Revista Brasileira de Climatologia
Brazilian Journal of Climatology
OPEN ACCESS

# POTENCIAL NATURAL DE EROSÃO E PERDAS DE SOLO SOB USO DA TERRA NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO ARROIO MICAELA, SUL DO RIO GRANDE DO SUL

*Natural Erosion Potential and Soil Loss under Land Use in the Arroio Micaela Watershed, Southern Rio Grande do Sul, Brazil*

*Potencial Natural de Erosión y Pérdidas de Suelo bajo Uso de la Tierra en la Subcuenca Hidrográfica del Arroyo Micaela, Sur de Rio Grande do Sul, Brasil*

**Dienifer Radtke**
Universidade Federal de Pelotas (UFPel)
Pelotas, Rio Grande do Sul Brasil
dieniferradtke@hotmail.com

**Diovana da Silva Guterres**
Universidade Federal de Pelotas (UFPel)
Pelotas, Rio Grande do Sul Brasil
guterresdiovana@gmail.com

**Pâmela Geovana Peglow Holz**
Universidade Federal de Pelotas (UFPel)
Pelotas, Rio Grande do Sul Brasil
geovanapeglow@gmail.com

**Emerson Meireles de Farias**
Universidade Federal de Pelotas (UFPel)
Pelotas, Rio Grande do Sul Brasil
emfarias97@gmail.com

**Henrique Noguez da Cunha**
Universidade Federal de Pelotas (UFPel)
Pelotas, Rio Grande do Sul Brasil
henriquencunha@gmail.com

**Edvania Aparecida Corrêa Alves**
Universidade Federal de Pelotas (UFPel)
Pelotas, Rio Grande do Sul Brasil
edvania.correa86@gmail.com

**Cláudia Liane Rodrigues de Lima**
Universidade Federal de Pelotas (UFPel)
Pelotas, Rio Grande do Sul Brasil
clrlima@yahoo.com.br

**Resumo:** A conservação e o planejamento de uso da terra interligam-se através da busca por um equilíbrio socioambiental na zona rural. Este estudo foi realizado na sub-bacia hidrográfica do Arroio Micaela, localizada na Bacia Hidrográfica do Arroio Fragata, no sul do Rio Grande do Sul, área que apresenta cultivos agrícolas e campos nativos. O objetivo visa compreender as capacidades de perda de solo com características naturais e, proveniente de usos, para os anos de 1985 e de 2023. Foi utilizada a Equação Universal de Perda de Solo para obtenção dos resultados naturais e com usos da terra, onde os valores para os fatores C e P foram obtidos na literatura, assim como os valores de tolerância de perdas de solo. Os resultados indicam elevada suscetibilidade à erosão na área de estudo. Em relação a 1985, a área classificada com perdas moderadas de solo aumentou em torno de 8%, em decorrência da expansão agrícola. Esses resultados reforçam a importância da adoção de práticas conservacionistas e do uso de ferramentas de geoprocessamento para prevenir a intensificação dos processos erosivos e subsidiar a gestão sustentável do solo.
**Palavras-chave:** USLE. Geoprocessamento. MapBiomas. Planejamento rural.

**Abstract:** Conservation and land-use planning are interconnected through the pursuit of a socio-environmental balance in rural areas. This study was conducted in the Micaela Stream sub-basin—located within the Moreira/Fragata Stream watershed in southern Rio Grande do Sul—an area characterized by agricultural crops and native grasslands. The objective was to assess potential soil loss based on natural characteristics and land-use patterns for the years 1985 and 2023. The Universal Soil Loss Equation (USLE) was used to calculate soil loss under both natural conditions and actual land-use scenarios; values for the C and P factors, as well as soil loss tolerance limits, were derived from the literature. The results indicate a high susceptibility to erosion in the study area. Compared to 1985, the area classified as having moderate soil loss increased by 8% due to agricultural expansion. These findings underscore the importance of adopting conservation practices and utilizing geoprocessing tools to prevent the intensification of erosion processes and support sustainable soil management.
**Keywords:** USLE. Geoprocessing. MapBiomas. Rural Planning.

**Resumen:** La conservación y la planificación del uso de la tierra se interconectan a través de la búsqueda de un equilibrio socioambiental en la zona rural. Este estudio se llevó a cabo en la subcuenca del arroyo Micaela, situada en la cuenca hidrográfica de los arroyos Moreira y Fragata, en el sur de Rio

Grande do Sul, una zona que presenta cultivos agrícolas y pastizales nativos. El objetivo es comprender la susceptibilidad a la pérdida de suelo —tanto por condiciones naturales como derivada de los usos del terreno— para los años 1985 y 2023. Se utilizó la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo para obtener los resultados correspondientes a las condiciones naturales y a los usos de la tierra; los valores para los factores C y P, así como los umbrales de tolerancia a la pérdida de suelo, se obtuvieron de la literatura especializada. Los resultados indican una elevada susceptibilidad a la erosión en el área de estudio. En comparación con 1985, la superficie clasificada con pérdidas moderadas de suelo aumentó un 8 % debido a la expansión agrícola. Estos resultados refuerzan la importancia de adoptar prácticas de conservación y utilizar herramientas de geoprocesamiento para prevenir la intensificación de los procesos erosivos y apoyar la gestión sostenible del suelo.

**Palabras clave:** USLE. Geoprocesamiento. MapBiomas. Planificación Rural.

Submetido em: 16/10/2025
Aceito para publicação em: 25/08/2026
Publicado em: 10/11/2026

## 1. INTRODUÇÃO

A erosão é um processo físico e natural que envolve a desagregação, o transporte e, a deposição do solo, ocorrendo transporte de sedimentos, principalmente por meio do escoamento superficial da água (Santos et al., 2010). As atividades humanas, especialmente práticas agrícolas inadequadas, têm sido apontadas como um dos principais agentes da intensificação da erosão do solo (Gomes et al., 2021). Essas atividades alteram o ciclo hidrológico e intensificam os processos erosivos, principalmente por meio do escoamento superficial da água (Gao et al., 2020).

Panagos et al. (2015) afirmam que a erosão do solo está entre as maiores ameaças ao meio ambiente, causando impactos negativos na produção de alimentos, na qualidade da água, no assoreamento de rios e no equilíbrio dos ecossistemas. Da mesma forma, Tadesse et al. (2017) apontam que a erosão é a principal responsável pela baixa eficiência agrícola, pois reduz a qualidade do solo. Desse modo, problemas ambientais, como a degradação do solo, vêm se tornando alvo de preocupações da sociedade e de interesse por investigações.

Segundo Sousa et al. (2015), as bacias hidrográficas, diante de seus componentes de paisagem, instituem diferentes capacidades de uso, o que acarreta em níveis de planejamento heterogêneos ao longo da sua distribuição espacial. A Secretaria de Planejamento, Governança e Gestão do estado do Rio Grande do Sul (2021) define que o uso desse recorte territorial induz na compreensão das dinâmicas ambientais e sociais, através dos agentes locais. Nornberg e Rehbein (2021), visualizaram que 66,13% do território municipal de Pelotas, apresenta uma fragilidade ambiental acima ou igual a média, localizada com maior presença na porção noroeste do município. Diante disso, diversos estudos foram direcionados para essa região com o objetivo de compreender o comportamento das perdas de solo na mesma, (Tuchtenhagen et al., 2017; Silva et al., 2020; Zanchin *et al*., 2021; Guterres et al., 2024), onde foram encontradas grandes extensões territoriais com pertinentes erobilidades e perdas de solo, corroborando com Nornberg e Rehbein (2021).

A sub-bacia do Arroio Micaela desempenha um papel essencial na dinâmica hídrica e ambiental, influenciando a disponibilidade de água e a qualidade dos solos. Além disso, possui relevância econômica e social, uma vez que abriga propriedades rurais voltadas à produção agrícola e pecuária, contribuindo para o abastecimento de alimentos na região. A sub-bacia

hidrográfica também é uma das responsáveis pela recarga hídrica que atende parte do município de Pelotas, o que reforça sua importância estratégica para a sustentabilidade dos recursos naturais e o bem-estar das populações urbanas e rurais.

A erosão do solo contribui para o assoreamento dos cursos d'água, comprometendo a qualidade dos recursos hídricos e a sustentabilidade dos ecossistemas (Borrelli et al., 2013). Nesse contexto, o monitoramento das condições do solo e das mudanças no uso da terra torna-se essencial para compreender a dinâmica dos processos erosivos e subsidiar ações voltadas à conservação ambiental. Além disso, a avaliação da suscetibilidade erosiva permite identificar áreas mais vulneráveis e orientar práticas sustentáveis de uso e manejo dos recursos naturais. Nesse sentido, modelos empíricos, como a Equação Universal de Perda de Solo (USLE), constituem ferramentas amplamente utilizadas para estimar as perdas de solo e apoiar o planejamento de estratégias conservacionistas (Wischmeier & Smith, 1978; Renard et al., 1997).

Embora estudos anteriores tenham investigado a suscetibilidade erosiva e as perdas de solo em sub-bacias hidrográficas da região de Pelotas, ainda há necessidade de ampliar o conhecimento sobre a dinâmica erosiva em sub-bacias específicas da região. Nesse contexto, este estudo concentra-se na sub-bacia hidrográfica do Arroio Micaela, integrando a avaliação do Potencial Natural de Erosão (PNE), das perdas de solo e das mudanças no uso e cobertura da terra. Essa abordagem permite compreender a influência das transformações da paisagem sobre os processos erosivos e fornece subsídios para o planejamento ambiental e a adoção de práticas conservacionistas.

Utilizando técnicas de geoprocessamento, o presente estudo teve como objetivo, identificar o Potencial Natural de Erosão (PNE) e a perda de solo na sub-bacia Hidrográfica do Arroio Micaela, inserida na bacia Arroio Moreira Fragata no sul do Rio Grande do Sul.

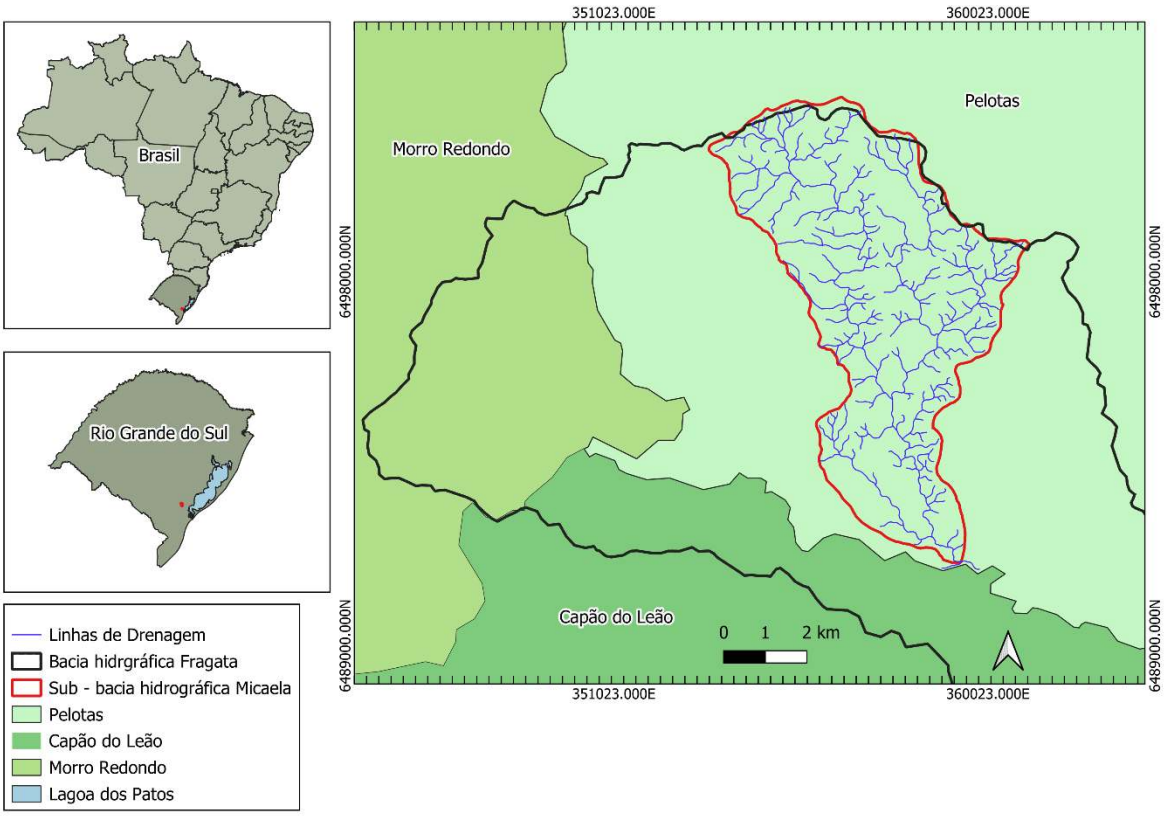
## 2. METODOLOGIA

### Área de Estudo

A sub-bacia hidrográfica do Arroio Micaela está inserida na bacia do arroio Moreira/Fragata (Figura 1), localizada no município de Pelotas, na região sul do estado do Rio Grande do Sul, entre as coordenadas 52°32’37” W, 31°36’34” S e 52°28’43” W, 31°42’28” S.

Possui uma área de cerca de 4014,00 ha, com comprimento linear total dos cursos de água em torno de 46 km. Suas nascentes estão localizadas na região da "Cascatinha" em altitudes superiores a 240 m e exutório no Arroio Fragata com altitude de 20 m e desnível de 220 m (Cunha et al., 2012).

**Figura 1**- Mapa de localização da sub-bacia hidrográfica do Arroio Micaela, inserida na bacia - hidrográfica Arroio Fragata no sul do RS.




**Fonte**: Elaborado pelos autores (2025).

O município de Pelotas possui um clima subtropical úmido (Cfa), segundo Köppen, com temperaturas médias de 12,5°C, no mês mais frio e 23,3°C, no mais quente. A precipitação anual média é de 1.386 mm, sendo fevereiro e julho os meses mais chuvosos, com médias de 189,7 mm e 129,5 mm, respectivamente, enquanto as menores, ocorrem em março (90,6 mm) e em maio (99,3 mm) (Santos, 2013).

## 2.1. Procedimentos Metodológicos

## Equação Universal de Perda de Solo

A USLE (Equação Universal de Perda de Solo) é um modelo conceitual de previsão de erosão, desenvolvido por Wischmeier *et al*. (1978) como um guia para análises quantitativas e qualitativas, sendo uma ferramenta fundamental para o planejamento e a conservação dos solos. A equação é expressa pela Equação 1.

$$A = R.K.LS.C.P \quad (1)$$

Na equação 1, A, representa a unidade de perda de solo por área no tempo (t.ha-1.ano-1), R é a Erosividade (mj.ha-1.h-1.ano-1), K, designa o fator de erodibilidade do solo (t.ha-1.ano-1), LS é o fator conjunto que compreende, respectivamente, o comprimento de rampa (L) e o grau de declividade (S), ambos adimensionais, C (adimensional) refere-se ao fator de uso e manejo do solo e P (adimensional) corresponde ao fator de práticas conservacionistas. O produto das cinco variáveis R, K, LS, C e P da equação USLE foi calculado por meio da calculadora Rastear, do Qgis na versão 3.38.3.

O cálculo do Potencial Natural de Erosão (PNE), contribui para a identificação da vulnerabilidade natural à erosão, permitindo a análise dos fatores ambientais que influenciam o processo erosivo, considerando características como tipo de solo, relevo, clima e cobertura vegetal. A equação é expressa pela Equação 2.

$$A = R.K.LS \quad (2)$$

A equação 2 utiliza os mesmos fatores da equação 1, exceto com a aplicação dos fatores C e P, que correspondem a praticas antrópicas. Desse modo, a PNE objetiva demonstrar o quanto a área de estudo é capaz de ser erodida desconsiderando as atividades humanas.

O fator R foi determinado com base nas informações fornecidas por Prestes (2018) para o Rio Grande do Sul, e adicionando informações da estação de Bagé (31º33’ S; 54º 10’ O), Pinheiro Machado (31º 31’ S; 53º 50’ O) e Pedras Altas (31º73 ’ S; 53º 59’ O). O método de

interpolação foi o IDW (Ponderação pelo Inverso da Distância). O fator variou de 5.925,16 a 5.929,29 mj.ha-1.h-1.ano-1 caracterizando como erosividade “média” segundo Lombardi Neto, Mondenhauer, (1992), sendo os menores valores verificados ao sul da BH.

A base cartográfica de solos do Rio Grande do Sul utilizada foi a elaborada por Garrastazu et al. (2009) e, os valores atribuídos ao fator K para cada tipo de solo foram obtidos pela literatura disponível (Tabela1).

**Tabela 1** - Valores atribuídos ao Fator k da Equação de perda de solo da USLE para a sub-bacia hidrográfica do Arroio Micaela, inserida na bacia hidrográfica Arroio Fragata no sul do RS.

| Classificação | Fator K | Referência |
|---|---|---|
| Planosolos | 0,020 | Mannigel *et al.* (2020) |
| Neosolos | 0,044 | Donzeli *et al.* (1992) |
| Argisolos | 0,040 | Nachtigall *et al*. (2020) |

**Fonte:** Os autores (2025).

O Modelo Digital de Elevação (MDE) para o cálculo do fator LS foi obtido a partir de imagens do satélite Alos, com o sensor Palsar, apresentando resolução espacial de 12,5 m. Os dados de altitude encontrassem presentes nas informações matriciais do raster utilizado, enquanto a declividade foi calculada a partir desse dado através da ferramenta “declividade”, dentro de ambiente SIG. A projeção adotada foi em UTM com o DATUM SIRGAS 2000, zona 22S. O cálculo do fator LS foi obtido pela ferramenta LS Factor do software Qgis, na versão 3.38.3, com o complemento do SAGA, utilizando o cálculo proposto por Desmet e Govers (1996).

Para calcular os fatores C e P, foi utilizado o mapeamento de uso e cobertura da terra, disponibilizado pelo Mapbiomas, para 1985 e 2023, com o objetivo de avaliar a dinâmica do uso da terra. Os valores atribuídos aos fatores dos respectivos tipos de solos foram obtidos através da literatura disponível (Tabela 2).

**Tabela 2 -** Valores atribuídos aos Fatores C e P, da Equação de perda de solo da USLE, para a sub-bacia hidrográfica do Arroio Micaela, inserida na bacia hidrográfica Arroio Fragata no sul do RS.

| Classificação | Fator C | Referência | Fator P | Referência |
|---|---|---|---|---|
| Formação florestal | 0,003 | Silva et al. (2016) | 1 | Cunha e Silva et al. (2017) |
| Silvicultura | 0,020 | Silva et al. (2016) | 0,5 | Bertoni e Lombardi et al. (2010) |
| Campo Alagado | 0 | Bera et al. (2017) | 1 | Cunha e Silva et al. (2017) |
| Formação Campestre | 0,010 | Oliveira et al. (2015) | 1 | Cunha e Silva et al. (2017) |
| Mosaico de Usos | 0,250 | Oliveira et al. (2015) | 0,5 | Bertoni e Lombardi et al. (2010) |
| Área Urbanizada | 1 | Cunha et al. (2017) | 1 | Cunha e Silva et al. (2017) |
| Outras Áreas não vegetadas | 1 | Cunha et al. (2016) | 1 | Cunha e Silva et al. (2017) |
| Rio, Lago e Oceano | 0 | Bera et al. (2017) | 1 | Cunha e Silva et al. (2017) |
| Soja | 0,250 | Oliveira et al. (2015) | 0,5 | Bertoni e Lombardi et al. (2010) |
| Outras Lavouras Temporárias | 0,250 | Oliveira et al. (2015) | 0,5 | Bertoni e Lombardi et al. (2010) |

**Fonte:** Os autores (2025).

A bacia hidrográfica foi delimitada com auxílio da base de dados de drenagem e, dos corpos da água disponíveis na SEMA (2018), em escala de 1:25.000. Foram utilizados os dados da base cartográfica, disponibilizada por HASENACK e WEBER (2010) em escala de 1:50.000 e por SEMA (2018) na escala de 1:25.000.

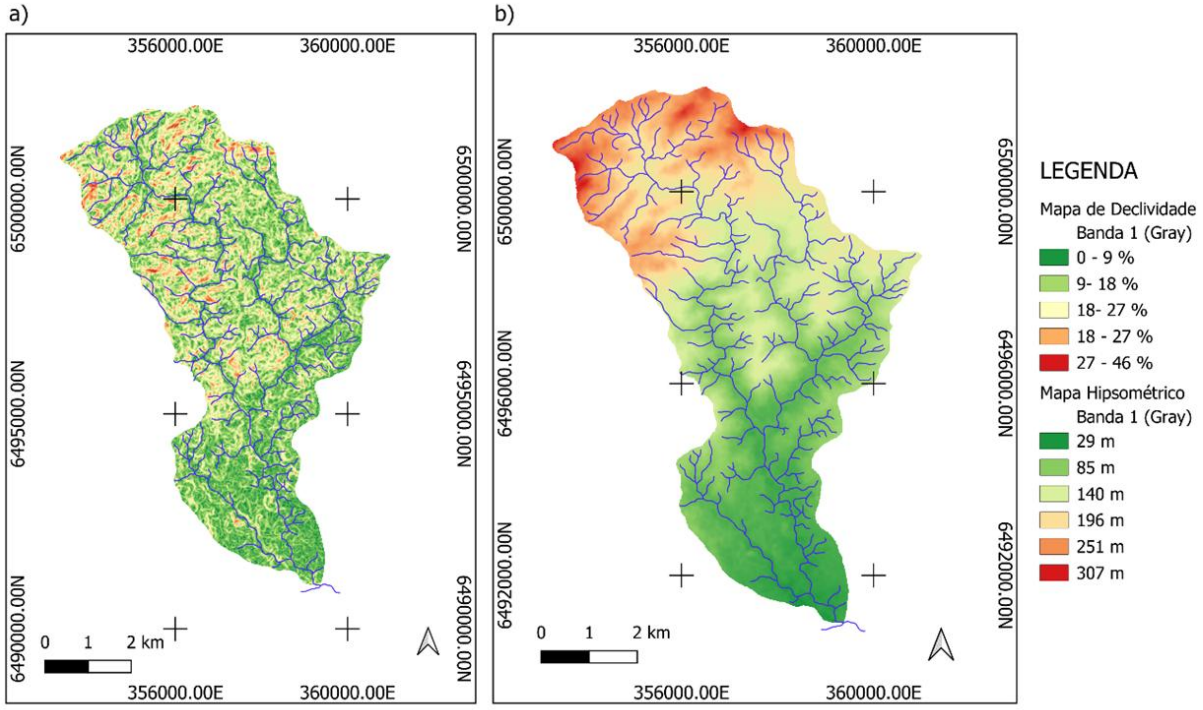
As perdas de solo foram simuladas para os dois cenários distintos de uso e cobertura do solo (anos de 1985 e 2023). O estudo foi realizado utilizando a versão 3.38, do software QGIS. Os limites de tolerância de perda de solo foram obtidos através de Nacthigall *et al.* (2020) e, comparados com os resultados encontrados neste estudo.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A elaboração do mapa de declividade, com a reclassificação de seus intervalos, possibilitou quantificar as áreas correspondentes às diferentes classes de declividade, seguindo critérios de Embrapa (1979).

Na Figura 2, o mapa proporciona uma análise detalhada das áreas de maior e de menor declividade, além das variações na hipsometria. Identificou-se que a maior declividade e hipsometria se encontra na região noroeste da área de estudo.

**Figura 2** - Mapa de declividade (a) e hipsometria (b) da sub-bacia hidrográfica do Arroio Micaela, inserida na bacia hidrográfica Arroio Fragata, no sul do RS.




**Fonte**: Os autores (2025).

Os resultados, apresentados na Tabela 3, indicam que aproximadamente 50% da sub-bacia hidrográfica do Arroio Micaela é caracterizada por relevo ondulado, seguido de relevo suave ondulado (35%), com declividades em toda a área, variando entre 3% e 45%.

**Tabela 3** - Classificação do relevo de acordo com o intervalo de declividade da sub-bacia hidrográfica do Arroio Micaela, inserida na bacia hidrográfica Arroio Moreira, no sul do RS.

| Declividade (m) | Hectares (Ha) | Percentual (%) |
|---|---|---|
| Plano (1 - 3%) | 231,47 | 5,77 |
| Suave Ondulado (3 - 8%) | 1394,91 | 34,75 |
| Ondulado (8 - 20%) | 2002,11 | 49,87 |
| Forte Ondulado (20 - 45%) | 385,99 | 9,61 |

**Fonte**: Os autores (2025).

A predominância de relevo ondulado exige um manejo criterioso do solo, dado que essas áreas são naturalmente mais suscetíveis a processos erosivos moderados, especialmente quando submetidas a práticas inadequadas. Corroborando com os resultados deste estudo, Cunha et al. (2013) e Tuchtenhagem et al. (2017) também destacaram que a declividade da sub-bacia hidrográfica do Arroio Micaela é ondulada. Além disso, Bertoni et al. (2012) destacaram que terrenos com essas características são vulneráveis à erosão quando não manejados de forma adequada, reforçando a necessidade de ações sustentáveis.

Na Tabela 4, observa-se a distribuição das áreas em diferentes cotas altimétricas da sub-bacia hidrográfica do Arroio Micaela, com destaque para a faixa de 85 a 140 metros, que abrange a maior parte da área de estudo. Essa predominância reflete características topográficas que impactam diretamente os processos hidrológicos, como o escoamento superficial, a infiltração e a retenção de água, com influência no uso e na ocupação do solo.

**Tabela 4** - Classificação do relevo de acordo com o intervalo de cota de altitude da sub-bacia hidrográfica do Arroio Micaela, inserida na bacia hidrográfica Arroio Fragata, no sul do RS.

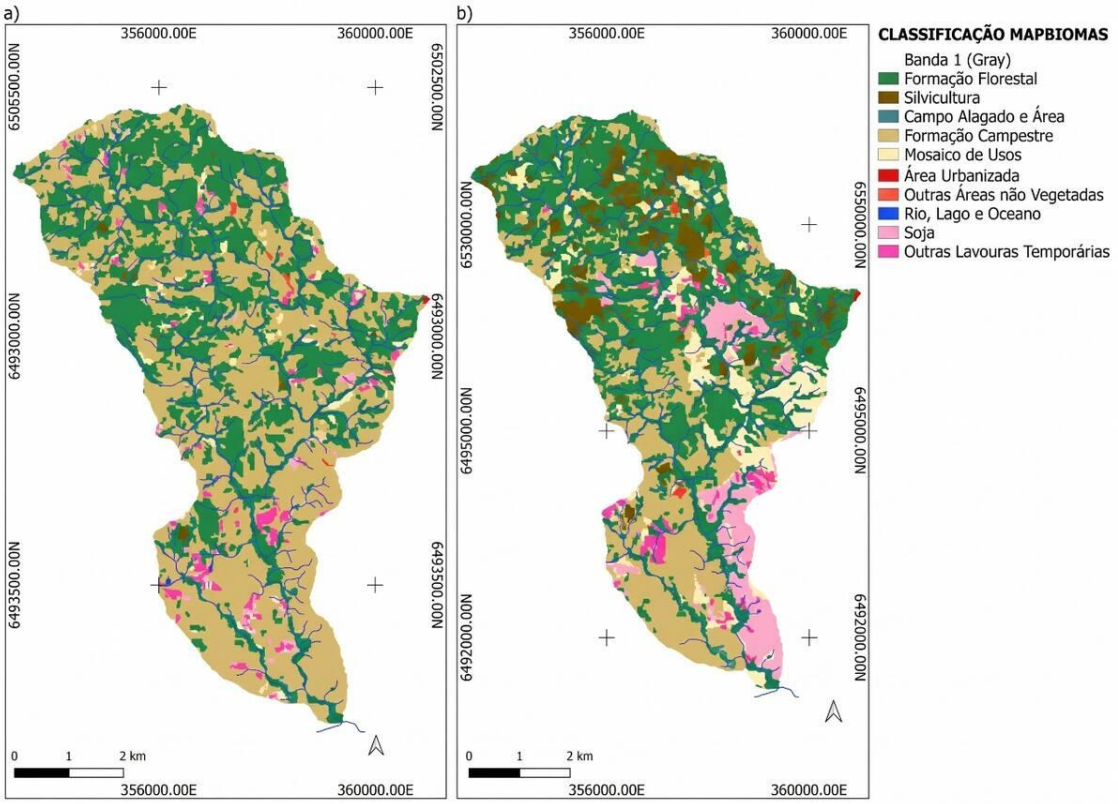
| Hipsometria (m) | Hectares (Ha) | Percentual (%) |
|---|---|---|
| 29 - 85m | 1,16 | 0,028 |
| 85 -140m | 1236,17 | 30,391 |
| 140 - 196m | 1161,88 | 28,565 |
| 196 - 251m | 840,88 | 20,673 |

| Hipsometria (m) | Hectares (Ha) | Percentual (%) |
|---|---|---|
| 251 - 307m | 657,95 | 16,176 |
| 307m | 169,50 | 4,167 |

**Fonte**: Os autores, (2025).

O mapa de uso e de ocupação do solo (Figura 3) permite avaliar as mudanças na paisagem da sub-bacia hidrográfica entre os anos de 1985 e 2023. Durante esse período, observou-se um aumento significativo nas áreas destinadas ao cultivo de soja e à silvicultura, indicando uma intensificação das práticas agrícolas e de reflorestamento comercial. Um possível fator que incentivou o uso com silvicultura na região foi a Resolução CONSEMA nº 498/2023, que aprova o zoneamento ambiental para a atividade de silvicultura, promovendo a produção de madeira, no estado do Rio Grande do Sul.

**Figura 3** - Mapa de uso e de cobertura do solo nos anos de 1985 (a) e 2023 (b) da sub-bacia hidrográfica do Arroio Micaela, inserida na bacia hidrográfica Arroio Fragata, no sul do RS.

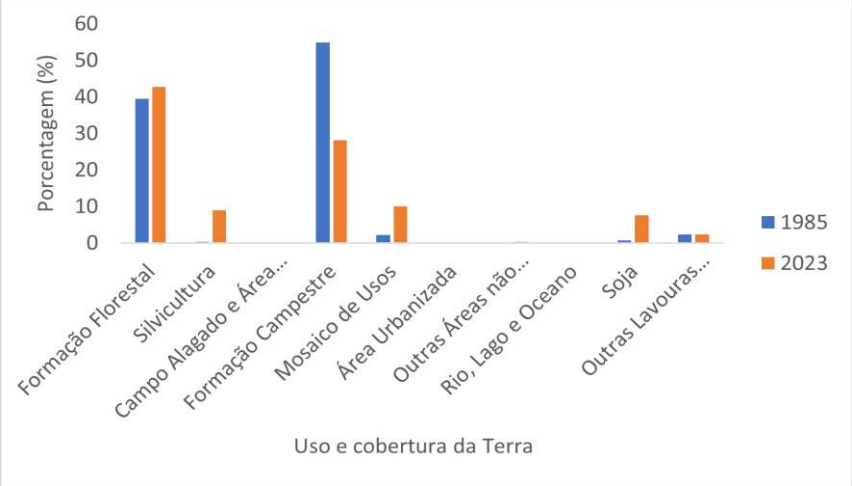



**Fonte**: Os autores, (2025).

A análise dos dados de uso e de cobertura do solo também revelou uma redução significativa na área de cobertura campestre (Figura 4). Em 1985, a cobertura campestre ocupava em torno de 55% da área total da sub-bacia hidrográfica. No ano de 2023, essa cobertura foi reduzida para em torno de 30% da área total, o que indica uma conversão para uso alternativo de 25% da área da sub-bacia hidrográfica de vegetação campestre.

Essa redução pode estar associada à expansão de atividades agrícolas ou outras formas de uso do solo, refletindo perda de cobertura vegetal que, segundo estudos de Petsch et al. (2023), pode contribuir para o aumento do escoamento superficial e a intensificação dos processos erosivos.

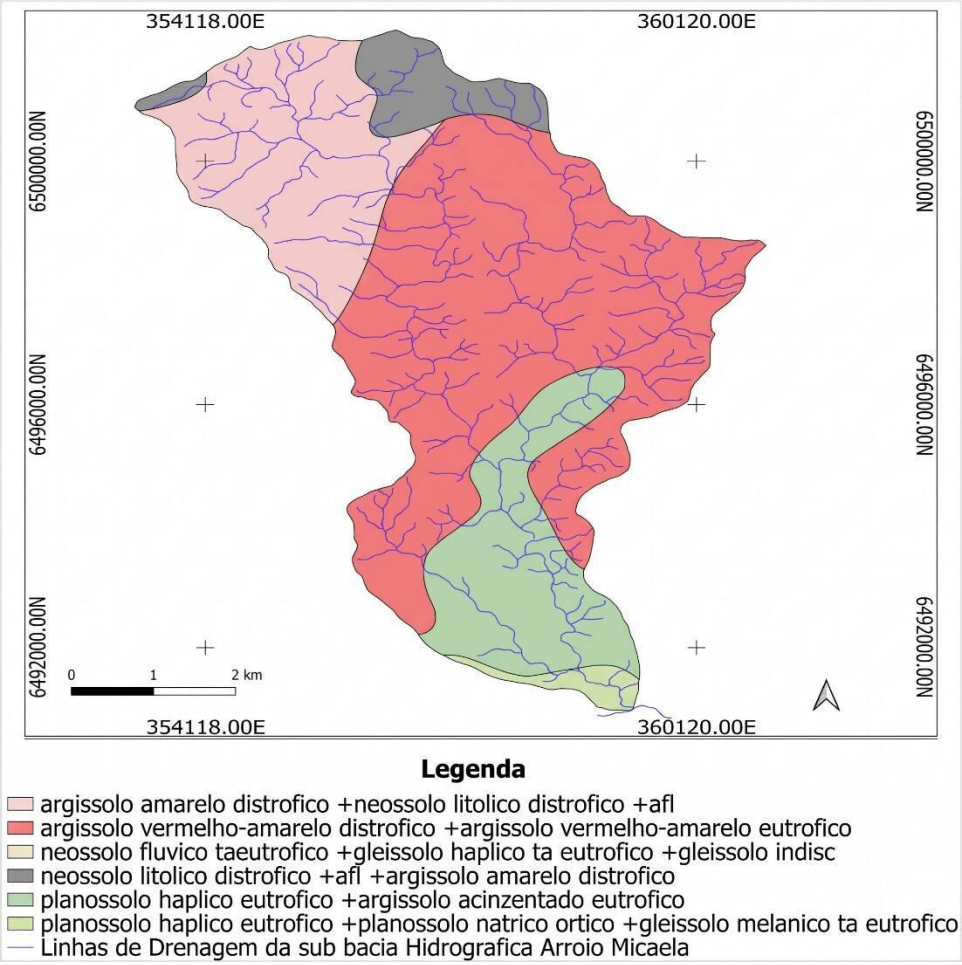
**Figura 4** - Gráfico de uso e cobertura do solo da sub-bacia hidrográfica do Arroio Micaela, inserida na bacia hidrográfica Arroio Fragata no sul do RS nos anos de 1985 e 2023.




**Fonte**: Os autores, (2025).

O mapa de solos (Figura 5) da sub-bacia hidrográfica Micaela apresenta a distribuição das diferentes classes, com a presença de Argissolos, Neossolos e Planossolos. Estudos realizados por Tuchtenhagen et al. (2017), na sub-bacia hidrográfica Santa Rita, também identificaram uma distribuição semelhante das classes de solos, com predominância de Argissolos e presença de Neossolos e Planossolos, corroborando os resultados obtidos para a sub-bacia hidrográfica do Arroio Micaela, evidenciando um padrão semelhante de distribuição das classes de solos em sub-bacias inseridas na bacia do Arroio Fragata.

**Figura 5** - Mapa de solos da sub-bacia hidrográfica do Arroio Micaela, inserida na bacia hidrográfica Arroio Fragata, no sul do RS.




**Fonte**: Os autores, 2025.

Os Argissolos predominantes na área (Tabela 5), ocupam mais de 70% da região, apresentam alta erodibilidade e, portanto, mais suscetíveis à erosão (Rocha et al., 2022). Este tipo de solo, caracterizado por sua granulometria e estrutura, contribui significativamente para a vulnerabilidade destas áreas, intensificando os processos erosivos quando não são adotadas práticas de manejo adequadas.

**Tabela 5** - Tipos de solo da sub-bacia hidrográfica Arroio Micaela, inserida na bacia hidrográfica Arroio Fragata, no sul do RS.

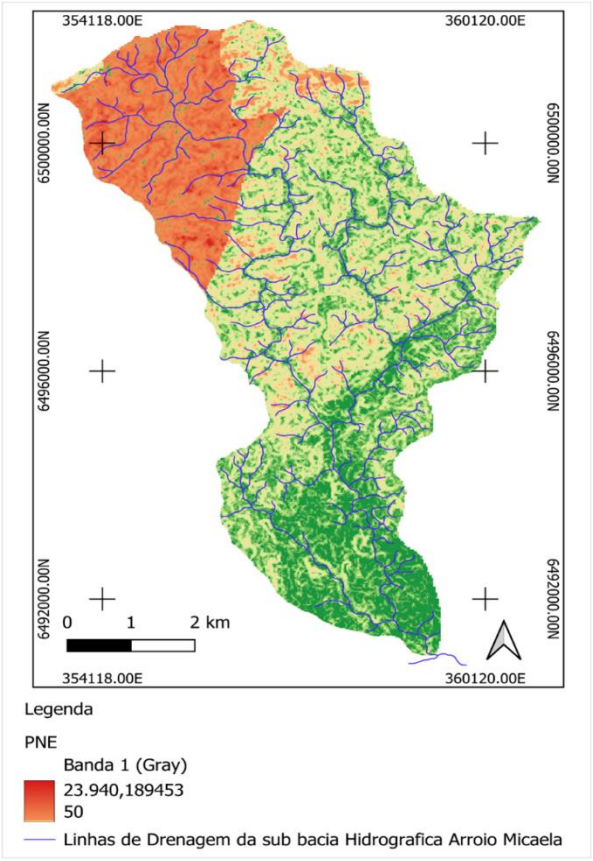
| Tipos de Solos | ha | % |
|---|---|---|
| Neossolo litolico distrofico +Afloramentos +Argissolo amarelo distrófico | 250,21 | 6,15 |
| Planossolo haplico eutrofico +Argissolo acinzentado eutrófico | 700,03 | 17,20 |

| Tipos de Solos | ha | % |
|---|---|---|
| Argissolo vermelho-amarelo distrófico +Argissolo vermelho-Amarelo eutrófico | 2198,26 | 54,03 |
| Planossolo háplico eutrófico +Planossolo nátrico órtico +Gleissolo melânico ta eutrófico | 73,52 | 1,81 |
| Argissolo amarelo distrófico +Neossolo litólico distrófico +Afl | 846,80 | 20,81 |

**Fonte**: Os autores, (2025).

A Figura 6 apresenta o mapa do Potencial Natural de Erosão (PNE). De forma localizada, destacam-se áreas situadas na porção noroeste da sub-bacia hidrográfica, que apresentam maiores declividades e, consequentemente, maior suscetibilidade à erosão. Nessas áreas, a predominância de Argissolos, associada às condições de relevo, favorece o aumento do PNE.

**Figura 6** - Mapa de Potencial Natural a Erosão na sub-bacia hidrográfica Arroio Micaela, inserida na bacia hidrográfica Arroio Fragata, no sul do RS.




**Fonte**: Os autores, (2025).

A Tabela 6 apresenta a distribuição das áreas da sub-bacia hidrográfica quanto ao Potencial Natural de Erosão (PNE). Identifica-se a recorrência territorial de classes com consideráveis potenciais naturais de perda de solo, destacando-se as classes Alto (29,0%), Muito Alto (3,8%) e Extremamente Alto (20,9%), que juntas representam 53,7% da área da sub-bacia hidrográfica. Esses resultados refletem a influência dos fatores naturais utilizados na estimativa do PNE, especialmente da declividade do terreno (fator LS) e da erodibilidade dos Argissolos (fator K), cuja interação favorece a elevação da suscetibilidade aos processos erosivos (Nachtigall et al., 2020).

**Tabela 6** - Classificação do potencial natural a erosão na sub-bacia hidrográfica Arroio Micaela, inserida na bacia hidrográfica Arroio Fragata no sul do RS.

| PNE | Área (ha) | % |
|---|---|---|
| Muito Baixo | 311,13 | 7,8 |
| Baixo | 759,13 | 19,0 |
| Médio | 771,61 | 19,3 |
| Alto | 115,87 | 29,0 |
| Muito Alto | 153,33 | 3,8 |
| Extremamente Alto | 835,19 | 20,9 |

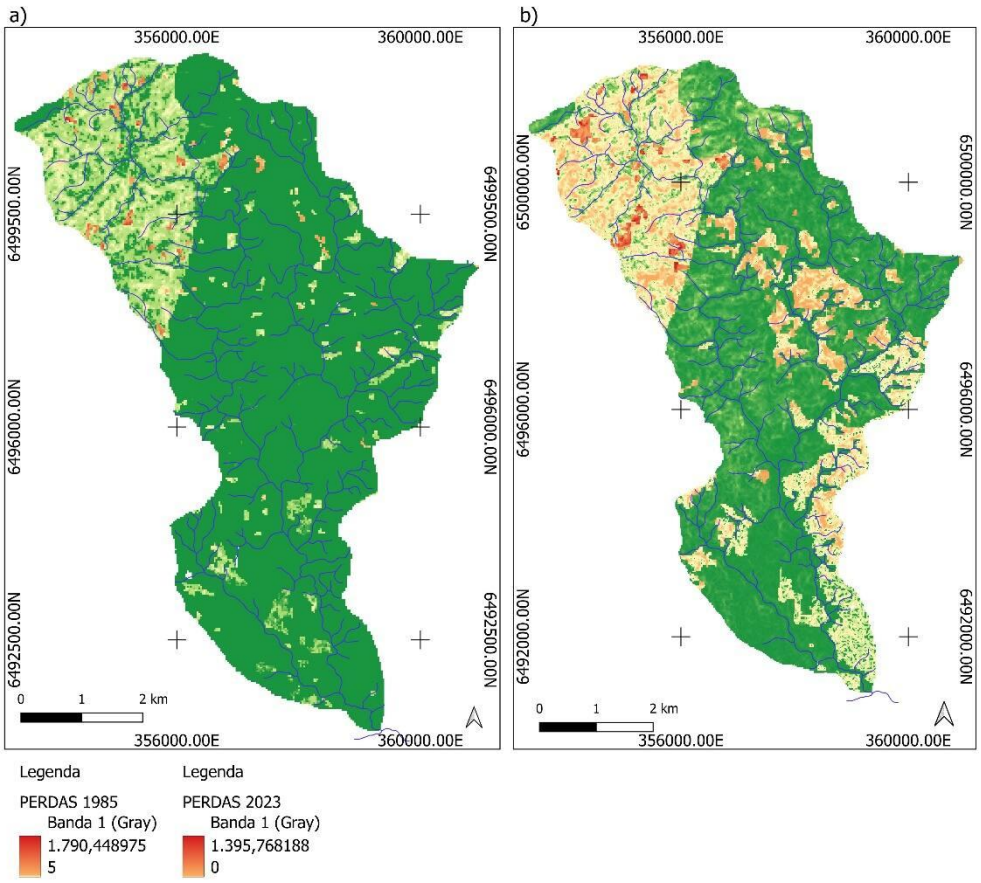
**Fonte**: Os autores, (2025).

Ao comparar os mapas de perdas de solo de 1985 e 2023 (Figura 7), observa-se a ampliação das áreas com maiores valores estimados de perdas de solo, com destaque para a porção noroeste e para setores centrais da sub-bacia. Em contrapartida, as áreas com menores perdas permaneceram predominantes, porém apresentaram redução em relação a 1985. Essas alterações acompanham as mudanças no uso e cobertura da terra, observadas no período, especialmente a expansão das áreas agrícolas sobre parte das formações campestres.

Resultados semelhantes foram observados por Tuchtenhagen et al. (2017) na sub-bacia hidrográfica Santa Rita, onde também foram identificadas maiores perdas de solo em

áreas influenciadas pelas características do relevo, dos solos e do uso da terra. Salienta-se que nesta área de pesquisa o PNE foi a primeira abordagem específica nesta área, o que contribui significativamente para a compreensão dos processos erosivos para o desenvolvimento de estratégia de manejo.

**Figura 7** - Mapa de Perdas de Solo nos anos de 1985 (a) e 2023 (b) da sub-bacia hidrográfica Arroio Micaela, inserida na bacia hidrográfica Arroio Fragata, no sul do RS.




**Fonte**: Os autores, (2025).

Os dados apresentados na Tabela 7 quantificam as alterações observadas na Figura 7. A classe "Muito Baixa" reduziu de 76,80% para 66,79% da área da sub-bacia hidrográfica, enquanto as classes "Baixa", "Moderada" e "Alta" aumentaram de 5,63% para 7,92%, de 15,63% para 23,46% e de 1,01% para 2,27%, respectivamente. Destaca-se o aumento de 7,83 pontos percentuais na classe "Moderada", indicando o aumento das áreas enquadradas nessa categoria de perdas de solo ao longo do período analisado.

Em contrapartida, a classe "Muito Alta" permaneceu pouco representativa, reduzindo de 0,94% para 0,37% da área da sub-bacia hidrográfica. Essas mudanças acompanham as alterações no uso e cobertura da terra observadas na área de estudo, especialmente na expansão das áreas agrícolas sobre as formações campestres.

Embora a classe "Muito Baixa" permaneça predominante, os resultados evidenciam uma tendência de intensificação das perdas de solo em parte da sub-bacia, indicando maior vulnerabilidade à erosão em áreas submetidas às mudanças de uso e cobertura da terra.

**Tabela 7 -** Tabela de perdas de solo na sub-bacia hidrográfica Arroio Micaela inserida na bacia hidrográfica Arroio Fragata no sul do RS para os anos 1985 e 2023.

| Perdas | 1985 (%) | 2023 (%) |
|---|---|---|
| Muito Baixa | 76,80 | 66,79 |
| Baixa | 5,63 | 7,92 |
| Moderada | 15,63 | 23,46 |
| Alta | 1,01 | 2,27 |
| Muito Alta | 0,94 | 0,37 |

**Fonte**: Os autores, 2025.

Comparando as perdas médias estimadas para cada classe de solo nos anos de 1985 e 2023 com os limites toleráveis propostos por Nachtigal et al. (2020) (Tabela 8), observa-se que, em ambos os períodos, todas as classes de solo apresentaram valores superiores aos limites de tolerância. Ressalta-se, entretanto, que essa análise se refere às perdas médias por classe de solo, diferindo da classificação espacial apresentada na Tabela 7, elaborada com base nos intervalos de perdas propostos por Bertoni e Lombardi Neto (2012), a qual representa a distribuição das classes de perdas em toda a sub-bacia hidrográfica.

**Tabela 8** - Tabela de perdas médias de solo na sub-bacia hidrográfica Arroio Micaela inserida na bacia hidrográfica Arroio Fragata no sul do RS para os anos 1985 e 2023, e a tolerância às perdas de solo elaborada por Nachtigall et al. (2020).

| Classes de Solos | Perdas médias de solo 1985 (ton ha -1 ano-1) | Perdas médias de solo 2023 (ton ha -1 ano-1) | Tolerância às perdas de solo |
|---|---|---|---|
| Neossolo litolico distrófico +Afloramentos +Argissolo amarelo distrófico | 9,59 | 15,66 | 3,31 |
| Planossolo háplico eutrófico +Argissolo acinzentado eutrófico | 7,80 | 13,52 | 3,00 |
| Argissolo vermelho-amarelo distrófico +Argissolo vermelho-Amarelo eutrófico | 12,56 | 25,13 | 3,43 |
| Planossolo háplico eutrófico +Planossolo nátrico ortico +Gleissolo melanico ta eutrófico | 8,12 | 9,53 | 3,00 |
| Argissolo amarelo distrófico +Neossolo litolico distrófico +Afl | 40,27 | 70,99 | 3,31 |

**Fonte**: Os autores, (2025).

De acordo com os valores obtidos, observa-se um aumento das perdas médias de solo entre 1985 e 2023 em todas as classes de solo avaliadas. Esse comportamento não pode ser atribuído a um único fator, mas à interação entre a topografia, as características pedológicas e as mudanças no uso e cobertura da terra.

A sub-bacia hidrográfica apresenta relevo predominantemente ondulado, com setores de maior declividade, onde o escoamento superficial adquire maior velocidade e capacidade de transporte de sedimentos, favorecendo a intensificação dos processos erosivos (Tuchtenhagen et al., 2017).

Quando essas condições ocorrem sobre Argissolos e Neossolos submetidos à conversão de formações campestres para áreas agrícolas, como soja e silvicultura, a suscetibilidade à erosão torna-se ainda maior, em razão da redução da proteção superficial do solo e da maior exposição ao impacto das gotas de chuva (Riquetti et al., 2022).

Os Argissolos apresentaram as maiores perdas médias de solo, resultado que pode ser explicado por suas características físicas e posição na paisagem. Esses solos apresentam horizonte superficial mais arenoso sobre um horizonte Bt textural, condição que reduz a infiltração da água e favorece o escoamento superficial em áreas declivosas.

Os Neossolos, por sua vez, possuem reduzido desenvolvimento pedogenético e pequena profundidade efetiva, tornando-se mais suscetíveis ao desprendimento e transporte de partículas durante eventos pluviométricos (Streck et al., 2018; Nachtigall et al., 2020). Essas características, associadas à expansão das atividades agrícolas, explicam o aumento das perdas médias de solo observado no período analisado.

Resultados semelhantes foram obtidos por Nachtigall et al. (2020) na bacia hidrográfica do Arroio Fragata, que engloba a sub-bacia hidrográfica do Arroio Micaela, onde Argissolos e Neossolos também apresentaram perdas de solo superiores aos limites toleráveis. Além disso, Siqueira et al. (2022) destacam que perdas superiores a 50 t $ha^{-1}$ $ano^{-1}$ favorecem o desenvolvimento de processos erosivos mais severos, como ravinas e voçorocas, intensificando a degradação do solo.

Na sub-bacia hidrográfica do Arroio Micaela, os maiores valores de perdas concentram-se em áreas com maior declividade e predominância desses solos, indicando que esses setores devem ser priorizados para a adoção de práticas conservacionistas.

Dessa forma, recomenda-se que as áreas mais suscetíveis à erosão, especialmente aquelas ocupadas por Argissolos e Neossolos em relevo ondulado e utilizadas com atividades agrícolas, sejam priorizadas para a implantação de práticas conservacionistas, como terraceamento, cultivo em nível, manutenção da cobertura permanente do solo e recuperação de áreas com vegetação nativa.

Essas práticas contribuem para reduzir o escoamento superficial, aumentar a infiltração de água e minimizar as perdas de solo, promovendo a conservação dos recursos naturais e a sustentabilidade da produção agrícola (Tuchtenhagen et al., 2017).

Embora a aplicação da USLE integrada a técnicas de geoprocessamento tenha permitido estimar a distribuição espacial das perdas de solo na sub-bacia hidrográfica do Arroio Micaela, alguns aspectos metodológicos devem ser considerados. Os fatores K, C e P foram atribuídos com base em valores disponíveis na literatura, podendo não representar integralmente as condições locais.

Além disso, a classificação do uso e cobertura da terra obtida a partir do MapBiomas e a resolução espacial do Modelo Digital de Elevação (MDE) podem introduzir incertezas na estimativa das perdas de solo. Destaca-se ainda que os resultados não foram validados por medições diretas de perdas de solo em campo, devendo ser interpretados como estimativas obtidas a partir de um modelo empírico.

## 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A sub-bacia hidrográfica do Arroio Micaela apresenta características que influenciam diretamente a vulnerabilidade e a perda de solo por processos erosivos. Os Argissolos são predominantes na área e o relevo mais ocorrente é o ondulado, respectivamente com altitudes variando entre 85 e 140 m.

Embora a perda de solo com classe muito baixa mantenha-se em predominância em toda a área de estudo para os anos de 1985 e 2023, a expansão territorial dessa classe de perda de solo apresentou uma redução, cenário também observado na classe muito alta. Para as demais classes intermediárias ocorreu um aumento substancial, principalmente para a classe de perda de solo moderada.

Quando analisado os limites de tolerância por classe de solo, as perdas de solo superam os limites toleráveis em todos os cenários. Porém quando observado os valores para os cenários de 1985 e 2023, ocorrem acrescimento das perdas médias de solo para todas as classes de solo. Destaca-se os Argissolos, como as classes com maiores aumentos médios de perda de solo quando comparados os dois momentos temporais.

## REFERÊNCIAS


BERA, A**. Estimation of Soil loss by USLE Model using GIS and Remote Sensing techniques: A case study of Muhuri River Basin, Tripura, India.** *Eurasian Journal of Soil Science*, Tripura, v. 6, n. 3, p. 206-215, jan. 2017. https://doi.org/10.18393/ejss.288350.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo.** 8. ed. São Paulo: Ícone, 2012. 355 p. Disponível em: https://pt.scribd.com/document/609755475/Conservacao-Do-Solo-Bertoni-e-Lombardi-Neto. Acesso em: 15 jun. 2025.

BORRELLI, P.; ROBINSON, D. A.; FLEISCHER, L. R. et al. **An assessment of the global impact of 21st century land use change on soil erosion.** Nature Communications, v. 8, art. 2013, 2017. https://doi.org/10.1038/s41467-017-02142-7.

CUNHA, H. N. da; PRANKE, L.; MIURA, A. K. **Delimitação e caracterização morfométrica fluvial da bacia de drenagem do Arroio Micaela, Pelotas/RS.** In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 21., 2012, Pelotas. Anais [...]. Pelotas: UFPel, 2012. Disponível em: https://www2.ufpel.edu.br/cic/2012/anais/pdf/CH/CH_01096.pdf. Acesso em: 15 jun. 2025.

CUNHA, H.; FILIPPINI, J. **Caracterização morfométrica da Bacia Hidrográfica do Arroio Micaela, Pelotas-RS.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 2013. Disponível em: https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/982437. Acesso em: 15 jun. 2025.

DESMET, P. J. J.; GOVERS, G. **A GIS procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units.** Journal of Soil and Water Conservation, v. 51, n. 5, p. 427-433, 1996. https://doi.org/10.1080/00224561.1996.12457102.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Súmula da 10ª Reunião Técnica de Levantamento de Solos.** Rio de Janeiro: Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos, 1979. 83 p. Disponível em: https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/327212. Acesso em: 15 jun. 2025.

GARRASTAZU, M. C.; HASENACK, H.; WEBER, E.; FLORES, C. A.; SEVERO, C. R. S.; ALBA, J. M. F. **Estruturação de base cartográfica e temática em SIG.** In: **Zoneamento Agroclimático do Eucalipto para o Estado do Rio Grande do Sul e Edafoclimático na Região do Corede Sul – RS.** Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2009. v. 3, p. 33-40. Disponível em:

https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/859587/1/13653.pdf. Acesso em: 15 jun. 2025.

GAO, J.; BAI, Y.; CUI, H.; ZHANG, Y. **The effect of different crops and slopes on runoff and soil erosion.** Water Practice & Technology, 2020. https://doi.org/10.2166/wpt.2020.061.

GOMES, D. J. C.; SOUSA, E. V. S.; FERREIRA, N. S.; LOBATO, R. R. C.; RIBEIRO, B. F.; DIAS. **Vulnerabilidade à erosão hídrica do solo, bacia hidrográfica do rio Araguaia.** Revista Brasileira de Geografia e Física, 2021. https://doi.org/10.26848/rbgf.v14.2.p816-833.

GUTERRES, D. S.; RADKE, D.; CERETTA, V. O.; LIMA, C. L. R. **Mapeamento de solos expostos durante a safra 2023-2024 na Sub-Bacia Hidrográfica Santa Rita, Sul do Brasil.** In: XXVI ENPÓS – ENCONTRO DE PÓS-GRADUAÇÃO, 2024, Pelotas. Anais [...]. Pelotas: 10ª Semana Integrada UFPel, 2024. Disponível em: https://cti.ufpel.edu.br/siepe/arquivos/2024/CA_04445.pdf. Acesso em: 15 jun. 2025.

HASENACK, H.; WEBER, E. (org.)**. Base cartográfica vetorial contínua do Rio Grande do Sul: escala 1:50.000.** Porto Alegre: UFRGS Centro de Ecologia, 2010. 1 DVD-ROM. Disponível em: https://www.ufrgs.br/labgeo/index.php/downloads/dados-geoespaciais/base-cartografica-vetorial-continua-do-rio-grande-do-sul-escala-150-000/. Acesso em: 15 jun. 2025.

NACHTIGALL, S. D. et al. **Modelagem espacial da erosão hídrica do solo associada à sazonalidade agroclimática na região sul do Brasil.** Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 25, p. 933-946, 2020. https://doi.org/10.1590/s1413-4152202020190136.

NORNBERG, S. O.; REHBEIN, M. O. **Fragilidade ambiental e vulnerabilidade à perda de solos no município de Pelotas/RS: aplicação e comparação de modelos.** Caminhos de Geografia, v. 22, n. 81, p. 42-59, 2021. https://doi.org/10.14393/RCG228155365

OLIVEIRA, P. T. S.; WENDLAND, E.; NEARING, M. A. **Rainfall erosivity in Brazil: A review.** *Catena*, v. 100, p. 139-147, 2013. https://doi.org/10.1016/j.catena.2012.08.006.

PANAGOS, P.; BORRELLI, P.; POESEN, J.; BALLABIO, C.; LUGATO, E.; MEUSBURGER, K.; MONTANARELLA, L.; ALEWELL, C. **The new assessment of soil loss by water erosion in Europe.** Environmental Science & Policy, v. 54, p. 438-447, 2015. https://doi.org/10.1016/j.envsci.2015.08.012.

PETSCH, C.; AMARAL, E.; SANCHES, F.; TRENTIN, R.; SCOTTI, A.; ROBAINA, L.; ROSA, K. **Relação entre a seca e erosão do solo na formação campestre da bacia hidrográfica do Rio Santa Maria (RS).** *RA'E GA* – O Espaço Geográfico em Análise, v. 56, p. 162, 2023. https://doi.org/10.5380/raega.v56i0.86421.

RENARD, K. G.; FOSTER, G. R.; WEESIES, G. A.; MCCOOL, D. K.; YODER, D. C. **Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE).** Washington, DC: USDA Agricultural Research Service, 1997. 404 p. (Agriculture Handbook, 703).

RIQUETTI, N. B.; MELLO, C. R.; LEANDRO, D.; GUZMAN, J. A.; BESKOW, S. **Assessment of the soil-erosion-sediment for sustainable development of South America.** Journal of

Environmental Management, v. 321, 115933, 2022. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115933.

ROCHA, L. B. O.; MAGRI, R. A. F. **Predição da perda de solo por erosão laminar na bacia hidrográfica do Ribeirão Bocaina, Passos-MG.** Caminhos de Geografia, Uberlândia, v. 23, n. 87, p. 153-174, jun. 2022. https://doi.org/10.14393/RCG238759130.

RIO GRANDE DO SUL. Secretaria de Planejamento, Governança e Gestão. **Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul.** 6. ed. Porto Alegre: Secretaria de Planejamento, Governança e Gestão, 2021. 203 p. Disponível em: https://planejamento.rs.gov.br/atlasdors. Acesso em: 15 jun. 2025.

RIO GRANDE DO SUL. Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura (SEMA). **Sistema de Dados Geoespaciais.** Porto Alegre: SEMA, 2018. Disponível em: https://www.sema.rs.gov.br/si-dados-geoespaciais. Acesso em: 7 ago. 2026.

SANTOS, G. G.; GRIEBELER, N. P.; OLIVEIRA, L. F. **Chuvas intensas relacionadas à erosão hídrica.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 2010. https://doi.org/10.1590/S1415-43662010000200001.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. de. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** 3. ed. rev. e ampl. Brasília: Embrapa, 2013. 353 p. Disponível em: https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1094003. Acesso em: 15 jun. 2025.

SANTOS, J. P. **Erosividade determinada por desagregação de chuva diária no lado brasileiro da Bacia da Lagoa Mirim.** 2013. 89 p. Dissertação (Mestrado em Manejo e Conservação do Solo e da Água) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2013. Disponível em: https://guaiaca.ufpel.edu.br/handle/prefix/8692. Acesso em: 15 jun. 2025.

SILVA, T. P.; NACHTIGALL, S. D.; NUNES, M. C. M.; LIMA, C. L. R.; KNAPP, A. P. **Modeling of water erosion in a sub-basin in Rio Grande do Sul using the RUSLE model.** Revista Engenharia na Agricultura, v. 28, p. 303-313, 2016. https://doi.org/10.13083/reveng.v29i1.8930.

SIQUEIRA, H. E.; PEREIRA, G. T.; PISSARRA, T. C. T.; MARTINS FILHO, M. V.; CAMPOS, C. A. A. **Estimativa de perdas de solo na área de proteção ambiental do rio Uberaba.** Ciência Florestal, v. 32, n. 3, p. 1205-1226, 2022. https://doi.org/10.5902/1980509841259.

SOUSA, M. L. M.; NASCIMENTO, F. R. **Estudos geoambientais de bacias hidrográficas em áreas suscetíveis à desertificação no Nordeste do Brasil.** Revista Colombiana de Geografía, v. 24, n. 1, 2015. https://doi.org/10.15446/rcdg.v24n1.38318.

TADESSE, L.; SURYABHAGAVAN, K. V.; SRIDHAR, G.; LEGESSE, G. **Land use and land cover changes and soil erosion in Yezat Watershed, North Western Ethiopia.** International Soil and Water Conservation Research, v. 5, p. 85-94, 2017. https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2017.05.004.

TUCHTENHAGEN, I. K.; HARTWIG, M. P.; NUNES, M. C. M.; LIMA, C. L. R.; SILVA, T. P.; NACHTIGALL, S. D. **Estimativa da erosão hídrica por meio do modelo USLE na sub-bacia Santa**

**Rita em Pelotas-RS.** Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais, v. 8, n. 3, p. 88-96, 2017. https://doi.org/10.6008/SPC2179-6858.2017.003.0009.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting Rainfall Erosion Losses: A Guide to Conservation Planning.** Washington, DC: United States Department of Agriculture, 1978. Disponível em: https://www.ars.usda.gov/ARSUserFiles/60600505/RUSLE/AH_537%20Predicting%20Rainfall%20Soil%20Losses.pdf. Acesso em: 14 jun. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Malhas territoriais.** Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html. Acesso em: 7 ago. 2026.