

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
FACULDADE DE AGRONOMIA ELISEU MACIEL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA**



Dissertação

**Impactos da dinâmica dos usos da terra sobre atributos físicos e químicos
dos solos: uma análise na porção sul da Serra dos Tapes/RS**

Isadora de Castro Mayer

Pelotas, 2026

Isadora de Castro Mayer

Impactos da dinâmica dos usos da terra sobre atributos físicos e químicos dos solos: uma análise na porção sul da Serra dos Tapes/RS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água, da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências (área do conhecimento: Manejo e Conservação do Solo e da Água).

Orientadora: Edvania Aparecida Corrêa Alves

Coorientadora: Maria Cândida Moitinho Nunes

Isadora de Castro Mayer

Impactos da dinâmica dos usos da terra sobre atributos físicos e químicos dos solos:
uma análise na porção sul da Serra dos Tapes/RS

Dissertação aprovada, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ciências, Programa de Pós-Graduação em Ciências Manejo e Conservação do Solo e da Água, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas.

Data da defesa: 11/02/2026

Banca examinadora:

Profa. Dra Edvania Aparecida Corrêa Alves
(Orientadora)

Doutora em Geografia pela Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”

Prof. Dr Adilson Luís Bamberg

Doutor em Agronomia pela Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dra Luana Centeno Cecconello

Doutora em Manejo e Conservação do Solo e da Água pela Universidade Federal de Pelotas

Agradecimentos

A Deus, por ter permitido que eu tivesse saúde e determinação para não desanimar durante a realização deste trabalho. Aos meus pais Margarete Terezinha Pegoraro de Castro Mayer e Rui Fernando Mayer e ao meu irmão Bernardo de Castro Mayer, que me incentivaram nos momentos difíceis e compreenderam a minha ausência enquanto eu me dedicava à realização deste trabalho. Às minhas avós Alda Neitzke Mayer e Catarina Pegoraro, pelo carinho e apoio constantes, e ao meu companheiro Douglas Bock, que sempre esteve ao meu lado e em quem pude contar em todos os momentos.

Gratidão aos professores, pelas correções e ensinamentos que me permitiram apresentar um melhor desempenho no meu processo de formação profissional ao longo do curso, especialmente à minha orientadora, Prof.^a Dr.^a Edvania Aparecida Corrêa Alves, e coorientadora Prof.^a Dr.^a Maria Cândida Moitinho Nunes, por ter desempenhado tal função com dedicação e amizade, por todos os conselhos, pelas ajudas e pela paciência com a qual guiaram o meu aprendizado.

Aos amigos e colegas do PPG, pela parceria constante, pelas valiosas trocas de saberes, pelo apoio recíproco e pelos gestos de incentivo ao longo desta trajetória. A convivência diária tornou o caminho mais agradável e enriquecedor, especialmente pelas experiências compartilhadas que contribuíram para meu crescimento pessoal e acadêmico.

O meu muito obrigada à banca examinadora pela confiança no meu trabalho e pela compreensão. À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio financeiro e incentivo à pesquisa, fundamentais para a realização deste trabalho.

Ao Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água, pelo suporte acadêmico, pela estrutura oferecida e pela oportunidade de formação científica de excelência a qual muito me orgulho.

À Universidade Federal de Pelotas, por proporcionar um ambiente de aprendizado, pesquisa e desenvolvimento intelectual, contribuindo de forma significativa para minha formação acadêmica.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a concretização desta dissertação, o meu muito obrigada a todos(a).

Lista de Figuras

Figura 1. Localização da área de estudo	23
Figura 2. Mapa das morfoesculturas da área de estudo.	25
Figura 3. Figuras classes Hipsométricas (A) e de Declividade (B) (em %) da área de estudo	26
Figura 4. Classes de Solos presentes na área de estudo.	26
Figura 5. Exemplo de identificação de pontos amostrais com supressão de vegetação nativa e/ou conservada para uso agrícola com commodities.	32
Figura 6. Localização dos pontos amostrais	33
Figuras 7a 7b. Coleta de amostras indeformadas em áreas agrícolas e áreas conservadas/florestais nas camadas de 0–0,10 m, 0,10–0,20 m.....	34
Figuras 8a,8b e 8c. Anel volumétrico de 0,05 m de altura, coletas de amostras indeformadas e tratamento em laboratório.....	35
Figura 9. Coleta e armazenamento de amostras deformadas (A) e indeformadas (B).	36
Figura 10. Procedimento metodológico: análise granulométrica pelo método do hidrômetro de Bouyoucos.....	37
Figura 11. Etapas do Ensaio de Estabilidade de Agregados em Laboratório.	39
Figura 12. Amostras saturadas (A); amostras na panela (B) e amostras secas em estufa (C).....	41
Figura 13. Esquema ilustrativo da mesa de tensão de areia, destacando a panela.....	42
Figura 14. Dinâmica dos usos da terra na área de estudo (1985 a 2023).....	43
Figura 15 Dinâmica dos Usos e Coberturas da Terra em 1985 e 2023.	44
Figura 16. – Uso e cobertura da terra no entorno do Ponto 1 (São Lourenço do Sul) nos anos de 2006, 2019, 2020 e 2024.....	47
Figura 17. Evolução do uso e cobertura da terra no Ponto 2 (São Lourenço do Sul) nos anos de 2006, 2023 e 2025, a partir de imagens de satélite e drone.....	49
Figura 18. Uso e cobertura da terra no entorno do Ponto 3 (São Lourenço do Sul) nos anos de 2006, 2020 e 2024.....	51
Figura 19. Uso e cobertura da terra no entorno do Ponto 4 (São Lourenço do Sul) nos anos de 2007, 2020 e 2023.....	52
Figura 20. Uso e cobertura da terra no entorno do Ponto 5 (Canguçu) nos anos de 2011, 2016, 2017 e 2023.	54
Figura 21. Uso e cobertura da terra no entorno do Ponto 6 (Pelotas – Colônia Maciel) nos anos de 2006, 2024 e 2025.....	56

Figura 22. Uso e cobertura da terra no entorno do Ponto 7 (Pelotas) nos anos de 2006 e 2025	57
Figura 23. Uso e cobertura da terra no entorno do Ponto 8 (Canguçu) nos anos de 2004 e 2023.	58
Figuras 24a e 24b. Vista dos pontos 8 em área agrícola e em área preservada (A), presença de nascente em local de conversão de cobertura florestal para uso agrícola.	59
Figura 25. Uso e cobertura da terra no entorno do Ponto 9 (Turuçu) nos anos de 2006 e 2024.	60
Figura 26. Uso e cobertura da terra no entorno do Ponto 10 (Arroio do Padre) nos anos de 2006, 2024 e 2025.	61
Figura 27. Variação da fração areia total em áreas agrícolas e áreas preservadas.....	63
Figura 28. Variação da fração silte em áreas agrícolas e áreas preservadas	64
Figura 29. Variação da fração argila em áreas agrícolas e áreas preservadas	64
Figura 30. Fracionamento das areias nos pontos amostrais	66
Figura 31. Densidade de partículas dos pontos amostrados	78
Figura 32. Densidade do solo x profundidade.....	82
Figura 33. Macroporosidade e Microporosidade x uso do solo.....	83
Figura 34. Porosidade total x profundidade.....	83

Lista de Tabelas

Tabela 1. Número de habitantes, densidade demográfica, renda per capita e Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) dos municípios da Serra dos Tapes, Rio Grande do Sul	24
Tabela 2. Granulometria dos pontos amostrados.....	62
Tabela 3. Fracionamento das areias	66
Tabela 4. Macro, micro, porosidade total e densidade do solo	69
Tabela 5. Diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG) e percentual de macroagregados do solo sob mata e agricultura.	74
Tabela 6. Densidade das partículas dos pontos amostrados	77
Tabela 7. Atributos químicos dos solos nos pontos amostrais	80
Tabela 8. Atributos químicos dos solos nos pontos amostrais	81

Resumo

MAYER, Isadora de Castro. **Impactos da dinâmica dos usos da terra sobre atributos físicos e químicos dos solos: uma análise na porção sul da Serra dos Tapes/RS.** Orientadora: Dr^a. Edvania Ap. Corrêa Alves. 2026. Dissertação (Mestrado em Manejo e Conservação do Solo e da Água) – Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2026.

O Bioma Pampa brasileiro abriga solos e ecossistemas campestres e florestais de elevada relevância ambiental, porém historicamente submetidos a intensas transformações decorrentes da expansão agropecuária. Nesse contexto, a Serra dos Tapes configura-se como uma área de elevada fragilidade ambiental em função da combinação entre relevo predominantemente ondulado a fortemente ondulado, ocorrência de solos rasos e textura variável, além de elevada concentração de nascentes. Essas características tornam os solos particularmente sensíveis a mudanças no uso da terra, sobretudo quando associadas à remoção da cobertura vegetal e à mecanização agrícola. O presente estudo teve como objetivo avaliar os efeitos da conversão do uso da terra sobre os atributos físicos e químicos do solo, comparando áreas sob vegetação nativa e uso agrícola. Foram analisados atributos relacionados à estrutura, granulometria, densidade do solo e das partículas, macroporosidade, microporosidade, porosidade total e indicadores de estabilidade de agregados, como diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG) e percentual de macroagregados, além da análise químicas para fins e fertilidade. As análises evidenciaram que os solos sob vegetação nativa apresentaram melhores condições físicas, com maior estabilidade estrutural, maior porosidade e menores valores de densidade do solo. Diferenças granulométricas observadas entre áreas agrícolas e áreas sob vegetação nativa podem refletir variabilidade espacial natural e posição na paisagem. Alternativamente, podem estar associadas a processos erosivos seletivos que removem partículas finas. Assim, a textura deve ser interpretada como covariável na análise dos atributos estruturais, e não como resposta direta ao uso da terra. Os resultados indicam que a conversão de áreas nativas para uso agrícola na Serra dos Tapes promove alterações nos atributos físicos do solo, evidenciando processos iniciais de degradação estrutural. Dessa forma, o estudo contribui para a compreensão das dinâmicas de uso da terra em áreas frágeis do Bioma Pampa e reforça a importância de práticas de manejo conservacionistas para a manutenção da qualidade física dos solos.

Palavras-chave: Bioma Pampa; qualidade física do solo; Geoprocessamento; estabilidade de agregados; conservação do solo.

ABSTRACT

MAYER, Isadora de Castro. **Impacts of land use dynamics on the physical and chemical attributes of soils: an analysis in the southern portion of the Serra dos Tapes/RS**. Advisor: Dr. Edvania Ap. Corrêa Alves. 2026. **Dissertation (Master's Degree in Soil and Water Management and Conservation)** – Eliseu Maciel Faculty of Agronomy, Federal University of Pelotas, Pelotas, 2026.

The Brazilian Pampa Biome comprises soils and grassland and forest ecosystems of high environmental relevance; however, they have historically been subjected to intense transformations resulting from agricultural expansion. In this context, the Serra dos Tapes, located in the southernmost region of Rio Grande do Sul, is characterized as an environmental transition area with recognized natural fragility, especially regarding susceptibility to soil degradation. This study aimed to evaluate the effects of land-use conversion on soil physical and chemical attributes by comparing areas under native vegetation and agricultural use. Attributes related to soil structure, particle-size distribution, soil and particle density, macroporosity, microporosity, total porosity, and aggregate stability indicators, such as mean weight diameter (MWD), geometric mean diameter (GMD), and macroaggregate percentage—were analyzed, in addition to chemical analyses for soil fertility purposes. The results showed that soils under native vegetation presented better physical conditions, with greater structural stability, higher porosity, and lower soil bulk density values. In contrast, agricultural areas exhibited signs of alteration in physical properties, mainly associated with increased sand content, compaction, and reduced aggregate stability. The findings indicate that the conversion of native areas to agricultural use in the Serra dos Tapes leads to changes in soil physical attributes, indicating early stages of structural degradation. Therefore, this study contributes to the understanding of land-use dynamics in fragile areas of the Pampa Biome and reinforces the importance of conservation management practices for maintaining soil physical quality.

Keywords: Pampa Biome; soil physical quality; Geoprocessing; aggregate stability; soil conservation.

Sumário

1. Introdução	11
2.1 Objetivo Geral	13
2.2 Objetivos específicos.....	13
2.3 Hipótese do trabalho	13
3. Revisão da Literatura	14
3.1 Dinâmica dos usos da terra na Serra dos Tapes: características e problemáticas	14
3.2 Aplicação o Geoprocessamento nos estudos da dinâmica dos usos da terra e planejamento ambiental	17
3.3 Efeitos dos usos da terra sobre as propriedades físicas e químicas dos solos	19
4. Materiais e Métodos.....	23
4.1 Caracterização da área de estudo.....	23
4.2 Coleta, organização e processamento dos dados Cartográficos	30
4.3 Análise da dinâmica dos usos da terra e identificação dos pontos amostrais	31
4.4 Delineamento experimental e realização de análises físicas e químicas dos solos	32
5. Resultados e discussões	43
5.1 Dinâmica dos usos da terra na porção sul da serra dos Tapes: recorte de 1985 a 2023	43
5.2 Caracterização dos pontos amostrais.....	46
5.2.1 Ponto 1 – São Lourenço do Sul.....	46
5.2.2 Ponto 2 – São Lourenço do Sul.....	48
5.2.3 Ponto 3 – São Lourenço do Sul.....	50
5.2.4 Ponto 4 – São Lourenço do Sul.....	51
5.2.5 Ponto 5 – Canguçu.....	53
5.2.6 Ponto 6 – Pelotas (Colônia Maciel)	55
5.2.7 Ponto 7 – Pelotas.....	56
5.2.8 Ponto 8 – Canguçu.....	57
5.2.9 Ponto 9 – Turuçu.....	59
5.2.10 Ponto 10 – Arroio do Padre	60
5.3 Análise da Granulometria e Fracionamento da fração areia	62
5.4 Análise dos parâmetros de Macroporosidade, Microporosidade, porosidade total e densidade do solo	69
5.5 Análise do parâmetro Densidade das partículas.....	77
5.6 Estabilidade de agregados	79
5.7 Análise dos Atributos químicos dos solos	80
6.Conclusões.....	88
7.Referências	91

1. Introdução

O Bioma Pampa brasileiro desempenha papel estratégico na manutenção de processos edafológicos e hidrológicos, especialmente em regiões de transição ambiental. Entretanto, nas últimas décadas, a intensificação do uso da terra tem alterado de forma significativa a cobertura vegetal original, levantando questionamentos sobre a resiliência estrutural dos solos e sua capacidade de manter funções ambientais essenciais, como infiltração, armazenamento de água e controle da erosão (Overbeck *et al.*, 2015; Veldman *et al.*, 2015). Além de sua relevância biológica, o bioma desempenha funções ecossistêmicas essenciais, como a regulação hídrica, a ciclagem de nutrientes e o armazenamento de carbono (Oliveira *et al.*, 2017).

Apesar de sua importância ambiental, o Pampa brasileiro historicamente apresenta baixa prioridade nas políticas públicas de conservação, sendo o bioma com menor representatividade em unidades de conservação no país (Overbeck *et al.*, 2015; Oliveira *et al.*, 2023) e um dos mais impactados pela ação antrópica, onde alguns estudos indicam redução de mais de 50% na sua extensão original (Corrêa Alves, 2024). Essa fragilidade institucional tem favorecido a intensificação de pressões antrópicas, especialmente associadas à expansão agrícola e silvicultural, resultando na conversão de áreas nativas e na alteração dos sistemas naturais (Silveira Júnior, 2024).

Nesse contexto, a Serra dos Tapes apresenta elevada fragilidade ambiental em função da combinação entre relevo ondulado a fortemente ondulado, ocorrência frequente de solos rasos e elevada densidade de nascentes. Essas características ampliam a sensibilidade do sistema solo-água às mudanças no uso da terra, tornando alterações estruturais do solo particularmente relevantes para a dinâmica hidrológica e para os processos erosivos na região (Flach *et al.*, 2021; Sampaio, 2022; Midon, 2023).

A expansão recente de cultivos agrícolas no Rio Grande do Sul, com destaque para a soja e a silvicultura, tem ocorrido, em parte, sobre áreas anteriormente ocupadas por formações campestres e florestais nativas (IBGE, 2022; MapBiomas, 2023). Na Serra dos Tapes, esse processo levanta questionamentos quanto aos limites ambientais da conversão do uso da terra, uma vez que estudos indicam que a substituição da vegetação nativa por sistemas agrícolas pode promover alterações nas propriedades físicas do solo, em relação às condições naturais, sem que isso implique necessariamente degradação irreversível (Flach *et al.*, 2021; Midon, 2023).

Diante desse cenário, torna-se fundamental compreender como as mudanças de uso e cobertura da terra influenciam as propriedades físicas dos solos da Serra dos Tapes, contribuindo para o debate sobre conservação dos solos, planejamento territorial e sustentabilidade dos sistemas produtivos em regiões ambientalmente frágeis.

2. Objetivos e Hipótese

2.1 Objetivo Geral

Analisar de que forma as mudanças no uso e na cobertura da terra influenciam a qualidade física e química dos solos da Serra dos Tapes (RS), com foco na identificação de processos de degradação em ambientes edáficos naturalmente frágeis.

2.2 Objetivos específicos

1. Caracterizar as principais transformações no uso e na cobertura da terra ocorridas na Serra dos Tapes ao longo das últimas décadas, destacando padrões de intensificação agrícola e conversão de áreas naturais.
2. Avaliar os efeitos dessas transformações sobre atributos físicos e químicos dos solos, considerando diferentes classes de uso da terra.
3. Comparar a condição dos solos sob uso agrícola intensivo ou recente com aquela observada em áreas sob cobertura vegetal nativa, visando identificar sinais de degradação e perda de qualidade do solo.
4. Identificar áreas e tipos de uso da terra mais associados à vulnerabilidade e degradação dos solos, fornecendo subsídios técnicos para o planejamento territorial e práticas de manejo conservacionistas.

2.3 Hipótese do trabalho

A hipótese central foi que a conversão da cobertura vegetal nativa para uso agrícola promoveria alterações estruturais mensuráveis, principalmente na camada superficial (0–0,10 m), com aumento da densidade e redução da macroporosidade e estabilidade de agregados.

3. Revisão da Literatura

3.1 Dinâmica dos usos da terra na Serra dos Tapes: características e problemáticas

A degradação dos solos é entendida como um processo gradual de perda da qualidade do solo e da cobertura vegetal, comprometendo sua capacidade de sustentar a produção agrícola e os diferentes componentes da vida terrestre (Gunawardena, 2022). Esse processo está relacionado à redução da produtividade biológica e econômica da terra e, em grande parte, decorre de ações antrópicas intensivas, especialmente quando o uso do solo ocorre sem planejamento adequado (Silva, 2024). Práticas agrícolas baseadas no uso excessivo de insumos químicos, na remoção da cobertura vegetal e no manejo inadequado do solo favorecem processos como erosão, compactação e empobrecimento nutricional, resultando em sistemas produtivos progressivamente mais frágeis (Leite, 2024).

A degradação da terra não se restringe a contextos locais, constituindo um problema amplamente reconhecido em escala global. Tanto em países em desenvolvimento quanto em regiões de agricultura altamente tecnificada, a intensificação do uso da terra tem provocado alterações profundas nos solos, refletindo-se na diminuição da fertilidade, na perda de biodiversidade e na instabilidade dos sistemas agrícolas (Ribeiro, 2021). Além dos impactos diretos sobre a produção de alimentos, a degradação interfere nos ciclos biogeoquímicos, no desmatamento para abertura de novas frentes agrícolas e contribui para o aumento das emissões de gases de efeito estufa e intensifica processos associados às mudanças climáticas, ampliando situações de vulnerabilidade ambiental e social (Moreira; Oliveira, 2024; Barbosa, 2024).

Diversos estudos apontam que a dinâmica dos usos e coberturas da terra exerce papel central nesses processos. A conversão de áreas naturais em sistemas agrícolas ou pastagens altera propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, como estrutura, teor de matéria orgânica e capacidade de infiltração de água, tornando-o mais suscetível à degradação ao longo do tempo (Lal, 2015; Foley *et al.*, 2011). Quando essas mudanças ocorrem de forma acelerada e contínua, sem adoção de práticas conservacionistas, os impactos tendem a se intensificar, afetando não apenas o solo, mas também os recursos hídricos e a estabilidade da paisagem (Vezzani; Mielniczuk, 2009; Montanarella *et al.*, 2016).

Em escala regional, essas transformações têm sido associadas a alterações nos regimes hidrológicos e climáticos. A redução da cobertura vegetal compromete

processos de evapotranspiração e modifica fluxos de energia e umidade, favorecendo a ocorrência de eventos climáticos extremos. No Brasil, estudos realizados no sul do país indicam que a substituição histórica de áreas de Mata Atlântica e/ou vegetação de mata galeria por pastagens e agricultura contribuiu para aumentar a vulnerabilidade ambiental, potencializando a ocorrência de eventos extremos, como ciclones extratropicais e sistemas convectivos intensos, especialmente no estado do Paraná (Nobre *et al.*, 2016; Marengo *et al.*, 2022; Santos *et al.*, 2023).

Esse conjunto de processos insere-se de forma direta no contexto do Bioma Pampa, uma das formações campestres mais singulares da América do Sul, que se estende pelo sul do Brasil, Uruguai e Argentina. O bioma caracteriza-se por campos naturais, savanas e áreas florestais isoladas, abrigando elevada biodiversidade adaptada às condições edafoclimáticas específicas da região (Overbeck *et al.*, 2015; Veldman *et al.*, 2015). Além de sua importância biológica, o Pampa desempenha funções ambientais fundamentais, como a regulação hídrica, a proteção de rica biodiversidade, o armazenamento de carbono e a ciclagem de nutrientes, exercendo influência relevante sobre a estabilidade ambiental regional (Oliveira *et al.*, 2017).

Apesar dessa relevância, o Bioma Pampa historicamente recebeu menor atenção nas políticas públicas de conservação no Brasil, apresentando baixa representatividade em unidades de conservação e limitada visibilidade nas agendas ambientais nacionais (Oliveira *et al.*, 2023; Silveira Júnior, 2024). Esse cenário favoreceu o avanço de pressões antrópicas, como a expansão da agropecuária e a conversão de áreas naturais, intensificando processos de degradação ambiental e comprometendo a manutenção dos serviços ecossistêmicos (Corrêa Alves, 2024).

Inserida nesse contexto, a Serra dos Tapes, localizada no extremo sul do Rio Grande do Sul, destaca-se como uma área de elevada importância ambiental e econômica. A região configura-se como uma zona de transição entre o Bioma Pampa e remanescentes da Mata Atlântica, apresentando elevada heterogeneidade ambiental e diversidade de usos da terra (Tessmer Santin; Mello Da Silva; De Oliveira Fernandes, 2024). Suas características climáticas variáveis, associadas a uma topografia predominantemente declivosa, impõem limitações naturais ao uso intensivo da terra e exigem atenção especial no planejamento ambiental (Corrêa Alves, 2024).

A ocupação da Serra dos Tapes está historicamente associada à colonização por imigrantes europeus, sobretudo italianos e alemães, processo que resultou na formação de pequenas propriedades rurais voltadas à agricultura familiar. Essa configuração

fundiária permanece marcante na região, especialmente em municípios como Canguçu, reconhecido nacionalmente pelo elevado número de estabelecimentos familiares e pela diversidade produtiva (Waquil; Mielitz Netto, 2002; IBGE, 2017; EMATER/RS, 2021).

A predominância de pequenas propriedades, aliada à necessidade de garantir subsistência e geração de renda, conferiu à Serra dos Tapes uma dinâmica particular de uso da terra, caracterizada pelo aproveitamento intensivo das áreas disponíveis e pela constante reorganização dos sistemas produtivos. Esse processo ocorre em um contexto físico naturalmente frágil, marcado por relevo declivoso e pela ocorrência de solos rasos, frequentemente suscetíveis à erosão, o que amplia os riscos associados ao uso inadequado do solo (Flach *et al.*, 2021; Dos Passos, 2023; Sampaio, 2022).

As propriedades rurais da Serra dos Tapes também apresentam elevado grau de multifuncionalidade, combinando práticas agrícolas tradicionais, iniciativas agroecológicas pontuais e inserção em mercados regionais e nacionais (Wattthier, 2024; Bohn, 2024). Parte significativa da produção é destinada ao autoconsumo, contribuindo para a segurança alimentar das famílias rurais, enquanto os excedentes são comercializados em mercados locais e regionais, fortalecendo cadeias curtas de comercialização (Wille, 2020; Mansor, 2024).

Além da produção agrícola, atividades não agrícolas, como turismo rural, artesanato e prestação de serviços, complementam a renda das famílias e contribuem para a dinamização da economia local. A organização de cooperativas e associações também desempenha papel relevante nesse processo, possibilitando a agregação de valor à produção e o fortalecimento de iniciativas de economia solidária (Paiva, 2017; Rosânia, 2017; SIGA, 2021; Caeiro; Rego, 2023).

Entre os principais produtos da região destacam-se o cultivo do fumo, a avicultura, a suinocultura e a produção de leite, atividades amplamente documentadas em levantamentos oficiais e estudos regionais sobre a agricultura familiar no sul do Brasil (Waquil; Mielitz Netto, 2002; IBGE, 2017; EMATER/RS, 2021; Santos, 2023). Embora economicamente relevantes, esses sistemas produtivos exercem pressão sobre os recursos naturais, especialmente sobre os solos, reforçando a necessidade de práticas de manejo mais sustentáveis.

As práticas agroecológicas têm contribuído para a conservação do solo e para a redução da dependência de insumos químicos em algumas propriedades da região, por meio de estratégias como rotação de culturas, adubação verde e manejo integrado de pragas (Farias, 2024). No entanto, sua adoção ocorre de forma heterogênea, em

correlação com sistemas convencionais de produção, o que reflete a diversidade de realidades produtivas presentes na Serra dos Tapes.

A análise da dinâmica espaço-temporal dos usos da terra, apoiada por ferramentas de Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informação Geográfica (SIG), tem evidenciado transformações significativas na paisagem regional ao longo das últimas décadas. Estudos apontam processos associados ao êxodo rural, à redução do número de estabelecimentos familiares e ao arrendamento de terras para a expansão de monoculturas, especialmente a soja, resultando na simplificação dos sistemas produtivos e na intensificação do uso do solo (Sparovek *et al.*, 2019; Flach *et al.*, 2021; Pereira, 2024; Carvalho *et al.*, 2024).

De forma geral, a Serra dos Tapes configura-se como um território marcado por elevada dinamicidade no uso da terra, resultante da interação entre fatores históricos, socioeconômicos e ambientais. A coexistência de diferentes modelos produtivos, associada a processos recentes de intensificação agrícola, exerce influência direta sobre a qualidade dos solos. Compreender essa dinâmica é fundamental para avaliar os impactos das mudanças de uso da terra sobre os atributos físicos e químicos do solo e para subsidiar estratégias de planejamento territorial e manejo sustentável adequadas às especificidades da região.

3.2 Aplicação o Geoprocessamento nos estudos da dinâmica dos usos da terra e planejamento ambiental

O geoprocessamento compreende um conjunto de tecnologias, métodos e técnicas voltados à coleta, ao processamento, à análise e à representação de dados geoespaciais (Kumar, 2021; Agatha, 2023). Essas ferramentas são essenciais para os estudos ambientais pois permitem compreender, de forma integrada e espacializada, a dinâmica dos usos e coberturas da terra, bem como suas transformações ao longo do tempo (Sousa *et al.*, 2024). A aplicação do geoprocessamento possibilita análises detalhadas das mudanças espaciais, oferecendo subsídios técnicos e científicos para o desenvolvimento de estratégias de conservação ambiental e de manejo sustentável dos recursos naturais (Moreira; Thomazini, 2021).

Com o avanço contínuo das tecnologias de sensoriamento, processamento de dados e modelagem espacial, espera-se que o geoprocessamento desempenhe um papel cada vez mais relevante na proteção ambiental, no planejamento territorial e na

gestão dos recursos naturais, especialmente em regiões ambientalmente sensíveis e sujeitas a intensas pressões antrópicas (Nunes; Nora, 2024).

Ferramentas como os Sistemas de Informação Geográfica (SIG), o Sistema de Posicionamento Global (Global Positioning System, GPS) e o Sensoriamento Remoto são fundamentais para a execução de projetos de geoprocessamento (Cipriano *et al.*, 2024).

O Sensoriamento Remoto consiste na obtenção de informações do comportamento espectral dos alvos localizados na superfície terrestre por meio de sensores instalados em satélites, aeronaves e demais sensores presentes em veículos aéreos não tripulados (VANTS) e em nível de campo e laboratório, permitindo a coleta sistemática de dados sobre cobertura e uso da terra, vegetação, corpos hídricos e alterações ambientais (Liu, 2006). Essa ferramenta possibilita análises multitemporais e espaciais, fundamentais para a compreensão dos processos de transformação da paisagem em diferentes escalas.

No contexto brasileiro, destaca-se o projeto MapBiomass, que utiliza imagens de satélite e técnicas de classificação automática para mapear e monitorar, de forma contínua, a dinâmica dos usos e coberturas da terra em todo o território nacional (Souza *et al.*, 2020; Santana dos Santos *et al.*, 2025). Essa base de dados tem sido amplamente empregada em estudos ambientais, subsidiando análises sobre desmatamento, expansão agrícola, alterações na vegetação nativa e impactos decorrentes das atividades antrópicas, inclusive em regiões caracterizadas por forte dinâmica rural, como a Serra dos Tapes.

No cenário específico da Serra dos Tapes, o geoprocessamento desempenha papel estratégico ao permitir a coleta, organização e análise de dados espaciais sobre o uso da terra e suas transformações ao longo do tempo. Estudos demonstram a contribuição das geotecnologias para o mapeamento de uso do solo e monitoramento de áreas sensíveis (Silva; Veloso; Leite, 2025; Bacani *et al.*, 2015). A partir dessas informações, torna-se possível desenvolver planos de manejo e propostas de ordenamento territorial que busquem minimizar impactos ambientais negativos e promover a conservação dos recursos naturais, considerando as limitações impostas pelo relevo declivoso, pelos solos rasos e pela fragilidade ambiental potencial característica da região.

Estudos realizados na Serra dos Tapes evidenciam a eficácia do uso de técnicas de SIG e Sensoriamento Remoto no planejamento ambiental e na análise da dinâmica

da paisagem. Costa (2016) utilizou ferramentas de geoprocessamento para mapear o uso e a cobertura da terra, identificando áreas de maior vulnerabilidade ambiental associadas à expansão das atividades agropecuárias. De forma semelhante, pesquisas com técnicas de sensoriamento remoto e SIG têm sido aplicadas para identificar áreas suscetíveis a riscos ambientais, incluindo susceptibilidade à subsidência e deslizamentos de encostas associadas à declividade e características do solo (Prado, 2023)

Complementarmente, estudos demonstram que a integração entre Sistemas de Informação Geográfica e Sensoriamento Remoto permite identificar padrões espaciais de degradação ambiental e subsidiar a tomada de decisão no planejamento territorial, contribuindo para a definição de áreas prioritárias para conservação e recuperação ambiental (Bacani *et al.*, 2015).

O planejamento ambiental constitui uma abordagem estratégica que visa garantir o uso racional e sustentável dos recursos naturais, conciliando desenvolvimento socioeconômico e conservação ambiental (Falkenmark; Rockström, 2006). Nesse sentido, o uso do geoprocessamento no planejamento ambiental oferece benefícios significativos, como maior precisão na coleta e análise de dados, possibilidade de visualização de mudanças espaciais e temporais e integração de múltiplas fontes de informação (Longley *et al.*, 2015). Contudo, desafios como a disponibilidade de dados de alta qualidade, a necessidade de capacitação técnica e os custos associados à implementação dessas tecnologias ainda representam limitações a serem consideradas, especialmente em estudos regionais e locais (Food And Agriculture Organization – Fao, 2007).

3.3 Efeitos dos usos da terra sobre as propriedades físicas e químicas dos solos

Os usos da terra exercem influência direta e significativa sobre as propriedades físicas e químicas dos solos, interferindo na estrutura, na fertilidade, na dinâmica da água e na capacidade de suporte da vegetação (Lal, 2001). A compreensão desses efeitos é fundamental para o manejo sustentável dos recursos naturais, uma vez que alterações inadequadas no uso do solo podem desencadear processos de degradação ambiental com reflexos de longo prazo sobre os ecossistemas e a produção agrícola (Díaz; Posada, 1997).

O solo constitui um sistema dinâmico e complexo, formado pela interação entre frações minerais, matéria orgânica, água e ar, cuja organização resulta em propriedades físicas e químicas específicas (Brady; Weil, 2016). As propriedades físicas do solo

compreendem atributos como textura, estrutura, densidade e porosidade, os quais condicionam a infiltração de água, aeração e crescimento radicular (Leão, 2024). As propriedades químicas, por sua vez, relacionam-se à disponibilidade de nutrientes, ao pH, à capacidade de troca de cátions (CTC) e ao teor de matéria orgânica, elementos essenciais para a fertilidade e funcionamento do sistema solo-planta (Weiss, 2024).

A forma como a terra é utilizada pode modificar essas propriedades por diferentes mecanismos físicos, químicos e biológicos, especialmente quando há remoção da cobertura vegetal, revolvimento intenso do solo, tráfego frequente de máquinas agrícolas ou pisoteio animal excessivo (Mussato de Abreu; Gomes Ortiz, 2018). A conversão de áreas naturais em pastagens submetidas ao superpastejo, por exemplo, tende a provocar a compactação do solo, caracterizada pelo aumento da densidade aparente em subsuperfície. A redução da macroporosidade tende a diminuir infiltração e favorecer escoamento superficial, aumentando risco erosivo e potencial impacto sobre nascentes e cursos d'água. (Reichert; Reinert; Braida, 2007; Vezzani; Mielniczuk, 2009). Esses processos dificultam o desenvolvimento do sistema radicular, aumentam o escoamento superficial e favorecem a erosão hídrica.

Estudos experimentais realizados no Bioma Pampa brasileiro demonstram que solos sob pastagem apresentam, de modo geral, maiores valores de densidade do solo e menores teores de carbono orgânico quando comparados a áreas sob vegetação nativa, indicando degradação física e química associada ao uso pecuário intensivo (Bertol *et al.*, 2015; Sparovek *et al.*, 2019). Resultados semelhantes foram observados em áreas do sul do Rio Grande do Sul, onde diferentes usos da terra, como agricultura mecanizada, pecuária extensiva e vegetação natural, resultaram em variações significativas na estabilidade de agregados, porosidade e teor de matéria orgânica do solo (Flach *et al.*, 2021; Dos Passos, 2023).

Na Serra dos Tapes, os usos da terra influenciam diretamente as propriedades físicas e químicas dos solos, alterando sua estrutura, fertilidade, disponibilidade de nutrientes e capacidade de retenção de água (Schwanz, 2023). A região caracteriza-se por relevo predominantemente declivoso e ocorrência frequente de solos rasos, condições naturais que aumentam a suscetibilidade à erosão quando associadas ao uso intensivo e ao manejo inadequado (Sampaio, 2022). Pesquisas realizadas na região e em áreas adjacentes do sul do estado evidenciam que práticas agrícolas sem conservação do solo intensificam a perda de matéria orgânica, reduzem a infiltração de água e comprometem a qualidade física do solo ao longo do tempo (Flach *et al.*, 2021).

As diferentes formações vegetacionais e tipos de uso do solo presentes na Serra dos Tapes resultam em modificações distintas nas propriedades dos solos, refletindo a heterogeneidade ambiental da região. Solos associados a áreas de Campo Alagado e áreas Pantanosas apresentam características hidromórficas, com saturação frequente por água, baixa oxigenação e presença de horizontes gleizados, o que influencia a decomposição da matéria orgânica e a dinâmica de nutrientes (Queiroz, 2021; Gomes, 2023). Do ponto de vista químico, esses solos tendem a apresentar pH ácido e acúmulo de matéria orgânica pouco decomposta, sendo altamente sensíveis a intervenções como drenagem artificial, que pode acelerar a oxidação do carbono e reduzir a fertilidade (Francini, 2024; Bezerra, 2024).

Nas áreas de Restinga Arbórea, predominam solos arenosos, com baixa capacidade de retenção de água e nutrientes, pH ácido e reduzido teor de matéria orgânica, em função da rápida mineralização dos resíduos vegetais (Portela, 2024; Resende, 2023). A conversão dessas áreas para agricultura ou expansão urbana intensifica processos de erosão e lixiviação, exigindo correções químicas constantes que, muitas vezes, comprometem a sustentabilidade produtiva a longo prazo (Dias, 2023; Guimarães, 2023).

As áreas campestres, típicas do Bioma Pampa, apresentam solos geralmente bem drenados, com estrutura predominantemente granular, o que favorece o crescimento radicular e a infiltração de água. No entanto, o uso intensivo dessas áreas para pastagens pode resultar em compactação superficial e redução dos teores de matéria orgânica, especialmente em função do pisoteio animal contínuo, que promove o adensamento do solo e a degradação de sua estrutura física (Reichert *et al.*, 2007; Veiga *et al.*, 2007). Quando convertidas para lavouras, essas áreas tornam-se mais suscetíveis à erosão. Quando convertidas para lavouras, essas áreas tornam-se mais suscetíveis à erosão hídrica, especialmente na ausência de práticas conservacionistas, como a rotação de culturas e o sistema de plantio direto, que atuam na proteção da superfície do solo e na redução do escoamento superficial (Lal, 2001; Bertol *et al.*, 2015).

Em áreas florestais, os solos tendem a apresentar maior equilíbrio em suas propriedades físicas e químicas, com elevados teores de matéria orgânica, boa estabilidade de agregados e alta porosidade, condições favorecidas pela deposição contínua de resíduos vegetais, intensa atividade biológica e proteção do solo contra o impacto direto das chuvas (Brady; Weil, 2016; Six *et al.*, 2004). O desmatamento dessas áreas promove redução acentuada da matéria orgânica, aumento da erosão e

intensificação da lixiviação de nutrientes, comprometendo a fertilidade do solo e a estabilidade dos ecossistemas (Lal, 2005; Guerra; Botelho, 2010).

As áreas naturais da Serra dos Tapes exercem papel fundamental na provisão de serviços ecossistêmicos, destacando-se a regulação do ciclo hidrológico, o sequestro de carbono, a manutenção da biodiversidade e o suporte a processos ecológicos essenciais, como a polinização (Millennium Ecosystem Assessment, 2005; Tundisi; Tundisi, 2010). A conversão desordenada dessas áreas para usos agrícolas ou urbanos compromete esses serviços e intensifica impactos ambientais, como o aumento do escoamento superficial, o assoreamento de cursos d'água e a degradação dos solos (Tucci, 2005). Estudos conduzidos em diferentes regiões do Brasil demonstram que as mudanças no uso e cobertura da terra alteram significativamente a dinâmica hidrológica das bacias hidrográficas, ampliando processos erosivos e reduzindo a qualidade da água (Cogo; Levien; Schwarz, 2003; Bertol *et al.*, 2015).

Para minimizar os impactos negativos do uso da terra sobre os solos da Serra dos Tapes, torna-se indispensável a adoção de práticas de manejo sustentável. A implementação de sistemas agroflorestais contribui para a ciclagem de nutrientes, aumento dos teores de matéria orgânica e melhoria da retenção de água no solo, além de favorecer a estabilidade estrutural (Nair, 1993; Jose, 2009). O sistema de plantio direto, por sua vez, reduz o revolvimento do solo, preserva a estrutura, aumenta a infiltração de água e diminui a erosão hídrica (Derpsch *et al.*, 2010). Adicionalmente, a recuperação de áreas degradadas por meio do reflorestamento e da adoção de práticas de controle da erosão é fundamental para restabelecer a funcionalidade dos solos e garantir sua produtividade e equilíbrio ecológico a longo prazo (Guerra; Botelho, 2010; Lal, 2005).

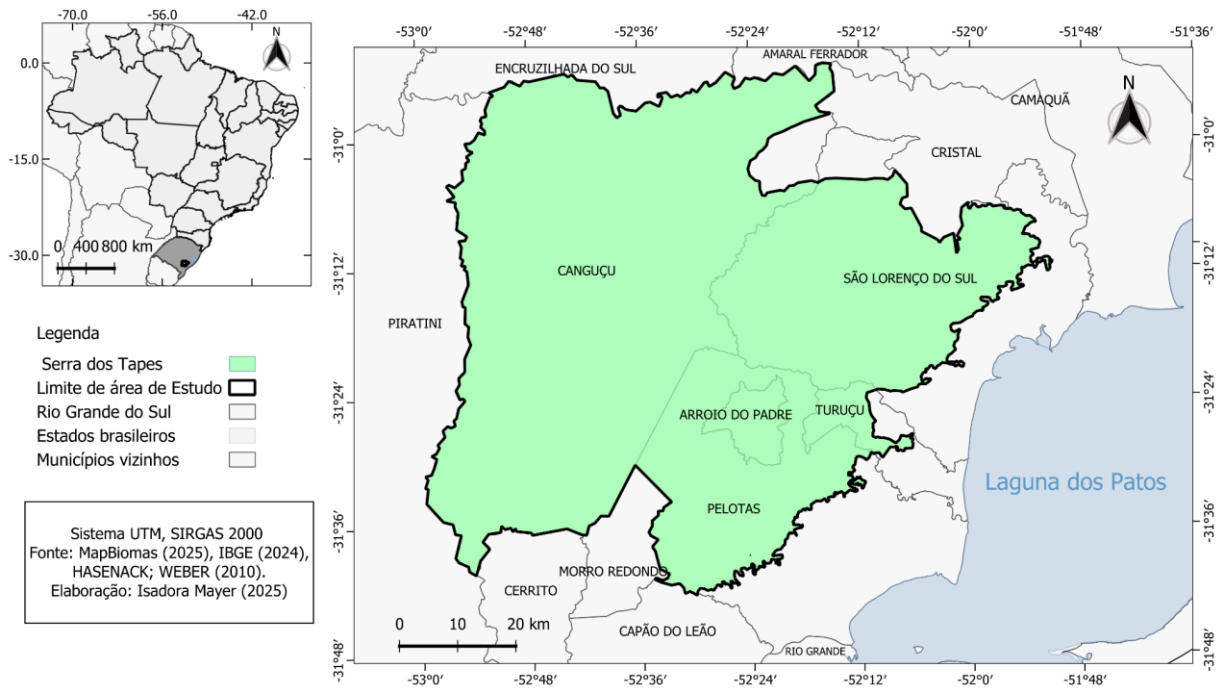
Diante do exposto, observa-se a necessidade de estudos que integrem a análise da dinâmica espaço-temporal do uso da terra com a avaliação direta de atributos físicos e químicos do solo em áreas ambientalmente frágeis. Este estudo parte da hipótese de que a conversão da cobertura vegetal nativa para uso agrícola promove alterações estruturais mensuráveis no solo, caracterizadas pelo aumento da densidade, redução da macroporosidade e diminuição da estabilidade de agregados, com maior intensidade nas camadas superficiais e em áreas declivosas.

4. Materiais e Métodos

4.1 Caracterização da área de estudo

A área de estudo contempla a região do Planalto Sul-Rio-Grandense, ou Escudo Sul-Rio-Grandense, e que se situa nos municípios de Pelotas, Canguçu, Arroio do Padre, Turuçu e São Lourenço do Sul (Figura 1), contemplando uma área total de 5.893,6 km², aproximadamente é uma população total de 43.6534 habitantes (IBGE, 2022), sendo destes, 14,5%, aproximadamente, são residentes na zona rural (Pessoa, 2022). O PIB per capita na região varia de R\$25.887,92 a 48.041,68 e o IDH de 0,650 a 0,739, sendo o maior IDH referente a Pelotas e o menor a Canguçu (Tabela 1).

Figura 1. Localização da área de estudo



Fonte: Autora, 2025

Tabela 1. Número de habitantes, densidade demográfica, renda per capita e Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) dos municípios da Serra dos Tapes, Rio Grande do Sul

Municípios	Habitantes	Densidade demográfica (hab./km²)	PIB <i>per capita</i> (R\$)	IDHM
Arroio do Padre	2.599	20,84	25.887,92	0,669
Canguçu	49.680	14,09	29.448,32	0,650
Pelotas	325.685	202,44	31.347,60	0,739
São Lourenço do Sul	41.989	20,62	39.103,99	0,687
Turuçu	3.419	13,48	48.041,68	0,629

Fonte: IBGE Cidades (2022).

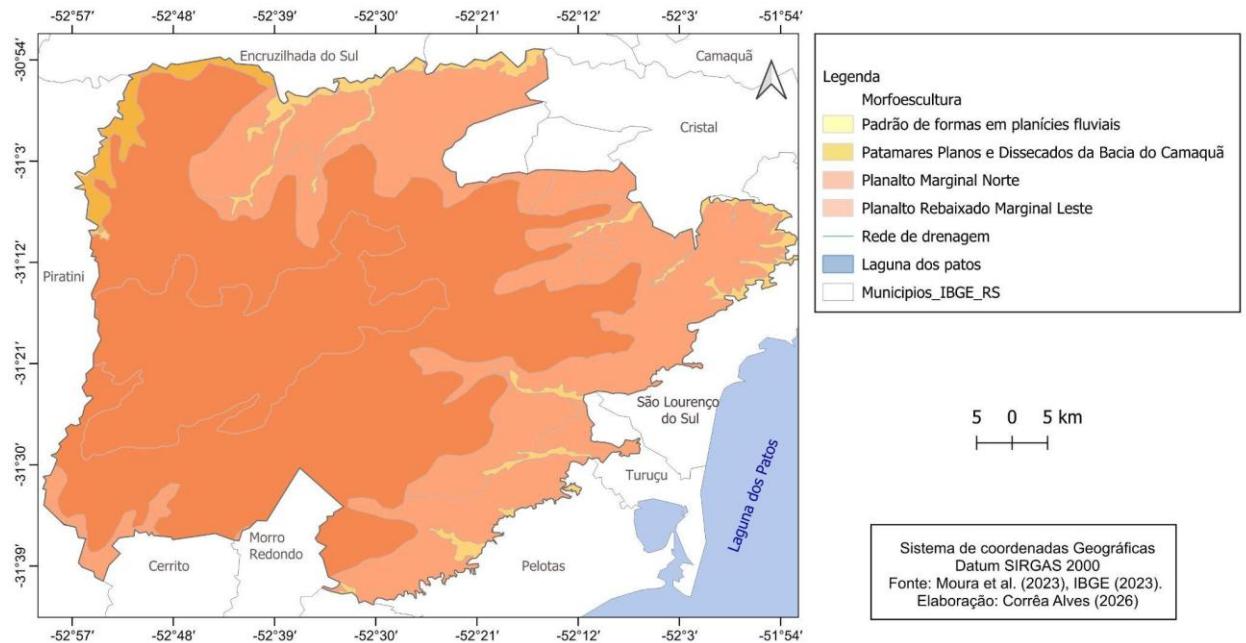
Nota: Habitantes e densidade demográfica obtidos a partir do Censo Demográfico de 2022; o IDHM refere-se ao ano de 2010.

Destaca-se nos municípios que fazem parte da área de estudo, o município de Canguçu o qual possui aproximadamente 60% de sua população total absoluta residente na zona rural, dando ao município o título de capital nacional da Agricultura Familiar (Romer, 2022).

O recorte espacial desta pesquisa está inserido no Escudo Sul-Rio-Grandense o qual fundamenta a unidade morfoescultural denominada Planalto Uruguaio Sul-Rio-Grandense, e que se destaca por ser a mais antiga do estado e por englobar as unidades Planalto Residual Canguçu, Caçapava e Planalto Rebaixado Marginal. Essas formações apresentam relevo ondulado e convexo, típico dos “mares de morros”, com vertentes que variam desde íngremes até suaves (Neves, 2012; Dutra, 2016; Prestes, 2018; Flach, 2018) além de terem a presença de granito e gnaiss.

Quanto às morfoesculturas da área de estudo, predomina na área de estudo formas de relevo do tipo Planalto, destacando-se em predominância, o Planalto Marginal Norte e posteriormente o Planalto Rebaixado Marginal Leste. Ambos são caracterizados por padrão de dissecação e possuem topos convexos e padrão de formas em morros alongados com topos convexos e morros com topos convexos (Figura 2). Em menor proporção, na zona de transição com as áreas mais baixas da Planície costeira, tem-se a noroeste os patamares Planos e Dissecados da Bacia do Camaquã e na porção norte e leste as planícies fluviais dos principais arroios que drenam para a Laguna dos Patos (Marth, 2017).

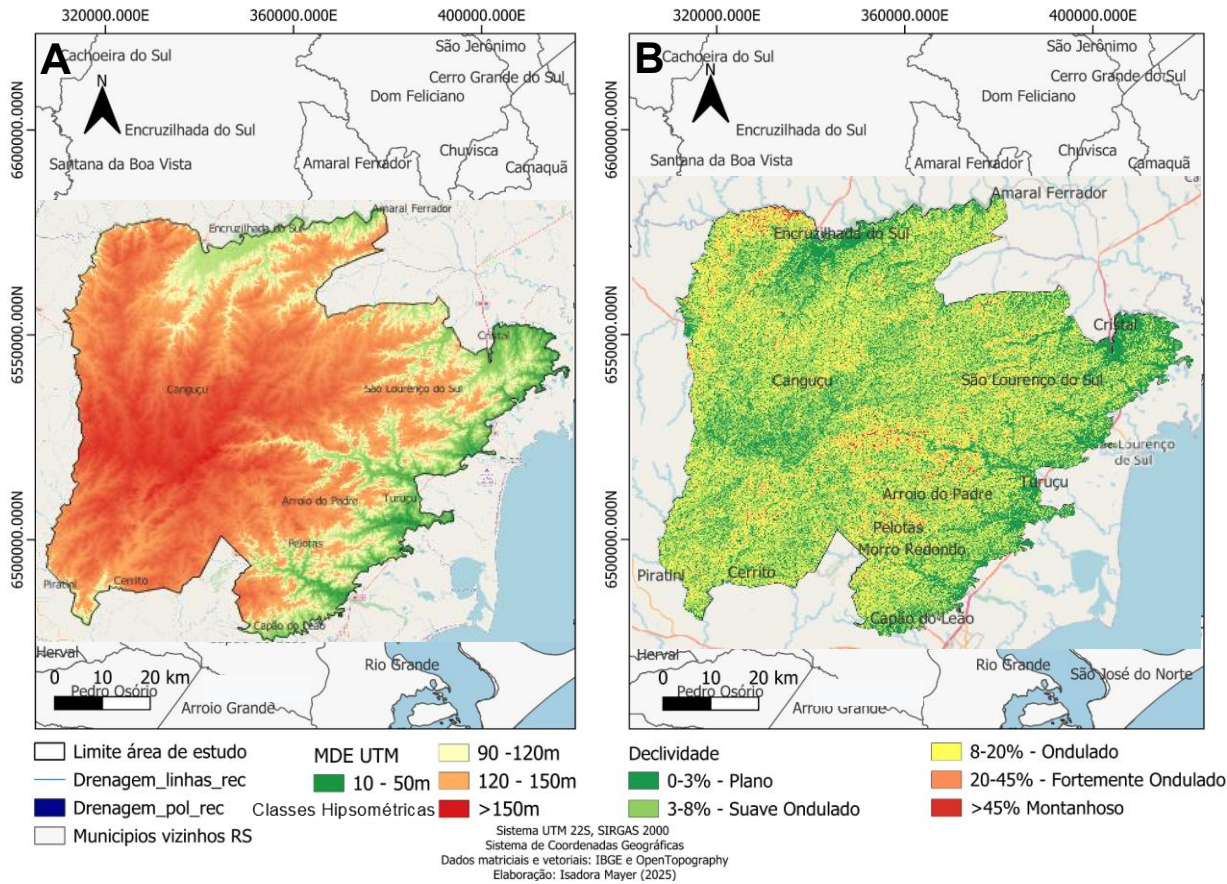
Figura 2. Mapa das morfoesculturas da área de estudo.



Fonte: Corrêa Alves, 2026

Nas classes de declividade, destacam-se as classes variando de 8 a 20% as quais correspondem a relevo ondulado em 50,6% da área de estudo. Em 26% da área de estudo há a ocorrência de relevo suave ondulado favorecendo os usos agrícolas, as que exigem práticas de manejo adequadas. Já em 14% da área de estudo há relevo forte ondulado (declividade variando de 20 a 45%), demonstrando presença de áreas frágeis ao cultivo temporário e a indicação de usos de maior proteção aos solos, como cultivos perenes e silvicultura (Figura 3b). Em relação a altitude, a área de estudo apresenta amplitude altimétrica variando de 10 metros a 323 metros (IBGE, 2024; MapBiomas, 2025). Na figura 3a nota-se que as áreas mais elevadas (cotas superiores a 150 metros) predominam na área de estudo e fazem parte dos divisores de águas das principais bacias hidrográficas da porção leste sul do estado do Rio Grande do Sul. Assim, essa região possui elevada importância na produção de água em quantidade e qualidade visto que parte das nascentes dos Rios Piratini, Pelotas e Camaquã surgem neste recorte espacial.

Figura 3. Figuras classes Hipsométricas (A) e de Declividade (B) (em %) da área de estudo.

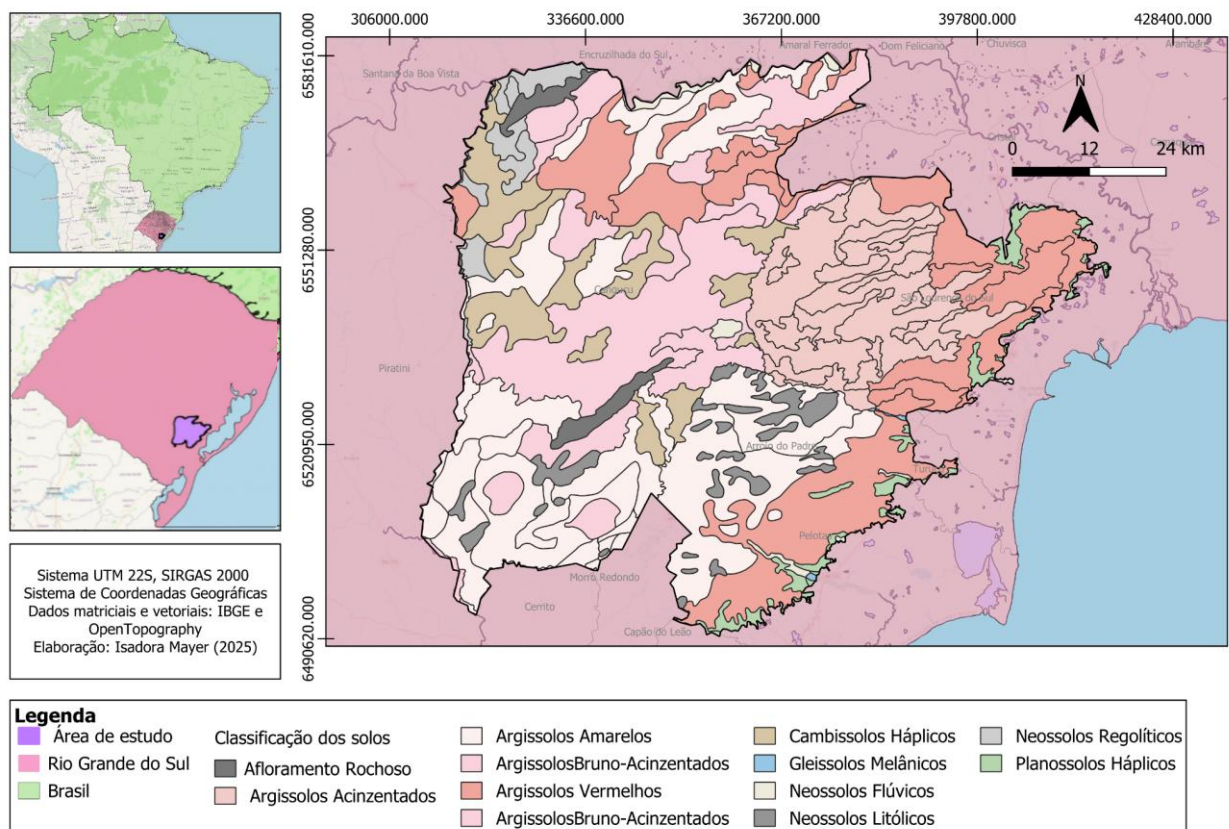


Fonte: Autora, 2025

Os municípios que integram a região de estudo são caracterizados por clima subtropical ou temperado, com verões amenos, invernos frios e chuvas bem distribuídas (1.300 mm a 1.500 mm anuais) (Cardoso, 2020).

A região possui o predomínio de Argissolo Amarelo, Argissolo Vermelho e Argissolo Bruno acinzentado, os quais, em associação com Neossolos Litólicos e Regolíticos, ocupam aproximadamente 68% da área de estudo esta classificação está de acordo com o SIBCS (2025) (Figura 4). Verifica-se também que em todas as unidades de solos presentes, há a associação com Neossolos, destacando-se os Neossolos Regolíticos, Litólicos e afloramentos rochosos (Cunha; Silveira, 1996; Cunha *et al*, 1997).

Figura 4. Classes de Solos presentes na área de estudo.



Fonte: Autora, 2025

Em decorrência das características do clima, relevo e solos, a vegetação é rasteira e florestais, as quais são típicas da zona de transição entre os biomas Mata Atlântica e Pampa (Vestena, 2023).

Historicamente, a Serra dos Tapes apresentou predomínio de formações naturais, campos e áreas de mata nativa, que passaram a ser progressivamente substituídas por atividades agropecuárias a partir da segunda metade do século XX, intensificando-se especialmente após a década de 1980, conforme evidenciado em estudos sobre mudanças no uso e cobertura da terra na metade sul do Rio Grande do Sul (Hinata *et al.*, 2023).

Apesar de inseridos em um mesmo contexto fisiográfico regional, os municípios analisados apresentam diferenças quanto aos sistemas produtivos predominantes, à intensidade de uso agrícola e à organização do espaço rural. A agricultura familiar exerce papel central nesses municípios, especialmente em áreas de relevo mais acidentado, onde predominam pequenas propriedades com sistemas diversificados de produção, característica marcante do sul do Brasil (Pupo, 2023).

Estudos regionais indicam que, entre 1985 e os anos mais recentes, houve expansão significativa das áreas agrícolas e de pastagens, acompanhada pela redução e fragmentação da vegetação nativa, processo associado tanto à modernização da agricultura quanto às transformações socioeconômicas ocorridas na região (Belloli *et al.*, 2024). Essas mudanças refletem diretamente na estrutura e na qualidade dos solos, reforçando a importância de análises integradas que considerem o uso da terra e suas implicações ambientais.

Nos municípios que compõem a área de estudo, São Lourenço do Sul, Canguçu, Turuçu, Arroio do Padre e Pelotas, a dinâmica do uso e cobertura da terra reflete transformações associadas à evolução dos sistemas produtivos, às condições ambientais e às mudanças socioeconômicas ocorridas ao longo das últimas décadas. Em comum, esses municípios compartilham a forte presença da agricultura familiar e a intensificação gradual do uso agrícola desde a década de 1980, em consonância com as tendências observadas no sul do Rio Grande do Sul.

Em São Lourenço do Sul, a agricultura familiar desempenha papel central na organização do espaço rural desde a segunda metade do século XX, caracterizando-se historicamente por sistemas produtivos diversificados, com destaque para hortaliças e produtos destinados à comercialização em feiras locais. Estudos sobre feirantes e produção agrícola familiar no município evidenciam a relevância econômica e social dessas atividades, especialmente no contexto da agricultura de base familiar (Chuquillanque *et al.*, 2018). A partir da década de 1980, entretanto, observa-se o avanço de cultivos mais comercialmente orientados e mecanizados, como arroz, milho e soja, acompanhando a tendência regional de expansão das áreas agrícolas e de pastagens em detrimento das formações naturais, conforme demonstrado por séries históricas de uso e cobertura da terra entre 1985 e 2023 (Mapbiomas, 2025). Paralelamente, a agricultura familiar local passou por processos de reorganização produtiva, enfrentando desafios relacionados às mudanças climáticas e à conservação dos recursos naturais, o que tem exigido estratégias adaptativas por parte dos agricultores (Krack; Seifert Junior, 2023).

Canguçu destaca-se regionalmente por sua forte tradição na agricultura familiar, caracterizada pela multifuncionalidade das atividades rurais, que englobam não apenas a produção agrícola, mas também a segurança alimentar, a conservação ambiental e a reprodução socioeconômica das famílias rurais. Essa configuração histórica manteve-se relevante desde o período anterior a 1985, embora, ao longo do tempo, tenha ocorrido

uma intensificação do uso da terra associada à expansão de culturas temporárias e pastagens, em consonância com as tendências regionais observadas no sul do estado (Konzgen; Salamoni, 2025; Mapbiomas, 2025). Estudos sobre mudanças no uso da terra indicam que, entre 1985 e 2023, áreas naturais foram progressivamente convertidas em áreas agrícolas, refletindo pressões econômicas, tecnológicas e institucionais (Belloli *et al.*, 2024). Em Canguçu, esse processo resulta em uma paisagem marcada pela coexistência de práticas tradicionais da agricultura familiar e pela intensificação de cultivos comerciais voltados ao mercado.

No município de Turuçu, embora não existam estudos específicos que apresentem séries históricas detalhadas de uso da terra exclusivamente para o período de 1985 a 2023, sua inserção na Planície Costeira do Rio Grande do Sul permite inferir tendências semelhantes às observadas em análises regionais. Essas análises indicam o predomínio crescente de classes de uso antropizado, como agricultura e silvicultura, sobre formações naturais ao longo das últimas décadas, evidenciando processos de conversão de áreas naturais em terras produtivas (Belloli *et al.*, 2024). Nesse contexto, atividades agrícolas de base familiar, associadas a cultivos característicos da economia local, como pimenta e morango, passaram a coexistir com padrões mais amplos de intensificação agrícola, refletindo mudanças graduais na ocupação e no uso do solo entre 1985 e 2023.

Arroio do Padre, por sua vez, apresenta uma dinâmica de uso da terra fortemente influenciada pelas transformações regionais observadas no entorno de Pelotas e municípios adjacentes. Estudos regionais indicam que, entre 1985 e 2021, houve ampliação das áreas destinadas às atividades agropecuárias, com a conversão de áreas naturais em culturas agrícolas e pastagens (Belloli *et al.*, 2024). Essa tendência sugere que, ao longo do período analisado, a paisagem rural do município passou por intensificação do uso antropizado, acompanhando o processo histórico de expansão agropecuária no sul do Rio Grande do Sul. Paralelamente, iniciativas contemporâneas associadas à agricultura familiar, ao cooperativismo e a práticas agroecológicas têm se consolidado como estratégias de organização produtiva e de inserção econômica, especialmente por meio de feiras e redes locais de comercialização.

Em Pelotas, a dinâmica do uso da terra também reflete as transformações regionais ocorridas desde a década de 1980, com redução relativa das áreas naturais e expansão das classes associadas ao uso agrícola, culturas temporárias e silvicultura entre 1985 e 2021 (Suliman Audeh *et al.*, 2011). Ao mesmo tempo, estudos sobre a

organização da agricultura familiar na região evidenciam um processo de diversificação produtiva, com fortalecimento de sistemas agroecológicos e de iniciativas coletivas voltadas à sustentabilidade e à valorização dos mercados locais, especialmente a partir dos anos 2000 (Sodré, 2016; Salamoni, 2016). Esse cenário indica que, embora a agricultura mecanizada tenha ampliado sua participação territorial ao longo do período analisado, estratégias baseadas na agricultura familiar e em práticas sustentáveis também ganharam relevância como resposta às transformações territoriais, ambientais e socioeconômicas.

A caracterização da área de estudo foi realizada com o objetivo de contextualizar as condições geomorfológicas, pedológicas e climáticas que condicionam a resposta dos solos às mudanças de uso da terra. O predomínio de relevo ondulado a fortemente ondulado, a ocorrência de Argissolos associados a Neossolos rasos e a elevada densidade de nascentes justificam a escolha da porção Serra dos Tapes como área representativa de ambientes naturalmente frágeis, nos quais alterações estruturais do solo tendem a se manifestar de forma mais sensível.

4.2 Coleta, organização e processamento dos dados Cartográficos

Os dados cartográficos foram processados em ambiente SIG utilizando o software QGIS versão 3.38, no sistema de projeção UTM, fuso 22S, datum SIRGAS 2000. Foram utilizados dados de elevação do Copernicus Global DSM (resolução espacial de 30 m), a partir dos quais foram derivados os mapas de hipsometria e declividade por meio de ferramentas padrão de análise raster. As bases de solos e geomorfologia foram utilizadas para contextualização ambiental e apoio à seleção dos pontos amostrais, reconhecendo-se as limitações de escala desses produtos para análises locais.

O estudo adotou um delineamento observacional comparativo, estruturado a partir da comparação entre dois tipos de uso da terra, áreas agrícolas (AGR) e áreas sob cobertura vegetal nativa/preservada (MATA), em diferentes contextos geomorfológicos da Serra dos Tapes. As unidades amostrais corresponderam a pontos georreferenciados pareados por proximidade espacial, nos quais foram avaliados atributos físicos e químicos do solo em três profundidades. O delineamento permitiu avaliar alterações estruturais associadas ao uso da terra, reconhecendo o caráter exploratório e a escala local da investigação.

Para a realização deste estudo, primeiramente foi realizado o recorte da área de estudo, sendo utilizada a malha municipal em arquivo *shapefile* disponibilizado pelo

IBGE (203). Foram utilizados os recortes dos limites dos municípios de Pelotas, Canguçu, Arroio do Padre, Turuçu e São Lourenço do Sul e considerando o recorte do Mapa Geomorfológico do Planalto Uruguaio Sul-rio-grandense, Rio Grande do Sul proposto por Marth (2017). Além do limite da área de estudo, também foram utilizados dados cartográficos das bases disponíveis em Hasenack e Weber (2010) e SEMA (2018).

Foram obtidos dados do Modelo Digital de elevação Copernicus Global DSM em resolução de 30 metros obtidos a partir da ferramenta *Open Topography DEM*. Tais dados foram usados para caracterizar a área de estudo em termos de elevação e declividade. Por fim, também foram usados os dados de solos disponibilizados por Cunha, Silveira e Severo (2006) e os dados geomorfológicos publicados por Moura, Marth e Oliveira (2023). Tais dados, além de caracterizar a área de estudo, também serviram para auxiliar na escolha dos pontos amostrais.

4.3 Análise da dinâmica dos usos da terra e identificação dos pontos amostrais

A dinâmica de uso e cobertura da terra foi analisada com base nos dados da Coleção 9 do MapBiomass, que disponibiliza mapas anuais derivados de imagens Landsat. Para fins de análise comparativa, foram selecionados anos representativos (1985, 1995, 2005, 2015 e 2023), de modo a captar tendências estruturais de médio e longo prazo, minimizando oscilações interanuais. Reconhece-se que, em escala local, a classificação apresenta incertezas, especialmente na distinção entre formações campestres, mosaicos agrícolas e silvicultura, razão pela qual os dados foram utilizados como indicadores de tendência e não como representação exata do uso da terra em nível de propriedade.

Os dados foram utilizados para análise de tendência e contextualização da dinâmica espacial, com validação em campo.

Os anos analisados foram selecionados de forma a representar períodos distintos da dinâmica de uso da terra, minimizando variações interanuais e priorizando tendências estruturais de médio e longo prazo associadas à expansão agrícola e silvicultural na região. Para cada cenário avaliado foram obtidos os valores de ocorrência de cada uso e cobertura da terra em Km², sendo os dados absolutos quantificados e comparados.

Após o processamento no QGIS, os dados foram tabulados utilizando o Excel. Este processo envolveu a organização e análise dos dados em tabelas, facilitando a visualização e interpretação das informações coletadas.

Para cada ponto amostrado, buscou-se verificar a existência de conversão de áreas nativas e/ou conservadas como cobertura campestre ou vegetação florestal para uso agrícola com *commodities* agrícolas (em especial sojicultura). A identificação dos pontos se baseou na análise das dinâmicas de uso da terra realizada no passo anterior, bem como na identificação via Google Earth Pro de mudanças no uso da terra. Também, para cada ponto, buscou-se verificar a existência de áreas nativas e/ou conservadas nas proximidades dos pontos alocados em cultivos agrícolas. Assim, coletou-se amostras de solos em áreas cultivadas e em áreas nativas e/ou conservadas, totalizando 20 pontos amostrais. Na Figura 5 é apresentado um exemplo de como foi identificado um ponto de coleta.

Figura 5. Exemplo de identificação de pontos amostrais com supressão de vegetação nativa e/ou conservada para uso agrícola com *commodities*.



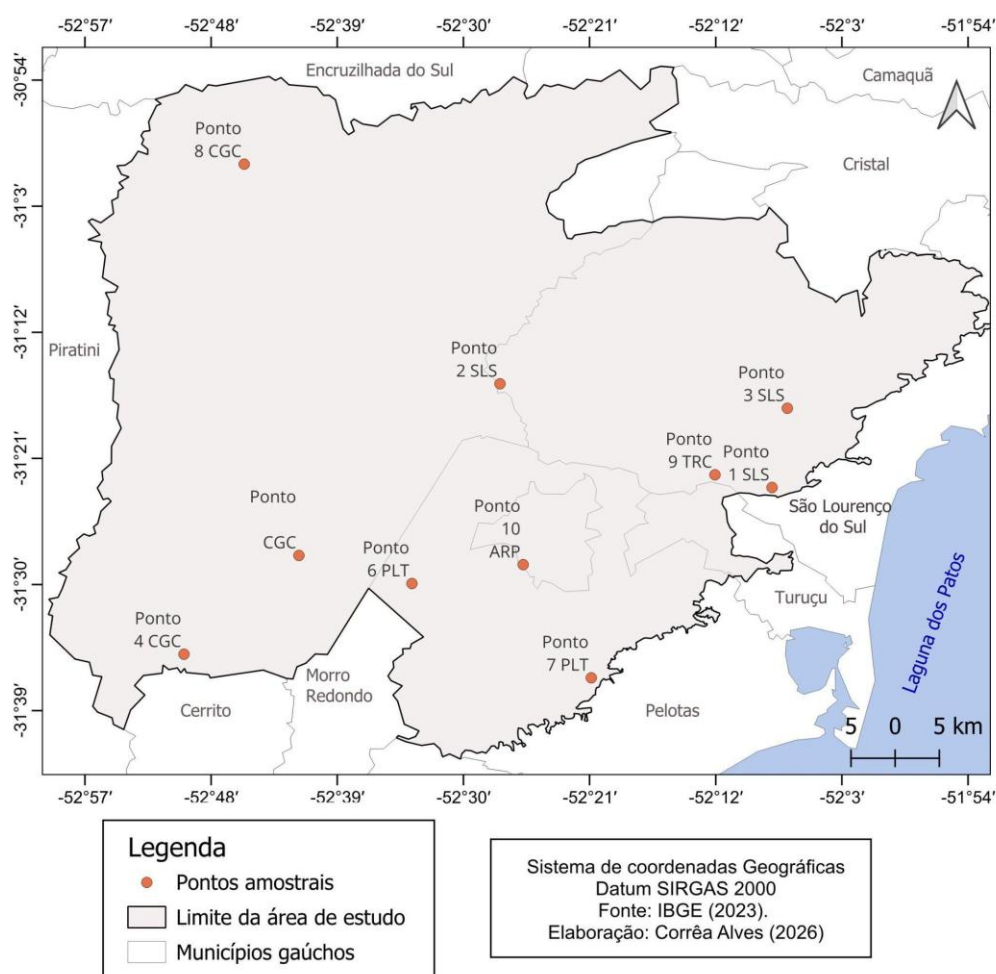
Fonte: Google Earth, 05/2025. Organização: A autora, 2025

4.4 Delineamento experimental e realização de análises físicas e químicas dos solos

Para a área de estudo, foram selecionados pontos inseridos em áreas rurais dos municípios. Devido à diversidade de extensão territorial, foram selecionados 2 pontos para os municípios de Pelotas, 3 em Canguçu e em São Lourenço do Sul e 1 ponto para Arroio do Padre e Turuçu, totalizando 10 pontos. A seleção dos pontos amostrais baseou-se na análise da dinâmica de uso da terra e na identificação de áreas com histórico de conversão recente da cobertura vegetal nativa para uso agrícola. Sempre que possível, foram selecionados pares de pontos espacialmente próximos, correspondentes a áreas agrícolas e áreas sob cobertura vegetal nativa, de modo a reduzir a influência de variáveis de confusão relacionadas à posição na paisagem. Reconhece-se que o pareamento não elimina completamente a variabilidade espacial, sendo essa limitação considerada na interpretação dos resultados. As amostras de solo

foram coletadas em duas condições de uso da terra, correspondentes a área agrícola (AGR) e área preservada (MATA), as quais foram coletadas com auxílio de pás e cavadeira de duas bocas, gerando um total de 20 pontos (Figura 6). É válido destacar que além da coleta de amostras de solos, também foi realizado, para cada ponto, um aerolevantamento com Veículo aéreo não transportado (VANT) buscando avaliar a condição da cobertura e uso da terra e do relevo local.

Figura 6. Localização dos pontos amostrais



Fonte: Corrêa Alves, 2026

Para cada ponto amostral e para cada condição de uso e cobertura da terra (agrícola ou área preservada) foram coletadas amostras homogêneas, correspondentes às posições centrais das entre camadas de 0–0,10 m, 0,10–0,20 m e 0,20–0,30 m, acondicionadas 300 gramas de solo em sacos plásticos transparentes e encaminhadas ao Laboratório de Análise de Solos da Faculdade de Agronomia da Universidade Federal de Pelotas (UFPeI), campus Capão do Leão, Rio Grande do Sul.

No laboratório, procedeu-se à determinação dos atributos químicos e de fertilidade do solo, incluindo pH, capacidade de troca catiônica (CTC), saturação por bases (V%), alumínio trocável (Al^{3+}) e teor de matéria orgânica (MO), além da quantificação dos macronutrientes fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg).

Para as análises físicas, foram coletadas amostras deformadas e indeformadas (Figuras 7a e 7b). As amostras deformadas correspondem àquela cuja estrutura natural do solo é alterada durante a coleta e o manuseio, sendo utilizadas em análises que não dependem da preservação da estrutura física (Pascoal, *et al.* 2022). As amostras indeformadas, por sua vez, mantêm a estrutura e a compactação naturais do solo, sendo indispensáveis para avaliações que envolvem o arranjo das partículas, a porosidade e outros atributos estruturais, o que requer cuidados específicos durante a coleta, o transporte e o armazenamento (EMBRAPA, 1997; Bortolon *et al.*, 2009).

Figuras 7a 7b. Coleta de amostras indeformadas em áreas agrícolas e áreas conservadas/florestais nas camadas de 0–0,10 m, 0,10–0,20 m.



Fonte: Autora, 2025

A coleta de amostras de solo foi realizada nos cinco municípios supracitados, considerando duas condições de uso da terra: área agrícola (AGR) e área preservada (MATA) (Figuras 7a, 7b).

As amostras indeformadas foram obtidas com o auxílio de pás e trados, e coletadas em triplicadas nas profundidades de 0–0,10 m, 0,10–0,20 m e 0,20–0,30 m (Figuras 8a e 8b), sendo coletados aproximadamente 400 g de solo por amostra,

totalizando 20 unidades amostrais. Tais amostras indeformadas foram coletadas com anéis volumétricos metálicos de 0,05 m de altura (5 cm) (Figura 8a) nas camadas de 0–0,10 m, 0,10–0,20 m e 0,20–0,30 m, correspondentes às posições centrais das entre camadas (2,5; 12,5 e 22,5 cm, respectivamente). Em cada profundidade, foram coletadas três repetições, totalizando 180 unidades amostrais (5 municípios × 2 usos da terra × 2 pontos por uso × 3 profundidades × 3 repetições). As unidades amostrais corresponderam aos pontos georreferenciados sob cada tipo de uso da terra. As coletas em diferentes profundidades e as repetições realizadas com anéis volumétricos foram consideradas sub amostragens destinadas a reduzir a variabilidade intraporto, não sendo tratadas como repetições independentes na interpretação dos resultados.

Figuras 8a 8b e 8c. Anel volumétrico de 0,05 m de altura, coletas de amostras indeformadas e tratamento em laboratório.



Fonte: Autora, 2025

Também para cada profundidade, foram coletadas amostras deformadas, totalizando 3 por ponto e tipo de uso e cobertura, totalizando 60 amostras (30 em áreas agrícolas e 30 em áreas preservadas). Após a coleta, todas as amostras foram acondicionadas em sacos plásticos devidamente identificados (Figuras 9a e 9b) e encaminhadas ao Laboratório de Física do Solo da Faculdade de Agronomia da Universidade Federal de Pelotas (UFPeI), campus Capão do Leão, Rio Grande do Sul.

Figuras 9a e 9b. Coleta e armazenamento de amostras deformadas (A) e indeformadas (B).



Fonte: Autora, 2025

A partir das amostras deformadas, foram obtidas as variáveis físicas relacionadas a análise granulométrica e a determinação das frações de areia muito fina, fina, média e grossa e muito grossa conforme proposto por Denardin (1999).

A análise granulométrica foi realizada pelo método do hidrômetro de *Bouyoucos*, conforme procedimentos descritos no Manual de Métodos de Análise de Solo da Embrapa (2017), para a determinação dos teores de areia, silte e argila. A análise granulométrica foi realizada com o objetivo de caracterizar a textura dos solos e subsidiar a interpretação dos atributos estruturais. A textura foi tratada como covariável, reconhecendo-se que diferenças granulométricas refletem, em grande parte, variabilidade espacial e posição na paisagem, e não alterações diretas decorrentes do uso da terra em curto prazo. Após a obtenção dos valores, utilizou-se das seguintes equações:

$$\text{Areia total (g kg}^{-1}\text{)} = \frac{\text{areia} * 1000}{20} \quad (1)$$

$$\text{Silte (g kg}^{-1}\text{)} = 1000 - (\text{argila} + \text{areia}) \quad (2)$$

$$\text{Areia total (g kg}^{-1}\text{)} = \left[\frac{(\text{PR argila} - \text{disp}) * 40}{20} \right] * 1000 \quad (3)$$

onde: *PR argila* é o peso da argila da residual (g kg⁻¹); *disp* é o peso do dispersante (g kg⁻¹); 40 é a alíquota é 40 vezes menor do que o volume total da amostra na proveta (1000 ml); 20 é correspondente à TFSE (g); 1000 é considerando a proporção de argila em 1000g (1kg).

Após a obtenção dos valores de leitura com o hidrômetro, os dados foram organizados e tabulados em planilhas eletrônicas no software Microsoft Excel, onde foram aplicadas as equações descritas anteriormente para o cálculo das frações granulométricas de areia, silte e argila. Esse procedimento permitiu a sistematização dos resultados e a verificação da consistência dos dados obtidos em laboratório.

A figura 10 apresenta a demonstração dos cálculos realizados com base nas leituras obtidas durante o experimento, evidenciando os valores das frações físicas do solo analisadas nas diferentes unidades amostrais.

Figura 10. Procedimento metodológico: análise granulométrica pelo método do hidrômetro de Bouyoucos.



Fonte: Autora, 2026

A classificação da textura do solo em cada tratamento seguiu o diagrama textural do Sistema Norte-Americano de Classificação do tamanho das partículas, adotado pela SiBCS (Santos *et al.*, 2025). Essa caracterização granulométrica permitiu relacionar a composição do solo com os resultados de estabilidade de agregados, uma vez que a textura exerce influência direta sobre a resistência dos agregados à desagregação em água.

A estabilidade de agregados é uma propriedade física fundamental para avaliar a qualidade estrutural do solo, especialmente em relação à sua resistência à desagregação por ação da água. Essa característica está diretamente relacionada à capacidade do solo de resistir à erosão, manter a porosidade e favorecer o desenvolvimento radicular e a infiltração de água.

Para a determinação da estabilidade de agregados, foi utilizado o método do peneiramento úmido, conforme descrito por diversos autores, incluindo Sá *et al.* (2000) e Perusi; Carvalho (2010). O procedimento laboratorial consistiu na seleção dos agregados, pesagem da amostra, imersão em água, agitação vertical, secagem e pesagem dos agregados estáveis, seguido do cálculo da porcentagem de agregados estáveis. Na Figura 11 está ilustrado o procedimento adotado em laboratório para a análise da estabilidade de agregados. A metodologia para determinação desses índices segue a proposta original de Kemper e Rosenau (1986), que estabelecem critérios para quantificação da resistência dos agregados à desagregação em água.

Figura 11. Etapas do Ensaio de Estabilidade de Agregados em Laboratório.



Fonte: Autora, 2026

A partir das amostras indeformadas, foram determinadas alterações nos atributos físicos do solo, como densidade, porosidade e estabilidade de agregados, exercem influência direta sobre os processos hidrológicos, especialmente infiltração, escoamento superficial e recarga hídrica. Em áreas de nascentes, como a Serra dos Tapes, essas alterações podem comprometer a produção de água em quantidade e qualidade, ampliando riscos de erosão e assoreamento.

A densidade do solo (D_s) foi determinada conforme os procedimentos recomendados pela Embrapa (2011), utilizando amostras indeformadas coletadas em anéis volumétricos. As amostras foram secas em estufa a 105°C até atingirem massa constante, garantindo a completa remoção da água. Após a secagem, a densidade do solo foi calculada pela razão entre a massa de solo seco e o volume do anel, conforme a Equação (4). Esse método permite avaliar o grau de compactação do solo e é amplamente utilizado em estudos de qualidade física por sua confiabilidade e reprodutibilidade.

$$D_s = \frac{MSS}{V_t} \quad (4)$$

Onde: D_s é a densidade do solo (Mg m^{-3}), M_{ss} é o peso da massa seca do solo (Mg) e V_t é o volume total do anel volumétrico (m^3).

Para a determinação da porosidade total, macroporosidade e microporosidade, adotou-se a metodologia descrita por Embrapa (2011). As amostras foram inicialmente saturadas por capilaridade durante 24 horas (figura 12a) e, em seguida, submetidas à mesa de tensão a 6 kPa, condição na qual ocorre a drenagem da água retida nos macroporos (poros com diâmetro $\geq 0,05$ mm) (Figura 12b). Após as pesagens sucessivas, realizadas antes e após a secagem das amostras em estufa a 105°C (Figura 12c), foi possível quantificar os volumes de macro e microporos presentes no solo. As equações utilizadas para o cálculo da porosidade total, macroporosidade e microporosidade são apresentadas a seguir, respectivamente:

$$P_t = \frac{D_p - D_s}{D_s} \quad (5)$$

$$M_{ip} = \frac{a - M_{ss}}{V_t} \quad (6)$$

$$M_{ap} = P_t - M_{ip} \quad (7)$$

onde: P_t é porosidade total, D_p é a densidade de partícula (Mg m^{-3}) adotado $2,65$ (Mg m^{-3}), M_{ip} são os microporos ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$), a é massa da amostra após ser submetida a uma tensão de $0,60$ m de coluna de água (g), M_{ss} é massa da amostra seca a 105°C (Mg) e V_t é o volume do cilindro (m^3).

Figura 12. Amostras saturadas (A); amostras na panela (B) e amostras secas em estufa (C).



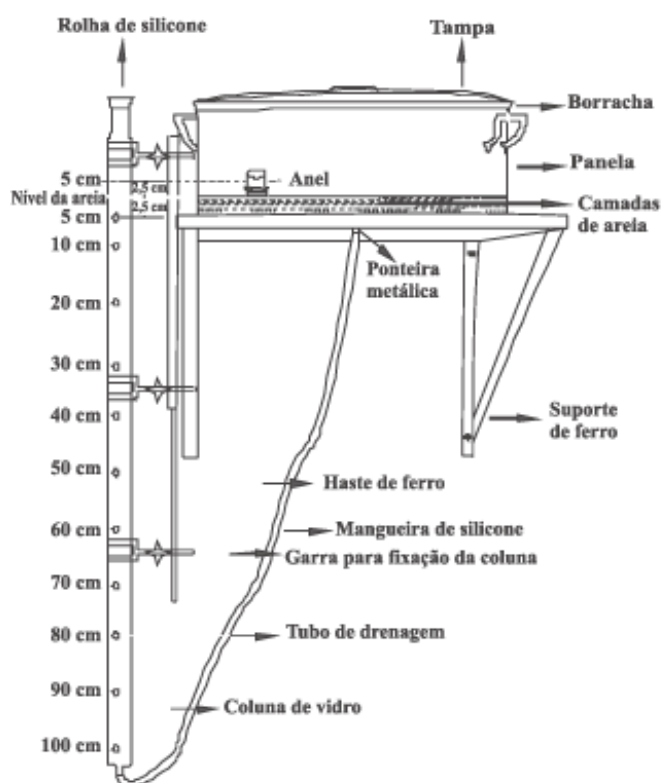
Fonte: Autora, 2025

A panela é a parte principal da mesa de tensão de areia, funcionando como o corpo do equipamento. Dentro dela são colocadas camadas de areia que permanecem úmidas e têm a função de transmitir água por capilaridade até o anel que contém a amostra de solo. Esse processo garante que o solo seja saturado de forma lenta e uniforme, preenchendo todos os poros sem a formação de bolhas de ar (Embrapa, 2017).

Após a saturação, a panela continua servindo como suporte para o anel e como meio de drenagem controlada, já que está conectada ao sistema de coluna de água e mangueiras. Quando a pressão é aplicada pela coluna (por exemplo, 6 kPa), a água dos macroporos é drenada, mas a panela mantém a estrutura necessária para que o processo ocorra corretamente (Lima; Silva, 2008).

Assim, a panela não mede nada diretamente, mas é essencial para simular em laboratório as condições de campo, permitindo a saturação inicial e a drenagem da água do solo de maneira controlada e precisa. Estudos como os de Gubiani *et al.* (2006) reforçam a eficiência da mesa de tensão na separação de macro e microporos, destacando a importância da panela como componente central do sistema. A estrutura da mesa de tensão de areia, destacando a panela como componente principal, pode ser observada na Figura 13.

Figura 13. Esquema ilustrativo da mesa de tensão de areia, destacando a panela.



Fonte: Adaptado de EMBRAPA (2017).

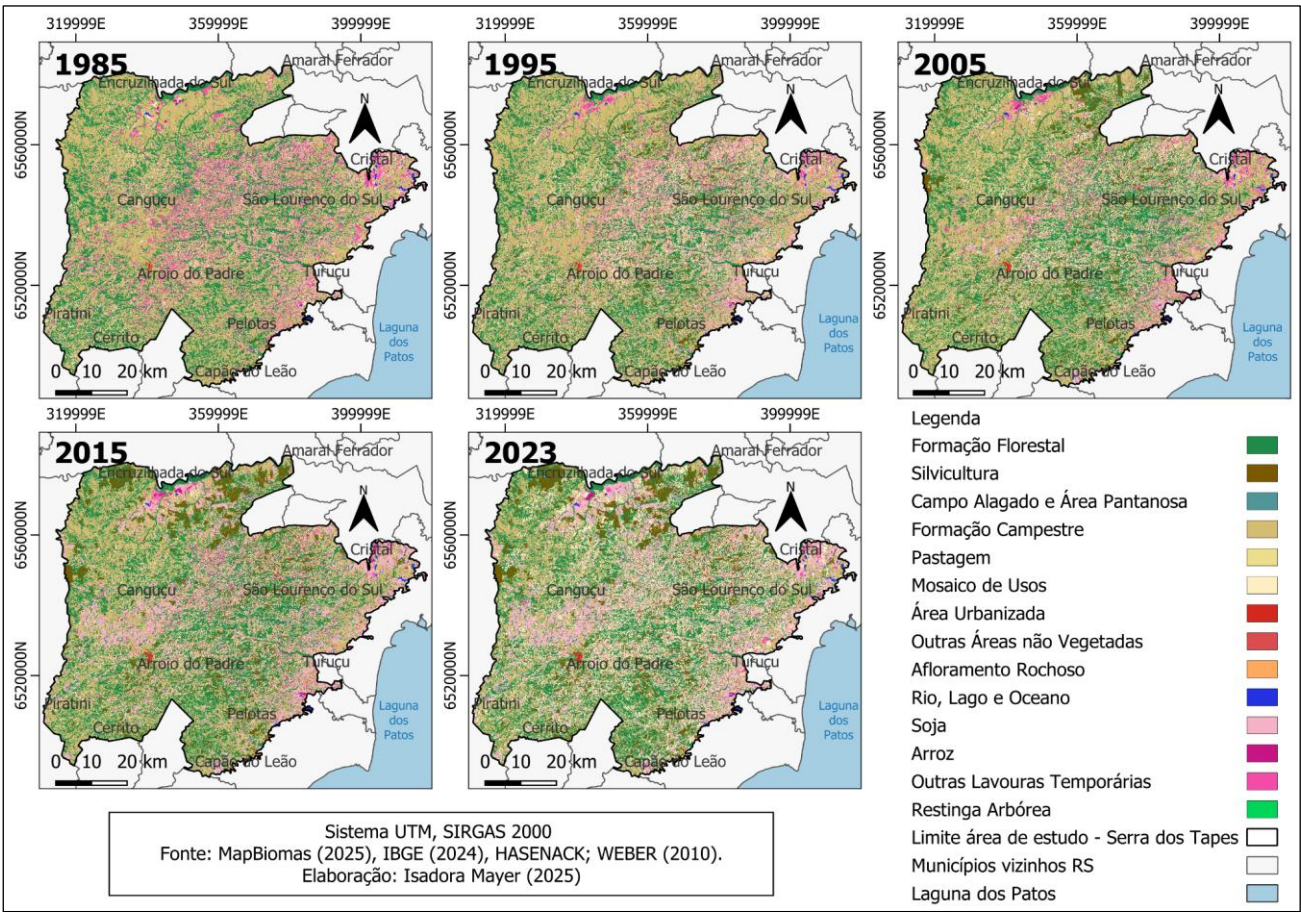
5. Resultados e discussões

5.1 Dinâmica dos usos da terra na porção sul da serra dos Tapes: recorte de 1985 a 2023

Entre 1985 e 2023, ocorreram mudanças significativas na cobertura e uso do solo, evidenciando transformações profundas nas paisagens naturais e áreas cultivadas (Dantas, 2019).

A Formação Florestal apresentou um aumento moderado de 3,03%, passando de 1769,66 km² para 1823,31 km². Contudo, o crescimento mais expressivo foi observado na Silvicultura, que saltou de 7,94 km² para 466,70 km², um impressionante aumento de 5779,19%, refletindo a intensificação dessa prática (Britto, 2024; Dias, 2023) (Figura 14). A Formação Campestre, por outro lado, sofreu uma drástica redução de 40,18%, caindo de 2791,54 km² para 1669,84 km², o que pode indicar uma conversão dessas áreas para outros usos. Tal processo está associado, principalmente, ao crescimento da agricultura mecanizada, destacando-se a cultura da soja (Wassmansdorf, 2024).

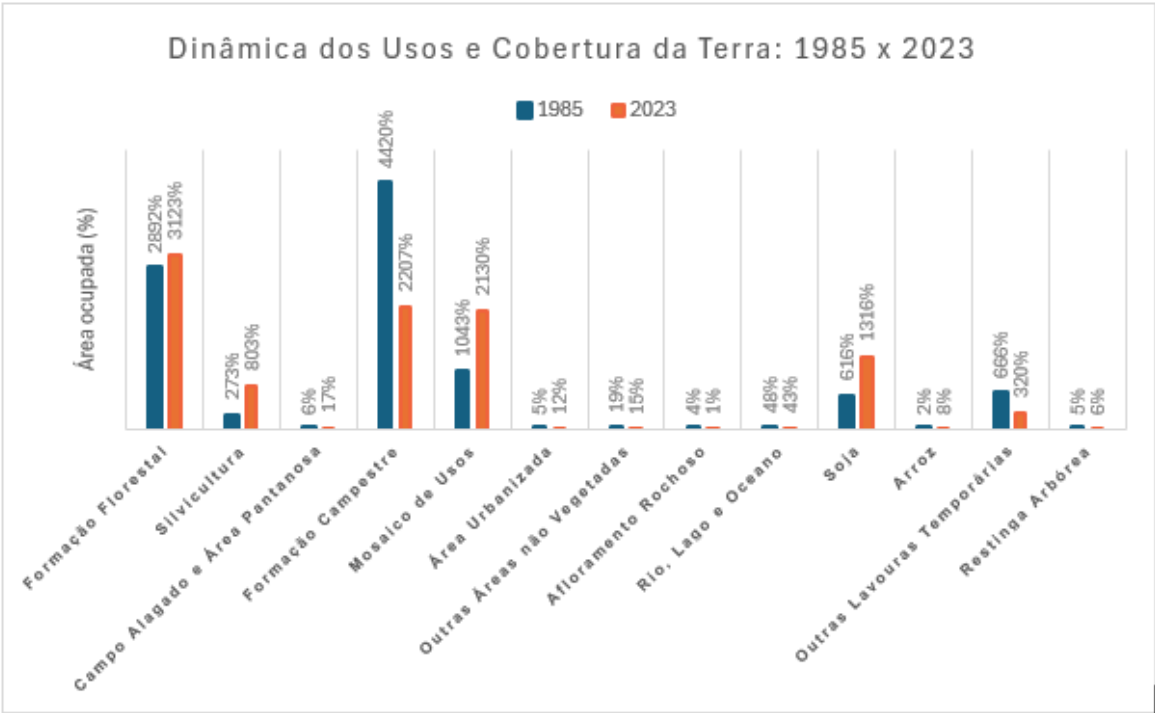
Figura 14. Dinâmica dos usos da terra na área de estudo (1985 a 2023)



Fonte: Autora, 2025.

Os padrões de mudança na cobertura e uso da terra observados na Serra dos Tapes entre 1985 e 2023 estão em consonância com tendências amplamente documentadas para o Bioma Pampa em escala regional e nacional. Estudos baseados na série histórica do projeto MapBiomas indicam que o Pampa perdeu aproximadamente 20% de sua vegetação campestre nativa entre 1985 e 2022 (Figura 15), resultado principalmente da conversão dessas áreas para atividades agropecuárias e silviculturais (Mapbiomas, 2023).

Figura 15 Dinâmica dos Usos e Coberturas da Terra em 1985 e 2023.



Fonte: Autora, 2025.

De acordo com o MapBiomas Brasil, as formações campestres, que constituem a fisionomia original predominante do bioma, vêm sendo progressivamente substituídas por lavouras temporárias, pastagens cultivadas e silvicultura, especialmente a partir da década de 2000, período marcado pela intensificação da agricultura mecanizada no sul do Brasil (Mapbiomas, Coleção 3, 2023). Esse comportamento corrobora a expressiva redução da Formação Campestre identificada na área de estudo, bem como o crescimento acentuado das áreas agrícolas e silviculturais no intervalo temporal analisado.

No que se refere à silvicultura, dados do MapBiomas (Coleção 9) evidenciam uma expansão acelerada dessa classe no Pampa, associada principalmente ao cultivo de espécies exóticas como *Eucalyptus* e *Pinus*, impulsionada por políticas de incentivo econômico e pela aptidão edafoclimática da região sul do Rio Grande do Sul (Mapbiomas, 2023). Tal dinâmica é compatível com o aumento expressivo da área ocupada por silvicultura observado na Serra dos Tapes, indicando que o território de estudo acompanha um processo regional de intensificação desse uso da terra.

Além disso, relatórios recentes apontam que, até 2023, cerca de 28% da vegetação nativa original do Pampa brasileiro já havia sido convertida para usos antrópicos, evidenciando um cenário de transformação contínua da paisagem natural (Mapbiomas, 2024). Essas mudanças têm implicações diretas sobre os serviços ecossistêmicos prestados pelas áreas naturais, incluindo a regulação hidrológica, a conservação do solo e a manutenção da biodiversidade, aspectos particularmente relevantes em regiões de transição como a Serra dos Tapes.

Dessa forma, os resultados obtidos neste estudo reforçam evidências já consolidadas na literatura científica e em bases de dados oficiais, indicando que a dinâmica dos usos da terra na Serra dos Tapes não constitui um fenômeno isolado, mas integra um processo mais amplo de reconfiguração territorial do Bioma Pampa ao longo das últimas décadas.

Outro destaque foi o Mosaico de Usos, que cresceu 104,90%, expandindo de 447,61 km² para 917,16 km², sugerindo uma diversificação nas formas de ocupação do solo (Mapbiomas, 2023). Em áreas urbanas, a Área Urbanizada aumentou significativamente, de 2,01 km² para 5,24 km², representando um crescimento de 160,26%, acompanhado pelo aumento de áreas alagadas e pantanosas em 74,21%, de 3,64 km² para 6,34 km² (Mapbiomas, 2023). No entanto, houve uma redução de 27,82% nas Outras Áreas não Vegetadas, de 13,49 km² para 9,73 km², e de 53,26% nos Afloramentos Rochosos, que caíram de 1,88 km² para 0,88 km² (Mapbiomas, 2023).

No setor agrícola, o cultivo de Soja teve um aumento expressivo de 432,21%, passando de 143,92 km² para 765,97 km², reforçando a expansão territorial dessa cultura (Decicino, 2023). O cultivo de Arroz também aumentou, de 4,12 km² para 7,63 km², um crescimento de 85,36% (Silva, 2023). Em contrapartida, as Outras Lavouras Temporárias tiveram uma redução significativa de 70,45%, caindo de 690,95 km² para 204,19 km² (Santos, 2023). Por fim, a área de Rio, Lago e Oceano sofreu uma leve redução de 2,06%, e a Restinga Arbórea teve um pequeno aumento de 8,14%, passando

de 3,68 km² para 3,98 km² (Hirano, 2021). Essas mudanças revelam uma intensificação da silvicultura e da produção de soja, além de um aumento nas áreas urbanizadas, enquanto as áreas naturais e menos alteradas, como a formação campestre e os afloramentos rochosos, sofreram redução significativa (Figuras 14 e 15).

De maneira geral, o período analisado evidencia um processo de transformação da paisagem natural em uma paisagem cada vez mais antropizada, diversificada e fragmentada, com destaque para o avanço da silvicultura, da agricultura mecanizada especialmente a soja e da urbanização. Essas mudanças indicam a necessidade de monitoramento contínuo, planejamento territorial e políticas públicas voltadas para o uso sustentável dos recursos naturais, de forma a equilibrar o desenvolvimento econômico com a conservação ambiental.

5.2 Caracterização dos pontos amostrais

Com o objetivo de compreender de forma integrada os resultados obtidos nas análises físicas do solo, procede-se à caracterização individual dos pontos de amostragem. Para cada ponto, são apresentados o histórico de uso e cobertura da terra a partir de imagens de satélite, bem como informações referentes à localização, tipo de solo e posição na paisagem, considerando-se a compartimentação em topo, média vertente ou baixa vertente.

A caracterização pedológica e fisiográfica de cada ponto baseou-se no mapa de solos da região e em informações topográficas derivadas de modelo digital de elevação, permitindo relacionar os atributos do solo às condições ambientais locais. Dessa forma, a análise individualizada dos pontos contribui para uma compreensão mais consistente das relações entre uso da terra, posição na paisagem e qualidade física do solo na Serra dos Tapes.

5.2.1 Ponto 1 – São Lourenço do Sul

O Ponto 1 localiza-se no município de São Lourenço do Sul, na porção leste da Serra dos Tapes, área caracterizada por relevo suavemente ondulado a ondulado, inserida na zona de transição entre o Planalto Sul-Riograndense e a Planície Costeira. Trata-se de uma região historicamente marcada pela presença da agricultura familiar e pela coexistência entre áreas agrícolas e remanescentes de vegetação nativa.

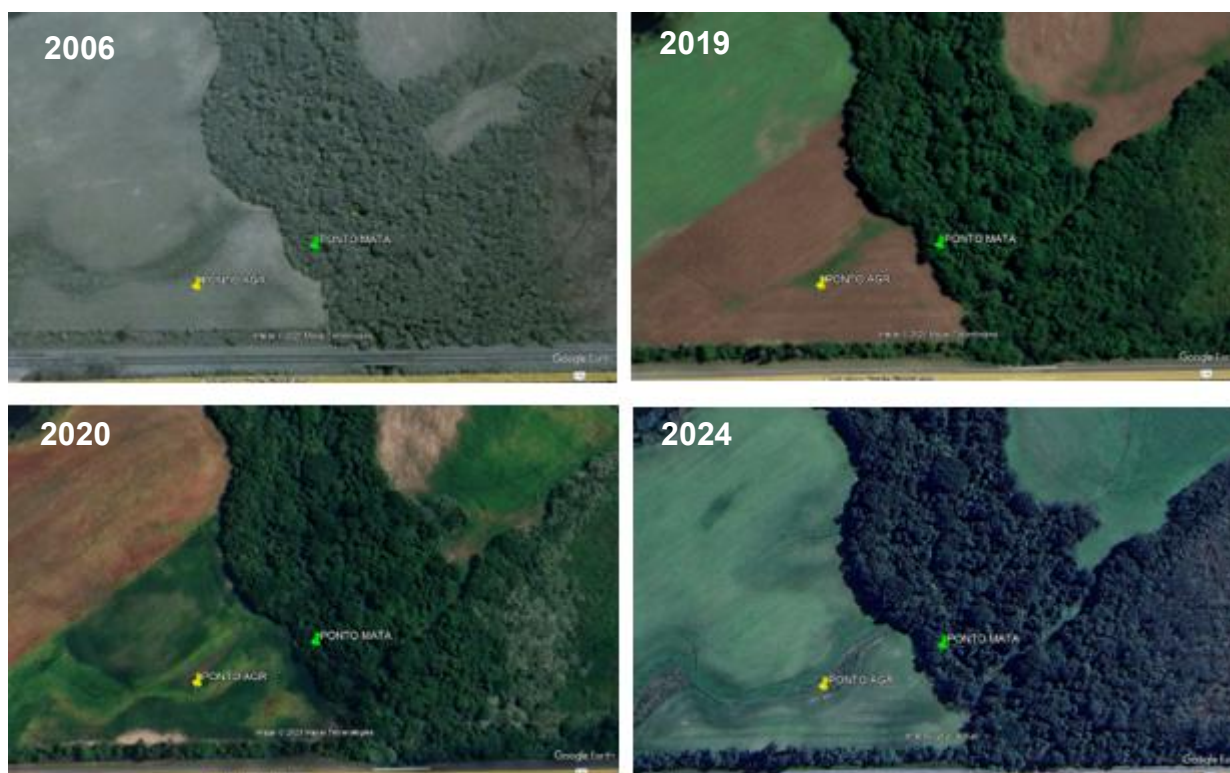
De acordo com o mapa de solos da área de estudo, o Ponto 1 encontra-se predominantemente sobre Argissolos, solos amplamente distribuídos na área de estudo,

caracterizados por horizonte subsuperficial com aumento de argila, drenagem geralmente boa e elevada suscetibilidade à compactação quando submetidos ao uso agrícola intensivo, especialmente sob tráfego de máquinas.

Quanto à posição na paisagem, o ponto situa-se em média vertente, condição que favorece processos de redistribuição de água e sedimentos ao longo do perfil do solo, tornando-o sensível tanto à erosão superficial quanto à compactação, dependendo do tipo de uso e manejo adotado.

A análise das imagens de satélite (Google Earth Pro, funcionalidade Timelapse) referentes aos anos de 2006, 2019, 2020 e 2024 evidencia que, ao longo do período avaliado, manteve-se um contraste bem definido entre a área de mata e a área agrícola no entorno do ponto (Figura 16). Em 2006, observa-se a presença de um fragmento florestal relativamente contínuo, associado a áreas adjacentes ocupadas por uso agrícola, possivelmente pastagem ou lavoura temporária.

Figura 16. – Uso e cobertura da terra no entorno do Ponto 1 (São Lourenço do Sul) nos anos de 2006, 2019, 2020 e 2024.



Fonte: Google Earth Pro (2006, 2019, 2020, 2024). Elaboração própria.

Cabe destacar que, conforme a classificação do MapBiomass, no ano de 1985 a área correspondente ao cultivo agrícola era caracterizada como cobertura campestre,

indicando, possivelmente, que a cobertura campestre foi convertida em área agrícola. Nos anos de 2019 e 2020, verifica-se a intensificação do uso agrícola nas áreas vizinhas à mata, com maior homogeneização da paisagem agrícola, enquanto o fragmento florestal permanece relativamente estável, atuando como área de proteção e menor interferência antrópica direta. Em 2024, observa-se a manutenção dessa configuração, com a persistência da área florestal e o uso agrícola consolidado no entorno, indicando um histórico prolongado de pressão antrópica sobre o solo agrícola, contrastando com a área sob vegetação nativa.

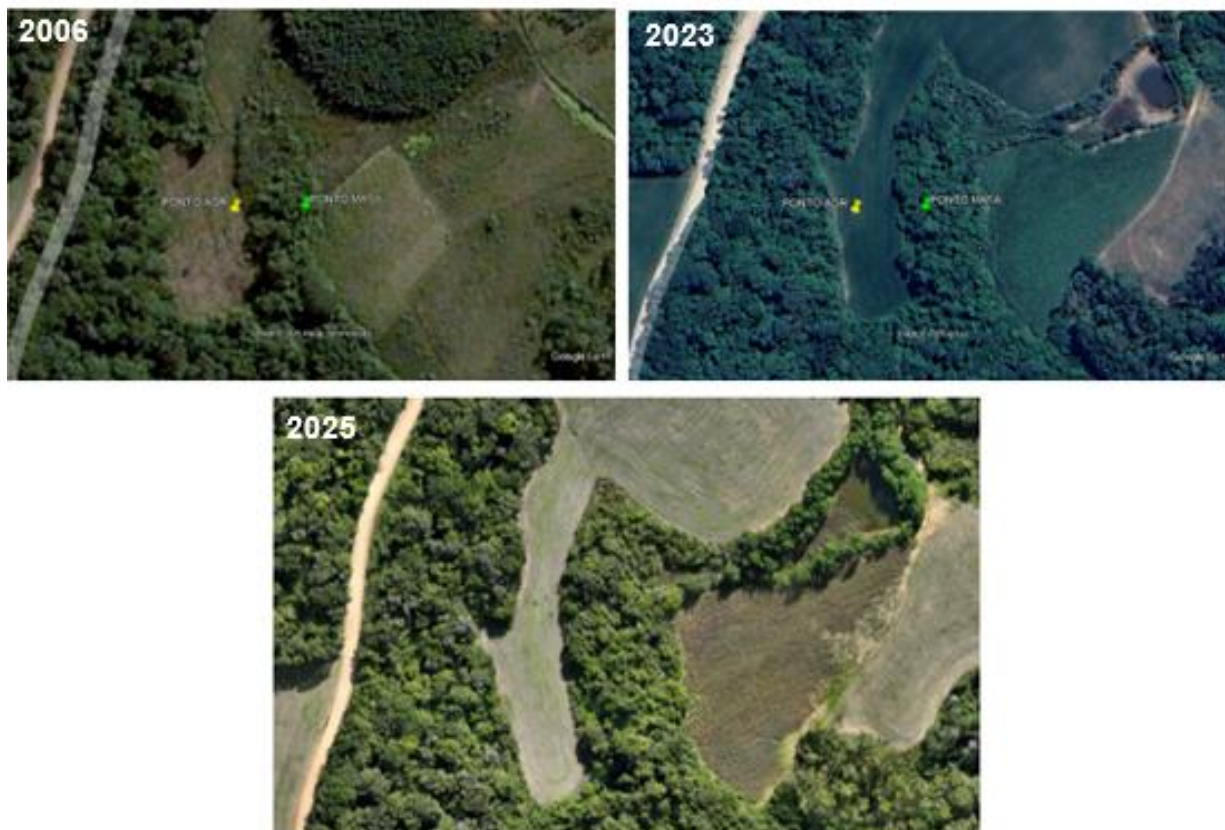
Esse histórico de uso e cobertura da terra contribui diretamente para a interpretação dos resultados de densidade do solo obtidos neste ponto. A menor densidade observada na área de mata reflete a preservação da estrutura do solo, favorecida pela maior deposição de resíduos orgânicos, ausência de revolvimento mecânico e menor compactação. Em contrapartida, os valores mais elevados de densidade na área agrícola estão associados ao uso contínuo do solo, ao tráfego de máquinas e à ausência ou limitação de práticas conservacionistas ao longo do tempo, efeitos amplamente documentados em Argissolos sob uso agrícola na região sul do Brasil (Reichert; Suzuki; Reinert, 2007; Secco *et al.*, 2004).

5.2.2 Ponto 2 – São Lourenço do Sul

O Ponto 2 está localizado no município de São Lourenço do Sul, inserido na Serra dos Tapes, em área caracterizada por relevo suavemente ondulado, com ocorrência predominante de média vertente, favorecendo tanto o uso agrícola quanto a manutenção de fragmentos de vegetação nativa. De acordo com o mapa de solos da região, também predominam Argissolos associados a relevo ondulado e que apresentam limitações físicas quando submetidos a uso intensivo.

A análise do histórico de uso e cobertura da terra, a partir das imagens de satélite de 2006, 2023 e 2025, evidencia uma paisagem marcada pela interação entre áreas agrícolas e remanescentes florestais, com fragmentos de vegetação nativa concentrados principalmente nas áreas mais declivosas e ao longo de drenagens (Figura 17). Assim como no ponto 1, o ponto 2 também apresentava, nos dados coletados do Mapbiomas (2023), cobertura campestre junto às áreas agrícolas.

Figura 17. Evolução do uso e cobertura da terra no Ponto 2 (São Lourenço do Sul) nos anos de 2006, 2023 e 2025, a partir de imagens de satélite e drone.



Fonte: Google Earth (2006, 2023, 2025). Elaboração da autora.

Na imagem de 2006, observa-se que a área agrícola associada ao ponto apresentava menor grau de intervenção, com parcelas agrícolas relativamente pequenas e presença expressiva de vegetação arbórea contínua no entorno, especialmente em áreas de maior declividade (Figura 17). Esse padrão sugere um uso agrícola menos intensivo, compatível com sistemas produtivos de base familiar, característicos do município nesse período.

Em 2023, verifica-se uma ampliação das áreas agrícolas, com maior definição das parcelas cultivadas e redução da vegetação nativa em alguns trechos, embora os fragmentos florestais permaneçam relativamente bem preservados nas áreas menos acessíveis ao manejo mecanizado. A presença de corpos d'água e áreas úmidas próximas ao ponto contribui para a manutenção da vegetação, funcionando como elementos de restrição à expansão agrícola contínua.

A imagem mais recente, de 2025, reforça a tendência de consolidação do uso agrícola, com áreas cultivadas mais extensas e homogêneas, ao mesmo tempo em que os remanescentes florestais permanecem concentrados em faixas estreitas e áreas de

relevo mais acentuado. Esse padrão espacial indica uma ocupação seletiva da paisagem, na qual o uso agrícola se intensifica nas áreas de maior aptidão, enquanto a vegetação nativa se mantém principalmente em função de condicionantes topográficos, ambientais e jurídicos, especialmente aqueles estabelecidos pelo Código Florestal Brasileiro, que determina a proteção de áreas ambientalmente sensíveis, como Áreas de Preservação Permanente e Reserva Legal (BRASIL, 2012). De forma geral, o histórico observado no Ponto 2 revela um processo de intensificação gradual do uso da terra, com substituição parcial da vegetação natural por áreas agrícolas ao longo do período analisado, mantendo, contudo, fragmentos florestais relevantes na paisagem. Esse contexto é fundamental para a interpretação dos resultados físicos do solo, uma vez que a alternância entre áreas preservadas e agrícolas, associada à posição em média vertente, influencia diretamente atributos como densidade do solo, porosidade e estabilidade estrutural.

5.2.3 Ponto 3 – São Lourenço do Sul

O Ponto 3 localiza-se no município de São Lourenço do Sul, na Serra dos Tapes, em área de relevo suavemente ondulado, inserida em contexto de média vertente, com drenagem natural associada a pequenos cursos d'água e presença de fragmentos florestais. De acordo com o mapa de solos da região, também predominam Argissolos.

A análise das imagens de satélite referentes aos anos de 2006, 2020 e 2024 evidencia alterações importantes no uso e cobertura da terra no entorno do ponto (Figura 18). Em 2006, observa-se um predomínio de áreas com cobertura campestre e presença de vegetação arbórea mais contínua nas áreas adjacentes ao ponto sob mata, enquanto a área agrícola apresentava uso menos intensivo, com menor exposição do solo.

No ano de 2020, nota-se uma intensificação do uso agropecuário, com ampliação das áreas abertas, redução da cobertura vegetal natural e maior evidência de solo exposto, especialmente na área correspondente ao ponto agrícola. Esse padrão sugere aumento da pressão antrópica, possivelmente associado à ampliação de áreas de pastagem ou preparo do solo para cultivo, o que pode favorecer processos de compactação e degradação estrutural.

Figura 18. Uso e cobertura da terra no entorno do Ponto 3 (São Lourenço do Sul) nos anos de 2006, 2020 e 2024.



Fonte: Google Earth Pro (2006, 2020, 2024). Elaboração própria.

Em 2024, verifica-se a manutenção do uso agropecuário, com áreas agrícolas consolidadas e fragmentação mais evidente da vegetação natural. A área de mata, embora preservada em relação à área agrícola, apresenta-se mais isolada na paisagem, o que reflete o processo de fragmentação florestal característico da região ao longo das últimas décadas. Esse histórico de uso e cobertura da terra indica que o Ponto 3 esteve sujeito a pressões antrópicas progressivas, especialmente na área agrícola, o que contribui para explicar os padrões observados nos atributos físicos do solo, como o aumento da densidade e a redução da porosidade em comparação à área sob mata.

5.2.4 Ponto 4 – São Lourenço do Sul

O Ponto 4 localiza-se no município de São Lourenço do Sul, inserido na região da Serra dos Tapes, em área de relevo suavemente ondulado, com posição predominante de média a baixa vertente. O ambiente apresenta drenagem natural associada a pequenos cursos d'água e presença de fragmentos florestais, configurando uma paisagem típica de mosaico entre áreas de uso agropecuário e remanescentes de vegetação nativa. Conforme o mapeamento pedológico regional, predominam Argissolos.

A análise das imagens de satélite dos anos de 2007, 2020 e 2023 evidencia mudanças significativas no uso e cobertura da terra no entorno do Ponto 4 (Figura 19). Em 2007, observa-se uma paisagem com maior heterogeneidade, caracterizada por áreas campestres, fragmentos florestais mais extensos e continuidade da vegetação arbórea nas proximidades do ponto sob mata. A área agrícola apresentava menor grau de intervenção, com uso menos intensivo e menor exposição do solo. É válido destacar que nos produtos oriundos do MapBiomas (2023), as áreas que atualmente são agrícolas, no cenário de 1985 e 1995 foram classificadas como campestre, demonstrando possível conversão de cobertura por uso da terra agrícola, especialmente voltado ao cultivo de soja.

Figura 19. Uso e cobertura da terra no entorno do Ponto 4 (São Lourenço do Sul) nos anos de 2007, 2020 e 2023



Fonte: Google Earth Pro (2007, 2020, 2023). Elaboração própria.

No ano de 2020, verifica-se a intensificação das atividades agropecuárias, com ampliação das áreas abertas e redução da cobertura vegetal natural. Nota-se maior evidência de solo exposto na área correspondente ao ponto agrícola, indicando preparo do solo ou uso mais intenso para cultivo ou pastagem. Esse cenário reflete aumento da pressão antrópica sobre o solo, favorecendo processos de compactação, degradação da

estrutura e maior risco de erosão, especialmente em solos argilosos e em áreas de vertente.

Em 2023, observa-se a consolidação do uso agropecuário no entorno do Ponto 4, com predominância de áreas agrícolas e campestres manejadas, além de maior fragmentação da vegetação nativa. O fragmento florestal associado ao ponto sob mata mantém-se relativamente preservado, porém mais isolado na paisagem, evidenciando o avanço da fragmentação florestal ao longo do tempo. Esse isolamento reduz a conectividade ecológica e reforça o contraste entre as áreas sob manejo agrícola e aquelas com cobertura vegetal natural (Figura 19).

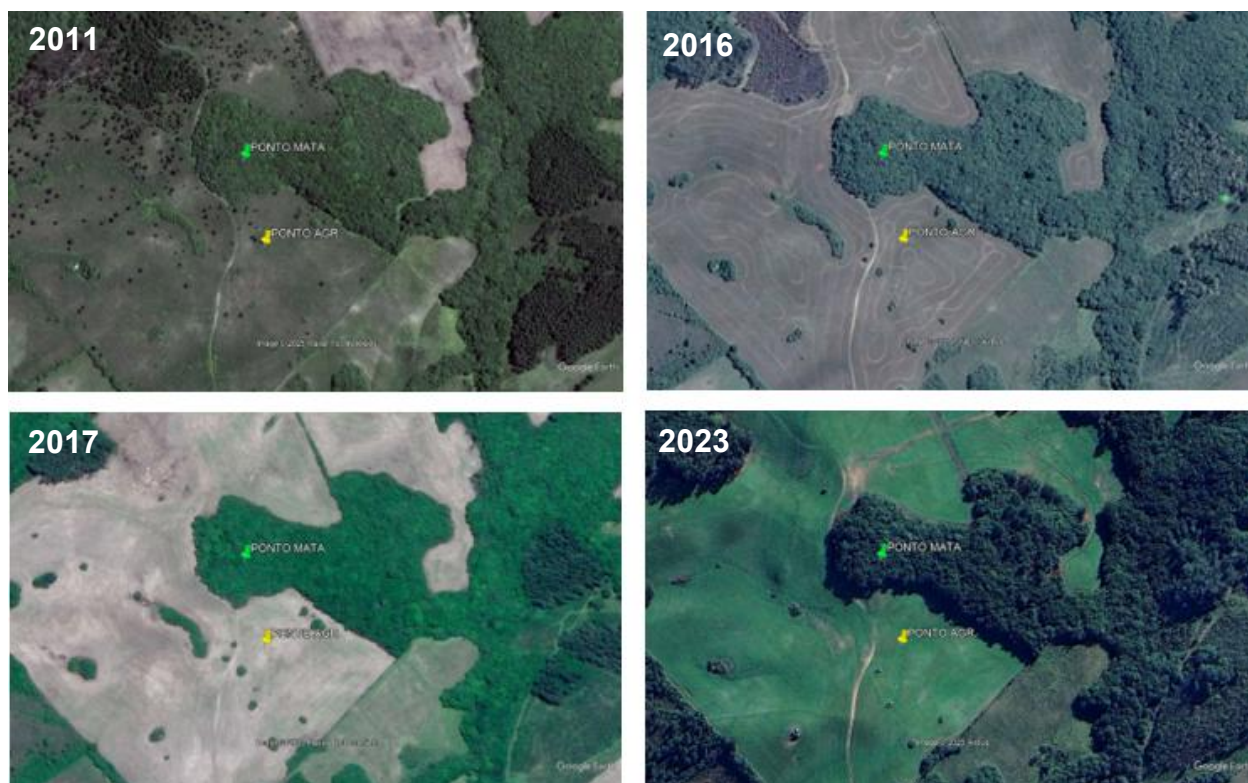
O histórico de uso e cobertura da terra no Ponto 4 indica um processo progressivo de intensificação antrópica, especialmente na área agrícola, ao longo das últimas décadas. Esse contexto contribui para a compreensão dos resultados observados nos atributos físicos do solo, uma vez que áreas submetidas a uso agropecuário contínuo tendem a apresentar maiores valores de densidade do solo e menor porosidade total quando comparadas às áreas sob mata, onde a cobertura vegetal favorece maior estabilidade estrutural e melhor qualidade física do solo.

5.2.5 Ponto 5 – Canguçu

O Ponto 5 localiza-se no município de Canguçu, na região da Serra dos Tapes, inserido em área de relevo suavemente ondulado a ondulado, com predominância de posições de média vertente. A paisagem é caracterizada por mosaico entre áreas de uso agropecuário e fragmentos florestais, com drenagem natural associada a pequenas linhas de escoamento superficial. De acordo com o mapeamento pedológico regional, predominam Argissolos, solos típicos da região.

A análise das imagens de satélite dos anos de 2011, 2016, 2017 e 2023 evidencia mudanças expressivas no uso e cobertura da terra no entorno do Ponto 5 (Figura 20). Em 2011, observa-se uma paisagem com maior presença de cobertura vegetal natural, especialmente no fragmento florestal associado ao ponto sob mata, além de áreas campestres utilizadas de forma menos intensiva. A área agrícola apresentava menor grau de intervenção, com menor exposição do solo e maior heterogeneidade na cobertura.

Figura 20. Uso e cobertura da terra no entorno do Ponto 5 (Canguçu) nos anos de 2011, 2016, 2017 e 2023.



Fonte: Google Earth Pro (2011, 2016, 2017, 2023). Elaboração própria.

No ano de 2016, verifica-se intensificação das atividades agropecuárias, com ampliação das áreas cultivadas e maior evidência de solo exposto, associada ao preparo do solo para cultivo. As marcas de manejo mecanizado tornam-se mais evidentes, indicando aumento da pressão antrópica sobre o solo, o que potencializa processos de compactação e degradação da estrutura do solo.

Em 2017, o uso agrícola intensivo mantém-se, com extensas áreas de solo exposto e redução da cobertura vegetal campestre. O fragmento florestal correspondente ao ponto sob mata permanece relativamente preservado, destacando-se na paisagem como uma área de maior continuidade da vegetação arbórea em contraste com o entorno agrícola. Esse contraste evidencia diferenças marcantes nas condições de proteção do solo entre as áreas sob mata e sob uso agrícola.

Já em 2023, observa-se a consolidação do uso agropecuário no entorno do Ponto 5, com predominância de áreas agrícolas estabelecidas e redução significativa da cobertura vegetal natural fora do fragmento florestal. O fragmento de mata mantém-se preservado, porém apresenta-se mais isolado na paisagem, refletindo o processo de fragmentação florestal ao longo do tempo. A área agrícola permanece com baixa

cobertura vegetal permanente, o que favorece maior exposição do solo aos agentes erosivos.

O histórico de uso e cobertura da terra no Ponto 5 indica um processo progressivo de intensificação antrópica, especialmente a partir de 2016, com aumento da frequência de preparo do solo e redução da cobertura vegetal. Esse contexto ajuda a explicar os resultados observados nos atributos físicos do solo, uma vez que áreas sob uso agrícola contínuo tendem a apresentar maiores valores de densidade do solo, menor porosidade total e menor estabilidade de agregados quando comparadas à área sob mata, onde a presença de cobertura vegetal favorece maior proteção do solo e melhor qualidade física.

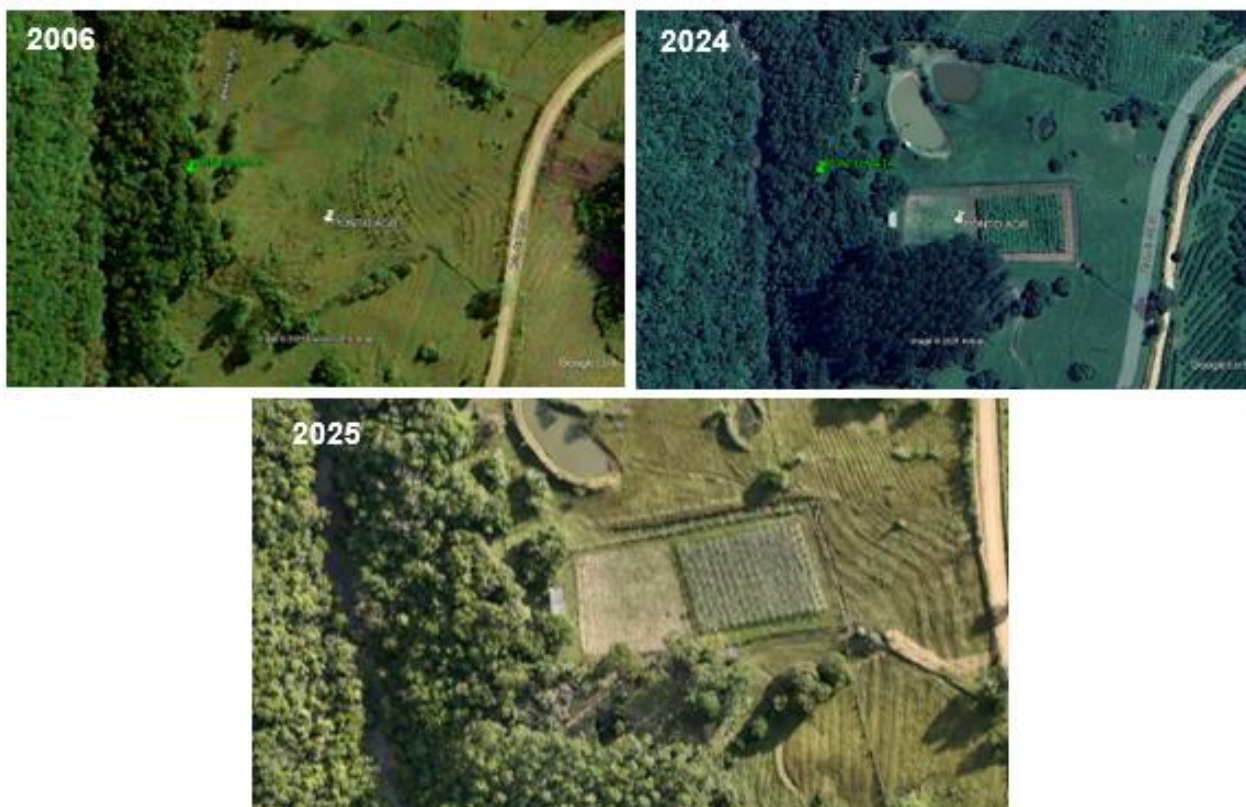
5.2.6 Ponto 6 – Pelotas (Colônia Maciel)

O Ponto 6 está localizado na Colônia Maciel, zona rural do município de Pelotas, em área de relevo suavemente ondulado, com presença de drenagem superficial e fragmentos florestais associados a matas ciliares e vegetação nativa. A paisagem é marcada por mosaico de usos, com áreas de campo, agricultura consolidada e vegetação arbórea remanescente. Segundo o mapa de solos da região, predominam Argissolos e Neossolos, com características de boa drenagem, porém susceptíveis à degradação estrutural quando submetidos a práticas agrícolas intensivas.

A análise das imagens de satélite dos anos de 2006, 2024 e 2025 revela mudanças significativas no uso e cobertura da terra no entorno do ponto (Figura 21). Em 2006, observa-se predominância de vegetação campestre e arbórea mais contínua, especialmente na área correspondente ao ponto sob mata, com menor presença de solo exposto e uso agrícola menos intensivo. A área agrícola apresentava traços de manejo extensivo, com cobertura vegetal parcial e ausência de grandes estruturas ou cercamentos.

Em 2024, nota-se uma intensificação do uso agropecuário, com consolidação de áreas agrícolas delimitadas por cercas e presença de estruturas de apoio ao cultivo. A vegetação natural mostra sinais de fragmentação, com redução da conectividade entre os remanescentes florestais. A área de mata, embora ainda preservada, apresenta-se mais isolada na paisagem, o que pode comprometer sua função ecológica e favorecer processos de degradação por borda.

Figura 21. Uso e cobertura da terra no entorno do Ponto 6 (Pelotas – Colônia Maciel) nos anos de 2006, 2024 e 2025.



Fonte: Google Earth Pro (2006, 2024, 2025). Elaboração própria.

Em 2025, verifica-se a manutenção do padrão agropecuário, com áreas agrícolas bem definidas e uso intensivo do solo, evidenciado por preparo mecanizado e presença de culturas em linhas. A área de mata permanece como fragmento isolado, com pouca conexão com outros remanescentes. Esse histórico de uso e cobertura da terra indica que o Ponto 6 esteve sujeito a crescente pressão antrópica, especialmente na área agrícola, o que contribui para explicar os padrões observados nos atributos físicos do solo.

5.2.7 Ponto 7 – Pelotas

O Ponto 7 está localizado em área rural do município de Pelotas, inserido em paisagem de relevo suavemente ondulado, com presença de vegetação nativa e áreas de campo. A drenagem superficial é marcada por pequenos cursos d'água e depressões naturais, com ocorrência de fragmentos florestais em diferentes estágios de conservação. Segundo o mapa de solos da região, predominam Argissolos e Neossolos, com textura média e boa drenagem, porém susceptíveis à compactação e erosão em função do uso agrícola intensivo.

A análise das imagens de satélite dos anos de 2006 e 2025 evidencia alterações relevantes no uso e cobertura da terra no entorno do ponto (Figura 22). Em 2006, observa-se uma paisagem com maior continuidade da vegetação nativa, especialmente na área correspondente ao ponto sob mata, com cobertura arbórea densa e conectada a outros fragmentos. A área agrícola apresentava uso menos intensivo, com cobertura herbácea e ausência de estruturas de manejo visíveis.

Figura 22. Uso e cobertura da terra no entorno do Ponto 7 (Pelotas) nos anos de 2006 e 2025



Fonte: Google Earth Pro (2006, 2025). Elaboração própria.

Em 2025, nota-se uma intensificação do uso agropecuário, com delimitação clara da área de vegetação nativa e a abertura de corredor para uso agrícola. Em 2025 foi verificado que a área havia sido cultivada com soja.

5.2.8 Ponto 8 – Canguçu

O Ponto 8 localiza-se no município de Canguçu, em área de relevo ondulado, com presença de vegetação nativa e uso agrícola consolidado. A paisagem é marcada por mosaico de usos, com fragmentos florestais, áreas de campo e lavouras, inseridas em contexto de média vertente. Segundo o mapa de solos da região, predominam Argissolos e Cambissolos, com boa drenagem e moderada fertilidade natural, porém susceptíveis à erosão e compactação quando submetidos a manejo inadequado.

A análise das imagens de satélite dos anos de 2004 e 2023 evidencia alterações significativas no uso e cobertura da terra no entorno do ponto (Figura 23). Em 2004, observa-se maior presença de vegetação arbórea contínua, especialmente na área correspondente ao ponto sob mata, com conectividade entre os fragmentos florestais e

menor presença de solo exposto. A área agrícola apresentava uso menos intensivo, com cobertura herbácea e ausência de grandes estruturas ou cercamentos.

Figura 23. Uso e cobertura da terra no entorno do Ponto 8 (Canguçu) nos anos de 2004 e 2023.



Fonte: Google Earth Pro (2004, 2023). Elaboração própria.

Em 2023, nota-se uma intensificação do uso agropecuário, com ampliação das áreas abertas e redução da cobertura vegetal natural. A área agrícola apresenta sinais de preparo mecanizado, com maior exposição do solo e delimitação clara das áreas de cultivo. A vegetação nativa, embora ainda presente, encontra-se mais fragmentada e isolada na paisagem, o que pode comprometer sua função ecológica e favorecer processos de degradação por borda. É válido ressaltar que em campo foi observada a presença de nascente em meio a área agrícola, demonstrando que a supressão da vegetação nativa florestal se deu em área de preservação permanente (Figuras 24a e 24b).

Esse histórico de uso e cobertura da terra indica que o Ponto 8 esteve sujeito a crescente pressão antrópica, especialmente na área agrícola, o que contribui para explicar os padrões observados nos atributos físicos do solo, como aumento da densidade, redução da porosidade e possível compactação superficial.

Figuras 24a e 24b. Vista dos pontos 8 em área agrícola e em área preservada (A), presença de nascente em local de conversão de cobertura florestal para uso agrícola.



Fonte: A autora (2025)

5.2.9 Ponto 9 – Turuçu

O Ponto 9 localiza-se no município de Turuçu, em área de relevo suavemente ondulado, com presença de vegetação nativa e uso agrícola consolidado. A paisagem apresenta mosaico de usos, com fragmentos florestais, áreas de campo e lavouras, inseridas em contexto de média vertente. Segundo o mapa de solos da região, predominam Argissolos e Neossolos, com boa drenagem e textura média, susceptíveis à compactação e erosão quando submetidos a práticas agrícolas intensivas.

A análise das imagens de satélite dos anos de 2006 e 2024 evidencia alterações relevantes no uso e cobertura da terra no entorno do ponto (Figura 25). Em 2006, observa-se maior presença de vegetação arbórea contínua, especialmente na área correspondente ao ponto sob mata, com conectividade entre os fragmentos florestais e menor presença de solo exposto. A área agrícola apresentava uso menos intensivo, com cobertura herbácea e ausência de estruturas de manejo visíveis. Nos dados coletados da plataforma Mapbiomas (2023), a área atualmente agrícola, em 1985, 1995 e 2005 havia sido classificada como campestre.

Figura 25. Uso e cobertura da terra no entorno do Ponto 9 (Turuçu) nos anos de 2006 e 2024.



Fonte: Google Earth Pro (2006, 2024). Elaboração própria.

Em 2024, nota-se uma intensificação do uso agropecuário, com ampliação das áreas abertas e maior exposição do solo, indicando preparo mecanizado e cultivo em linhas. A vegetação natural mostra sinais de fragmentação, com redução da conectividade entre os remanescentes florestais. A área de mata, embora ainda presente, encontra-se mais isolada na paisagem, o que pode comprometer sua função ecológica e favorecer processos de degradação por borda.

Esse histórico de uso e cobertura da terra indica que o Ponto 9 esteve sujeito a crescente pressão antrópica, especialmente na área agrícola.

5.2.10 Ponto 10 – Arroio do Padre

O Ponto 10 localiza-se no município de Arroio do Padre, em área de relevo suavemente ondulado, com presença de vegetação nativa e uso agrícola consolidado. A paisagem apresenta mosaico de usos, com fragmentos florestais, áreas de campo e lavouras, inseridas em contexto de média vertente. Segundo o mapa de solos da região, predominam Argissolos e Neossolos, com boa drenagem e textura média, susceptíveis à compactação e erosão quando submetidos a práticas agrícolas intensivas.

A análise das imagens de satélite dos anos de 2006, 2024 e 2025 evidencia alterações relevantes no uso e cobertura da terra no entorno do ponto (Figura 26). Em 2006, observa-se maior presença de vegetação arbórea contínua, especialmente na área correspondente ao ponto sob mata, com conectividade entre os fragmentos florestais e menor presença de solo exposto. A área agrícola apresentava uso menos intensivo, com cobertura herbácea e ausência de estruturas de manejo visíveis. Nos dados coletados da plataforma Mapbiomas (2023), a área atualmente agrícola também foi classificada como sendo campestre em 1985 e 1995.

Figura 26. Uso e cobertura da terra no entorno do Ponto 10 (Arroio do Padre) nos anos de 2006, 2024 e 2025.



Fonte: Google Earth Pro (2006, 2024, 2025). Elaboração própria

Em 2024, nota-se uma intensificação do uso agropecuário, com ampliação das áreas abertas e maior exposição do solo, indicando preparo mecanizado e cultivo em linhas. A vegetação natural mostra sinais de fragmentação, com redução da conectividade entre os remanescentes florestais. A área de mata, embora ainda presente, encontra-se mais isolada na paisagem, o que pode comprometer sua função ecológica e favorecer processos de degradação por borda.

Em 2025, verifica-se a consolidação do uso agrícola, com áreas bem definidas e manejo intensivo. A vegetação nativa permanece como fragmento isolado, com pouca conexão com outros remanescentes. Esse histórico de uso e cobertura da terra indica que o Ponto 10 esteve sujeito a crescente pressão antrópica, especialmente na área agrícola, o que contribui para explicar os padrões observados nos atributos físicos do solo, como aumento da densidade, redução da porosidade e possível compactação superficial.

5.3 Análise da Granulometria e Fracionamento da fração areia

A análise granulométrica realizada nos diferentes pontos de coleta teve como objetivo comparar as características texturais de solos mantidos sob vegetação nativa (MATA) com solos submetidos ao uso agrícola (AGR). Cada ponto representa uma mesma propriedade rural, onde as amostras foram coletadas em dois locais distintos: um ambiente mais próximo ao que seria preservado, sem interferência direta do manejo humano, denominado MATA; e outro correspondente à área onde ocorre atividade agrícola, caracterizada por revolvimento, cultivo e práticas de manejo, denominado AGR. Além disso, cada ponto pertence a um município diferente, sendo eles: São Lourenço do Sul (SLS), Canguçu (CG), Pelotas (PL), Turuçu (TR) e Arroio do Padre (ARP). Essa abordagem permite avaliar como o uso do solo modifica a distribuição natural das frações texturais.

De modo geral, observou-se que a maior parte dos solos analisados apresenta caráter arenoso, com variações entre os pontos conforme o tipo de manejo e as condições locais. Conforme apresentado nas (Tabela 2 e Figura 27).

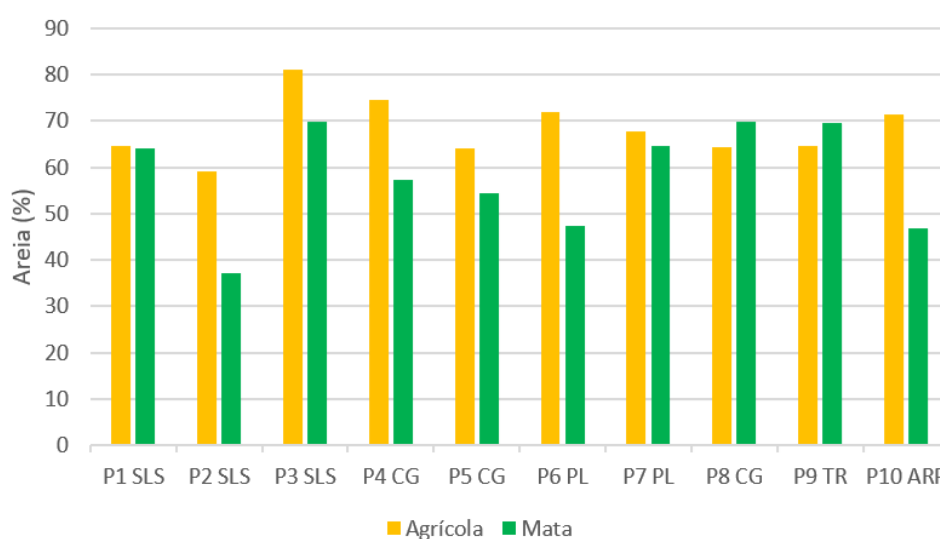
Tabela 2. Granulometria dos pontos amostrados

PONTO	AREIA (%)	SILTE (%)	ARGILA (%)
P1 MATA SLS	63,95	21,05	15,00
P1 AGR SLS	64,58	22,93	12,50
P2 MATA SLS	37,22	38,62	24,17
P2 AGR SLS	58,99	22,68	18,33
P3 MATA SLS	69,80	16,03	14,17
P3 AGR SLS	80,95	11,55	7,50
P4 MATA CG	57,33	20,18	22,50
P4 AGR CG	74,49	10,51	15,00
P5 MATA CG	54,28	20,73	25,00
P5 AGR CG	64,15	15,85	20,00
P6 MATA PL	47,23	27,77	25,00
P6 AGR PL	71,89	14,78	13,33
P7 MATA PL	64,48	22,18	13,33
P7 AGR PL	67,73	22,28	10,00

P8 MATA CG	69,92	17,58	12,50
P8 AGR CG	64,28	20,72	15,00
P9 MATA TR	69,49	16,34	14,17
P9 AGR TR	64,72	16,95	18,33
P10 MATA ARP	46,87	24,80	28,33
P10 AGR ARP	71,46	15,21	13,33

Fonte: Autora, 2026

Figura 27. Variação da fração areia total em áreas agrícolas e áreas preservadas



Fonte: Autora, 2026

No Ponto 1, localizado em São Lourenço do Sul, tanto a área de MATA quanto a área AGR apresentaram predominância de areia, embora a área agrícola tenha mostrado um leve aumento no teor de silte e redução da argila, sugerindo possível perda estrutural decorrente do manejo. No Ponto 2, também em SLS, a diferença entre área de mata e área Agrícola foi mais evidente: a área nativa apresentou teores equilibrados entre areia, silte e argila, enquanto o ponto agrícola mostrou aumento acentuado do teor de areia, com redução significativa das frações finas, indicando forte influência do cultivo sobre o solo e possível perda de sedimentos mais finos por escoamento superficial. No Ponto 3, a MATA já possuía textura arenosa, mas a agricultura intensificou essa característica, resultando em um solo extremamente arenoso, com forte redução de silte e argila, comprometendo sua capacidade de retenção de água (Figuras 27, 28 e 29).

Figura 28. Variação da fração silte em áreas agrícolas e áreas preservadas

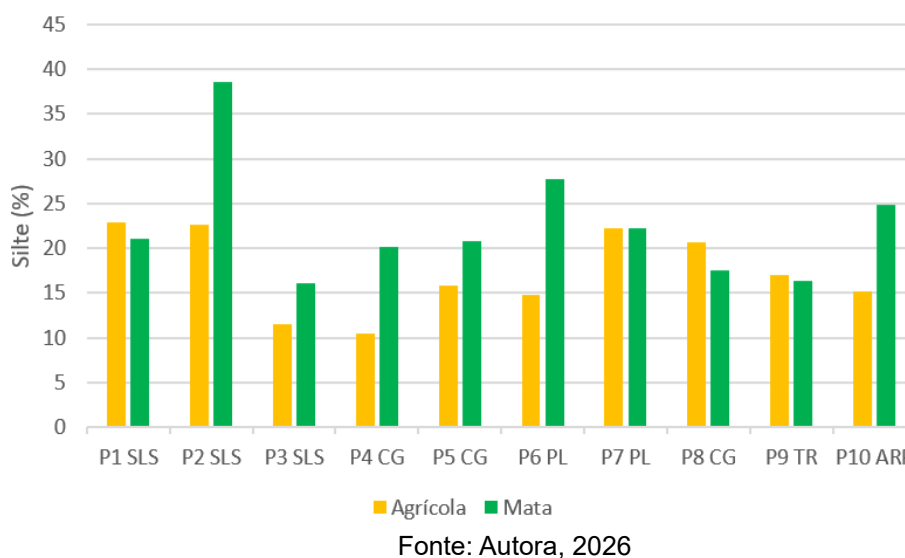


Figura 29. Variação da fração argila em áreas agrícolas e áreas preservadas



No município de Canguçu, o Ponto 4 mostrou que a agricultura aumentou substancialmente os teores de areia em relação à área de mata, reduzindo principalmente a argila. O mesmo padrão foi observado no Ponto 5, onde a área de mata apresentava maior proporção de argila, enquanto o ponto agrícola mostrou aumento expressivo de areia e perda de finos, condição associada a maior suscetibilidade à erosão e perda de nutrientes.

Em Pelotas, no Ponto 6, a diferença entre os ambientes foi ainda mais marcante: a área de mata apresentou uma das maiores porcentagens de argila entre todos os pontos analisados, enquanto a área agrícola mostrou elevada proporção de areia,

evidenciando degradação textural A degradação textural refere-se à perda ou alteração da estrutura física do solo, especialmente da sua textura (proporção de areia, silte e argila), causada por processos como erosão, compactação, lixiviação e formação e evolução do solo. Isso compromete a fertilidade, a infiltração de água e a capacidade de sustentar vegetação. significativa resultante do manejo. No Ponto 7, também em Pelotas, tanto MATA quanto AGR apresentaram teores semelhantes de areia, porém o solo agrícola apresentou menor teor de argila, indicando perda gradual de material fino. Em Canguçu, no Ponto 8, os dois ambientes não apresentaram alterações tão intensas quanto em outros pontos, embora a agricultura também tenha reduzido o teor de silte (Tabela 2, Figuras 27, 28 e 29).

O Ponto 9, localizado em Turuçu, foi o único que apresentou comportamento contrário ao padrão geral: a área agrícola mostrou aumento no teor de argila em comparação à área de mata. Esse resultado pode estar relacionado a práticas de manejo menos agressivas, condições específicas de relevo ou particularidades pedológicas que favoreceram a incorporação ou preservação de frações mais finas.

Já no município de Arroio do Padre, no Ponto 10, a área de mata apresentou um dos maiores teores de argila e menor teor de areia, porém, na área agrícola, houve um aumento muito expressivo da fração areia e uma redução acentuada de silte e argila, caracterizando um processo de arenização decorrente do uso intensivo do solo (Tabela 2, Figuras 27, 28 e 29).

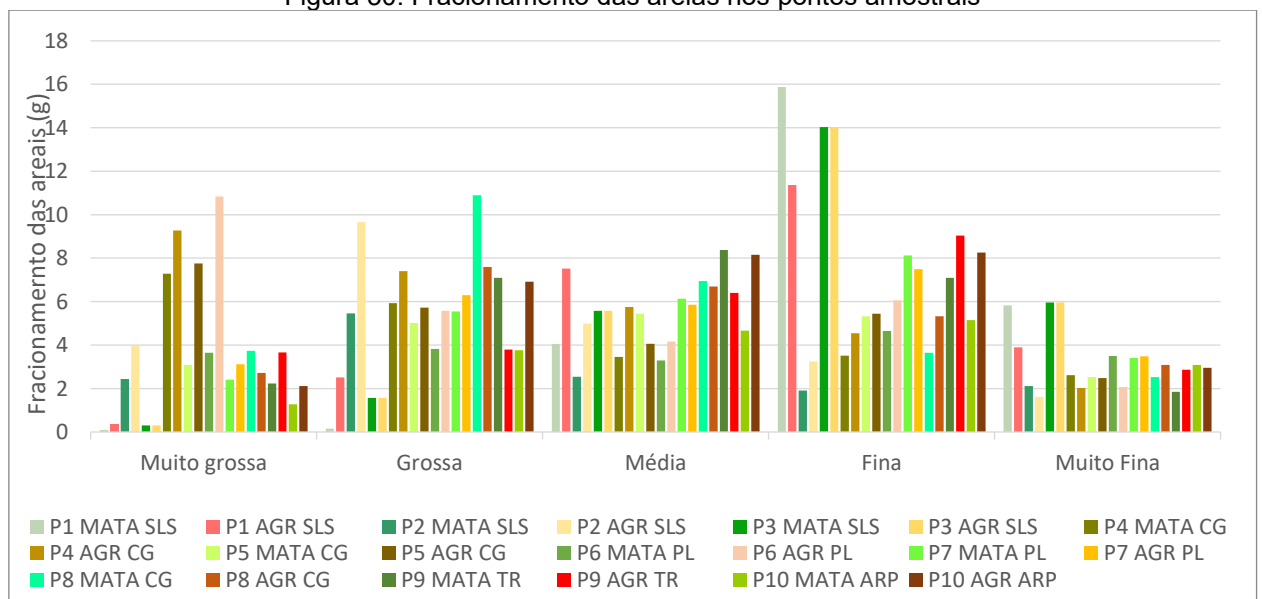
Além da análise das frações de areia, silte e argila, também foi realizado o fracionamento específico das areias em areia muito grossa, areia grossa, areia média, areia fina, areia muito fina e fundo (Figura 30 e Tabela 3). Essa etapa permitiu observar que, na maior parte dos pontos agrícolas, há maior predominância de frações mais grossas de areia, enquanto as áreas de mata tendem a apresentar maior proporção de areias finas e muito finas. Esse comportamento indica que o manejo agrícola favorece a perda de partículas menores, que são justamente as responsáveis pela maior capacidade de retenção de água e nutrientes. A presença maior de areia grossa nos pontos agrícolas também está associada ao revolvimento do solo, à exposição a processos erosivos e ao transporte superficial das partículas mais leves, resultando em um empobrecimento textural.

Tabela 3. Fracionamento das areias

Ponto	Areia total	Muito Grossa	Grossa	Média	Fina	Muito Fina
Fracionamento (g)						
P1 MATA SLS	25,58	0,1	0,16	4,05	15,88	5,83
P1 AGR SLS	25,83	0,36	2,51	7,52	11,36	3,9
P2 MATA SLS	14,89	2,44	5,46	2,54	1,91	2,12
P2 AGR SLS	23,6	3,96	9,66	4,99	3,25	1,61
P3 MATA SLS	27,92	6,79	10,51	7,54	6,01	1,39
P3 AGR SLS	32,38	0,3	1,57	5,58	14,03	5,96
P4 MATA CG	22,93	7,29	5,93	3,46	3,51	2,62
P4 AGR CG	29,8	9,27	7,41	5,76	4,55	2,03
P5 MATA CG	21,71	3,08	5,01	5,44	5,33	2,52
P5 AGR CG	25,66	7,75	5,73	4,06	5,45	2,48
P6 MATA PL	18,89	3,65	3,82	3,29	4,65	3,5
P6 AGR PL	28,76	10,84	5,58	4,16	6,06	2,07
P7 MATA PL	25,79	2,41	5,55	6,13	8,13	3,41
P7 AGR PL	27,09	3,11	6,3	5,85	7,49	3,49
P8 MATA CG	27,97	3,73	10,9	6,95	3,64	2,52
P8 AGR CG	25,71	2,72	7,59	6,7	5,33	3,09
P9 MATA TR	27,8	2,23	7,1	8,37	7,1	1,85
P9 AGR TR	25,89	3,66	3,8	6,4	9,04	2,86
P10 MATA ARP	18,75	1,28	3,77	4,66	5,15	3,08
P10 AGR ARP	28,58	2,12	6,91	8,15	8,25	2,96

Fonte: Autora, 2026

Figura 30. Fracionamento das areias nos pontos amostrais



Fonte: Autora, 2026

De forma geral, a análise da tabela demonstra que a agricultura, na maioria dos casos, promove a redução das frações finas (silte e argila) e o aumento das frações de areia, principalmente areia média e grossa. Esse processo tem implicações diretas na estrutura do solo, que se torna menos coeso, mais suscetível à erosão e com menor capacidade de retenção hídrica. Solos mais arenosos tendem a ser menos férteis, exigindo maior aporte de insumos agrícolas, como fertilizantes e irrigação, para manter a produtividade. As áreas de mata, por sua vez, funcionam como referência do estado natural do solo, apresentando maior equilíbrio entre as frações granulométricas e melhor estrutura física.

A importância da análise granulométrica se destaca porque a textura do solo é um dos atributos fundamentais para entender sua dinâmica física, química e ambiental. A granulometria é um dos fatores que determina a porosidade, a infiltração de água, a capacidade de retenção de nutrientes, a resistência à erosão e a qualidade estrutural do solo. O fracionamento das areias complementa essa interpretação ao detalhar como cada componente da fração arenosa contribui para o comportamento físico do solo. Em estudos ambientais e agrícolas, especialmente no contexto do Bioma Pampa, esses resultados são essenciais para compreender como o uso e o manejo do solo alteram sua composição natural e podem comprometer sua sustentabilidade.

De forma geral, a análise dos dados evidencia que o uso agrícola promove, na maioria dos casos, a redução das frações finas do solo (silte e argila) e o aumento relativo das frações de areia, principalmente areia média e grossa. Esse padrão, observado nos resultados deste estudo, está associado a processos de erosão hídrica seletiva, nos quais as partículas mais finas são preferencialmente removidas pelo escoamento superficial, enquanto as frações mais grosseiras permanecem no local, alterando progressivamente a textura do solo (Bertoni; Lombardi Neto, 2012; Morgan, 2005). As alterações estruturais observadas nas áreas agrícolas têm implicações diretas para os processos hidrológicos, especialmente infiltração e escoamento superficial. A redução da macroporosidade e da estabilidade de agregados pode favorecer o aumento do escoamento superficial e da erosão, o que é particularmente crítico em áreas de relevo declivoso e presença de nascentes.

Esse comportamento tem implicações diretas na estrutura física do solo, que passa a apresentar menor coesão, maior suscetibilidade à erosão e redução da capacidade de retenção de água e nutrientes. Solos com textura mais arenosa tendem

a apresentar menor fertilidade natural, exigindo maior aporte de insumos agrícolas, como fertilizantes e irrigação, para a manutenção da produtividade (Reichardt; Timm, 2012; Streck *et al.*, 2008).

Resultados semelhantes aos observados neste estudo são amplamente descritos na literatura. Pesquisas realizadas em bacias hidrográficas agrícolas do sul do Brasil demonstram que o material erodido é enriquecido em silte e argila, enquanto o solo remanescente apresenta aumento relativo da fração areia, refletindo a perda seletiva das partículas mais finas (Minella; Merten; Walling, 2009; Didoné; Minella; Merten, 2014).

No contexto do Rio Grande do Sul, Moitinho Nunes e Cassol (2008) destacam que atributos físicos do solo, especialmente a textura, exercem forte influência sobre a erodibilidade em entressulcos. Os autores demonstram que solos com menor teor de argila e silte apresentam maior suscetibilidade à erosão hídrica, corroborando os resultados obtidos neste trabalho, nos quais as áreas sob uso agrícola diferem significativamente das áreas de mata.

Além disso, Tartari *et al.* (2012) evidenciam que a redução da cobertura vegetal intensifica a perda de solo e água por erosão, favorecendo a remoção das frações finas. De forma complementar, Tavares *et al.* (2020) ressaltam que o uso e o manejo inadequados do solo em propriedades agrícolas do sul do Rio Grande do Sul contribuem para o aumento das taxas de erosão, reforçando a importância de práticas conservacionistas.

As áreas de mata, por sua vez, funcionam como referência do estado natural do solo, apresentando maior equilíbrio entre as frações granulométricas e melhor estrutura física. A presença contínua de cobertura vegetal reduz o impacto das gotas de chuva, favorece a agregação do solo e contribui para a manutenção das frações finas, resultando em solos mais estáveis e menos suscetíveis à degradação (Bertoni; Lombardi Neto, 2012; Streck *et al.*, 2008).

Nesse contexto, a análise granulométrica mostra-se fundamental, uma vez que a textura do solo é um dos principais atributos para a compreensão de sua dinâmica física, química e ambiental. A granulometria influencia diretamente a porosidade, a infiltração de água, a retenção de nutrientes e a resistência à erosão (Embrapa, 2017). O fracionamento das areias complementa essa análise ao permitir uma interpretação mais detalhada da contribuição das diferentes classes arenosas para o comportamento físico do solo.

Os resultados obtidos demonstram que o uso agrícola, quando não acompanhado de práticas conservacionistas adequadas, pode alterar significativamente a composição natural dos solos do Bioma Pampa, comprometendo sua qualidade e sustentabilidade a médio e longo prazo. Nesse contexto, destacam-se como práticas recomendadas o sistema de plantio direto (Derpsch, 2005), a rotação de culturas (Calegari; Costa; Santos, 2013), a manutenção de cobertura vegetal permanente (EMBRAPA, 2020), o manejo sustentável de pastagens nativas (Embrapa, 2018) e o terraceamento em áreas suscetíveis à erosão (Rolim *et al.*, 2025). Tais estratégias contribuem para reduzir a compactação, conservar a matéria orgânica e manter a estabilidade estrutural dos solos, assegurando sua sustentabilidade. As diferenças granulométricas observadas entre áreas agrícolas e preservadas devem ser interpretadas com cautela, uma vez que a textura do solo reflete, predominantemente, processos pedogenéticos e posição na paisagem. Essas variações podem atuar como fatores moduladores das respostas estruturais observadas, influenciando a magnitude das alterações associadas ao uso da terra.

5.4 Análise dos parâmetros de Macroporosidade, Microporosidade, porosidade total e densidade do solo

Em relação a macro, micro e porosidade total, a análise integrada dos 20 pontos amostrados evidencia diferenças marcantes entre áreas de Mata e Agricultura, revelando padrões consistentes de maior qualidade estrutural nos solos sob vegetação nativa e menor aeração e capacidade de infiltração e compactação dos solos em áreas agrícolas (Tabela 4). No Ponto 1, a Mata apresenta boa aeração (Ma entre 7,9% e 8,8%), retenção adequada de água (Mi entre 23,8% e 36,8%), porosidade total razoável a boa (32%–44%) e baixa densidade (1,2g/cm³–1,4g/cm³), indicando estrutura equilibrada. Já na Agricultura, a macroporosidade é muito baixa (2,6%–4,9%), a densidade mais elevada (1,4g/cm³, – 1,7g/cm³), e, verificando-se maior densidade, especialmente nas camadas de 0–10 e 20–30 cm.

Tabela 4. Macro, micro, porosidade total e densidade do solo

PONTO	CAMADAS	Ma	Mi	PT	DS
		(%)			g/cm³
P1 MATA SLS	MATA 0-10	8,7	34,4	43,1	1,3
	MATA 10-20	8,8	23,8	32,6	1,4
	MATA 20-30	7,9	36,8	44,7	1,2

P1 AGR SLS	AGR 0-10	4,9	32,3	37,1	1,6
	AGR 10-20	3,0	47,1	50,2	1,4
	AGR 20-30	2,6	32,2	34,8	1,7
P2 MATA SLS	MATA 0-10	7,2	45,6	52,8	1,2
	MATA 10-20	6,6	37,9	44,5	1,3
	MATA 20-30	8,4	36	44,4	1,3
P2 AGR SLS	AGR 0-10	13,0	32,0	45,0	1,4
	AGR 10-20	9,7	29,3	38,9	1,5
	AGR 20-30	7,9	27,7	35,5	1,6
P3 MATA SLS	MATA 0-10	6,4	43,3	49,7	1,3
	MATA 10-20	7,6	36,2	43,8	1,4
	MATA 20-30	7,2	34,5	41,7	1,3
P3 AGR SLS	AGR 0-10	17,7	23,3	41,0	1,4
	AGR 10-20	20,4	14,5	34,9	1,5
	AGR 20-30	12,3	20,3	32,6	1,6
P4 MATA CG	MATA 0-10	3,3	44,1	47,4	1,3
	MATA 10-20	5,8	39,2	45	1,4
	MATA 20-30	7,7	40,2	47,9	1,5
P4 AGR CG	AGR 0-10	22,3	21,1	43,4	1,5
	AGR 10-20	22,3	20,0	42,3	1,5
	AGR 20-30	17,2	19,7	36,9	1,7
P5 MATA CG	MATA 0-10	3,1	28,9	32,0	1,6
	MATA 10-20	6,4	30,8	37,2	1,6
	MATA 20-30	5,3	29,8	35,1	1,4
P5 AGR CG	AGR 0-10	5,8	33,4	39,2	1,8
	AGR 10-20	3,6	28,8	32,3	1,7
	AGR 20-30	6,2	28,3	34,5	1,7
P6 MATA PLT	MATA 0-10	23,8	30,7	54,5	1,2
	MATA 10-20	23,6	15,2	38,8	1,4
	MATA 20-30	19,3	26,9	46,2	1,5
P6 AGR PLT	AGR 0-10	8,1	27,2	35,3	1,6
	AGR 10-20	17,0	38,6	55,6	1,5
	AGR 20-30	22,9	17,2	40,1	1,6
P7 MATA PLT	MATA 0-10	12	40,5	52,5	1,1
	MATA 10-20	8,2	37,2	45,4	1,5
	MATA 20-30	3,3	35,2	38,4	1,6
P7 AGR PLT	AGR 0-10	3,0	27,9	30,9	1,8
	AGR 10-20	3,4	28,0	31,3	1,8
	AGR 20-30	2,9	31,3	34,2	1,7
P8 MATA CG	MATA 0-10	17,1	37,2	54,3	1,3
	MATA 10-20	15,9	26,8	42,7	1,5
	MATA 20-30	12,1	29,7	41,9	1,5
P8 AGR CG	AGR 0-10	21,8	25,7	47,5	1,2
	AGR 10-20	8,5	37,9	46,3	1,5
	AGR 20-30	10,5	30,9	41,4	1,5
P9 AGR TRC	AGR 0-10	20,7	8,8	29,5	1,6
	AGR 10-20	41,4	14,7	56,1	1,8
	AGR 20-30	17,4	7,3	24,8	1,7

P9 MATA TRC	MATA 0-10	34,4	49,3	83,7	1,2
	MATA 10-20	70,3	38,4	108,7	1,1
	MATA 20-30	38,3	47,7	86,0	1,1
P10 MATA ARP	MATA 0-10	3,4	31,2	34,6	1,8
	MATA 10-20	12,4	29,8	42,2	1,5
	MATA 20-30	9,6	49,5	59,1	1,2
P10 AGR ARP	AGR 0-10	4,6	35,0	39,6	1,6
	AGR 10-20	13,2	27,5	40,7	1,6
	AGR 20-30	8,8	26,0	34,8	1,7

Fonte: Autora, 2026

No Ponto 2, a Mata mantém boa porosidade total (44%–52%), baixa densidade ($1,2\text{g/cm}^3$ – $1,3\text{g/cm}^3$) e excelente retenção hídrica (36%–45%), enquanto o ponto alocado na área agrícola apresenta compactação crescente em profundidade, com queda da macroporosidade (de 13% em 0–10 para 7%–9% abaixo) e aumento da densidade ($1,4\text{g/cm}^3$ – $1,6\text{g/cm}^3$).

No Ponto 3, a Mata conserva estrutura estável, apresenta melhor retenção (34%–43%) e densidade baixa ($1,3\text{g/cm}^3$ – $1,4\text{g/cm}^3$). Já na Agricultura, há aeração apenas na camada superficial (Ma até 20%), seguida de forte compactação em profundidade, baixa microporosidade (14%–23%) e densidade elevada ($1,4\text{g/cm}^3$ – $1,6\text{g/cm}^3$).

No Ponto 4, a Mata mostra solo funcional, com ótima retenção hídrica (39%–44%), boa estrutura (45%–47%) e leve compactação em 20–30 cm. Na área agrícola, em contraste, apresenta boa aeração (17%–22%), mas baixa retenção (19%–21%), densidade alta ($1,5\text{g/cm}^3$ – $1,7\text{g/cm}^3$) e estrutura mediana.

No Ponto 5, ambos os solos estão compactados: a Mata tem baixa aeração (3%–6%), retenção moderada (28%–30%), estrutura fraca (32%–37%) e densidade de $1,4\text{g/cm}^3$ – $1,6\text{g/cm}^3$. As áreas com cultivo agrícola apresentam piores condições, com densidade muito alta ($1,7\text{g/cm}^3$ – $1,8\text{g/cm}^3$) e porosidade reduzida (32%–39%).

No Ponto 6, a Mata se destaca positivamente, com excelente aeração (19%–24%), boa retenção (15%–30%), estrutura positiva (38%–54%) e baixa densidade ($1,2\text{g/cm}^3$ – $1,5\text{g/cm}^3$), configurando um solo saudável. Na agricultura observa-se compactação moderada ($DS\ 1,5\text{g/cm}^3$ – $1,6\text{g/cm}^3$), retenção variável (17%–38%) e porosidade moderada a boa (35%–55%).

No Ponto 7, a Mata mantém solo funcional e saudável, com boa retenção (35%–40%), estrutura adequada (38%–52%) e baixa densidade ($1,1\text{g/cm}^3$ – $1,5\text{g/cm}^3$). A área agrícola, por sua vez, apresenta macroporosidade extremamente baixa (2,9%–3,4%),

densidade muito alta ($1,7\text{g/cm}^3$ – $1,8\text{g/cm}^3$) e forte compactação, caracterizando perda estrutural.

No Ponto 8, ambos os solos apresentam condições relativamente boas. A Mata tem ótima aeração (12%–17%), boa retenção (26%–37%), estrutura muito boa (41%–54%) e leve compactação ($1,3\text{g/cm}^3$ – $1,5\text{g/cm}^3$). O ponto inserido em área agrícola mostra boa aeração superficial (8%–21%), retenção razoável (25%–37%), porosidade moderada (41%–47%) e pouca compactação ($1,2\text{g/cm}^3$ – $1,5\text{g/cm}^3$), sendo um dos poucos pontos em que não há degradação severa.

No ponto 9, observa-se contraste expressivo entre os usos do solo, evidenciando respostas distintas dos atributos físicos em função da cobertura e do manejo. A área de mata apresentou condições físicas mais favoráveis em todo o perfil avaliado, com elevados valores de macroporosidade (34,4%–70,3%), microporosidade igualmente elevada (38,4%–49,3%), resultando em alta porosidade total (83,7%–108,7%) e baixas densidades do solo ($1,1$ – $1,2\text{ g cm}^{-3}$). Esses resultados indicam um solo com estrutura bem desenvolvida, elevada capacidade de retenção e condução de água, além de adequada aeração, características típicas de ambientes sob cobertura florestal nativa.

Em contraste, a área sob uso agrícola apresentou valores inferiores de macroporosidade (17,4%–20,7%) e microporosidade (7,3%–14,7%), refletindo porosidade total reduzida (24,8%–56,1%) e densidades do solo mais elevadas ($1,6$ – $1,8\text{ g cm}^{-3}$). Esses resultados indicam alterações na organização estrutural do solo, especialmente nas camadas superficiais e subsuperficiais, compatíveis com processos de compactação associados ao manejo agrícola.

De forma geral, os dados do ponto 9 evidenciam que a conversão da cobertura nativa para uso agrícola promoveu modificações nas propriedades físicas do solo, afastando-o das condições naturais observadas na área de mata. Embora tais alterações não permitam afirmar um estado de degradação irreversível, os resultados indicam uma redução da qualidade física do solo agrícola quando comparado ao solo sob vegetação nativa, ressaltando a importância da conservação e do manejo adequado em áreas ambientalmente sensíveis.

Em síntese, os resultados evidenciam que os solos sob uso de mata apresentam, de modo geral, melhor organização estrutural, maior funcionalidade hídrica e menores níveis de compactação ao longo do perfil, enquanto os solos sob uso agrícola tendem a apresentar redução da porosidade, aumento da densidade do solo e alterações progressivas na estrutura. As melhores condições físicas dos solos sob vegetação nativa

foram observadas nos pontos 6 e 7, localizados no município de Pelotas, no ponto 8, em Canguçu, e no ponto 9, em Turuçu, sendo este último o que apresentou os atributos físicos mais favoráveis entre todas as áreas de mata avaliadas.

Por outro lado, entre as áreas sob uso agrícola, os pontos 5, em Canguçu, 7, em Pelotas, 9, em Turuçu, e 10, em Arroio do Padre, apresentaram os maiores indícios de compactação, caracterizados por maiores valores de densidade do solo e redução da porosidade total e da macroporosidade. Esses resultados indicam alterações na qualidade física dos solos agrícolas, especialmente quando comparados às condições observadas sob cobertura vegetal nativa.

No ponto 9, localizado no município de Turuçu, o contraste entre os usos do solo foi particularmente evidente. Na área de mata, observaram-se elevados valores de porosidade total e macroporosidade, associados a baixas densidades do solo, caracterizando um ambiente com elevada qualidade física. Em contrapartida, na área sob uso agropecuário, atualmente destinada à pastagem, os resultados indicaram aumento da densidade do solo e redução expressiva da porosidade, evidenciando um processo de compactação associado ao uso e manejo do solo. Esse comportamento pode ser atribuído, principalmente, ao pisoteio animal contínuo, comum em sistemas de pastagem sem manejo adequado, sobretudo quando associado a condições de maior umidade do solo, favorecendo o adensamento e a perda de qualidade estrutural ao longo do perfil.

Os resultados obtidos neste estudo corroboram aqueles descritos na literatura, os quais indicam que a manutenção da cobertura vegetal natural favorece a estabilidade dos agregados, a continuidade do sistema poroso e o equilíbrio entre macroporosidade e microporosidade, refletindo positivamente na infiltração de água e na aeração do solo. Diversos autores destacam que a conversão de áreas naturais para sistemas agrícolas e pecuários promove alterações significativas nos atributos físicos do solo, especialmente o aumento da densidade aparente e a redução da porosidade total e da macroporosidade, em decorrência do tráfego de máquinas, do revolvimento mecânico e, em sistemas pecuários, do pisoteio animal (Reichert; Suzuki; Reinert, 2007; Silva *et al.*, 2008; Reichert *et al.*, 2009).

No contexto brasileiro, estudos comparativos entre áreas agrícolas, pastagens e mata nativa demonstram que sistemas sob uso intensivo tendem a apresentar alterações estruturais progressivas ao longo do perfil do solo, com efeitos mais pronunciados nas camadas superficiais e subsuperficiais (0–20 cm) (Santos *et al.*, 2011; Coutinho *et al.*, 2017). Em contrapartida, solos sob vegetação nativa geralmente mantêm menor grau de

compactação, maior continuidade de macroporos biogênicos e melhor infiltração de água, como descrito por Dexter (2004) e Tormena, Silva e Libardi (1998), reforçando a importância da conservação da cobertura vegetal para a manutenção da qualidade física dos solos em regiões ambientalmente sensíveis. A redução da macroporosidade nas áreas agrícolas, associada a valores elevados de densidade do solo, indica comprometimento da porosidade estrutural responsável pela condução de água e ar. A microporosidade mostrou-se menos sensível às mudanças de uso da terra, o que é esperado, uma vez que está mais associada à textura e à mineralogia do solo do que ao manejo recente.

5.4 Estabilidade de Agregados do Solo

A estabilidade de agregados foi avaliada por meio do diâmetro médio ponderado (DMP), do diâmetro médio geométrico (DMG) e do percentual de macroagregados (> 0,25 mm), parâmetros amplamente reconhecidos como indicadores da qualidade estrutural do solo (Kemper; Rosenau, 1986).

De modo geral, valores mais elevados de DMP, DMG e de macroagregados indicam maior resistência dos agregados à desagregação, refletindo melhor condição estrutural do solo (Kemper; Rosenau, 1986). Embora ambos os índices sejam utilizados para avaliar a estabilidade de agregados do solo, o Diâmetro Médio Ponderado (DMP) é mais influenciado pela presença de agregados maiores, enquanto o Diâmetro Médio Geométrico (DMG) é mais sensível aos agregados menores, permitindo uma análise complementar da distribuição e da qualidade estrutural do solo (Kemper; Rosenau, 1986). Os índices foram utilizados como indicadores da qualidade estrutural do solo, por refletirem a resistência dos agregados à desagregação em água e sua relação com matéria orgânica, atividade biológica e manejo do solo. Esses índices são amplamente empregados para avaliar alterações estruturais associadas à conversão do uso da terra. Assim, os resultados de DMP e DMG evidenciam variações expressivas entre os pontos amostrados (P1 a P10) e entre os usos do solo (mata e agricultura) (Tabela 5).

Tabela 5. Diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG) e percentual de macroagregados do solo sob mata e agricultura.

Ponto	Uso do solo	DMP (mm)	DMG (mm)	Macroagregados (%)
P1 SLS	Mata	2,95	1,07	71,5
	Agricultura	2,12	0,92	77,8

P2 SLS	Mata	2,08	0,87	79,7
	Agricultura	1,61	0,77	83,6
P3 SLS	Mata	0,83	0,54	51,5
	Agricultura	2,9	3,23	112,1
P4 CGC	Mata	2,32	1,25	87,1
	Agricultura	2,83	1,8	91,1
P5 CGC	Mata	1,49	0,61	72
	Agricultura	1,39	0,65	68,1
P6 PLT	Mata	3,18	1,64	87,1
	Agricultura	1,94	1,09	83,3
P7 PLT	Mata	1,19	0,47	64,5
	Agricultura	0,92	0,45	68,6
P8 CGC	Mata	1,65	0,78	73
	Agricultura	1,64	0,76	81,1
P9 TRC	Mata	0,86	0,36	61,7
	Agricultura	1,52	0,64	69,9
P10 ARP	Mata	1,13	0,53	74,1
	Agricultura	1,11	0,55	76,8

Fonte: Autora, 2026

Os valores de DMP variaram entre 0,83 e 3,18 mm na área de mata e entre 0,92 e 2,90 mm na área sob uso agrícola (Tabela 5). De forma geral, os maiores valores de DMP foram observados nos solos sob mata, com destaque para os pontos P1, P6 e P4, indicando maior estabilidade estrutural nesses locais. Esses resultados estão associados à maior proteção física conferida pela cobertura vegetal, ao aporte contínuo de resíduos orgânicos e à menor interferência mecânica, fatores que favorecem a formação e a manutenção de agregados estáveis.

Na área sob uso agrícola, embora alguns pontos tenham apresentado valores elevados de DMP, como P3, P4 e P6, observou-se maior variabilidade espacial e, em vários pontos, redução dos valores em comparação à mata. Essa variabilidade pode ser atribuída às práticas de manejo adotadas, como preparo do solo, revolvimento mecânico e exposição da superfície ao impacto das gotas de chuva, que tendem a romper agregados maiores e reduzir sua estabilidade ao longo do tempo.

O comportamento do DMG foi semelhante ao observado para o DMP, com valores variando de 0,36 a 1,64 mm na mata e de 0,45 a 3,23 mm na agricultura. Em geral, os solos sob mata apresentaram DMG mais elevados, especialmente nos pontos P1, P4 e P6, reforçando a maior estabilidade estrutural dessas áreas. O DMG, por ser mais sensível à presença de agregados menores, evidenciou de forma consistente o efeito positivo da cobertura vegetal natural na preservação da estrutura do solo.

O percentual de macroagregados apresentou valores elevados em ambos os usos, variando de 51,5 a 87,1% na mata e de 68,1 a 83,6% na agricultura. De modo geral, a mata apresentou macroagregados mais estáveis e distribuídos de forma mais equilibrada entre os pontos, refletindo condições favoráveis à agregação, como maior teor de matéria orgânica e atividade biológica. Na agricultura, os elevados percentuais de macroagregados observados em alguns pontos indicam que, apesar do manejo, ainda há presença significativa de agregados estáveis; contudo, esses valores devem ser interpretados com cautela, pois podem refletir agregados temporários formados por processos mecânicos, menos resistentes à ação da água.

A comparação entre os usos do solo evidencia que a mata apresenta maior consistência estrutural, expressa por valores mais elevados e menos variáveis de DMP e DMG, enquanto a agricultura tende a apresentar maior heterogeneidade, resultado direto das práticas de manejo. Estudos clássicos apontam que a matéria orgânica atua como agente cimentante dos agregados, promovendo maior estabilidade, enquanto o revolvimento do solo e a redução da cobertura vegetal favorecem a desagregação e a quebra estrutural (Tisdall; Oades, 1982; Six *et al.*, 2000; Bronick; Lal, 2005).

Assim, os resultados obtidos demonstram que o uso agrícola, embora ainda mantenha percentuais expressivos de macroagregados em alguns pontos, apresenta ao longo deste estudo, os efeitos da. A conversão da cobertura vegetal altera o balanço entre aporte de resíduos orgânicos, atividade biológica e energia de impacto das chuvas, afetando diretamente a estrutura do solo. Em sistemas agrícolas mecanizados, o tráfego de máquinas tende a aumentar a densidade do solo e reduzir a macroporosidade, enquanto a diminuição da matéria orgânica compromete a estabilidade de agregados, com implicações diretas para a infiltração de água e o escoamento superficial. Tais alterações podem representar estágios iniciais de perda da qualidade física quando associadas ao aumento da densidade do solo, à redução da macroporosidade e à diminuição da estabilidade de agregados, sem que isso implique, necessariamente, degradação irreversível. Quando comparado às áreas de mata, sobretudo quando avaliados os índices DMP e DMG. As áreas de mata, por sua vez, evidenciam maior estabilidade de agregados, refletindo condições mais favoráveis à conservação do solo e à manutenção de suas funções físicas. Os menores valores de DMP e DMG nas áreas agrícolas indicam menor estabilidade dos agregados em água, refletindo a redução da matéria orgânica e da atividade biológica associadas à conversão do uso da terra. A

maior estabilidade observada nas áreas preservadas evidencia o papel da cobertura vegetal na manutenção da estrutura do solo.

5.5 Análise do parâmetro Densidade das partículas

A densidade de partículas (D_p) é um parâmetro físico fundamental do solo, amplamente utilizado no cálculo de propriedades derivadas, como porosidade total, índice de vazios, densidade do solo e grau de saturação. Além disso, esse atributo auxilia na identificação da composição mineralógica do solo e na compreensão de seu comportamento físico, sendo considerado relativamente estável e pouco sensível às alterações de manejo quando comparado a outros atributos físicos do solo, como a densidade do solo e a porosidade (Kiehl, 1979; Hillel, 1998; Brady; Weil, 2013).

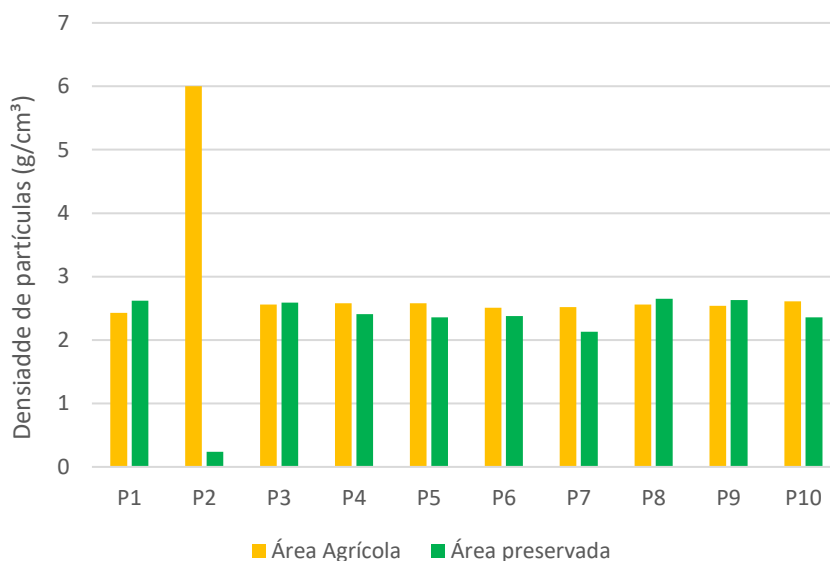
Nos pontos avaliados, a densidade de partículas variou, de modo geral, entre 2,13 e 2,65 g/cm³, valores compatíveis com solos minerais, nos quais predomina a presença de minerais silicatados (Tabela 6, Figura 31).

Tabela 6. Densidade das partículas dos pontos amostrados

Ponto	Mata	Agrícola
	g/cm ³	
P1 SLS	2,62	2,43
P2 SLS	0,24	6,00
P3 SLS	2,59	2,56
P4 CGC	2,41	2,58
P5 CGC	2,36	2,58
P6 PLT	2,38	2,51
P7 PLT	2,13	2,52
P8 CGC	2,65	2,56
P9 TRC	2,63	2,54
P10 ARP	2,36	2,61

Fonte: Autora, 2026

Figura 31. Densidade de partículas dos pontos amostrados



Fonte: Autora, 2026

Nas áreas sob mata, os valores de Dp situaram-se principalmente entre 2,36 e 2,65 g/cm³, com exceção do ponto P7, que apresentou valor inferior. Essa variação pode estar associada à maior heterogeneidade natural da composição mineral e à influência local da matéria orgânica, a qual tende a reduzir a densidade de partículas.

Nas áreas sob uso agrícola, os valores de Dp concentraram-se majoritariamente próximos a 2,50 g/cm³, indicando maior uniformidade da composição mineral do solo. Essa homogeneização pode estar relacionada ao histórico de manejo, que favorece a redistribuição das partículas minerais. Ressalta-se, entretanto, que a densidade de partículas não é diretamente influenciada por processos de compactação ou revolvimento do solo, mas principalmente pela mineralogia e pelo teor de matéria orgânica.

Na comparação entre os usos do solo, observou-se que nos pontos P1, P8 e P9 a mata apresentou valores de densidade de partículas ligeiramente superiores aos da agricultura, enquanto nos pontos P4, P5, P6, P7 e P10 os solos sob uso agrícola apresentaram valores discretamente mais elevados. No ponto P3, os valores foram semelhantes entre os usos, indicando baixa influência do uso do solo sobre a densidade de partículas nesse local específico. Essas diferenças pontuais reforçam o caráter conservativo desse atributo físico.

No ponto P2, os valores médios de densidade de partículas apresentaram comportamento discrepante em relação à faixa esperada para solos minerais. Tal resultado decorre da obtenção de uma repetição com valor negativo, indicativo de erro

experimental, a qual foi descartada. Dessa forma, a média desse ponto foi calculada com base em duas repetições válidas. Em razão dessa limitação metodológica, os valores do P2 devem ser interpretados com cautela e não foram considerados nas análises comparativas entre os usos do solo.

De forma geral, os resultados indicam que o uso agrícola não promove alterações expressivas na densidade de partículas, corroborando a literatura, que aponta esse atributo como pouco sensível ao manejo (Hillel, 1998; Kiehl, 1979; Brady; Weil, 2013). As variações observadas estão mais associadas à composição mineral e ao teor de matéria orgânica do que às práticas de uso do solo propriamente ditas. Os maiores valores de densidade do solo observados nas áreas agrícolas indicam adensamento estrutural associado ao uso intensivo do solo. Esse comportamento é compatível com a ação do tráfego de máquinas e com a redução da proteção física do solo proporcionada pela cobertura vegetal nativa.

5.6 Estabilidade de agregados

Os atributos físicos do solo apresentaram variações em função do uso da terra e da profundidade avaliada.

Em relação à estabilidade de agregados, observou-se variação entre os pontos avaliados e entre os usos do solo. Os valores de diâmetro médio ponderado (DMP) variaram entre 0,83 e 3,18 mm nas áreas de mata e entre 0,92 e 2,90 mm nas áreas agrícolas, apresentando médias semelhantes entre os usos avaliados. De modo geral, esses valores indicam a presença de agregados de tamanho moderado a grande, sugerindo estrutura relativamente estável em ambos os sistemas analisados.

Para o diâmetro médio geométrico (DMG), os valores variaram de 0,36 a 1,64 mm nas áreas sob vegetação nativa e de 0,45 a 3,23 mm nas áreas agrícolas. Observou-se maior variabilidade nos valores de estabilidade de agregados entre os pontos amostrados, indicando influência das condições locais de solo e das práticas de manejo sobre a organização estrutural do solo. A estabilidade de agregados está diretamente relacionada à presença de matéria orgânica, atividade biológica e processos de agregação que contribuem para a manutenção da estrutura do solo (Six *et al.*, 2004).

No contexto da porção sul da Serra dos Tapes, as alterações nos atributos físicos do solo associadas ao uso da terra têm sido amplamente discutidas, especialmente em função da expansão das atividades agrícolas e da conversão de áreas naturais. O Bioma

Pampa apresenta elevada diversidade de formações campestres e solos com características particulares, cuja conservação estrutural é fundamental para a manutenção dos serviços ecossistêmicos e da funcionalidade dos sistemas produtivos (Overbeck *et al.*, 2015).

De forma geral, os resultados indicam que a estabilidade de agregados apresentou comportamento relativamente semelhante entre as áreas de mata e agricultura, embora com elevada variabilidade espacial entre os pontos avaliados. A manutenção de agregados estáveis é fundamental para a conservação da estrutura do solo, influenciando diretamente processos como infiltração de água, aeração, retenção hídrica e resistência à erosão (Six *et al.*, 2004).

5.7 Análise dos Atributos químicos dos solos

A análise química do solo realizada nos pontos P1 a P10 evidencia diferenças consistentes entre as áreas sob mata nativa e sob uso agrícola. Assim, verificou-se que a saturação por alumínio (m%) constitui um dos principais fatores limitantes da fertilidade, especialmente nas áreas sob mata nativa, devido à acidez natural desses solos (Santos *et al.*, 2018). As análises foram realizadas com o objetivo de complementar a interpretação dos atributos físicos, especialmente no que se refere ao papel da matéria orgânica e da fertilidade na estabilidade estrutural do solo, não constituindo o foco principal do estudo (Tabelas 7 e 8).

Tabela 7. Atributos químicos dos solos nos pontos amostrais

PONTO	pH água	Ca	Mg	Al	H+Al	CTC efetiva	Saturação (%)		Índice SMP	MO (%)	Argila (%)	Classe de Argila
	1:1						Al	Bases		m/v		
P1 MATA - SLS	4,5	1,4	0,9	1,4	4,4	3,8	36,8	35	6	0,97	17	4
P1 AGR - SLS	4,2	1,6	0,3	2	5,5	4,1	48,8	28	5,8	1,24	15	4
P2 MATA - SLS	4,4	1,3	0,9	2,2	6,2	4,6	47,8	28	5,7	1,38	20	4
P2 AGR - SLS	5,1	3,3	0,9	0,6	4,4	5	12	50	6	1,79	23	3
P3 MATA - SLS	4,7	2,7	0,9	1,1	3,1	4,8	22,09	55	6,3	0,83	14	4
P3 AGR - SLS	5,2	3	0,9	0,4	2,5	4,4	9,1	62	6,5	0,83	12	4
P4 AGR - CG	4,4	1,1	0,3	1,7	8,7	3,2	53,1	15	5,4	1,24	21	3
P4 MATA - CG	4,1	0,8	0,6	2,3	13,7	4	57,5	11	5	1,93	25	3
P5 AGR - CG	4,8	1,3	0,5	0,3	3,5	2,3	13	37	6,2	1,24	18	4
P5 MATA - CG	4,4	1,6	1,1	1,4	9,7	4,3	32,6	23	5,3	2,49	24	3

P6 AGR - PL	5,4	2,6	0,8	0,1	2,8	3,6	2,8	56	6,4	1,24	15	4
P6 MATA - PL	4,5	2,5	0,8	0,6	7,7	4,1	14,6	31	5,5	2,35	20	4
P7 AGR - PL	4,7	2	0,2	0,6	6,2	3	20	27	5,7	1,52	17	4
P7 MATA - PL	4,1	0,8	0,7	2,1	12,3	3,7	56,8	12	5,1	1,38	18	4
P8 AGR - CG	5,3	2,4	1,1	0,1	2,8	3,9	2,6	57	6,4	1,52	20	4
P8 MATA - CG	4,9	1,6	0,5	0,2	3,9	2,6	7,7	38	6,1	1,79	19	4
P9 AGR - TR	4,6	1,1	0,6	1,1	6,2	2,9	37,9	23	5,7	1,38	21	3
P9 MATA - TR	4,6	1,5	1	0,7	6,9	3,6	19,4	30	5,6	1,93	16	4
P10 AGR - ARP	5,8	2,6	0,7	0	2,2	3,6	0	62	6,6	1,24	16	4
P10 MATA - ARP	4,5	1,9	0,6	3,2	21,8	5,9	54,2	11	4,6	2,766	24	3

Fonte: Autora, 2026

Tabela 8. Atributos químicos dos solos nos pontos amostrais

PONTO	P Mehlich	K	CTC pH7	K	Na	Relações Molares			
	mg/dm3		cmolc/dm3		mg/dm3	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K	
P1 MATA - SLS	3	23	6,8	0,06	11	1,56	23,33	15	
P1 AGR - SLS	7	14	7,6	0,04	36	5,33	40	7,5	
P2 MATA - SLS	3	53	8,6	0,14	10	1,44	9,29	6,43	
P2 AGR - SLS	8	75	8,8	0,19	4	3,67	17,37	4,74	
P3 MATA - SLS	17,1	27	6,8	0,07	14	3	38,57	12,86	
P3 AGR - SLS	16,1	31	6,5	0,08	14	3,33	37,5	11,25	
P4 AGR - CG	5,1	42	10,2	0,11	6	3,67	10	2,73	
P4 MATA - CG	6,1	108	15,4	0,28	11	1,33	2,86	2,14	
P5 AGR - CG	14,3	73	5,5	0,19	6	2,6	6,84	2,63	
P5 MATA - CG	21,4	83	12,6	0,21	9	1,45	7,62	5,24	
P6 AGR - PL	38,8	44	6,3	0,11	4	3,25	23,64	7,27	
P6 MATA - PL	5,1	48	11,2	0,12	21	3,12	20,83	6,67	
P7 AGR - PL	8,2	49	8,6	0,13	7	10	15,38	1,54	
P7 MATA - PL	3,1	26	13,9	0,07	14	1,14	11,43	10	
P8 AGR - CG	16,3	99	6,6	0,25	3	2,18	9,6	4,4	
P8 MATA - CG	11,2	107	6,3	0,27	3	3,2	5,93	1,85	
P9 AGR - TR	5,1	40	8	0,1	3	1,83	11	6	
P9 MATA - TR	5,1	30	9,8	0,08	76	1,5	18,75	12,5	
P10 AGR - ARP	52	104	5,8	0,27	6	3,71	9,63	2,59	
P10 MATA - ARP	10,2	70	24,5	0,18	15	3,17	10,56	3,33	

Fonte: Autora, 2026

A saturação por alumínio expressa a proporção da CTC efetiva ocupada por Al^{3+} , sendo um indicador direto da toxicidade desse cátion no solo (Chen *et al.*, 2018). De acordo com classificações amplamente usadas em fertilidade de solos tropicais, valores de m% inferiores a 20% são considerados baixos, entre 20–40% médios, entre 40–60% altos e superiores a 60% muito altos, sendo que a maioria das culturas agrícolas é sensível quando a saturação por alumínio ultrapassa 20–30% (Guimarães *et al.*, 2016; Silva *et al.*, 2020).

Nos solos analisados, a elevada saturação por alumínio observada principalmente sob mata está associada aos baixos valores de pH, condição que favorece a solubilização do Al^{3+} e sua dominância no complexo de troca (Lima *et al.*, 2017). Essa condição resulta em restrições ao crescimento radicular, redução da absorção de água e nutrientes e menor eficiência do sistema radicular, sendo uma limitação química significativa em solos tropicais com pH baixo (Kochian *et al.*, 2015). Em contraste, nas áreas sob uso agrícola, a aplicação de corretivos promove a elevação do pH, a precipitação do alumínio e a consequente redução da saturação por Al, evidenciando o efeito direto da calagem sobre a fertilidade química do solo (Oliveira *et al.*, 2019) (Tabelas 7 e 8).

Entretanto, em alguns pontos os valores de m% ainda se mantêm em níveis médios, indicando necessidade de ajustes no manejo da acidez para atender às exigências das culturas agrícolas (Souza *et al.*, 2021).

Do ponto de vista da química do solo, a fertilidade está diretamente relacionada à composição do complexo de troca, formado por cargas negativas provenientes da argila e da matéria orgânica, responsáveis pela retenção de cátions como Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , H^+ e Al^{3+} (Brady & Weil, 2017; White *et al.*, 2021).

Solos com predominância de Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ apresentam alta saturação por bases (V%), maior fertilidade e menor toxicidade por alumínio, enquanto solos dominados por H^+ e Al^{3+} apresentam V% baixo e m% elevado, caracterizando ambientes quimicamente desfavoráveis (Melo *et al.*, 2019; Santos *et al.*, 2018).

A saturação por bases e a saturação por alumínio apresentam comportamento inverso, de modo que o aumento do V% resulta na redução do m%, reforçando a importância da calagem como prática corretiva fundamental (Gonçalves *et al.*, 2020). Nesse contexto, a matéria orgânica do solo exerce papel essencial na modulação da fertilidade química, uma vez que contribui significativamente para a CTC, atua como

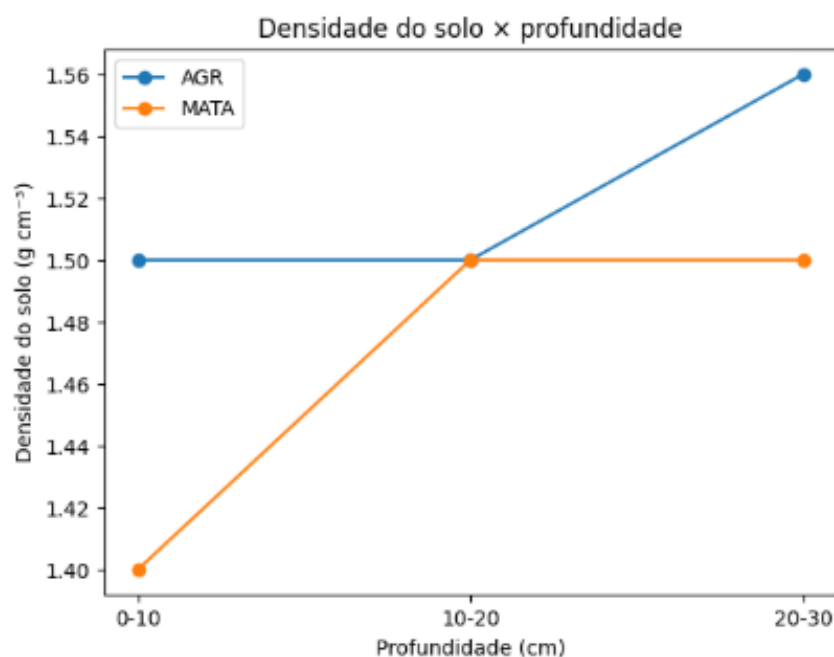
tampão do pH e promove a complexação de íons como Al^{3+} , reduzindo sua atividade tóxica na solução do solo (Zhou *et al.*, 2017; Silva *et al.*, 2020).

Em áreas de mata, os maiores teores de matéria orgânica auxiliam na mitigação parcial dos efeitos da acidez, mesmo em condições de pH baixo, enquanto em áreas agrícolas a redução do teor de matéria orgânica torna o solo mais dependente da calagem para o controle do alumínio (Costa *et al.*, 2022).

Assim, a interação entre pH, saturação por alumínio, saturação por bases e matéria orgânica explica as diferenças observadas entre mata e agricultura (Tabelas 7 e 8), demonstrando que, embora o manejo agrícola melhore a fertilidade química do solo, a manutenção da matéria orgânica e o correto ajuste da acidez continuam essenciais para a sustentabilidade do sistema produtivo (White *et al.*, 2021; Gonçalves *et al.*, 2020).

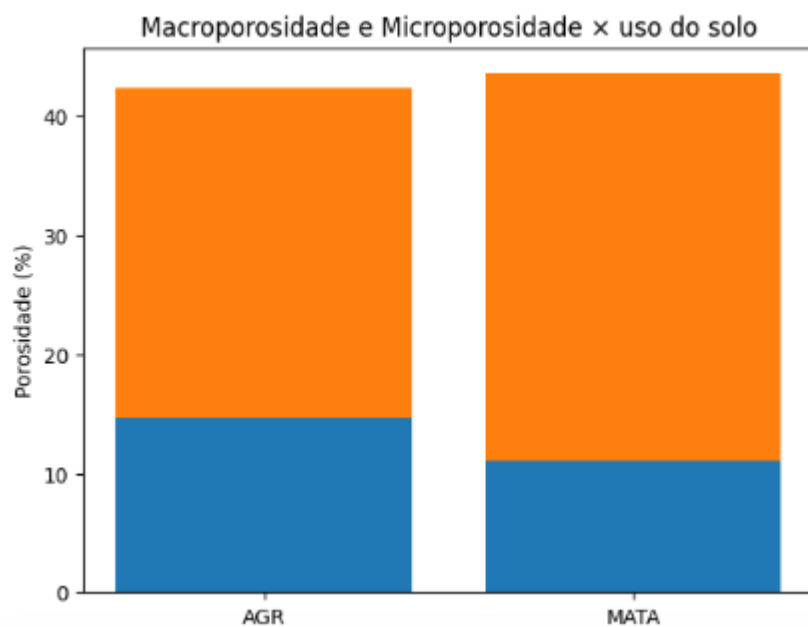
4. Análise estatística dos atributos físicos do solo e da estabilidade de agregados

Figura 32. Densidade do solo x profundidade



Fonte: Autora, 2026

Figura 33. Macroporosidade e Microporosidade x uso do solo.



Fonte: Autora, 2026

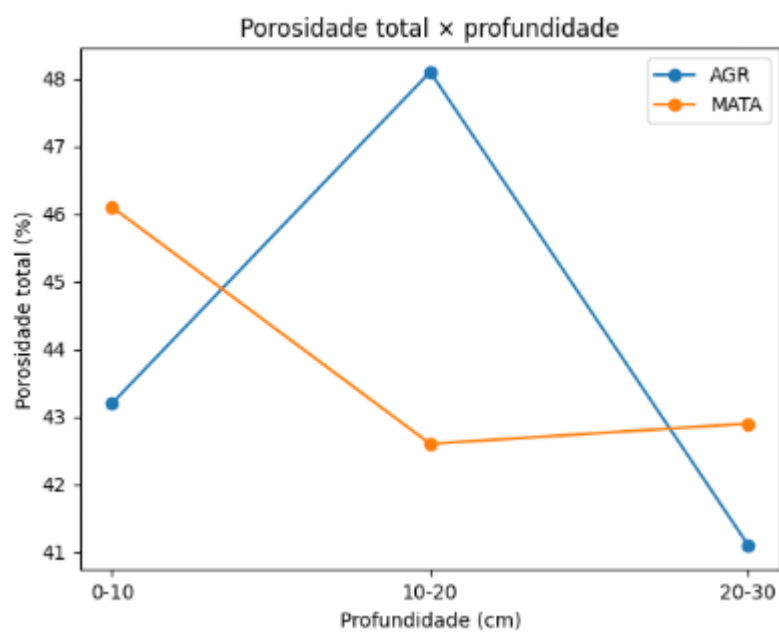


Figura 34. Porosidade total x profundidade.

Fonte: Autora, 2026

Com o objetivo de avaliar as diferenças nos atributos físicos do solo entre os usos da terra e as profundidades analisadas, foi realizada análise estatística descritiva dos dados obtidos em campo e em laboratório. Para cada atributo avaliado foram determinados valores de média, desvio padrão, mínimo e máximo, permitindo caracterizar a variabilidade dos dados e identificar possíveis padrões associados ao uso do solo.

Além da análise descritiva, os resultados foram organizados e representados graficamente para facilitar a visualização das diferenças entre áreas sob vegetação nativa e áreas sob uso agrícola, bem como entre as diferentes profundidades avaliadas. A análise conjunta desses parâmetros permitiu interpretar o comportamento dos atributos físicos do solo, como densidade, macroporosidade, microporosidade e porosidade total, em função das condições de uso da terra e das características do ambiente estudado na Serra dos Tapes.

Os atributos físicos do solo apresentaram variações em função do uso da terra e da profundidade avaliada. De modo geral, os valores de densidade do solo foram ligeiramente maiores nas áreas sob uso agrícola em comparação às áreas de mata, especialmente nas camadas mais profundas do solo. Conforme observado na Figura 32, na camada superficial (0–10 cm) os solos sob vegetação nativa apresentaram densidade média de aproximadamente $1,4 \text{ g cm}^{-3}$, enquanto nas áreas agrícolas esse valor foi de cerca de $1,5 \text{ g cm}^{-3}$. Nas camadas mais profundas (20–30 cm), observou-se tendência de aumento da densidade nas áreas agrícolas, atingindo valores próximos de $1,56 \text{ g cm}^{-3}$, enquanto nas áreas de mata os valores permaneceram próximos de $1,5 \text{ g cm}^{-3}$.

Esse comportamento sugere possíveis efeitos do manejo agrícola e do tráfego de máquinas sobre a compactação do solo, promovendo alterações na estrutura física ao longo do perfil. O aumento da densidade do solo em áreas manejadas é frequentemente associado à pressão exercida por máquinas agrícolas e à redução da atividade biológica, fatores que podem contribuir para a reorganização estrutural do solo (Reichert *et al.*, 2007). Estudos conduzidos em solos do sul do Brasil indicam que mudanças no uso da terra podem modificar significativamente a estrutura física do solo, especialmente em ambientes agrícolas submetidos a intenso manejo mecanizado (Reichert *et al.*, 2003).

Em relação à porosidade do solo, observou-se que a macroporosidade apresentou maior variabilidade nas áreas agrícolas ao longo do perfil. Conforme ilustrado

na Figura 33, os valores médios de macroporosidade foram, em alguns casos, mais elevados nas áreas agrícolas, atingindo cerca de 16%, enquanto nas áreas de mata os valores variaram aproximadamente entre 9% e 13%. Essa variabilidade pode estar associada às alterações estruturais promovidas pelo manejo do solo, que podem modificar a distribuição dos poros e a continuidade dos espaços porosos.

Por outro lado, as áreas sob vegetação nativa tenderam a apresentar maiores valores de microporosidade em comparação às áreas agrícolas. Nas áreas de mata, os valores de microporosidade variaram aproximadamente entre 29,6% e 34,7%, enquanto nas áreas agrícolas os valores foram inferiores, variando entre cerca de 27,4% e 28,1%. Esse comportamento pode estar relacionado à maior estabilidade estrutural e à maior presença de matéria orgânica nos solos sob mata, fatores que favorecem a formação e a manutenção de microporos responsáveis pela retenção de água no solo. A matéria orgânica exerce papel fundamental na formação e estabilização da estrutura do solo, influenciando diretamente a distribuição e a continuidade dos poros (Six *et al.*, 2004).

A porosidade total apresentou valores relativamente semelhantes entre os usos avaliados, variando aproximadamente entre 41% e 48%. Conforme apresentado na Figura 34, observou-se maior variabilidade nas áreas agrícolas, especialmente na camada de 10–20 cm, onde foram registrados valores mais elevados. Essa variação pode estar associada às diferentes intensidades de manejo do solo e às condições de compactação resultantes das atividades agrícolas. Em ambientes agrícolas, a mobilização do solo e o tráfego de máquinas podem promover rearranjos na estrutura do solo, alterando a distribuição dos poros e a dinâmica da água no perfil (Reichert *et al.*, 2003).

De forma geral, os resultados indicam que o uso agrícola pode promover alterações na estrutura física do solo, refletidas principalmente no aumento da densidade e na maior variabilidade da porosidade. Por outro lado, as áreas de mata tendem a manter condições estruturais mais equilibradas, contribuindo para maior estabilidade física do solo. Esse comportamento é frequentemente observado em sistemas naturais, nos quais a presença de cobertura vegetal permanente e maior aporte de resíduos orgânicos favorecem a manutenção da estrutura do solo (Tisdall & Oades, 1982).

No contexto regional, essas alterações estruturais são particularmente relevantes na Serra dos Tapes, região inserida no Bioma Pampa, caracterizada por elevada heterogeneidade ambiental, mosaico de usos da terra e histórico recente de expansão agrícola. A conversão de áreas naturais para sistemas produtivos pode modificar

propriedades físicas do solo e afetar processos hidrológicos e ecológicos fundamentais (Overbeck *et al.*, 2015; Pillar *et al.*, 2009). A conservação da estrutura do solo nesse bioma é essencial para a manutenção da funcionalidade dos ecossistemas campestres e da sustentabilidade dos sistemas produtivos.

Em relação à estabilidade de agregados, observou-se variação entre os pontos avaliados e entre os usos do solo. Os valores de diâmetro médio ponderado (DMP) variaram entre 0,83 e 3,18 mm nas áreas de mata e entre 0,92 e 2,90 mm nas áreas agrícolas, apresentando médias semelhantes entre os usos avaliados. De modo geral, esses valores indicam a presença de agregados de tamanho moderado a grande, sugerindo estrutura relativamente estável em ambos os sistemas analisados.

Para o diâmetro médio geométrico (DMG), os valores variaram de 0,36 a 1,64 mm nas áreas sob vegetação nativa e de 0,45 a 3,23 mm nas áreas agrícolas. Observou-se maior variabilidade nos valores de estabilidade de agregados entre os pontos amostrados, indicando influência das condições locais de solo e das práticas de manejo sobre a organização estrutural do solo. A estabilidade de agregados está diretamente relacionada à presença de matéria orgânica, atividade biológica e processos de agregação que contribuem para a manutenção da estrutura do solo (Six *et al.*, 2004).

De forma geral, os resultados indicam que a estabilidade de agregados apresentou comportamento relativamente semelhante entre as áreas de mata e agricultura, embora com elevada variabilidade espacial entre os pontos avaliados. A manutenção de agregados estáveis é fundamental para a conservação da estrutura do solo, influenciando diretamente processos como infiltração de água, aeração, retenção hídrica e resistência à erosão (Six *et al.*, 2004).

Os padrões observados neste estudo são consistentes com resultados reportados para solos do sul do Brasil submetidos à conversão de áreas naturais para sistemas agrícolas. Trabalhos conduzidos por José Miguel Reichert e colaboradores indicam que o manejo agrícola, especialmente quando associado ao tráfego de máquinas e à mobilização frequente do solo, pode promover aumento da densidade do solo e alterações na distribuição da porosidade, refletindo mudanças na organização estrutural do solo. De acordo com esses autores, solos sob vegetação natural tendem a apresentar maior equilíbrio estrutural devido à presença contínua de raízes, maior aporte de resíduos orgânicos e maior atividade biológica, fatores que contribuem para a formação e estabilização de agregados e para a manutenção da porosidade funcional do solo.

No contexto do Bioma Pampa, essas alterações estruturais assumem relevância ainda maior, uma vez que os ecossistemas campestres apresentam forte dependência da integridade do solo para a manutenção de seus processos ecológicos. Estudos conduzidos por Gerhard E. Overbeck e Valério De Patta Pillar destacam que a expansão agrícola nas últimas décadas tem promovido transformações significativas na paisagem do Pampa, incluindo a substituição de campos nativos por lavouras e plantações florestais. Essas mudanças podem resultar em alterações nas propriedades físicas e hidrológicas do solo, influenciando processos como infiltração de água, retenção hídrica e suscetibilidade à erosão. Nesse sentido, os resultados observados na Serra dos Tapes reforçam a importância da adoção de práticas de manejo conservacionista capazes de minimizar impactos estruturais no solo e contribuir para a conservação dos ecossistemas associados.

6. Conclusões

O estudo sobre a dinâmica espaço-temporal das coberturas nativas do Bioma Pampa no município de Pelotas/RS, especialmente na Serra dos Tapes, entre 1985 e 2023, evidenciou uma paisagem em constante transformação. As áreas campestres, base ecológica do Pampa, sofreram forte redução ao longo do período analisado, resultado da expansão agrícola, da silvicultura e da urbanização. Esse processo reflete um uso mais intenso e direcionado do solo, com destaque para o avanço da soja e o crescimento das áreas de silvicultura, além do aumento dos mosaicos de uso, que revelam uma paisagem mais fragmentada. Ademais, observou-se em alguns pontos a supressão de vegetação florestal em substituição à lavoura temporária, inclusive em áreas de preservação permanente, evidenciando pressões adicionais sobre a cobertura vegetal nativa.

A análise integrada dos atributos físicos do solo evidenciou diferenças consistentes entre as áreas sob vegetação nativa e aquelas submetidas ao uso agrícola na Serra dos Tapes. De modo geral, os solos sob mata apresentaram melhores condições físicas, expressas por menores valores de densidade do solo, maior porosidade total, melhor equilíbrio entre macro e microporos e maior estabilidade de agregados, refletida pelos índices DMP e DMG. Essas características indicam solos estruturalmente mais estáveis, com maior capacidade de infiltração de água, aeração e resistência aos processos erosivos.

Em contraste, as áreas sob uso agrícola apresentaram maior variabilidade espacial dos atributos avaliados e evidenciaram alterações nas propriedades físicas do solo, especialmente relacionadas ao aumento da densidade do solo, à redução da macroporosidade e à menor estabilidade estrutural em determinados pontos. De modo geral, a conversão da cobertura vegetal nativa para uso agrícola promoveu alterações consistentes na estrutura do solo, sendo essas modificações mais evidentes nas camadas superficiais, que sofrem influência direta das práticas de manejo e do tráfego de máquinas. Embora não seja possível afirmar que esses solos se encontrem em estágio avançado de degradação, os resultados indicam modificações em relação às condições naturais observadas nas áreas de mata, sugerindo processos iniciais de perda da qualidade física do solo associados à conversão do uso da terra.

A microporosidade e a textura do solo mostraram-se menos sensíveis às mudanças recentes no uso da terra, atuando como fatores moduladores das respostas estruturais observadas. Além disso, a variabilidade entre os pontos amostrais reflete a heterogeneidade ambiental da região, evidenciando que a magnitude das alterações depende da posição na paisagem e das características pedológicas locais.

A comparação entre os pontos amostrados reforça que a substituição de áreas nativas por sistemas agrícolas e pecuários, especialmente em regiões naturalmente frágeis como a Serra dos Tapes, pode comprometer progressivamente a qualidade física do solo, com potenciais implicações para a dinâmica hidrológica e para os processos de conservação do solo. Nesse sentido, o estudo destaca a necessidade de adoção de estratégias de manejo conservacionista que minimizem a compactação do solo e promovam a manutenção da cobertura vegetal, tais como a redução do tráfego de máquinas em condições de elevada umidade, o uso de sistemas de preparo conservacionistas, a manutenção de resíduos vegetais sobre a superfície do solo e o manejo adequado de áreas sob pastagem, com controle da carga animal.

Por fim, este trabalho evidencia a relevância de estudos voltados à avaliação integrada da qualidade física dos solos no Bioma Pampa, especialmente em áreas de transição ambiental como a Serra dos Tapes. Como perspectivas futuras, recomenda-se a ampliação das análises para outros indicadores de qualidade do solo, com destaque para os estoques de carbono orgânico e sua relação com a estabilidade estrutural e as mudanças no uso e cobertura da terra. A integração entre atributos físicos, químicos e biológicos poderá proporcionar uma compreensão mais abrangente dos impactos da

conversão do uso do solo, configurando-se como um importante desdobramento deste estudo e um caminho promissor para investigações futuras.

7.Referências

- ABREU, M. M.; ORTIZ, J. G.** *Uso da terra e qualidade do solo*. São Paulo: Editora Acadêmica, 2018.
- AGATHA, L.** *Geoprocessamento aplicado aos estudos ambientais*. São Paulo: Editora Científica, 2023.
- ALVES, C.; TIAGO, N.; VIEIRA, D.** Práticas edáficas, vegetativas e mecânicas para controle de erosão. *Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro*, v. 2, n. 1, 2024.
- ALVES, M. K.** *Estratégias de competitividade da Raízen: uma análise abrangente no contexto do agronegócio e energia renovável brasileira*. 2024. Trabalho acadêmico (Graduação/Especialização) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2024. Disponível em: <https://www.ufms.br>. Acesso em: 09 jan. 2025.
- ANDRADE, L. R.** Solos florestais e fertilidade. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, 2023.
- ANDREIA CAEIRO; REGO, C.** Inovação social e desenvolvimento local sustentável: estudo de caso de uma cooperativa multissetorial. *Desenvolvimento e Sociedade*, n. 11, p. 71–85, 2023. Disponível em: <http://repositorio.ufc.br/handle/riufc/78505>. Acesso em: 09 jan. 2025.
- APARECIDA, S. et al.** Diagnóstico da apicultura de base familiar no município de Cametá – PA. *Observatorio de la Economía Latinoamericana*, v. 22, n. 10, p. e7359, 2024.
- AUGUSTO, P.** *Araucária angustifolia: desenvolvimento de técnica de pós-colheita para aumento de vida útil do pinhão e análise da sua cultura alimentar e identidade territorial*. 2024. Trabalho acadêmico – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2024. Disponível em: <https://www.unioeste.br>. Acesso em: 09 jan. 2025.
- BACANI, V. M.; SAKAMOTO, A. Y.; LUCHIARI, A.; QUENOL, H.** Sensoriamento remoto e SIG aplicados à avaliação da fragilidade ambiental de bacia hidrográfica. *Mercator*, Fortaleza, v. 14, n. 2, p. 119–135, 2015. DOI: 10.4215/RM2015.1402.0008.
- BARBOSA, A. B.** Inventários de gases de efeito estufa para a gestão ambiental corporativa: cenário brasileiro e estudo de caso. *Revista UNICREA – Revista Técnico-Científica da Universidade Corporativa do CREA-SC*, v. 2, n. 1, p. 177–198, 2024.
- BELLOLI, T. F.; GUASSELLI, L. A.; SANTANA CUNHA, C.; KORB, C. C.** Mudanças e transição da cobertura e uso da terra nas áreas úmidas da região geomorfológica Planície Costeira – RS. *Geo UERJ*, Rio de Janeiro, n. 45, 2024. DOI: 10.12957/geouerj.2024.79462. Disponível em: <https://www.e-publicacoes.uerj.br/geouerj/article/view/79462>. Acesso em: 13 jan. 2026.
- BERTOL, I. et al.** Compactação e erosão em solos sob diferentes usos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, 2015.
- BEZERRA, M. R.** Drenagem e oxidação da matéria orgânica em solos hidromórficos. *Ciência do Solo*, 2024.
- BOHN, L.** *A multifuncionalidade das hortas urbanas: um estudo acerca da evolução histórica da atividade agrícola em Porto Alegre/RS*. 2024. Trabalho acadêmico – Porto Alegre, 2024. Disponível em: <https://handle.net>. Acesso em: 09 jan. 2025.

BOLDRINI, Ilsi Iob; OVERBECK, Gerhard Ernst; PILLAR, Valério De Patta.

Conservation in Brazil needs to include non-forest ecosystems. *Diversity and Distributions*, Oxford, v. 21, n. 12, p. 1455–1460, 2015.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. *The nature and properties of soils*. 15. ed. Harlow: Pearson, 2017.

BRADY, Nyle C.; WEIL, Ray R. **The nature and properties of soils**. 14. ed. Upper Saddle River: Pearson Education, 2013.

BRANDÃO, S. L. *Integração de dados termocronológicos por traços de fissão em apatita e implicações ao entendimento da evolução termotectônica do Escudo Sul-Rio-Grandense*. 2022. Trabalho acadêmico – Brasil, 2022. Disponível em: <https://handle.net>. Acesso em: 14 jan. 2026.

BRASIL. MAPBIOMAS. *Brasil: quatro décadas de transformação na cobertura e uso da terra*. Coleção MapBiomias, Coleção 10. São Paulo: MapBiomias, 2025. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/en/2025/08/13/brasil-quatro-decadas-de-transformacao-na-cobertura-e-uso-da-terra-revelam-desafios-e-oportunidades/>. Acesso em: 14 jan. 2026.

BULEGON, E. Q. *Elementos das práticas dos agricultores de Erval Seco/RS e região: um estudo exploratório*. 2024. Trabalho acadêmico – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2024. Disponível em: <https://www.ufsm.br>. Acesso em: 14 jan. 2026.

CARDOSO, I. P. *Impactos das mudanças climáticas sobre as demandas de água para irrigação de culturas de sequeiro na região Sul e Campanha do Rio Grande do Sul*. 2020. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2020. Disponível em: <https://wp.ufpel.edu.br>. Acesso em: 14 jan. 2026.

CHEN, X.; BARBERÁN, A.; BROOKES, P. C. et al. Soil chemical properties and microbial community response to soil pH changes. *Soil Biology & Biochemistry*, v. 124, 2018.

CIPRIANO, J. R. et al. *Geotecnologias aplicadas ao planejamento ambiental*. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2024.

CORRÊA ALVES, E. A. Análise espaço-temporal das coberturas campestres do bioma Pampa: reflexões sobre a sua degradação. *Geopauta*, v. 8, e15647, 2024. DOI: 10.22481/rg.v8.e2024.e15647.pt. Disponível em: <https://doi.org/10.22481/rg.v8.e2024.e15647.pt>. Acesso em: 14 jan. 2026.

COSTA, L. L.; PEREIRA, G. T.; RODRIGUES, A. S. Influence of organic matter on aluminum toxicity in acid soils. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, v. 22, 2022.

COSTA, M. L. *Uso do geoprocessamento no diagnóstico ambiental da Serra dos Tapes (RS)*. 2016. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2016.

COUTINHO, F. S. et al. Atributos edáficos em áreas de agricultura, pastagem e estágios sucessionais de floresta. *Floresta e Ambiente*, Seropédica, v. 24, e20150914, 2017.

CUNHA, N. G. da; SILVEIRA, R. J. da C.; SEVERO, C. R. S. *Solos e terras do planalto Sul-Rio-Grandense e planícies costeiras*. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2006. Disponível em:

<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/862649/8/Circular55.pdf>. Acesso em: 11 nov. 2025.

DALMOLIN, R. S. et al. Solo e dinâmica de ocupação das terras em áreas do rebordo do planalto do Rio Grande do Sul. *Current Agricultural Science and Technology*, Pelotas, 2023. Disponível em:

<https://periodicos.ufpel.edu.br/ojs2/index.php/CAST/article/view/2080>. Acesso em: 13 jan. 2026.

DENARDIN, J. E. *Erodibilidade do solo estimada por meio de parâmetros físicos e químicos*. 1990. 113 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1990.

DEXTER, A. R. Soil physical quality: Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. *Geoderma*, Amsterdam, v. 120, n. 3–4, p. 201–214, 2004.

DOS PASSOS, M. M. *Fragilidade ambiental e uso da terra no sul do Rio Grande do Sul*. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2023.

EMBRAPA. *Manual de métodos de análise de solo*. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 573 p.

FABIANO, H. *Uso de concreto permeável na drenagem urbana: análise da viabilidade técnica e do impacto ambiental*. 2025. Trabalho acadêmico – Brasil, 2025. Disponível em: <https://handle.net>. Acesso em: 14 jan. 2026.

FARIAS, E. R. *Agricultura familiar: produção sustentável na chácara Recanto das Folhas, em Gameleira de Goiás*. 2024. Trabalho acadêmico – Universidade Estadual de Goiás, Goiás, 2024. Disponível em: <https://repositorio.ueg.br>. Acesso em: 14 jan. 2026.

FERNANDES, C. F. *Desafios das indicações geográficas para a agricultura familiar no Mercosul: ações institucionais no Brasil e na Argentina*. 2024. Trabalho acadêmico – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2024. Disponível em: <https://www.ufrrj.br>. Acesso em: 14 jan. 2026.

FLACH, C. W.; SCHIAVON, G. de A.; CARDOSO, J. H.; SILVA, J. B. Alterações nas propriedades físicas do solo em função do uso e manejo da terra no sul do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 45, e0210007, 2021.

FLACH, G. et al. Uso da terra e degradação do solo no sul do Brasil. *Revista Geografia*, 2021.

FONSECA, P. *Patrimônio cultural negro de Santa Maria: uma proposta de roteiro turístico na região central do Rio Grande do Sul*. 2022. Trabalho acadêmico – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2022. Disponível em: <https://www.ufsm.br>. Acesso em: 14 jan. 2026.

GIRÃO, L. *Ensaio sobre as feiras orgânicas e agroecológicas em Fortaleza, Ceará: redes sociais e práticas de gerenciamento*. 2024. Trabalho acadêmico – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2024. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br>. Acesso em: 14 jan. 2026.

GONÇALVES, A. L.; OLIVEIRA, F. A.; SILVA, S. C. Calcium and magnesium effects on base saturation and aluminum dynamics. *Agronomy Journal*, v. 112, 2020.

GUBIANI, P. I.; REINERT, D. J.; ALBUQUERQUE, J. A.; REICHERT, J. M.; GELAIN, N. S.; FONTINELLI, F. Porosidade de aeração e tensão de água no solo medidas em mesa de tensão e coluna de areia. *Ciência Rural*, Santa Maria, 2006.

GUIMARÃES, C. M.; ALMEIDA, W. R.; HUNGRIA, M. Saturation by aluminum and base saturation thresholds for tropical crops. *Journal of Plant Nutrition*, v. 39, 2016.

GUNAWARDENA, U. A. D. P. Soil degradation: causes, consequences, and analytical tools. In: **PANWAR, P.; SHUKLA, G.; BHAT, J. A.; CHAKRAVARTY, S.** (org.). *Land degradation neutrality: achieving SDG 15 by forest management*. Singapore: Springer, 2022. DOI: 10.1007/978-981-19-5478-8_9.

HASENACK, H.; WEBER, E. (org.). *Base cartográfica vetorial contínua do Rio Grande do Sul: escala 1:50.000*. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Centro de Ecologia, 2010.

HENRIQUE, D. et al. Erosão hídrica em áreas agrícolas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola*, 2019.

HILLEL, Daniel. *Environmental soil physics*. San Diego: Academic Press, 1998.

HINATA, S. da S.; BASSO, L. A.; REKOWSKY, I. C. Transformações espaciais na bacia hidrográfica do Lago Guaíba/RS no período de 1985 a 2020 e cenários para 2030 e 2050. *Geo UERJ*, Rio de Janeiro, n. 42, e70767, 2023. DOI: 10.12957/geouerj.2023.70767. Disponível em: <https://www.e-publicacoes.uerj.br/geouerj/article/view/70767>. Acesso em: 13 jan. 2026.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Malha municipal*. Rio de Janeiro: IBGE, 2004. Disponível em: https://geofp.ibge.gov.br/organizacao_do_territorio/malhas_territoriais/malhas_municipais/municipio_2022/UFs/RS/RS_Municipios_2022.zip. Acesso em: 12 fev. 2024.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Cartas topográficas do Rio Grande do Sul: escala 1:50.000*. Rio de Janeiro: IBGE, 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Produção agrícola municipal 2022. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br>. Acesso em: 12 dez. 2025

JOELTON, S. *Análise da expansão urbana versus impactos no meio ambiente: o caso do residencial Vila Paraíso*. 2024. Trabalho acadêmico – Universidade Estadual do Maranhão, São Luís, 2024. Disponível em: <https://www.uema.br>. Acesso em: 14 jan. 2026.

JÚLIA, A. *Tecnologia e economia para conservação do verde urbano: proposta de uso de índices de vegetação e IA como indicadores para créditos voluntários de biodiversidade urbana*. 27 set. 2024. Trabalho técnico – Brasil, 2024.

JUMAYEV, J. Causes of soil degradation and measures to prevent it. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, v. 3, n. 5, p. 143–146, 2023. Disponível em: <https://mjstjournal.com/index.php/mjst/article/view/452>. Acesso em: 13 jan. 2026.

KELLER, T. Soil compaction and land use. *Soil & Tillage Research*, 2024.

KIEHL, Edmar José. *Manual de edafologia: relações solo-planta*. São Paulo: Agronômica Ceres, 1979.

KOCHIAN, L. V.; PIÑEROS, M. A.; LIU, J.; MAGALHÃES, J. V. Plant adaptation to acid soils. *Annual Review of Plant Biology*, v. 66, 2015.

KUMAR, D. et al. Prioritization of watershed using remote sensing and geographic information system. *Sustainability*, v. 13, n. 16, p. 1–22, 2021.

LEITE, E. M. F. A. D. *Sistema agregado de avaliação para um uso mais eficiente da água na agricultura*. [S.l.: s.n.].

LEITE, M. M. *Influência das BR-230 e BR-319 no uso e ocupação do solo, na região sul amazonense*. 2022. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2022. Disponível em: <https://hdl.handle.net/11449/255281>. Acesso em: 9 jan. 2025.

LIMA, H. V. de; SILVA, Á. P. da. Mesa de tensão com areia: procedimentos para montagem e validação. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, n. 5, p. 2073–2080, 2008.

LIMA, J. F.; SILVA, D. B.; SANTOS, H. G. et al. Chemical attributes of tropical soils under different land uses. *Soil Use and Management*, v. 33, 2017.

LIU, W. T. H. *Aplicações de sensoriamento remoto*. Campo Grande: Uniderp, 2006. 908 p.

MANSOR, L. *Desenvolvimento rural, abordagem territorial e valorização de produtos regionais e orgânicos em Portugal: do Programa LEADER (1991) ao PDR (2020)*. [S.l.: s.n.].

MAPBIOMAS BRASIL. Área de agropecuária no Brasil cresceu 50% nos últimos 38 anos (1985–2022). *MapBiomas Brasil*, 2023. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/en/2023/10/06/area-de-agropecuaria-no-brasil-cresceu-50-nos-ultimos-38-anos/>. Acesso em: 14 jan. 2026.

MAPBIOMAS PAMPA. *Mapas anuais de cobertura e uso da terra no bioma Pampa (1985–2023)*. São Paulo: Projeto MapBiomas Pampa, 2025. Disponível em: <https://pampa.mapbiomas.org/>. Acesso em: 14 jan. 2026.

MAPBIOMAS. Coleção 8 da série anual de mapas de uso e cobertura da terra do Brasil. São Paulo: MapBiomas, 2023. Disponível em: <https://mapbiomas.org>. Acesso em: 12 dez. 2025

MAPBIOMAS. *Coleção da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso da Terra do Brasil*. São Paulo: MapBiomas, 2023. Disponível em: <https://mapbiomas.org>. Acesso em: 2026.

MAPBIOMAS. Projeto MapBiomas – Série anual de mapas de cobertura e uso da terra no Brasil. Coleção 9.0. São Paulo: MapBiomas, 2025. Disponível em: <https://mapbiomas.org>.

MARTH, J. D. *Mapeamento dos padrões de forma do Escudo Sul-Riograndense (RS) com auxílio de geotecnologias: um estudo das inter-relações dos processos morfoestruturais e morfoesculturais na conformação do relevo*. 2017. 209 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017.

MATHEUS, F. A. *Planejamento ambiental em áreas de fragilidade ambiental*. Porto Alegre: Editora Sulina, 2024.

MELO, V. F.; NUNES, J. S.; PEREIRA, A. L. Soil fertility indices and crop responses in tropical soils. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 43, 2019.

MIDON, L. G. Mudanças no uso e cobertura da terra e seus efeitos sobre atributos físicos do solo no sul do Rio Grande do Sul. 2023. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2023.

MINASI, S. M. *O território como base para o planejamento turístico: análise da gestão pública do turismo na Região Extremo Sul do RS/Brasil*. Pelotas: Universidade Federal de Pelotas, 2025. Disponível em: <https://hdl.handle.net/>. Acesso em: 2026.

MOREIRA, I.; OLIVEIRA, R. D. The process of alienation of communication in consumer society: a look at the consequences for the environment. *Aracê*, v. 6, n. 3, 2024.

MOURA, L. S. Desafios do uso de geotecnologias no planejamento ambiental. *Revista de Planejamento Territorial*, Brasília, v. 9, n. 1, p. 55–72, 2024.

MOURA, N. S. V.; MARTH, J. D.; CASANOVA, F.; OLIVEIRA, A. O. *Mapa geomorfológico do Planalto Uruguaio Sul-Riograndense, Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: UFRGS/Instituto de Biociências – Centro de Ecologia, 2023. Escala 1:400.000. ISBN 978-65-5973-251-7. Disponível em: <https://www.ufrgs.br/labgeo>. Acesso em: 2026.

NOTÍCIAS UOL. Agro avança sobre quase metade do RS e soja quintuplica em menos de 40 anos (1985–2022). *UOL*, 18 maio 2024. Disponível em: <https://noticias.uol.com.br/meio-ambiente/ultimas-noticias/redacao/2024/05/18/aumento-de-area-para-agropecuaria-rio-grande-do-sul-desde-1985.htm>. Acesso em: 14 jan. 2026.

NUNES, R. T.; NORA, G. D. *Avanços tecnológicos e geoprocessamento ambiental*. Florianópolis: Insular, 2024.

O ECO. Rio Grande do Sul perdeu 22% de sua cobertura vegetal nas últimas décadas (1985–2022). *Instituto Humanitas Unisinos*, 2024. Disponível em: <https://oeco.org.br/reportagens/rio-grande-do-sul-perdeu-22-de-sua-cobertura-vegetal-nas-ultimas-decadas/>. Acesso em: 14 jan. 2026.

ODERICH, E. H. et al. Práxis acadêmicas integrando educação e desenvolvimento territorial: experiências de ensino e extensão em contexto de diversidade em territórios rurais no Rio Grande do Sul. *Caderno Pedagógico*, v. 21, n. 13, p. e11949, 2024.

OLIVEIRA, E. P.; SOUZA, K. R.; BARCELOS, R. B. Effect of liming on soil pH and aluminum saturation. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 43, 2019.

OLIVEIRA, E. P.; SOUZA, K. R.; BARCELOS, R. B. Effect of liming on soil pH and aluminum saturation. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 43, 2019.

OLIVIERA, D. et al. Currículo de sustentabilidade na cadeia da pecuária. Disponível em: <https://hdl.handle.net/10568/168310>. Acesso em: 11 jan. 2025.

OVERBECK, Gerhard Ernst; PILLAR, Valério De Patta; MÜLLER, Sandra Cristina; BENCKE, Glayson Ariel; BOLDRINI, Ilsi Iob. **Os campos sulinos: um bioma negligenciado**. In: PILLAR, Valério De Patta; MÜLLER, Sandra Cristina; CASTILHOS, Zélia Maria de; JACQUES, Antônio Valls (org.). *Campos Sulinos: conservação e uso sustentável da biodiversidade*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2009. p. 26–41.

OVERBECK, Gerhard Ernst; PILLAR, Valério De Patta; MÜLLER, Sandra Cristina; et al. **South Brazilian Grasslands: Ecology and Conservation of the Campos Sulinos**. Cham: Springer, 2023.

PAIVA, Kênya Jessyca Martins de. *As mulheres, o artesanato e o turismo: um estudo sobre o protagonismo das mulheres na constituição da Casa da Economia Solidária de Jaguarão/RS*. Jaguarão: Universidade Federal do Pampa, 2017. Trabalho acadêmico (Curso Superior de Tecnologia em Gestão de Turismo). Disponível em: <https://repositorio.unipampa.edu.br/>. Acesso em: 14 jan. 2026.

PAULO, E. C. Planejamento ambiental e análise espacial. Belo Horizonte: UFMG, 2023.

PERUSI, M. C. *Discriminação de argissolos e avaliação da estabilidade de agregados por vias seca e úmida em diferentes sistemas de uso e manejo*. 2005. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/101956>. Acesso em: 25 jan. 2026.

PESSOA, Mariana Lisboa; AUGUSTIN, André Coutinho; MENEZES, Daiane Boelhauer. *Caderno RS no Censo 2022: população*. Porto Alegre: Secretaria de Planejamento, Governança e Gestão, 2024. 17 p.

PRADO, Pedro Augusto Alves. *Uso de sensoriamento remoto para zoneamento de áreas susceptíveis à ocorrência de subsidência do solo e deslizamento de encostas*. 2023. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2023.

PROJETO MAPBIOMAS. Brasil: quatro décadas de transformação na cobertura e uso da terra (1985–2023). Coleção MapBiomas. São Paulo: MapBiomas, 2025. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org>. Acesso em: 13 jan. 2026.

PUPPO, Marcelo de Albuquerque Vaz. The family farmer and his satisfaction with agriculture in South of Brazil. *Research, Society and Development*, v. 11, n. 5, p. 28263, 2023. DOI: 10.33448/rsd-v11i5.28263. Disponível em: <https://rsdjournal.org/rsd/article/view/28263>. Acesso em: 13 jan. 2026.

RAFAEL, Rafael dos Santos Silva. *Degradação ambiental às margens do Riacho Riachão no Distrito Riachão, Pombal – PB*. 2017. Trabalho acadêmico – Universidade Federal de Campina Grande, Cajazeiras. Disponível em: <https://dspace.sti.ufcg.edu.br/>. Acesso em: 14 jan. 2026.

REICHERT, J. M. et al. Qualidade física dos solos em sistemas de uso e manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 33, n. 4, p. 743–755, 2009.

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. Qualidade física dos solos. *Ciência Rural*, 2007.

REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. *Tópicos em Ciência do Solo*, Viçosa, v. 5, p. 49–134, 2007.

REICHERT, José Miguel; ALBUQUERQUE, Jackson Adriano; COSTA, Adão de Siqueira. **Física do solo: conceitos e aplicações**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2016.

RIBEIRO, A. Práticas de adaptação e resiliência climática em sistemas agrícolas de produção especializada no Brasil e nos Estados Unidos. Cascavel: Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 2021. Trabalho acadêmico.

ROCHA, Danilo Serra da; TRINDADE, José Pedro Pereira; VOLK, Leandro Bochi da Silva. Uso e cobertura da terra no Rio Grande do Sul, no bioma Pampa e no

território do Alto Camaquã: período de 1985 a 2021: dados do MapBiomas (coleção 7). Bagé: Embrapa Pecuária Sul, 2022. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1151266>. Acesso em: 14 jan. 2026.

RODRIGO, S. M. **Planejamento ambiental: fundamentos e aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2024.

RODRIGO, Sérgio Martins. Planejamento ambiental: fundamentos e aplicações. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2024.

ROLIM, Rafael Gomes; OVERBECK, Gerhard Ernst. **Vegetação campestre nativa do Bioma Pampa: caracterização de fragmento e conservação pelo uso**. *Iheringia – Série Botânica*, Porto Alegre, v. 78, 2023.

ROMER, Chaiane. Canguçu recebe oficialmente o título de Capital Nacional da Agricultura Familiar. *Portal Notícias*, Canguçu, 21 jul. 2023. Disponível em: <https://www.cangucu.rs.gov.br/portal/noticias/0/3/6587/cangucu-recebe-oficialmente-o-titulo-de-capital-nacional-da-agricultura-familiar/>. Acesso em: 14 jan. 2026.

ROMER, Chaiane. **Canguçu recebe oficialmente o título de Capital Nacional da Agricultura Familiar**. Portal Notícias, Canguçu, 21 jul. 2023. Disponível em: <https://www.cangucu.rs.gov.br/portal/noticias/0/3/6587/cangucu-recebe-oficialmente-o-titulo-de-capital-nacional-da-agricultura-familiar/>. Acesso em: 14 jan. 2026.

ROSÂNIA, M. **A dinâmica da agricultura familiar e a estrutura fundiária rural na Região Imediata de Viçosa – MG**. 2017. Trabalho acadêmico. Disponível em: <https://hdl.handle.net/>.

ROSÂNIA, Maria Aparecida. *A dinâmica da agricultura familiar e a estrutura fundiária rural na Região Imediata de Viçosa – MG*. 2017. Trabalho acadêmico – Universidade Federal de Viçosa. Disponível em: <https://hdl.handle.net/>. Acesso em: 14 jan. 2026.

SÁ, J. C. de M.; SCHIMIGUEL, R.; BRIEDIS, C.; HARTMAN, D. D. C.; ZUFFO, J. **Estabilidade de agregados do solo devido a sistemas de cultivo**. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, 2011.

SÁ, José Carlos de Moraes; SCHIMIGUEL, R.; BRIEDIS, C.; HARTMAN, D. D. C.; ZUFFO, J. Estabilidade de agregados do solo devido a sistemas de cultivo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Universidade Estadual de Ponta Grossa, 2011.

SALAMONI, Giancarla. *Sistemas agrários e desenvolvimento rural: uma análise aplicada ao Sul do Rio Grande do Sul*. 2016. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Rural) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

SALAMONI, Giancarla. **Sistemas agrários e desenvolvimento rural: uma análise aplicada ao Sul do Rio Grande do Sul**. 2016. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Rural) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

SAMPAIO, A. R. **Fragilidade ambiental da Serra dos Tapes**. Pelotas: Universidade Federal de Pelotas, 2022.

SAMPAIO, Anderson Rodrigues. Fragilidade ambiental da Serra dos Tapes. Pelotas: Universidade Federal de Pelotas, 2022.

SAMPAIO, T. V. M. Fragilidade ambiental e suscetibilidade à erosão hídrica em áreas do sul do Brasil. *Revista do Departamento de Geografia*, v. 42, p. 1–15, 2022.

SANTANA DOS SANTOS, T. *et al.* **Transformations of land use and land cover in the Alto Juruá Hydrographic Basin – Acre through the MapBiomias platform.** *Research, Society and Development*, v. 14, n. 2, e481152025, 2025. DOI: 10.33448/rsd-v14i2.48115.

SANTANA DOS SANTOS, Thiago; et al. Transformations of land use and land cover in the Alto Juruá Hydrographic Basin – Acre through the MapBiomias platform. *Research, Society and Development*, v. 14, n. 2, e481152025, 2025. DOI: 10.33448/rsd-v14i2.48115.

SANTANA, T. P. *et al.* **Extensão e pesquisa para promoção e sustentabilidade da agricultura familiar no município de Conceição da Feira – BA.** *Revista ELO – Diálogos em Extensão*, v. 13, 30 ago. 2024.

SANTANA, Tainá Pereira; et al. Extensão e pesquisa para promoção e sustentabilidade da agricultura familiar no município de Conceição da Feira – BA. *Revista ELO – Diálogos em Extensão*, v. 13, 30 ago. 2024.

SANTOS, F. A.; OLIVEIRA, R. M.; CARVALHO, J. D. **Soil acidity and aluminum toxicity in tropical soils.** *Soil Research*, v. 56, 2018.

SANTOS, Fábio Alves; OLIVEIRA, Rodrigo Machado; CARVALHO, João Diniz. Soil acidity and aluminum toxicity in tropical soils. *Soil Research*, v. 56, 2018.

SANTOS, G. G. *et al.* **Qualidade física do solo sob sistemas de integração lavoura-pecuária.** *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 46, n. 10, p. 1339–1348, 2011.

SANTOS, Gilberto Gonçalves; et al. Qualidade física do solo sob sistemas de integração lavoura-pecuária. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 46, n. 10, p. 1339–1348, 2011.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; *et al.* **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

SANTOS, Humberto Gonçalves; JACOMINE, Paulo Klinger Tito; ANJOS, Lúcia Helena Cunha dos; OLIVEIRA, Vitor Antonio de; LUMBRERAS, José Francisco; COELHO, Márcio Rocha; ALMEIDA, José Antônio; ARAÚJO FILHO, Júlio César; OLIVEIRA, João Bertoldo de; CUNHA, Tony Jarbas Ferreira. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

SANTOS, I. P. **Agricultura periurbana na comunidade Boa Esperança, Itacoatiara, Amazonas, Brasil.** 2023. Notícia/Relatório institucional. Disponível em: <https://www.ufam.edu.br>. Acesso em: 25 out. 2023.

SANTOS, Iara Pereira dos. Agricultura periurbana na comunidade Boa Esperança, Itacoatiara, Amazonas, Brasil. 2023. Trabalho acadêmico – Universidade Federal do Amazonas. Disponível em: <https://repositorio.ufam.edu.br/>. Acesso em: 14 jan. 2026.

SARTORIO, Letícia Figueiredo; MAIER, Éder Leandro Bayer. **Land use and cover changes in Brazilian biomes between 1985 and 2018.** *Revista Brasileira de Geografia Física*, Recife, v. 17, n. 1, p. 508–528, 2020. DOI: 10.26848/rbgf.v17.1.p508-528.

SCHWANZ, R. **Uso da terra e atributos do solo na Serra dos Tapes.** 2023. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2023.

SEMA – Secretaria do Ambiente e Desenvolvimento Sustentável do Estado do Rio Grande do Sul. **Base cartográfica do estado do Rio Grande do Sul: escala 1:25.000 – BCRS25**. Porto Alegre: SEMA, 2018.

SIGA, B. **Desenvolvimento nas regiões do norte da Guiné-Bissau: um olhar sobre o empreendedorismo rural**. 2021. Trabalho acadêmico. Disponível em: <https://www.unioeste.br>.

SILVA, A. P. *et al.* **Indicadores da qualidade física do solo**. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 32, n. 6, p. 2253–2264, 2008.

SILVA, R. A.; VELOSO, G. A.; LEITE, M. E. **Sensoriamento remoto e Sistemas de Informação Geográfica aplicados ao estudo da preservação e supressão da mata ciliar na bacia do rio Catolé, MG**. *Revista Cerrados*, Montes Claros, v. 23, n. 1, p. 1–18, 2025.

SILVA, T. O.; PEREIRA, L. C.; COSTA, R. M. **Organic matter and nutrient dynamics in acid soils**. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, v. 20, 2020.

SILVA. **Avaliação e mapeamento de serviços ecossistêmicos na bacia hidrográfica do Lago Guaíba – RS**. 2023. Trabalho acadêmico. Disponível em: <https://hdl.handle.net/>.

SILVA; RUFINO, S. **Operação e manutenção em Parques Eólicos Onshore no Brasil: como aperfeiçoar?** *Revista Foco*, v. 17, n. 12, p. e7259, 2024.

Sistema Agregado de Avaliação para um Uso Mais Eficiente da Água na Agricultura. ProQuest, s.d. Disponível em:

<https://www.proquest.com/openview/7234a4a6ec51efd3292ac659a1bc5882>. Acesso em: 8 jan. 2025.

SODRÉ, Maiara Tavares. **Políticas públicas e agricultura familiar: repercussões do PAA e PNAE em Pelotas/RS**. 2016. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Rural) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

SOUZA, A. P. *et al.* **Dinâmica do uso da terra e geotecnologias**. *Revista Brasileira de Cartografia*, Rio de Janeiro, v. 76, n. 1, p. 89–105, 2024.

SOUZA, A. B. *et al.* **Impactos do uso do solo na dinâmica hidrológica da sub-bacia do Baixo e Médio Una**. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 2025.

SOUZA, B. F.; ALMEIDA, C. A.; BARBOSA, J. G. **Agronomic needs for liming in acid soils**. *Soil & Tillage Research*, v. 215, 2021.

SOUZA, C. M. *et al.* **Reconstructing three decades of land use and land cover changes in Brazilian biomes with Landsat archive and Earth Engine**. *Remote Sensing*, v. 12, n. 17, p. 2735, 2020. DOI: 10.3390/rs12172735.

SPAROVEK, G. *et al.* **Land use change and soil degradation in Brazil**. *Land Use Policy*, 2019.

SULIMAN AUDEH, Samira Jaber; LIMA, Ana Cláudia Rodrigues de; CASALINHO, Helvio Debli; SCHIAVON, Greice de Almeida; SILVA, Jurandir Buchweitz; CARDOSO, Joel Henrique. **Uso das terras e agricultura familiar de base ecológica no Sul do Rio Grande do Sul**. *Revista Brasileira de Agroecologia*, v. 6, n. 2, p. 45–60, 2011.

TORCHELSEN, Felipe Périco; OVERBECK, Gerhard Ernst. **Campos do Bioma Pampa no contexto da silvicultura: uso da terra, manejo e fatores ambientais**

como determinantes da vegetação campestre. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2016.

TORMENA, C. A.; SILVA, A. P.; LIBARDI, P. L. **Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto.** *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 22, n. 4, p. 573–581, 1998.

VESTENA, M. H. **Proposta de plano de manejo para o Geossítio Gruta do Índio, Geoparque Quarta Colônia Aspirante Unesco.** 2023. Trabalho técnico/relatório institucional. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. Disponível em: <https://www.ufsm.br>. Acesso em: 2023.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. **Qualidade do solo: conceitos e aplicações.** *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 2009.

VON, H. L. **Análise espacial aplicada à gestão ambiental da Serra dos Tapes.** Pelotas: Universidade Federal de Pelotas, 2024.

WATTHIER, M. **Transformando o ensino médio: experiências e reflexões da escola João Simões Lopes Neto em Canguçu/RS.** 2024. Trabalho acadêmico. Universidade Federal do Pampa, Bagé. Disponível em: <https://www.unipampa.edu.br>. Acesso em: 2024.

WHITE, R. P.; MURRAY, S. J.; ROHWEDER, M. **Soil fertility and nutrient management in tropical systems.** *Plant and Soil*, v. 463, 2021.

WILLE, P. T. **Práticas agrícolas e consumo alimentar: indicadores para avaliar a segurança alimentar e nutricional de comunidades quilombolas do Rio Grande do Sul.** 2020. Trabalho acadêmico. Disponível em: <https://hdl.handle.net/>.

ZHOU, X.; LIU, Y.; SUN, L. **Role of soil organic matter in mitigation of aluminum toxicity.** *Environmental Pollution*, v. 228, 2017.