to implement and coordinate environmental planning, adopting strategies aimed at conservation management to assist in mitigating impacts and promoting sustainable land use.

Keywords: USLE, Soil, Modeling, Land Management, Environmental Planning.

INTRODUÇÃO

O sistema natural integrado denominado Biosfera levou centenas de milhões de anos para produzir uma fina camada de partículas intemperizadas, assentadas sobre a litosfera denominada de solo. Quando o mesmo é exposto às intempéries do tempo, os agentes erosivos conseguem de forma acelerada, no contexto de tempo histórico, arrasar toda esta construção do tempo geológico, não somente alterando as dinâmicas de onde este solo é removido, mas também por onde o mesmo é remobilizado e depositado (GUERRA; BOTELHO, 1996).

A erosão é um fenômeno natural e toda superfície terrestre está suscetível à ocorrência deste processo, que se caracteriza como o desgaste e perda de solo de uma determinada área, compreendendo o desprendimento, o arraste e a deposição de partículas do solo (PIRES; SOUZA, 2013). É de extrema importância a identificação de locais com suscetibilidade a esses processos que são catalisados pelo fator declividade e intensificados pela ação antrópica, sendo as áreas rurais são as mais afetadas (GUERRA; JORGE, 2017). A problemática da erosão surge quando os níveis extrapolam os índices naturais, tendo gênese na implementação de usos intensivos sobre o solo sem a adoção dos devidos manejos conservacionistas.

Para tal, alguns modelos matemáticos mostram-se eficazes cujas principais vantagens referem-se à obtenção de possíveis cenários. Um exemplo é a *Universal Soil Loss Equation* (USLE) (WISCHMEIER e SMITH, 1978), um modelo empírico para estimar a perda média anual de solo via erosão hídrica, considerando fatores naturais e antrópicos, os quais podem ser estimados e espacializados a partir de ambientes de Sistema de Informação Geográfica (SIG) (BARBOSA, 2016), que se tornam poderosas ferramentas para a identificação, análise e resolução de problemáticas ambientais.

A degradação do solo por erosão hídrica é uma das mais importantes ameaças à integridade dos ecossistemas, por este fato tornou-se imprescindível a criação e implementação

de metodologias para o mapeamento e modelagem da erosão do solo (MACIEL, 2000). Durante a década de 1940 nos Estados Unidos, houve um crescente interesse em abordar os problemas de erosão do solo e degradação da terra, quando surgiram várias equações e modelos para estimar a perda de solo devido à erosão hídrica (ALEWELL *et al.*, 2019).

Durante a década de 1950, o Serviço de Conservação do Solo (SCS) do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos da América (USDA) aprimorou sua abordagem e desenvolveu o método da USLE, que expandiu os fatores considerados para calcular a perda de solo, incluindo a erosividade da chuva, o fator de comprimento e inclinação de vertentes, o fator de cobertura vegetal e o fator de práticas de conservação. A equação foi publicada por Wischmeier e Smith (1965) e representou um marco importante na conservação do solo.

A USLE é uma equação que estima as perdas de solo através da captura de parâmetros mensuráveis (solos, chuva, declividade, coberturas e usos, manejos conservacionistas) e aplicação dos mesmos sobre um algoritmo matemático que expressa quantitativamente essa perda em uma dada área. Além da USLE várias outras equações e modelos foram desenvolvidos, incorporando avanços na compreensão da erosão do solo, dados de campo e tecnologia de modelagem (KINNELL; RISSE 1998).

Essas equações e modelos desempenham um papel fundamental no planejamento territorial. Elas forneceram ferramentas para avaliar os riscos de erosão do solo, planejar medidas de controle de erosão e promover práticas agrícolas sustentáveis. A USLE, em particular, teve um impacto significativo na conscientização sobre a importância da conservação do solo e no desenvolvimento de políticas de conservação (BARBOSA *et al.*, 2015).

Conforme Barbosa *et al.* (2015), apesar de se tratar de uma metodologia de identificação e predição de perdas de solo desenvolvida na década de 1960, ainda hoje a USLE se destaca enquanto ferramenta dinâmica e essencial no diagnóstico e combate à perda de solo, incentivando a adoção de práticas de manejo sustentáveis e a preservação dos recursos naturais para as gerações futuras. Ainda elucida sobre a aplicação deste modelo matemático aos *softwares* de código fonte livre e de imagens de satélite/aerofotogramétricas também gratuitas, ao passo que os gastos para realização dos estudos são consideravelmente reduzidos.

Frente a isso, alguns autores utilizaram o método em seus estudos. Souza *et al.* (2019) realizaram o zoneamento da vulnerabilidade ambiental (ZVA) da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Preto, São Carlos -SP. Para tal utilizou o método da Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados (AEFANA) apoiado em índices de dissecação do

relevo e classes de declividades em comparação às expectativas de perda de solo obtidas através da USLE. Esta comparação foi realizada com o objetivo de verificar a possibilidade da utilização da mesma como método adicional para a determinação de ZVA em bacias hidrográficas. Como resultado principal este estudo aferiu que existe baixa compatibilidade entre a AEFANA e USLE, porém a influência da topografia somada aos usos antrópicos da terra permitiu que a equação determinasse fragilidades não indicadas pelo zoneamento da AEFANA sobretudo nas cabeceiras de drenagem.

A USLE ainda pode ser utilizada a partir do zoneamento de áreas prioritárias para a conservação dos solos e na formulação de um modelo de gestão sustentável em áreas de interesse, como a de geoparques. A Organização das Nações Unidas para Educação, Ciência e Cultura (UNESCO) define geoparques como “áreas geográficas únicas e unificadas, onde sítios e paisagens de importância geológica internacional são geridos com um conceito holístico de proteção, educação e desenvolvimento sustentável” (UNESCO, 2023). Visto isso, em seu estudo, Nascimento e Silva (2023) relatam que a aplicação da USLE e de modelos hidrossedimentológicos possibilitaram a identificação e zoneamento das áreas com maior susceptibilidade aos processos erosivos do território Seridó Geoparque Mundial da UNESCO, bem como a proposição de ações mitigadoras a fim de controlar o avanço e intensificação dos processos erosivos.

Neste contexto, a área de estudo desta pesquisa compreende a Bacia Hidrográfica do Arroio São Lourenço, localizada no município de São Lourenço do Sul, Rio Grande do Sul, abrangendo uma área de 195km². Ribeiro (2015) descreve as relações geológicas e geomorfológicas do município como bem singulares. São Lourenço do Sul está assentado sobre uma complexa área onde há a conjunção de duas das quatro grandes unidades morfoesculturais do relevo do estado: o embasamento cristalino chamado de Planalto Sul-rio-grandense (Escudo Cristalino) e a área de planície nomeada de Planície Costeira do Rio Grande do Sul (PCRS) (VILLOCK; TOMAZELLI, 1995).

A manifestação do embasamento cristalino do município se pronuncia em duas unidades geológicas distintas: o Complexo Granítico-Gnáissico Pinheiro Machado e a Suíte Granítica Dom Feliciano (CPRM, 2006). Respectivamente um apresenta granitóides cinzentos de granulação similar e porfíricos compostos predominantemente por granodioritos; a outra constitui o Batólito Pelotas, sendo uma unidade associada a eventos de vulcanismo ácido (RIBEIRO, 2015).

O Planalto Sul-rio-grandense pronuncia no máximo 440 metros em comparação ao nível do mar, porém em um passado distante no contexto do tempo geológico estas áreas puderam registrar altitudes acima dos 1000 metros. Embasamentos cristalinos têm idade avançada, são formações longevas que remontam à Era pré-Cambriana. Os granitos que ocorrem sobre esta porção da paisagem apresentam um elevado nível de resistência às intempéries do tempo dado seu processo de formação (rocha ígnea plutônica). O escudo cristalino naturalmente apresenta relevos com elevados declives, dada a constituição (dureza) das rochas que o formam (VILLOCK; TOMAZELLI, 1995; CPRM, 2006).

Atualmente, apresentam-se áreas rebaixadas quando comparado a sua configuração original, devido à exposição por sucessivas eras aos processos erosivos remodeladores da paisagem, é uma unidade antiga e que apesar de todo este tempo de exposição, ainda apresenta relevo acidentado (CPRM, 2006). A zona do Escudo que integra parte da região que inclui a bacia hidrográfica é uma porção da paisagem que naturalmente sofre um processo de dissecação do relevo onde seus sedimentos são remobilizados e alimentam a planície costeira (CHRISTOFOLETTI, 1981).

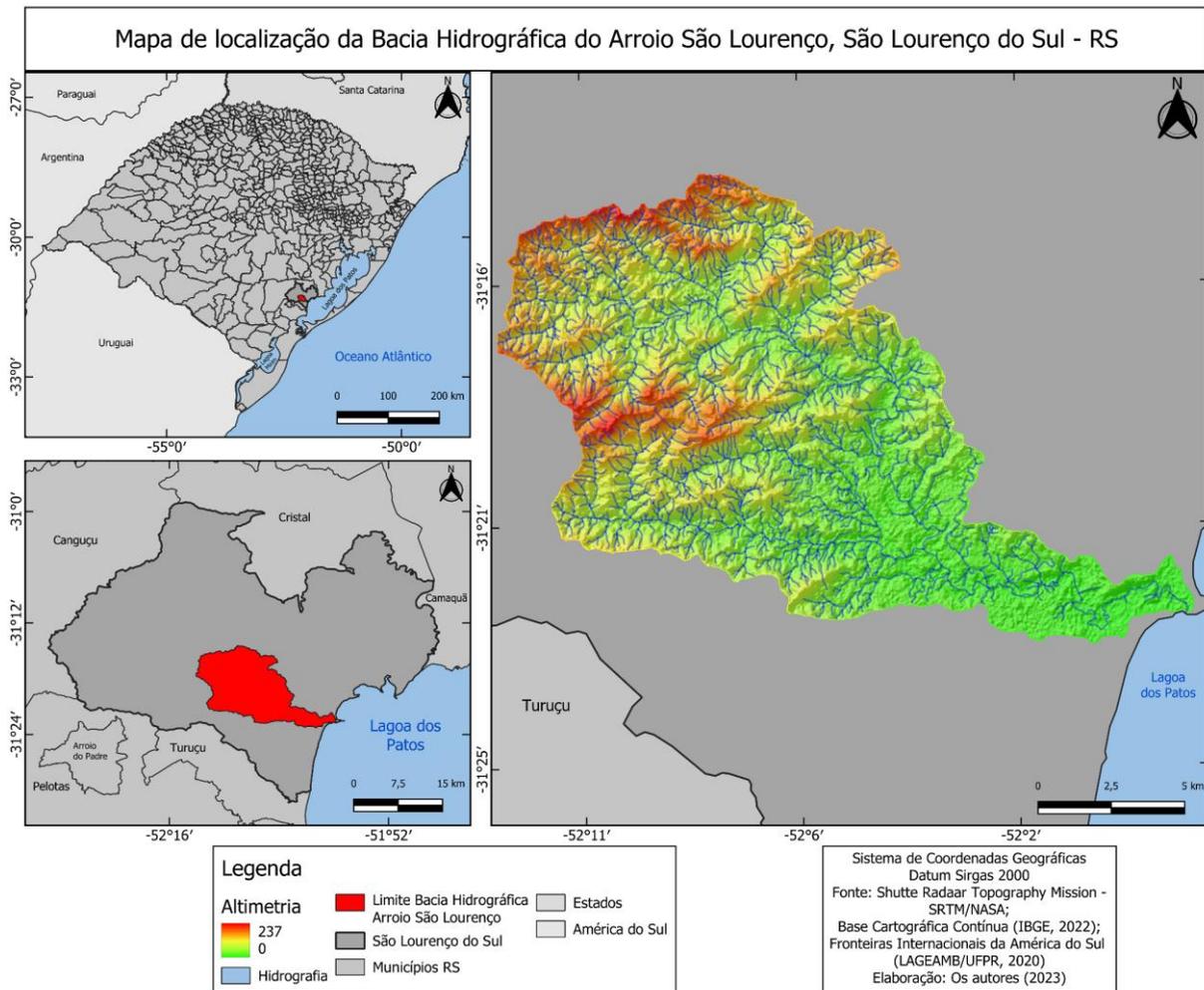
Em relação às zonas cratônicas, a planície apresenta topografia mais suave e extensões relativamente planas com altitudes médias entre 0 e 20 metros (SUERTEGARAY, 2012) conforme a Figura 1. A PCRS tem sua gênese ligada aos distintos processos deposicionais aluvio-coluvionares-oceânicos. As quatro grandes eras glaciais foram eventos de extinção em massa ocorridos durante os períodos Pleistoceno (2,5mi – 11,7m) e Holoceno (11m - atual) onde grande percentual da água da atmosfera ficou retida nos pólos (CAPUTO, 1984), evento este que foi responsável por períodos de máximos transgressivos e regressivos do nível do mar.

Estes períodos de variação mínima e máxima dos oceanos aliados à duradouros processos erosivos (as áreas do embasamento cristalino foram prolongadamente arrasadas e os sedimentos foram transportados por corpos hídricos e depositados nas porções mais rebaixadas do relevo) juntamente dos agentes morfológicos ligados à circulação das águas (fluviais, flúvio-oceânicas, flúvio-lacustres, ondas, marés e correntes marinhas) (MEIRELES *et al.*, 2005; CHRISTOFOLETTI, 1981) foram agentes ativos na formação de feições geológicas presentes na PCRS identificados por Villock e Tomazelli (1992) e nomeadas como Sistemas Laguna Barreiras e Sistema de Leques Aluviais.

Estes foram os processos morfogenéticos responsáveis pela construção e organização de um relevo majoritariamente plano, com elevações máximas de vinte metros em relação ao nível do oceano e a ocorrência de banhados e grandes áreas úmidas (SUERTEGARAY, 2012).



Figura 1- Mapa de localização da Bacia Hidrográfica do Arroio São Lourenço.



Fonte: Os autores (2023).

Marth (2012) elaborou um mapeamento das áreas de fragilidade ambiental da Bacia Hidrográfica do Arroio Santa Isabel, localizada entre os municípios de Cristal e São Lourenço do Sul. Prestes (2018) estimou as perdas de solo via erosão hídrica através de um modelo matemático e relacionou estas perdas de solo aos usos inadequados do solo em áreas próximas a São Lourenço do Sul. Sampaio, (2022) avaliou a dinâmica das perdas de solo registradas no alto curso do Arroio Quilombo bem como a adequação dos usos dessas terras no período de 2010 a 2016 frente aos índices de perda consideráveis toleráveis para a área de estudo e as versões do Código Florestal que se encontravam vigente em cada cenário além de ter proposto medidas mitigadoras aos processos erosivos. Lemos (2020) estimou os valores considerados toleráveis das perdas de solos na porção do alto curso do Arroio Quilombo em vista da adequabilidade dos usos da terra e o uso sustentável dos solos da região.

Os autores, mesmo que tenham realizado seus trabalhos em uma localidade distinta, podem ser citados no presente trabalho uma vez que a Bacia Hidrográfica do Alto Curso do Arroio Quilombo situada entre Pelotas e Canguçu é área limítrofe ao município de São Lourenço do Sul. O alto curso do Arroio Quilombo apresenta fisionomias similares às da Bacia do Arroio São Lourenço uma vez que ambas se encontram em áreas de compartimentação entre o Planalto Sul-rio-grandense e a Planície Costeira do Rio Grande do Sul e passaram pelo mesmo processo histórico de ocupação das terras por colonos italianos e alemães, originando pequenas propriedades rurais de produção familiar com o uso da terra realizado de forma dinâmica e intensa.

As produções científicas supracitadas tangenciam o presente trabalho uma vez que versam sobre questões pertinentes às perdas de solo, alteração das coberturas e usos da terra e sua correlação com a inadequabilidade dos usos da terra bem como a utilização de modelos matemáticos (equações) para estimar as perdas de solo. Estes diagnósticos sustentam prognósticos que subsidiam a construção de propostas de intervenção e adequação dos usos dos solos e a proposição de manejos conservacionistas sobre os mesmos. Desta forma, o objetivo do presente trabalho compreendeu a identificação das áreas suscetíveis à erosão na Bacia Hidrográfica do Arroio São Lourenço visando propor medidas futuras para a mitigação de danos gerados pela erosão dos solos.

METODOLOGIA

Para a aplicação dos procedimentos metodológicos, em um primeiro momento realizou-se um levantamento bibliográfico referente ao método utilizado bem como o levantamento cartográfico dos materiais utilizados.

Para o desenvolvimento dos procedimentos, foi utilizado o *software* QGIS 3.22, e o *software* Microsoft Excel (2010). A Tabela 1 indica os materiais utilizados para a construção da presente pesquisa.

Tabela 1 - Conjunto de dados utilizados no trabalho e suas devidas referências (continua).

Dado	Referência	Escala/Resolução
Limites Políticos-Administrativos	IBGE,2021	1:250.000
Modelo Digital de Elevação (MDE)	SRTM - NASA	30 metros
Solos	CUNHA <i>et al</i> , 1996	1:100.000



Usos e coberturas	HUBNER; TRENTIN, 2017	5 metros
Estações Pluviométricas e cálculos de erosividade	PRESTES, 2018	30 metros

Fonte: Os Autores (2023).

Foi empregado o modelo USLE, que estima a perda de solo de uma dada área, utilizando a seguinte equação:

$$A = R * K * LS * C * P$$

Onde:

A – é a estimativa de solo perdido por erosão ($\text{ton. ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$);

R – é o fator erosividade das chuvas ($\text{MJ.mm. ha}^{-1} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$);

K – é o fator erodibilidade dos solos ($\text{t.h.MJ}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$);

LS - é o fator do relevo que representa o comprimento das vertentes e a declividade;

C - é o fator de uso e cobertura das terras;

P - é o fator referente ao manejo empregado no solo (práticas conservacionistas).

O fator R ou fator erosividade das chuvas é um índice que compõe a USLE e expressa numericamente a capacidade das chuvas em erodir o solo de determinado recorte espacial (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2010). A água das chuvas ao precipitar-se da atmosfera sobre a crosta terrestre adquire uma quantidade notável de energia cinética dada a ação da gravidade. Solos totalmente ou parcialmente desnudos são suscetíveis à erosão das chuvas, visto a natureza mecânica, onde as gotas precipitadas chocam-se contra o solo realizando o salpicamento que desagrega e desorganiza a camada superficial do solo. O escoamento superficial das águas encarrega-se de transportar as partículas desagregadas depositando-as nas porções mais rebaixadas do relevo ou ainda nos corpos hídricos. Isto caracteriza-se não apenas um, mas dois impactos: a perda e remobilização dos solos e o assoreamento de canais fluviais (QUIQUEREZ, 2008).

O fator K, considerado a erodibilidade do solo, estima como cada unidade pedológica é passível de ser erodida baseado em sua composição física (textura, estrutura, porosidade e profundidade) e química (matéria orgânica e presença de nutrientes). Assim, a erodibilidade depende unicamente da composição dos solos e de sua característica de agregação frente ao processo de salpicamento pelas gotas da chuva (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2010). O fator LS ou fator de comprimento da vertente e grau do declive da mesma indica como o relevo

pode intensificar a erosão causada pelas chuvas. O mesmo compreende dois fatores que devem ser levantados, em um primeiro momento de forma distinta, e posteriormente cruzando-os para a aplicação da USLE. O L é o comprimento do declive em metros e S o grau do declive em porcentagem (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2010).

O fator C, uso e coberturas da terra, é uma relação expressa pela influência que a implementação de culturas e manejos tem sobre as perdas de solo de uma determinada área. Este fator mede o efeito combinado das relações das variáveis de uso e cobertura como a cobertura vegetal, a sequência de cultura e a efetividade do manejo implementado sobre a área cultivada, bem como o manejo das terras. O fator P, considerado o manejo conservacionista, estabelece uma relação entre a previsão das perdas de solo esperadas sobre uma área onde há algum tipo de manejo conservacionista em contrapartida com as perdas de solo das áreas de plantio que não receberam tais manejos conservacionistas. Ele quantifica o efeito de práticas conservacionistas sobre as perdas de solo quando se reduz a energia que a água ganha nos declives bem como o aumento da taxa de infiltração de água no solo (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2010).

Diante da compreensão dos fatores, foram realizados procedimentos, tanto no tratamento dos dados de entrada quanto no produto final. Para o fator R, utilizou-se um conjunto de dados de estações pluviométricas obtidas a partir de Prestes (2018). Estas estações possuíam o valor de precipitação para a localização exata das mesmas, ou seja, compreendia feições pontuais ao longo da área. Visto isso, foi realizado o procedimento de interpolação destes dados para estimar o valor de precipitação para toda a área de estudo. Para isso, utilizou-se o interpolador Ponderação do Inverso da Distância (IDW).

Para o fator K, tomou-se como base os parâmetros de erodibilidade para os solos identificados na área de estudo. A determinação destes parâmetros seguiu o levantamento de Sampaio (2022) (Tabela 2), onde o mesmo, a partir de referências, identificou o valor k para cada tipo de solo em um município limítrofe da área de estudo, o município de Pelotas. Assim, utilizou-se a tabela de atributos para realizar a associação dos valores com as tipologias de solos. Posterior a isso, o dado vetorial foi transformado em um dado matricial.



Tabela 2 – Valores atribuídos ao fator K.

Unidade de solo	Referência	Valores de K t.ha.h/há.MJ.mm
Neossolo Litólico	Sampaio e Alves (2021)	0,044
Neossolo Regolítico	Sampaio e Alves (2021)	0,049
Argissolo Bruno-Acinzentado	Nachtigall et al (2020)	0,035
Planossolo	Nachtigall et al (2020)	0,02
Espodossolo	Nachtigall et al (2020)	0,01
Vertissolo Háplico	Nachtigall et al (2020)	0,002
Neossolo Quartzarênico	Donzeli et al (1992)	0,017
Gleissolo	Nachtigall et al (2020)	0,081
Cambissolo	Donzeli et al (1992)	0,033
Argissolo Vermelho-Amarelo	Nachtigall et al (2020)	0,030

Fonte: Alves (2021).

Já o fator LS foi obtido a partir da ferramenta *r.watershed* do *software* QGIS. Para gerar o produto, adicionou-se o modelo digital de elevação, obtendo-se assim de forma automática, o produto final. O fator C e o fator P tomaram como base o mesmo procedimento. A partir do dado de uso e cobertura da terra, realizaram-se ponderações para cada classe conforme o levantamento de Sampaio (2022), onde o autor identificou o valor referente à taxa de perda de solo durante determinadas culturas (fator C). A Tabela 3 demonstra estes valores.

Tabela 3 - Valores atribuídos ao fator C.

Classe de cobertura e uso da terra	Uso e manejo correspondente	Referência	Valores de C
Corpo d'água continental	Corpos d'água	Bera (2017)	0
Cobertura florestal	Floresta nativa	Silva et al. (2016)	0,003
Campestre	Cobertura nativa (Bioma Pampa)	Oliveira; Nearing; Wendland (2015)	0,01
Silvicultura	Eucalipto	Silva et al. (2016)	0,0242
Pastagem	Pastagem degradada	Silva et al. (2017)	0,05
Cultura permanente	Plantação de frutas	Carrasco-Letelier; Beretta- Blanco (2017)	0,105
Cultura temporária	Milho com diversos manejos	Oliveira; Nearing; Wendland (2015)	0,25
Área descoberta	Solo exposto	Silva et al. (2017)	1

Fonte: Sampaio (2022).

Para o fator P, utilizou-se como base o levantamento de Sampaio e Alves (2021) conforme demonstra a Tabela 4.

Tabela 4 - Valores atribuídos ao fator P.

Cobertura/Prática Conservacionista	Referência	Valores de P
Plantio em contorno	Bertoni e Lombardi Neto (2010)	0,5
Solo exposto	Cunha e Silva et al (2017)	1
Reflorestamento de eucalipto	Cunha e Silva et al (2017)	1
Pastagem nativa	Cunha e Silva et al (2017)	1
Pastagem degradada	Cunha e Silva et al (2017)	1
Corpos d'água	Cunha e Silva et al (2017)	1

Fonte: Sampaio e Alves (2021).

Desta forma, para realizar a ponderação de ambos os fatores, em um primeiro momento foi realizada a transformação do dado matricial de uso e cobertura para um dado vetorial. Isto permitiu a utilização da tabela de atributos para a associação de cada valor com cada classe do dado de uso e cobertura da terra. Com os valores associados, o produto vetorial foi transformado novamente em um dado matricial, para posterior álgebra de mapas.

Com todos os dados já tratados, foi aplicada a equação ($R * K * LS * C * P$) na *calculadora raster*, onde o produto final indica a perda de solo (A) para a área de bacia. Após o resultado da equação, foi realizada uma classificação do produto seguindo as classes estabelecidas pela Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO) (1967), sendo elas: Nenhuma ou Ligeira, Moderada, Alta e Muito alta perda de solo.

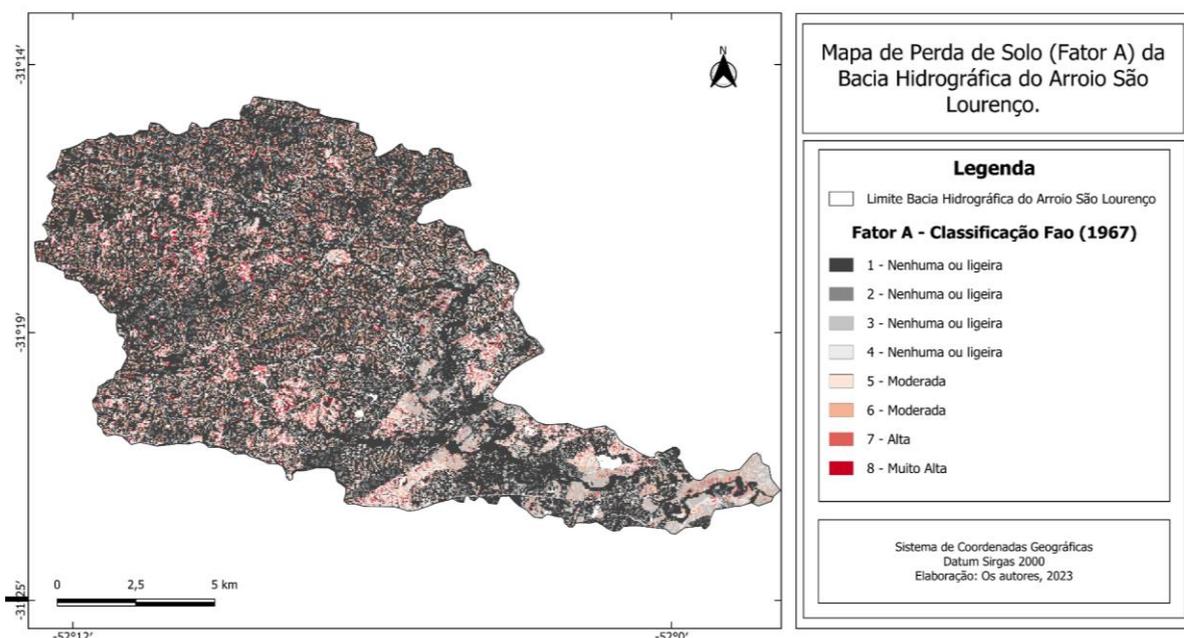
RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir dos procedimentos metodológicos apresentados, foi obtido o produto que representa a perda de solo para a área de estudo (Figura 2). Ao analisar o produto, verifica-se uma heterogeneidade das classes com maiores concentrações de perda de solo no alto e médio curso da bacia, onde verificam-se pequenos fragmentos distribuídos pela área. No baixo curso, evidencia-se uma maior homogeneidade, com grandes fragmentos das maiores classes de perda de solo. Isto está relacionado com as distintas dinâmicas de usos presentes na área de estudo, que se caracterizam no alto e médio curso, por pequenas propriedades familiares com culturas

diversificadas, enquanto no baixo curso, ocorre um predomínio de grandes propriedades baseadas na monocultura.

Em termos quantitativos, observa-se que a área de estudo detém 16,95% com áreas que possuem classes Moderadas ($10-50 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$), Altas ($50-200 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$) e Muito altas ($>200 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$), tendo valores em porcentagem respectivamente de 12,23%, 3,81% e 0,90%. Os demais 83,05% da área de estudo constitui as classes de nenhuma ou ligeira perda de solo.

Figura 2: Mapa de perda de solo para a Bacia Hidrográfica do Arroio São Lourenço.



Fonte: Os autores (2023).

Conforme o potencial natural da paisagem, os índices mais elevados de erosão nas bacias hidrográficas tendem a ser mais intensos nas porções do alto e médio curso, principalmente devido às características topográficas mais acentuadas presentes nas áreas de maior altitude. Essas áreas, situadas nas partes mais elevadas do relevo, muitas vezes apresentam declives significativos, o que torna o processo de erosão mais pronunciado.

Ferreira *et al.* (2023) e Sampaio (2022) apontam a ocorrência e espacialização dos usos sobre as unidades Planalto e Planície no contexto da Serra dos Tapes. Atualmente, sobre a área de estudo há uma predominância de fisionomias antrópicas fruto do processo histórico de ocupação, remobilização e instauração de novos usos sobre o solo. Sobre a área da bacia predominam usos agropastoris com a presença de áreas de pastagens e de cultivo de culturas temporárias como a soja e o arroz.

Na zona do Planalto, as unidades pedológicas são mais propícias para a realização de atividades agrícolas diversificadas como culturas temporárias com soja e fumo e permanentes como o pêssego, além de pastagens para criação de gado. Uma parcela dessa região é dedicada à silvicultura, seja no plantio de espécies exóticas visando à produção de madeira. Já na planície, os solos alagados classificados em sua maioria como planossolos são ideais para a rizicultura, onde arrozais são presença marcante na paisagem. A proximidade com o litoral favorece a pesca e a aquicultura, incluindo a criação de camarões em viveiros. Além disso, a beleza natural das praias e áreas litorâneas impulsiona o turismo, abrangendo atividades de lazer, ecoturismo e turismo rural. Parte dessa região é reservada à preservação de ecossistemas costeiros (SALAMONI *et al.*, 2021; SAMPAIO, 2022; FERREIRA *et al.*, 2023).

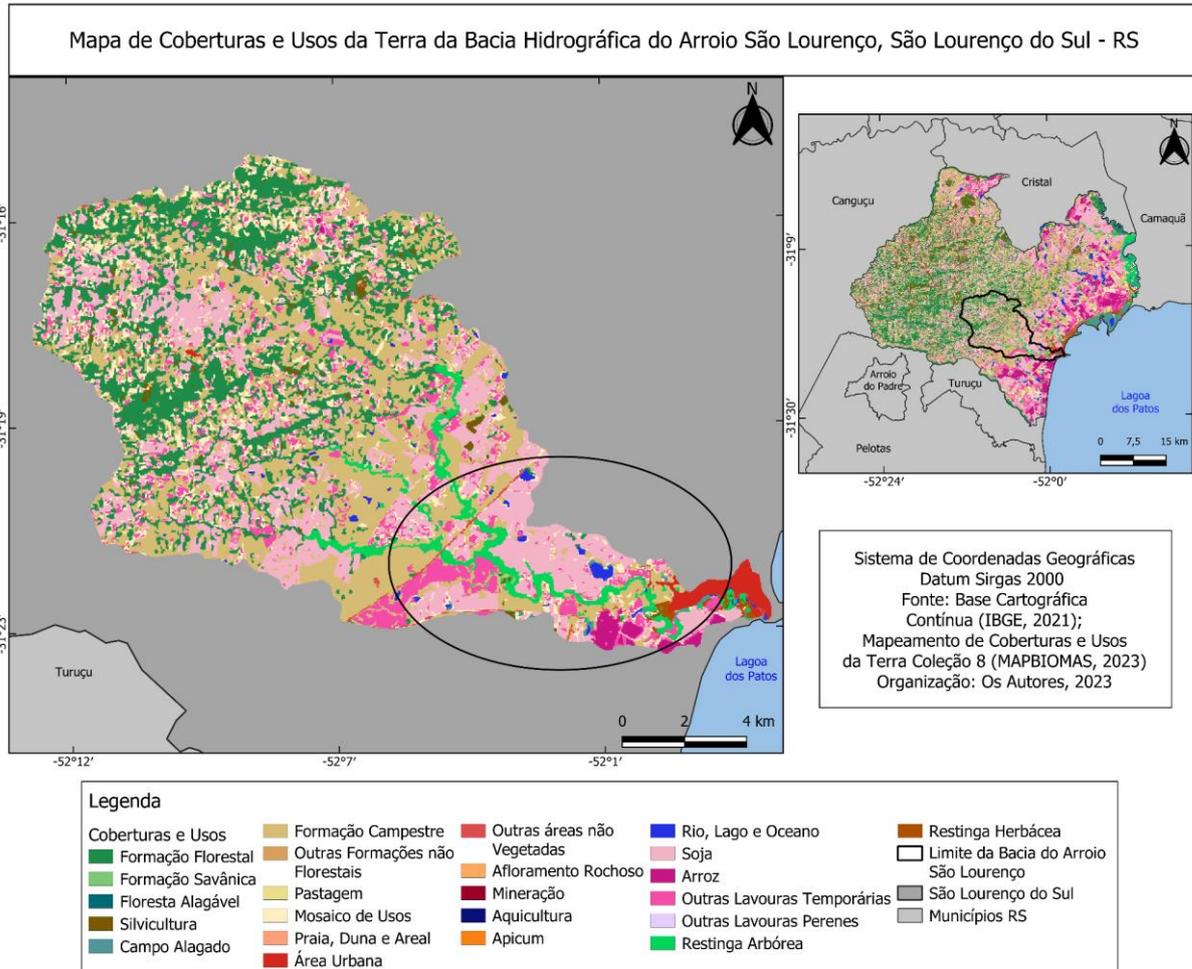
A água das chuvas, ao atingir as porções mais elevadas da bacia, ganha velocidade com a declividade, carregando consigo sedimentos e partículas do solo. Esse movimento descendente e acentuado contribui para a erosão hídrica, à medida que as partículas do solo são deslocadas e transportadas para áreas mais baixas da bacia. Além disso, as áreas do alto e médio curso frequentemente servem como locais de convergência para o escoamento de água de várias bacias menores, ampliando o impacto da erosão. Isso ocorre à medida que os cursos d'água se unem e consolidam o transporte de sedimentos ao longo do fluxo descendente (CHRISTOFOLETTI, 1981; QUIQUEREZ, 2008; LEPSCH, 2016).

Ainda, Hubner e Trentin (2017) apontam a existência de usos agrícolas intensivos e fragmentação da cobertura vegetal original sobre a área da Bacia Hidrográfica do Arroio São Lourenço, onde ambos concentram-se nas áreas de maior declividade e sobre as Áreas de Preservação Permanente (APPs). Estes fatores caracterizam a falta de planejamento da bacia e como resultado do mesmo, a inadequação dos usos e manejos dos solos.

Os usos que ocorrem sobre estas terras, mais precisamente as práticas agrícolas também contribuem para a perda de solo. O cultivo em encostas e a remoção da vegetação natural para a agricultura deixam o solo exposto, tornando-o mais suscetível à erosão, especialmente durante chuvas fortes. Métodos de cultivo inadequados, como a falta de rotação de culturas, plantio direto ou práticas de conservação do solo, aceleram esse processo. Essa relação entre perda de solo e atividades agrícolas em áreas de planalto está profundamente ligada à interação entre fatores naturais, sendo fundamental adotar técnicas de manejo sustentável do solo para minimizar esse impacto, preservando a qualidade do solo nessas regiões (CHRISTOFOLETTI, 1981; LEPSCH, 2016).

Visto isso, observa-se a Figura 3, a qual apresenta um mapa de coberturas e usos da terra. Como indica a legenda, é possível verificar que grande parte da área do baixo curso do Arroio São Lourenço teve sua área destinada ao uso intensivo do solo, a monocultura da soja.

Figura 3: Mapa de coberturas e usos da terra da Bacia Hidrográfica do Arroio São Lourenço.



Fonte: Os autores (2023).

Este uso intensivo da terra, notadamente em monoculturas como a sojicultura, quando não acompanhado de práticas de manejo conservacionistas, pode ter efeitos negativos significativos, levando a uma intensificação da perda de solo. As monoculturas geralmente deixam o solo exposto por longos períodos, especialmente após a colheita, o que elimina a cobertura vegetal que protege o solo contra os impactos das chuvas e do vento, tornando-o mais suscetível à erosão. Além disso, a utilização constante de maquinário pesado, característico da cultura predominante, pode compactar o solo, reduzindo sua porosidade e capacidade de absorção de água, resultando em um aumento do escoamento superficial e da erosão.

Conforme Zanchin (2020), o aporte de sedimentos nas bacias tende a ser principalmente influenciado pelo uso intensivo do solo, no qual reafirma a necessidade de implementar usos e manejos na bacia que respeitem a capacidade real do solo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aplicação da USLE se mostrou satisfatória para a área de estudo, contribuindo para a identificação de áreas vulneráveis à erosão. Diante disso, verificou-se que a Bacia Hidrográfica do Arroio São Lourenço possui aproximadamente 17% de áreas classificadas a partir da FAO (1967) de Moderada a Muito alta perda de solo. Com estes resultados, é possível integrar demais variáveis bem como distintas metodologias para que se identifiquem áreas vulneráveis ambientalmente na bacia, podendo assumir áreas prioritárias para ser pensado a gestão territorial, com foco no manejo e conservação dos solos e da água.

Entretanto, há de se considerar que as escalas abrangentes dos dados ou até mesmo a falta deles se mostram como um dos principais desafios para a aplicação do método. Isto acarreta em dados de perda de solo que não representam o valor na realidade, mas sim dados qualitativos que possam subsidiar o planejamento para a adequação dos usos da terra em bacias hidrográficas (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2012; ALVES *et al.*, 2023).

Mitigar os danos causados pela erosão acelerada dos solos em áreas com intensos usos agrícolas é uma questão crucial para a dinâmica ambiental. A degradação do solo compromete a produtividade agrícola e pode resultar em perdas significativas de nutrientes e sedimentação em corpos d'água, prejudicando o ecossistema aquático e a qualidade da água. Para enfrentar esse desafio, são necessárias medidas futuras eficazes e abrangentes.

O monitoramento e a avaliação contínua das medidas adotadas são essenciais para garantir o sucesso das ações de mitigação. A erosão do solo é um desafio complexo que requer a colaboração de diversos atores, incluindo agricultores, pesquisadores e principalmente do poder público, onde ações de planejamento e gestão ambiental são necessárias.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEWELL, Christine et al. Using the USLE: Chances, challenges and limitations of soil erosion modelling. **International soil and water conservation research**, v. 7, n. 3, p. 203-225, 2019.

ALVES, Edvania Aparecida Corrêa *et al.* DEGRADAÇÃO DOS SOLOS: IMPACTOS AMBIENTAIS E METODOLOGIAS DE ANÁLISE. **Revista Territorium Terram**, v. 6, n. 8, 2023.

BARBOSA, Amanda Fernandes *et al.* Aplicação da equação universal de perda do solo (USLE) em softwares livres e gratuitos. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 38, n. 1, p. 170-179, 2016.

CÂMARA, G. *et al.*, org. **Geoprocessamento: teoria e aplicação**. São José dos Campos: INPE, 2000. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/geocomp/>>. Acesso em set/2023.

CAPUTO, Mario Vicente. Glaciação neodevoniana no continente Gondwana Ocidental. In: **Anais do XXXIII Congresso Brasileiro de Geologia**. 1984. p. 725.

CUNHA, N.G. da.; SILVEIRA, R.J.C. **Mapa de Solos de Pelotas**. EMBRAPA: CPACT: Pelotas, 1996. 1 mapa. Escala 1:100.000.

CUNHA, N.G. da *et al.* **Mapa de Solos de Canguçu**. EMBRAPA: CPACT: Pelotas, 1997. 1 mapa. Escala 1:200.000

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo, SP: Blucher, 1981.

CPRM/CECO. **Carta Geológica, Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil –PLGB**. Subprograma de Integração Geológica e Metalogenia. Escala 1:750.000. 2006.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO. La erosión del suelo por el agua: Algunas medidas para combatirla en las tierras de cultivo. **Cuadernos de fomento agropecuario de la Organización de Las Naciones Unidas**, n. 81, 1967.

FERREIRA, L. P.; MENDES, H. X.; ALVES, E. A. C. Dinâmica de cobertura e uso das terras em uma pequena bacia hidrográfica da Serra dos Tapes (RS). In XIV Simpósio Nacional de Geomorfologia, **Anais**. Corumbá, 2023 (no prelo).

GUERRA, A. J. T; BOTELHO, R. G. M. Características e propriedades dos solos relevantes para os estudos pedológicos e análise dos processos erosivos. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 19, p. 93-114, 1996.

HUBNER, J.; TRENTIN, G. Identificação e análise dos conflitos de uso nas Áreas de Preservação Permanente (APPS) da Bacia Hidrográfica do Arroio São Lourenço. In: SEMINÁRIO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS, 4., 2017, Pelotas. **Anais** [...]. Pelotas: UFPEL, 2017 p. 110-115.

KINNELL, P. I. A.; RISSE, L. M. USLE-M: Empirical modeling rainfall erosion through runoff and sediment concentration. **Soil Science Society of America Journal**, v. 62, n. 6, p. 1667-1672, 1998.

LEMONS, L. **Estimativa de Tolerância de Perdas de Solo do Alto Curso da Bacia Hidrográfica do Arroio Quilombo – Pelotas/Canguçu – RS**. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso. Instituto de Ciências Humanas, Universidade Federal de Pelotas, 2020.

MACIEL, M. M. **Aplicação da Equação de Perdas de Solo (USLE) em Ambiente de Geoprocessamento e sua Comparação com Aptidão Agrícola**. 2000. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.

MARTH, Jonathan Duarte. **Análise das fragilidades ambientais da sub-bacia hidrográfica do Arroio Santa Isabel, RS**. 2012. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

MEIRELES, Antonio Jeovah de Andrade *et al.* INTEGRAÇÃO DOS INDICADORES GEOAMBIENTAIS DE FLUTUAÇÕES DO NÍVEL RELATIVO DO MAR E DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO LITORAL CEARENSE. **Mercator-Revista de Geografia da UFC**, v. 4, n. 8, p. 109-134, 2005.

NASCIMENTO, Marcos Antonio Leite do; SILVA, Matheus Lisboa Nobre (orgs.). **Abordagens científicas no Seridó Geoparque Mundial da UNESCO: contribuições do comitê científico**. Mossoró, RN: Edições UERN, 2023.

PIRES, Fábio Ribeiro; SOUZA, Caetano Marciano. **Práticas Mecânicas de Conservação do Solo e da Água**. Viçosa, MG: 2013. p.18

PRESTES, V. **Erosão hídrica e uso da terra no alto curso do Arroio Quilombo por meio da Equação Universal de Perdas de Solos – EUPS**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geografia) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2018.

QUIQUEREZ, A.; BRENOT, J. P.; PETIT, C. Soil degradation caused by a high-intensity rainfall event: Implications for médium-term soil sustainability in Burgundian vineyards. **Catena**, v. 73, n. 1, 89-97, 2008.

RIBEIRO, C. S. **Mapeamento Geológico do Município de São Lourenço do Sul, Planície Costeira do Rio Grande do Sul, Brasil**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geologia) - Universidade Federal do Pampa, Caçapava do Sul, 2015.

SALAMONI, G. *et al.* **A Geografia da Serra dos Tapes: natureza, sociedade e paisagem**. Pelotas: Editora UFPel, 2021. 140 p.

SAMPAIO, Pedro Vieira. **O reflexo da (in)adequação dos usos da terra nas perdas de solo: estudo de caso no alto curso do Arroio Quilombo (RS)**. 2022. 140f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geografia) – Instituto de Ciências Humanas, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2022.

SAMPAIO, P. V., ALVES, E. A. C. **Relatório de Iniciação Científica – CNPq/UFPel**. Relatório Interno, Pelotas, 2021.

SOUZA, Alessandra Ribeiro de *et al.* Zoneamentos da vulnerabilidade ambiental e expectativa de perda de solo: é possível usar a USLE na determinação de vulnerabilidade ambiental? **Geosciences= Geociências**, v. 38, n. 4, p. 1105-1119, 2019.



SUÉRTEGARAY, D. M. A.; MOURA, N. S. V. Morfogênese do relevo do Estado do Rio Grande do Sul. **Rio Grande do Sul: paisagens e territórios em transformação**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2012. 2 ed. p. 11-26, 2012.

UNESCO – Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura. **UNESCO Global Geoparks (UGGp)**. 2023. Disponível em: <<https://en.unesco.org/global-geoparks>>. Acesso em: 10 out. 2023.

VILLWOCK, J. A. & TOMAZELLI, L. J. **Geologia Costeira do Rio Grande do Sul**. Notas Técnicas, Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica, UFRGS. Porto Alegre, 8:1-45.1995.

VILLWOCK, J.A., Tomazelli, L. J., Loss, E. L. Dehnhardt, E. A., HORNF, N. O., Bachi, F. A., & Dehnhardt. Geology of the Rio Grande do Sul coastal province. In: **International symposium on sea level change and quaternary shorelines**. 4:79-97. 1986

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning**. Department of Agriculture, Science and Education Administration, 1978.

ZANCHIN, Mayara. **Perda e aporte de sedimentos estimados pelos modelos RUSLE e SEDD em bacia hidrográfica de clima subtropical**. 2020. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pelotas.