

## CONSEQUÊNCIAS DA INTENSIFICAÇÃO DOS USOS DA TERRA NOS PROCESSOS EROSIVOS LINEARES NO SUDESTE GAÚCHO

**Pedro Vieira Sampaio**

Universidade Federal de Pelotas – UFPEL  
Instituto de Ciências Humanas, Pelotas, RS, Brasil  
[sampaiovpedro@gmail.com](mailto:sampaiovpedro@gmail.com)

**Matheus Midon dos Passos**

Universidade Federal de Pelotas – UFPEL  
Instituto de Ciências Humanas, Pelotas, RS, Brasil  
[matheus.midon@hotmail.com](mailto:matheus.midon@hotmail.com)

**Edvania Aparecida Corrêa Alves**

Universidade Federal de Pelotas – UFPEL  
Instituto de Ciências Humanas, Pelotas, RS, Brasil  
[edvania.alves@ufpel.edu.br](mailto:edvania.alves@ufpel.edu.br)

### RESUMO

Ao longo do tempo, a pressão sobre o solo cresceu de modo contínuo, provocando a intensificação dos processos erosivos naturais, questão que constitui um dos principais problemas ambientais contemporâneos. Neste contexto, o presente artigo verificou os efeitos que as mudanças nos usos da terra associados às características físicas relacionadas aos solos e à declividade do alto curso da bacia hidrográfica do Arroio Quilombo, causaram no comportamento das feições erosivas lineares nos anos de 2010 e de 2016, bem como explorou quais fatores foram mais determinantes para tal comportamento. Através do mapeamento das feições e do cruzamento com os demais planos de informação (solos, declividade e coberturas e usos da terra), verificou-se que a substituição da vegetação natural do bioma Pampa por cultivos agrícolas é acompanhada, na área de estudo, pelo incremento de processos erosivos lineares em solos naturalmente frágeis. Os usos da terra são intensos o suficiente para abrandar a influência da declividade nos processos erosivos bem como para intensificar estes processos apesar do aumento das áreas florestais no período avaliado. Caso medidas de conservação e de recuperação não sejam tomadas, a própria produção agrícola regional, marcada pelo predomínio da agricultura familiar, pode ser afetada.

**Palavras-chave:** Erosão linear. Culturas temporárias. Declividade. Tipos de solo. Serra dos Tapes.

### CONSEQUENCES OF THE INTENSIFICATION OF LAND USE IN LINEAR EROSION PROCESSES IN THE SOUTHEAST GAÚCHO

#### ABSTRACT

Over time, the pressure on the soil grew continuously, causing the acceleration of natural erosion processes, an issue that is one of the main contemporary environmental problems. In this context, the present article verified the effects that the changes in the uses of the land, added to the physical characteristics related to the soils and to the slope of the upper course of the Arroio Quilombo's watershed, caused in the behavior of linear erosive features between the years 2010 and 2016, as well as explored which factors were most determinant for such behavior. By mapping the features and crossing the generated information plan with those referring to soils, slope and land cover and uses, it was verified that the replacement of the natural vegetation of the Pampa biome by agricultural crops is accompanied, in the area of study, by the increment of linear erosive processes in naturally fragile soils. Land uses are intense enough to mitigate the influence of slope on erosion processes as well as to intensify these processes despite the increase in forest areas. If conservation and recovery measures are not taken, regional agricultural production itself, marked by the predominance of family farming, may be affected.

**Keywords:** Linear erosion. Temporary crops. Slope. Soil types. Serra dos Tapes.

## INTRODUÇÃO

Em conjunto com a luz solar, a água e o ar, o solo corresponde a um elemento fundamental à existência e à manutenção da vida, uma vez que exerce funções imprescindíveis, como o suporte ao crescimento de vegetais, a regulação do abastecimento de água e a influência em sua qualidade, a interferência na qualidade do ar e a manutenção de condições de equilíbrio aos ecossistemas terrestres (LEPSCH, 2010; BRADY e WEIL, 2013).

De modo crescente nos últimos anos, a pressão sobre os recursos naturais se expandiu consideravelmente, especialmente em função das intervenções humanas através das evoluções técnico-científicas (VENTURI, 2006; HAESBAERT e PORTO-GONÇALVES, 2006). Paralelamente, o constante crescimento populacional associado a ampliação da acumulação repercute diretamente na expansão das fronteiras agrícolas, fazendo com que o grau de dependência humana com relação ao solo aumente cada vez mais (SICSÚ e LIMA, 2000; BRADY e WEIL, 2013; CUNHA; DOMÍNGUEZ; HILLIG, 2019; IPCC, 2019). Existem diversas formas de degradação do solo, dentre as quais a erosão se destaca pela ampla distribuição geográfica no planeta (GUERRA e JORGE, 2014). Em 2010, 33% dos solos do mundo estavam degradados, sendo a erosão um dos principais tipos de degradação (FAO, 2015).

Os solos são sistemas dinâmicos, de modo que a erosão geológica reflete o equilíbrio natural resultante da atuação conjunta de processos pedológicos e geomorfológicos, responsáveis pela contínua formação do solo e evolução do relevo terrestre (PRESS et al., 2006; LEPSCH, 2010; GUERRA e JORGE, 2014). Contudo, modificações na vegetação sem o devido planejamento e com a ausência de práticas conservacionistas comprometem o equilíbrio dinâmico que regula a erosão e a renovação dos solos, resultando em processos erosivos acelerados (CHRISTOFOLETTI, 1999; LEPSCH, 2010; GUERRA e MENDONÇA, 2012; MOREIRA et al., 2013; GUERRA e JORGE, 2014). Estes processos, além de alterarem a geomorfologia do terreno, impactam na redução da matéria orgânica e dos nutrientes minerais das camadas superficiais do solo, comprometendo a produção de alimentos em solos degradados (BERTONI e LOMBARDI NETO, 2010; GUERRA e JORGE, 2014).

Neste contexto, a erosão acelerada se constitui em um dos principais problemas globais a serem enfrentados no século XXI, dadas suas consequências ambientais e econômicas (PUGLIESI et al., 2011; DECHEN et al., 2015; MAQSOOM et al., 2020). Dentre os fatores que a influenciam se encontram a erosividade da chuva, a erodibilidade dos solos, as características do relevo, o grau de aplicação de práticas conservacionistas e a cobertura e uso das terras (WILLIAMS, 1975; WISCHMEIER e SMITH, 1978; PAMPALONE e FERRO, 2020; PANAGOS et al., 2021).

Diversos autores destacam a cobertura e o uso da terra como o fator principal de influência na dinâmica da erosão hídrica. Assim, considerando a relação direta dos usos e coberturas da terra com as atividades humanas, verifica-se maior possibilidade de transformação das condições da paisagem frente ao processo erosivo (BOUMANNNS et al., 2010; SILVA et al., 2017; FANG e FAN, 2020). Como resultado da ação conjunta destes elementos, a erosão se processa de diferentes maneiras: por salpicamento, de forma laminar e de forma linear (GUERRA e JORGE, 2014).

A erosão linear se desenvolve em diferentes estágios, os quais se relacionam às suas dimensões. Os sulcos são feições iniciais, de pouca profundidade e largura, enquanto as ravinas representam um estágio intermediário e, por fim, encontram-se as voçorocas, caracterizadas por possuírem mais de meio metro de profundidade e de largura (IBGE, 2007; GUERRA, 2014; AMARAL e MARTINS, 2018; STEFANUTO e LUPINACCI, 2019). A erosão linear vem sendo o objeto de vários estudos ao redor do mundo, em diferentes escalas (CHAPLOT et al., 2005; DUBE et al., 2020; KOSOLAPOV et al., 2021; CORATZA e PARENTI, 2021).

O Brasil ocupa lugar de destaque na produção agrícola mundial, produzindo cerca de 10% dos alimentos consumidos no mundo (CONTINI e ARAGÃO, 2021). O uso e a ocupação das terras brasileiras, porém, tem afetado diretamente a qualidade dos solos, o que é atestado por diversas pesquisas que evidenciam, em distintos locais do país, o aumento do número de feições erosivas lineares como consequência direta das atividades humanas (SALGADO et al., 2008; ZANATTA; LUPINACCI; BOIN, 2015; DANIEL e VIEIRA, 2015; LEITE; ORLANDO; VIOLA, 2016; STEFANUTO e LUPINACCI, 2019). É válido destacar que, no Brasil, a erosão hídrica é a principal causa da degradação dos solos (BERTONI e LOMBARDI NETO, 2010).

O Rio Grande do Sul é um dos estados com maior produção agrícola no Brasil (MAPA, 2020). Nas últimas décadas, as áreas agrícolas têm se expandido e impulsionado a supressão da vegetação nativa do bioma Pampa, sendo este processo o principal responsável por fazer com que o bioma se

encontre entre os mais degradados do país, restando somente cerca de 40% de sua vegetação original (OVERBECK et al., 2007; RIBEIRO et al., 2021. PROJETO MAPBIOMAS, 2021; ROLIM; ROSENFELD; OVERBECK, 2022). De modo geral, a soja se destaca como a principal cultura atrelada à expansão agrícola sobre o Pampa (KUPLICH; CAPOANE; COSTA, 2018), mas existem especificidades regionais.

Na região da Serra dos Tapes, unidade geo-histórica que compõe o sistema Serra do Sudeste, o crescimento da área plantada de soja é acompanhado pelo acréscimo das plantações de tabaco (DUTRA, 2010; 2015; SALAMONI et al., 2021). A Serra dos Tapes compreende o compartimento geomorfológico do Escudo Sul-Rio-Grandense ao sul do rio Camaquã (GRANDO, 1989), sendo uma região constituída pelas porções serranas dos municípios de Canguçu, São Lourenço do Sul, Pelotas Arroio do Padre, Morro Redondo e Turuçu (SALAMONI et al., 2021).

A colonização da Serra dos Tapes se encontra associada a imigrantes de múltiplas nacionalidades, cujo processo histórico de ocupação conduziu a uma estrutura fundiária dividida em pequenas propriedades familiares, onde tem-se a diversidade produtiva voltada ao autoconsumo, ao comércio e à agroindústria (SALAMONI e WASKIEVICZ, 2013). Historicamente, a tônica da produção agroindustrial se centrou na cultura do pêssego, porém a desestruturação das indústrias de conservas levou à diminuição generalizada da fruticultura e promoveu a expansão dos cultivos temporários a partir dos anos 1990 (DUTRA, 2010; 2015).

Já há algumas décadas, o Brasil se encontra entre os principais países produtores e exportadores de tabaco, com o Rio Grande do Sul possuindo uma participação considerável nos índices nacionais de produção e exportação do produto (DUTRA, 2013; ESPINDOLA, 2019; ZAPPE, 2020). Na Serra dos Tapes, o aumento da produção tem sido expressivo a ponto de representar a expansão do complexo fumageiro do Vale do Taquari e do Vale do Rio Pardo, situados no centro do Rio Grande do Sul, para o sul do estado (SALAMONI et al., 2021).

Na produção sul-rio-grandense de tabaco, destacam-se os municípios de Canguçu, São Lourenço do Sul e Pelotas (IBGE, 2017). Predominantemente, a opção pelo cultivo do produto deriva da atratividade econômica, assim como no caso da soja (AFUBRA, 2020; FEE, 2022), mas sua conjugação com condicionantes físico-naturais não apropriadas a cultivos temporários pode conduzir a efeitos ambientais negativos.

Parte do limite entre Pelotas e Canguçu se situa no interior do alto curso da bacia hidrográfica do Arroio Quilombo, sub-bacia do Arroio Pelotas cujo sistema físico-natural se particulariza pelo relevo acidentado, característico da Serra dos Tapes, e pelos solos de textura franco arenosa com predomínio de cascalho (VERDUM; STRECK; VIEIRA, 2014). Estas características, associadas às condições climáticas locais e à exposição do solo causada por cultivos temporários, configuram elevada vulnerabilidade à erosão hídrica, principalmente quando práticas conservacionistas não são aplicadas (LEPSCH, 2010).

Em termos de usos da terra, o alto curso da bacia hidrográfica do Arroio Quilombo se encontra na interface das duas dinâmicas cumulativas anteriormente abordadas: a supressão do bioma Pampa, em escala regional, e a expansão dos cultivos temporários, em escala local representada em grande medida pelo tabaco. Como estas alterações nas coberturas e usos da terra tendem a incrementar os processos erosivos, é fundamental a análise da dinâmica destes processos ao longo do tempo, especialmente em função da importante situação hidrográfica em que a área de estudo se insere, bem como do fato de que o Arroio Quilombo é um dos provedores da água utilizada no abastecimento da zona urbana do município de Pelotas (SANEP, 2022).

Dessa forma, o presente artigo objetiva verificar os efeitos que as mudanças nos usos da terra agregadas às características físicas relacionadas aos solos e à declividade do alto curso da bacia hidrográfica do Arroio Quilombo, causaram no comportamento das feições erosivas lineares nos anos 2010 e 2016, bem como explorar quais os fatores foram mais determinantes para tal comportamento. Para tanto, serão debatidas as seguintes questões: dinâmica de cobertura e uso da terra, suas razões e implicações; e dinâmica dos processos erosivos lineares e suas inter-relações com características de elementos dos sistemas físico-natural e socioeconômico.

## **METODOLOGIA**

A constituição do banco de dados espaciais teve origem na base cartográfica vetorial contínua do Rio Grande do Sul (escala de 1:50.000) de Hasenack e Weber (2010). Todos os dados foram

organizados considerando a Projeção Universal Transversa de Mercator, Fuso 22S, Datum Sirgas 2000, sendo utilizado o *software ArcGIS Pro*, sob licença de estudante liberada gratuitamente pela ESRI, e o QGIS 3.16.

A partir de dados planialtimétricos da base cartográfica, a utilização da ferramenta *Topo to Raster* possibilitou a geração do Modelo Digital de Elevação (MDE), com células de 15x15m. Posteriormente, gerou-se os mapas hipsométrico e de declividade, sendo este último reclassificado conforme Spörl e Ross (2004). Também foram utilizados os dados temáticos presentes no mapa pedológico de Flach (2018) (escala de 1:50.000), bem como os dados de cobertura e uso da terra de 2016, disponíveis em Prestes (2018), na escala de 1:10.000.

Para o mapeamento de cobertura e uso da terra do cenário de 2010, capturou-se 94 imagens, com escala de visualização de 1:10.000, através do uso conjunto do *Elshaya! SmartGIS* e do *Google Earth*. Após a conexão entre os *softwares*, utilizou-se a ferramenta *Import Rectified Image*, presente no *Elshaya!*.

Já no *ArcGIS*, criou-se um mosaico destas imagens por meio da ferramenta *Mosaic to New Raster*. Criado o mosaico, realizou-se sua segmentação através da ferramenta *Segmentation Mean Shift*, com a atribuição dos parâmetros estipulados por Paganotto et al. (2018). Após, uniu-se manualmente os polígonos referentes a uma mesma classe de cobertura e uso da terra, seguindo a chave de classificação de Prestes (2018) e os preceitos da fotointerpretação, com o uso da ferramenta *Merge*.

Com os dois produtos de cobertura e uso da terra finalizados, realizou-se a quantificação, em termos de área e variação, de cada classe de cobertura e uso da terra nos cenários de 2010 e 2016. As quantificações foram realizadas na própria tabela de atributos no *ArcGIS*, com a ferramenta *Calculate Geometry*. Depois, as tabelas foram exportadas e as variações absolutas e relativas calculadas no *Excel*.

Em um segundo momento, mapeou-se as feições erosivas lineares para cada um dos cenários com base nas mesmas imagens utilizadas para os mapeamentos de cobertura e uso da terra. Para a análise espacial destas morfologias, tomou-se como base a metodologia de Stefanuto e Lupinacci (2019), a qual subdivide as feições em sulcos, ravinas e voçorocas. Contudo, cabe explicitar que nos cenários avaliados não foram identificadas voçorocas na área de estudo.

Os processos de detecção, delimitação e mapeamento das feições foram amparados na observação visual de cada cenário, analisando-se o tipo de cultivo ou de cobertura, a posição na vertente, a proximidade com os cursos d'água e as características específicas de tonalidade e de textura. Uma vez mapeadas, quantificou-se as feições em termos de área a partir da geração de um *buffer*, utilizando-se as dimensões de 10 cm para os sulcos e 50 cm para as ravinas (STEFANUTO e LUPINACCI, 2019), e suas abrangências em cada cenário foram calculadas através da ferramenta *Calculate Geometry*.

A quantificação da ocorrência das feições erosivas lineares em cada variável dos planos de informação (PIs) trabalhados (tipo de solo, declividade e cobertura e uso da terra) teve início com a operação da ferramenta *Clip*, a qual proporcionou o recorte de cada um dos PIs com base nas feições. Por fim, efetuou-se o cálculo de área da intersecção do PI das feições erosivas com cada um dos demais, por meio da ferramenta *Calculate Geometry* e, posteriormente, gerou-se os gráficos no *Excel*.

Já para a aquisição dos dados referentes às combinações de tipos de solo, classes de declividade e de coberturas e usos da terra, nas quais as feições erosivas lineares foram mapeadas, utilizou-se inicialmente a ferramenta *Union*, a partir da qual todos os PIs foram unidos, exceto as feições. Como resultado da *Union*, obteve-se um novo plano de informação, o qual agregou os atributos de todos os três planos utilizados como arquivos de entrada. Em seguida, aplicou-se novamente a ferramenta *Clip*, agora nesse novo plano, e a ferramenta *Calculate Geometry* possibilitou o cálculo das áreas.

Finalmente, foram identificadas as combinações que apresentaram área superior a 100 m<sup>2</sup>, no caso dos sulcos, e superior a 50 m<sup>2</sup>, no caso das ravinas, em função de o número total de combinações encontradas ter sido elevado e difícil de ser representado de maneira tabular.

### **Área de estudo**

O alto curso da bacia hidrográfica do Arroio Quilombo, cuja área corresponde a 53,29 km<sup>2</sup>, se localiza no estado do Rio Grande do Sul, fazendo parte dos municípios de Canguçu e de Pelotas (Figura 1). O município de Pelotas se encontra em uma área de transição entre a Planície Costeira e o Escudo Sul-Rio-Grandense, de modo que parte considerável da zona rural pelotense, especialmente a porção

noroeste do município, se situa no Escudo, enquanto o município de Canguçu se encontra inteiramente assentado sobre o Escudo Sul-Rio-Grandense, da mesma forma que a área de estudo

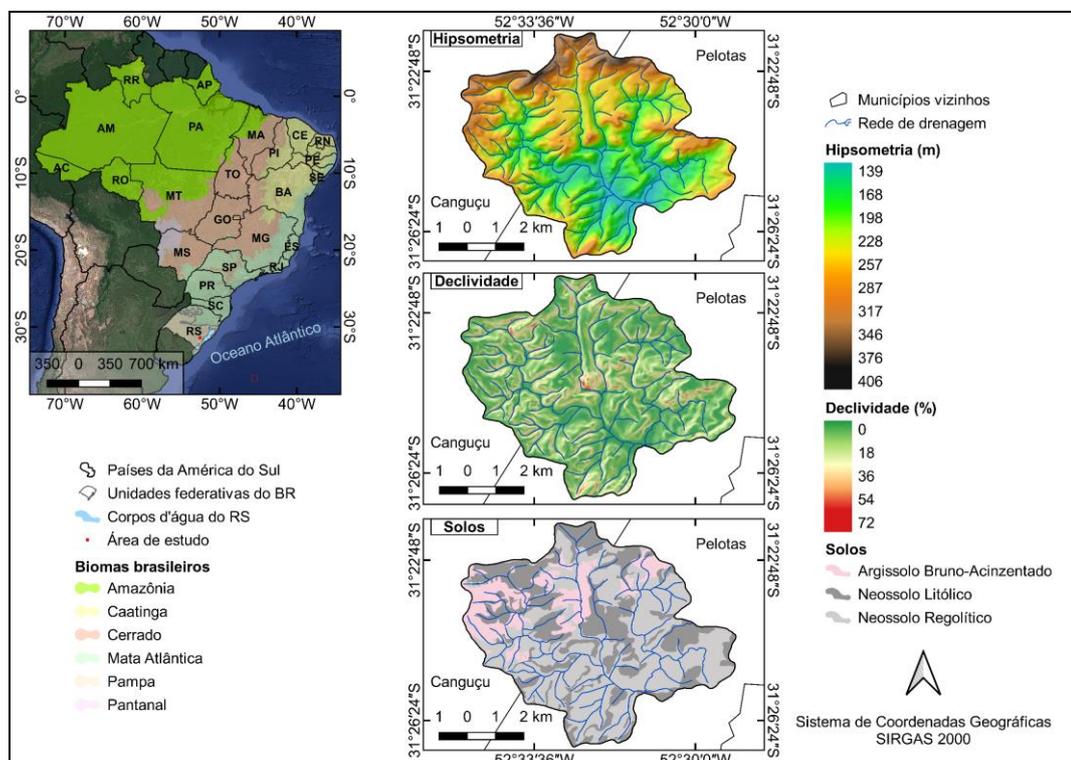
O alto curso da BH do Arroio Quilombo se situa, ainda, na unidade de paisagem denominada Serra dos Tapes. Em seu processo histórico de ocupação, a Serra dos Tapes é retratada pela marcante diversidade de grupos étnicos e sociais, como os luso-brasileiros, os descendentes de escravos, os camponeses nacionais e os imigrantes europeus não portugueses (alemães, pomeranos, italianos e franceses) (SALAMONI et al., 2021). Assim sendo, esse processo histórico promoveu a configuração geográfica atual, sendo a região composta por pequenas propriedades com diversificação produtiva e baseadas no trabalho familiar, de modo que é considerada como polo da agricultura familiar na parte sul do Rio Grande do Sul (SALAMONI e WASKIEVICZ, 2013).

Conforme Neves (2012), as unidades geológicas existentes no local de estudo, datadas do Pré-Cambriano, são a Suíte Intrusiva Pinheiro Machado, a Suíte Dom Feliciano e a Granito Arroio Moinho. Flach (2018) complementa com informações de maior detalhe, provenientes da Companhia de Pesquisa dos Recursos Minerais (CPRM) do Serviço Geológico Brasileiro, afirmando que são cinco as unidades geológicas que compõem o alto curso da bacia hidrográfica do Arroio Quilombo, sendo elas: Granito Arroio Moinho, Complexo Granítico Gnáissico Pinheiro Machado, Fácies sienogranitostocks e Granitóides sin a tardicinemáticos 1 e 2.

O Escudo Sul-Rio-Grandense embasa a unidade morfoescultural denominada Planalto Uruguai Sul-Rio-Grandense, caracterizada por ser a mais antiga do estado e por abranger as unidades Planalto Residual Canguçu-Caçapava e Planalto Rebaixado Marginal. Estas unidades apresentam formações onduladas convexas características dos “mares de morros”, com vertentes íngremes ou suaves (NEVES, 2012; DUTRA, 2016; PRESTES, 2018; FLACH, 2018).

Ainda conforme Neves (2012), os morros com topos convexos e vertentes suaves derivam da ação intempérica, bem como do arredondamento e suavização pela ação erosiva, enquanto os morros com topos convexos e vertentes íngremes se fazem presentes em locais com declividades mais acentuadas. Os valores de altitude variam de 139 a 406 m, enquanto os valores de declividade ficam entre 0 e 72% (Figura 1).

Figura 1 - Alto curso da bacia hidrográfica do Arroio Quilombo (RS): localização, hipsimetria, declividade e solos, 2022.



Fonte - HASENACK e WEBER (2010); FLACH (2018); IBGE (2004; 2021); GOOGLE (2022). Elaboração e organização: os autores, 2022.

De acordo com a classificação climática de Köppen, o clima da região é Cfa, isto é, subtropical úmido, caracterizando-se por invernos frios, verões amenos e pela ausência de estação seca (PRESTES, 2018). A temperatura média anual se encontra entre 17-20°C, resultando de variações térmicas bastante consideráveis, uma vez que o mês mais frio (julho) apresenta temperatura média entre 11-14°C, enquanto no mais quente (janeiro) essa média sobe para 20-26°C (ROSSATO, 2011; PRESTES, 2018; FLACH, 2018). Quanto aos índices de precipitação, as taxas mensais costumam superar os 100 mm, com exceção ao mês de março, sendo que fevereiro e julho apresentam os maiores valores (FLACH, 2018).

Como resultado direto da ação integrada dos elementos supracitados, aliados à ação dos organismos vivos ao longo do tempo (BRADY e WEIL, 2013), a diversidade pedológica da área de estudo é composta por três tipos de solo: Neossolo Regolítico, Neossolo Litólico e Argissolo Bruno-Acinzentado, os quais ocorrem, respectivamente, em 52,8%, 32,82% e 14,34% da paisagem (FLACH, 2018). No geral, esses solos são bastante rasos, cascalhentos e arenosos, o que os torna pouco estruturados e suscetíveis ao desenvolvimento de processos erosivos (FLACH, 2018).

Explicita-se que no Rio Grande do Sul há a ocorrência de dois biomas: Mata Atlântica, localizado nas porções norte e nordeste, e Pampa situado em todo o restante do estado. Apesar de a delimitação oficial dos biomas brasileiros (IBGE, 2004) indicar que a área de estudo se encontra exclusivamente no Pampa, nela existem também fragmentos de vegetações características da Mata Atlântica.

Segundo Rambo (1994) apud Prestes (2018), os condicionantes climáticos e edáficos influenciam nas formações vegetais de mata subtropical e de campos, pertencentes aos biomas Mata Atlântica e Pampa, respectivamente. Neste sentido, Prestes (2018) salienta que tais formações vegetais influenciam na dinâmica de ocupação da bacia, onde áreas de campos e baixos declives são destinadas à criação de gado e cultivos temporários, como milho, soja e tabaco (RUTZ, 2015; FLACH, 2018) e, em áreas de mata, é comum o reflorestamento com espécies exóticas, como eucalipto e acácia.

Em suma, a área de estudo possui características físico-geográficas derivadas de rochas bastante antigas, intensamente erodidas ao longo do tempo geológico em um processo instigado por condições climáticas que atualmente se particularizam pela distribuição regular das chuvas com índices elevados ao longo de todo ano. Estas condições culminam em um relevo ondulado, determinante na existência de solos pouco desenvolvidos. Associado a estes elementos, o sistema socioeconômico local é fortemente atrelado à produção agrícola.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ainda que o recorte temporal de análise englobe um período relativamente curto, a área de estudo experimentou transformações consideráveis em termos de cobertura e uso da terra. Naturalmente, as modificações se relacionaram de modo distinto com os elementos físico-geográficos a depender das peculiaridades que estes elementos assumem nas diferentes porções do ACBHAQ. Cada combinação específica entre cobertura e uso da terra, classes de declividade e tipos de solo influenciou de maneira particular a ocorrência de feições erosivas lineares ao longo dos cenários.

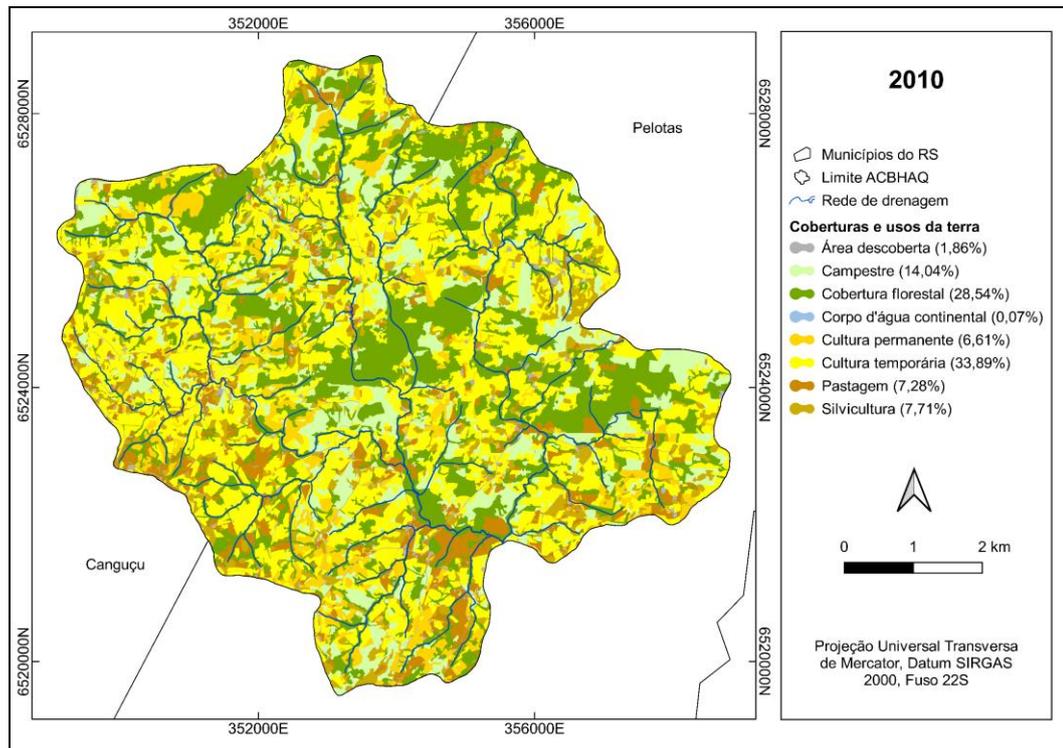
Conforme Panagos et al. (2021), ao se analisar as dinâmicas erosivas ao longo do tempo, é comum que as condições pedológicas e topográficas sejam assumidas enquanto propriedades estáticas. Assim, inicialmente será analisada a dinâmica de cobertura e uso da terra, a qual constitui o fator de influência na erosão com maior mutabilidade espaço-temporal (FANG; FAN, 2020; CARAMINAN; MORAIS, 2022).

### ***Dinâmica de cobertura e uso da terra***

No mapa de cobertura e uso das terras de 2010, verificou-se que as taxas de usos superavam as de coberturas, com 57,35% da área destinada, em conjunto, a culturas permanentes, silvicultura, pastagens, culturas temporárias ou mesmo classificadas como áreas descobertas. Por outro lado, 42,65% da área de estudo era coberta pela agregação das classes cobertura florestal, campestre e corpo d'água continental (Figura 2).

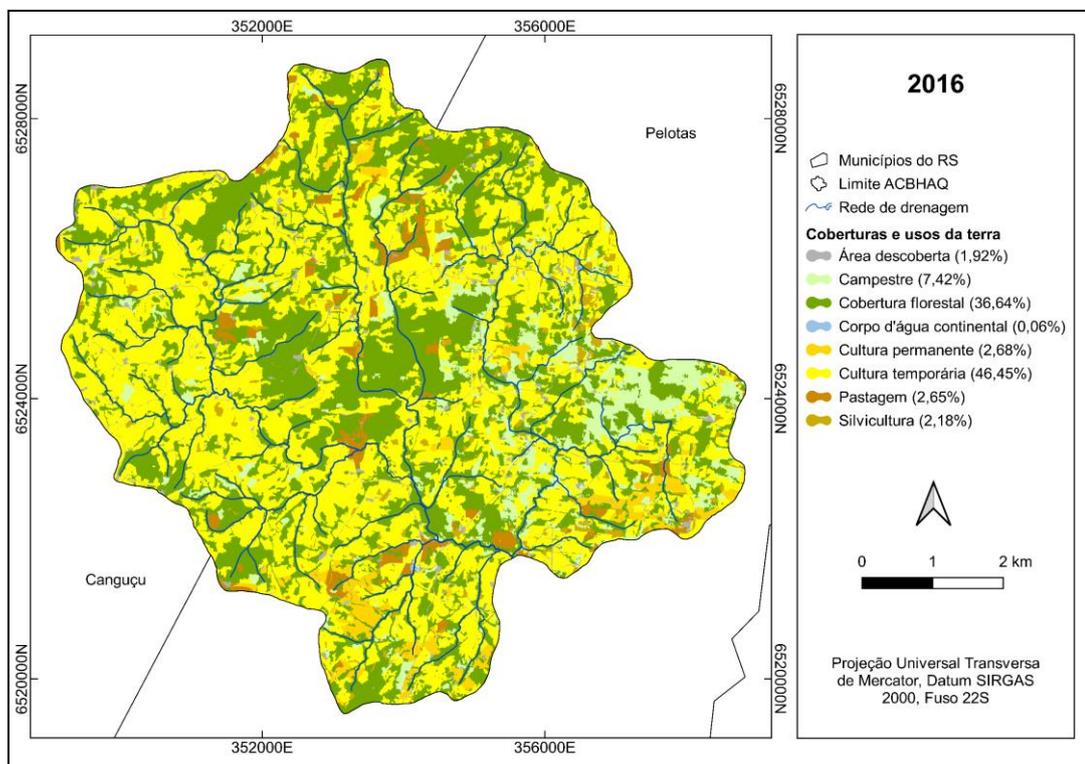
Comparando-se ambos os cenários, percebe-se que, de 2010 para 2016, houve um pequeno aumento nas áreas de coberturas, as quais foram mapeadas em 44,12% da área de estudo em 2016, ao passo que os locais destinados aos diversos usos diminuíram para 55,88%. As coberturas tiveram, então, um aumento bruto de 1,47% em área, derivado diretamente do decréscimo dos usos, ainda que esses tenham se mantido predominantes (Figura 3).

Figura 2 - Alto curso da bacia hidrográfica do Arroio Quilombo (RS): Mapa de cobertura e uso da terra, 2010.



Fonte - HASENACK e WEBER (2010); GOOGLE (2010; 2016). Elaboração: os autores, 2022.

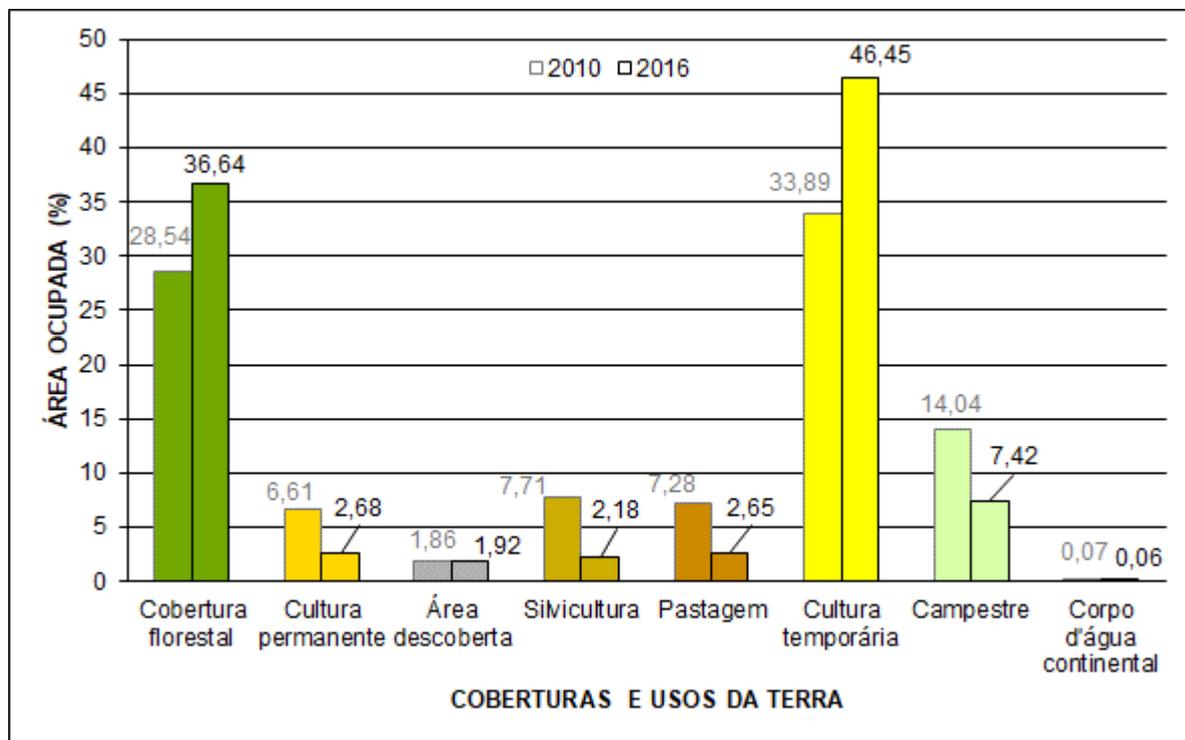
Figura 3 - Alto curso da bacia hidrográfica do Arroio Quilombo (RS): Mapa de cobertura e uso da terra, 2016.



Fonte - HASENACK e WEBER (2010); GOOGLE (2010; 2016); PRESTES (2018). Elaboração e organização: os autores, 2022.

As modificações em termos de abrangência espacial sofridas por cada classe de cobertura e uso são expressas na Figura 4.

Figura 4 - Alto curso da bacia hidrográfica do Arroio Quilombo (RS): Dinâmica de coberturas e usos da terra (%), 2010 e 2016.



Fonte - PRESTES (2018). Elaboração e organização: os autores, 2022.

Iniciando-se pelo ponto nevrálgico da dinâmica das coberturas da terra, tem-se que entre os anos de 2010 e de 2016 a área de estudo experimentou uma redução de 47,15% na vegetação campestre, principal característica do bioma Pampa. Isto é, quase metade das áreas cobertas pelos campos sulinos em 2010, deixaram de ser em 6 anos, fato que corresponde a um reflexo local da tendência que vem se manifestando durante as últimas décadas – em graus distintos a depender do recorte espaço-temporal analisado – em todo o Pampa gaúcho.

Centrada na escala municipal, a pesquisa de Sommer e Saldanha (2012) atesta a redução tanto das coberturas campestres quanto das áreas de mata nativa entre os anos de 1985 e 2009, com estas coberturas cedendo lugar aos cultivos agrícolas e ao reflorestamento. Na mesma linha, Mengue et al. (2018) e Kuplich, Capoane e Costa (2018) evidenciam a significativa expansão das áreas agrícolas em detrimento das áreas de vegetação campestre.

O bioma Pampa, em sua totalidade, foi objeto de estudo de Oliveira (2020), que analisou as mudanças de cobertura e uso da terra de 1987 a 2017. Os resultados da pesquisa foram de uma diminuição de 18,76% nas áreas com formação campestre e de um aumento de 19,08% nas áreas agrícolas, sendo que a maior parte destas transformações ocorreu entre 2007 e 2017. Já há alguns anos, Santos e Silva (2011) apontaram o bioma Pampa sob ameaça, dada a manutenção de apenas 40,23% de sua vegetação natural, sendo 32,15% campestre e 8,08% florestal.

Por fim, dados levantados pelo Projeto MapBiomias (2021) atestam a supressão, entre 1985 e 2020, de 29,5% da vegetação campestre – sendo que 12,9% dessa supressão se deu entre 2010 e 2016. No mesmo período, as culturas temporárias se expandiram, em termos de área ocupada, em 38,3%, sendo esse aumento o principal responsável pela diminuição das demais coberturas e usos. Das culturas de maior expansão no bioma, destaca-se a soja (KUPLICH; CAPOANE; COSTA, 2018).

Conforme destacado por Moreira (2019), o aumento das áreas cultivadas no Pampa pode ser entendido como reflexo de uma dinâmica global que envolve o mercado de *commodities* agrícolas e que impulsiona transformações nos diversos espaços agrários, como aqueles do Pampa. Contudo, no caso do alto curso da BH do Arroio Quilombo e da Serra dos Tapes como um todo, a causa da expansão dos cultivos agrícolas temporários possui algumas especificidades, com o acréscimo da produção de soja sendo acompanhada pelo aumento da produção de tabaco (SALAMONI et al., 2021). Resultado desta dinâmica conjunta, de 2010 a 2016 o ACBHAQ teve um aumento de 37,06% nas áreas de cultivos temporários.

Dutra (2010; 2015) aponta que a partir dos anos 1990, a fumicultura se expandiu e se consolidou no estado sul-rio-grandense, com destaque aos municípios de Canguçu e de Pelotas, se relacionando estreitamente à configuração de unidades familiares de produção. Esta consolidação é fruto da desestruturação das indústrias de conserva que existiam em grande escala na região, para onde se destinava a produção frutícola. Especialmente nos últimos anos, a questão econômica tem sido um fator fundamental na atração dos produtores rurais à produção fumageira (AFUBRA, 2020).

Porém, os impactos causados pela produção do tabaco se iniciam com a retirada da vegetação natural, o que torna o solo exposto à erosão hídrica, e se estendem àqueles gerados no solo e na água pelo uso de agrotóxicos (PAGANOTTO et al., 2018). Considerando a fragilidade natural dos solos da bacia hidrográfica analisada, o plantio de fumo sem a adoção de práticas conservacionistas – modelo recorrente na área de estudo (FLACH, 2018) – carrega consigo o risco de promover o desenvolvimento de processos erosivos, especialmente quando aplicado em áreas de maiores declividades e relevo ondulado, conforme pode ser verificado nas porções centro-norte, centro-oeste e oeste da área de estudo.

Ao longo do período analisado, as culturas permanentes – diretamente atreladas à fruticultura – diminuíram em 59,46%, o que pode ser compreendido como consequência do fato anteriormente discutido de que, desde os últimos anos do século XX, a cadeia produtiva ligada às indústrias de conservas de pêssego vem sendo afetada por uma forte crise, o que levou os agricultores da região, preponderantemente familiares, a buscarem alternativas de renda.

Além das culturas temporárias, outra classe de cobertura e uso que se expandiu consideravelmente entre os cenários foi a cobertura florestal, cujas áreas aumentaram em 28,38%. Esta expansão, em parte, se justifica pela maior adequação das propriedades agrícolas aos requisitos ambientais após a implementação do Código Florestal de 2012 (BRASIL, 2012), que refletiu na recomposição de matas ciliares às margens de canais de drenagem situados nas porções sudoeste e norte do ACBHAQ, por exemplo.

Por outro lado, a expansão florestal reflete a necessidade de substituição de usos agrícolas intensivos por outros mais conservacionistas em áreas largamente erodidas, condição que acaba dificultando a própria manutenção da produção agrícola (CHAPLOT et al., 2005; LOHMANN; SANTOS, 2005). No caso de processos erosivos bastante acentuados, a recomposição florestal é uma prática comumente aplicada, em função da eficácia para a mitigação da erosão em pontos críticos, onde as atividades antrópicas causaram os maiores impactos (MILAZZO et al., 2022; MESSAGER et al., 2022). Este processo pode ser verificado nas porções centro-oeste e sudoeste da área de estudo.

A silvicultura foi a classe que apresentou maior redução relativa, diminuindo em 71,73%. A silvicultura é um uso bastante ambíguo do ponto de vista ambiental, uma vez que, ao mesmo tempo em que as “florestas” plantadas atuam como interceptadoras dos impactos das gotas de chuva no solo, o plantio corriqueiro de monoculturas com espécies exóticas afeta fortemente a biodiversidade pampeana (SILVA, 2009; ECHER et al., 2012).

A redução da silvicultura de 2010 para 2016 pode ser entendida como uma consequência da aprovação do Zoneamento Ambiental para a Atividade de Silvicultura no Rio Grande do Sul, realizada no ano de 2008, e das sucessivas atualizações incidentes sobre o zoneamento (GOVERNO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL, 2010; FEPAM, 2021), em paralelo à expansão de áreas destinadas à agricultura.

O uso da terra com pastagem apresentou uma redução também significativa, de 63,6%. A pecuária é, historicamente, uma das principais atividades de uso das terras do Pampa, porém a região da Serra dos Tapes, em função de seu relevo ondulado, acabou não favorecendo esse tipo de uso nos locais mais íngremes (ECHER et al., 2012; SALAMONI e WASKIEVICZ, 2013). A diminuição verificada nas

áreas de pecuária nos últimos tempos deriva do aumento de espaços destinados às atividades agrícolas (MOREIRA, 2019), especialmente relacionadas às culturas temporárias.

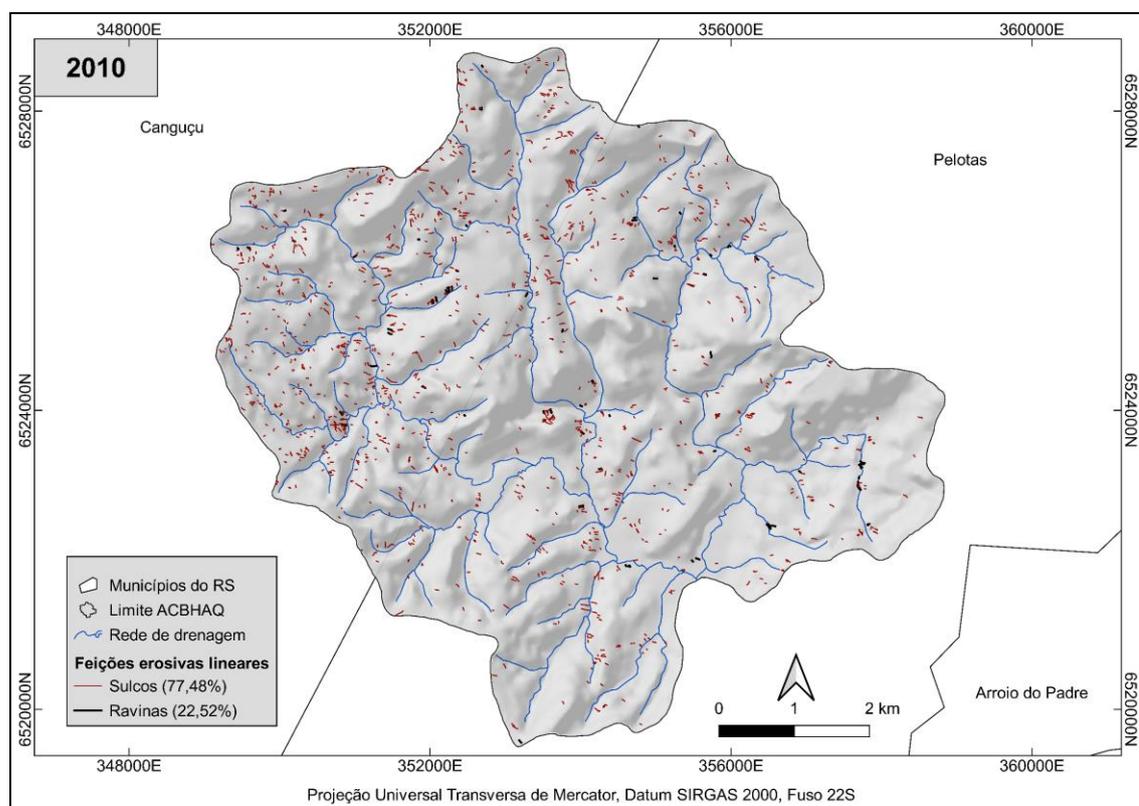
De modo geral, ao longo do recorte temporal analisado a área de estudo experimentou um notável acréscimo das áreas destinadas às culturas temporárias, especialmente soja e tabaco, ao passo que as áreas de vegetação campestre foram amplamente suprimidas, inseridas em um processo generalizado de redução que incidiu, com diferentes intensidades, sobre as demais classes de coberturas e usos, com exceção das áreas descobertas. Por outro lado, as áreas de cobertura florestal também apresentaram aumento considerável, ocupando parte das áreas intensamente erodidas por usos anteriores, dentre os quais se encontram os cultivos temporários.

### ***Dinâmica das feições erosivas lineares e sua relação com fatores físico-naturais e antrópicos***

Entre os elementos que possuem maior influência no desenvolvimento de processos erosivos, destacam-se elementos naturais, como a erodibilidade do solo e a topografia do terreno, além das interferências antrópicas, representadas pelos usos da terra (ZHOU et al., 2008). Os solos do ACBHAQ se caracterizam essencialmente pelo baixo grau de desenvolvimento e estruturação, ao passo que o relevo acidentado da Serra dos Tapes configura áreas que variam de declividades nulas a declives bastante acentuados. Já os usos da terra locais são fortemente atrelados à produção agrícola em unidades familiares.

A partir do mapeamento das feições erosivas lineares referentes ao cenário de 2010, foram observados 8.636 m<sup>2</sup> com a ocorrência de sulcos e 2.510 m<sup>2</sup> com a presença de ravinas (Figura 5).

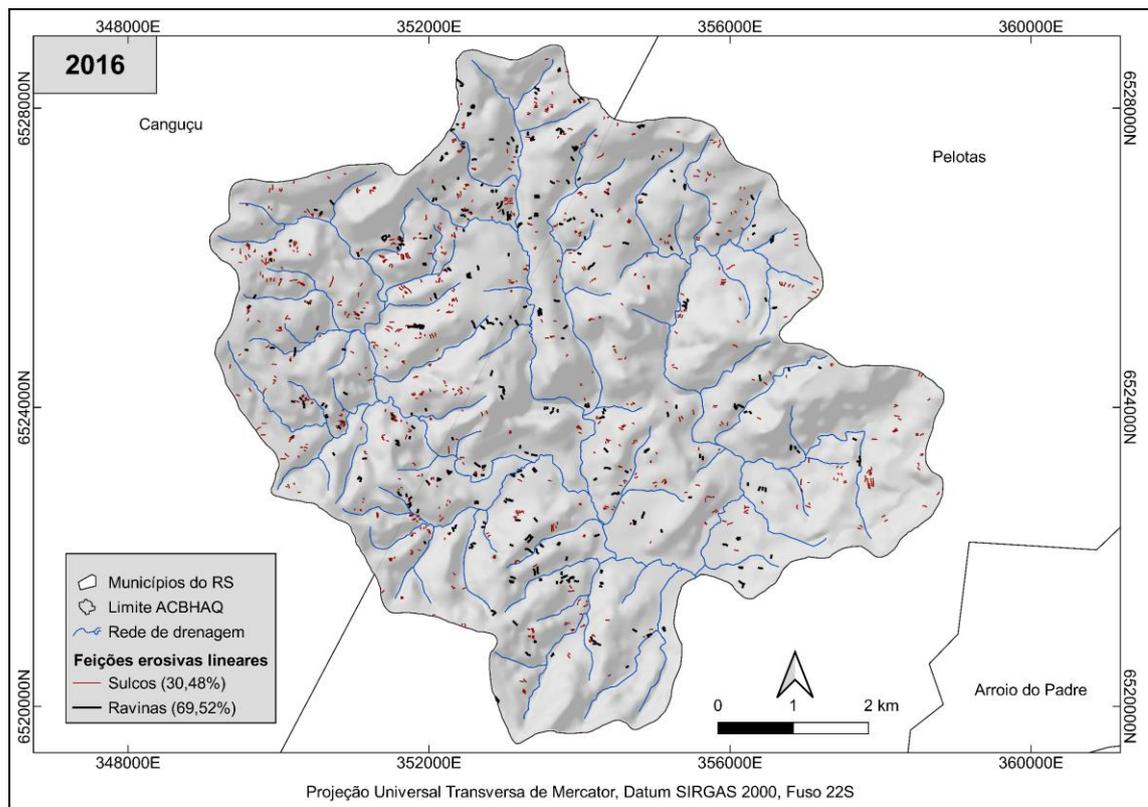
Figura 5 - Alto curso da bacia hidrográfica do Arroio Quilombo (RS): Mapa das feições erosivas lineares, 2010.



Fonte - HASENACK e WEBER (2010); GOOGLE (2010; 2016). Elaboração e organização: os autores, 2022.

Já em 2016, esses valores passaram a ser de 5.484 m<sup>2</sup> para os sulcos e de 12.509 m<sup>2</sup> para as ravinas (Figura 6). De um cenário para outro, os sulcos apresentaram redução de 36,5%, enquanto as ravinas se expandiram em significativos 398,37%.

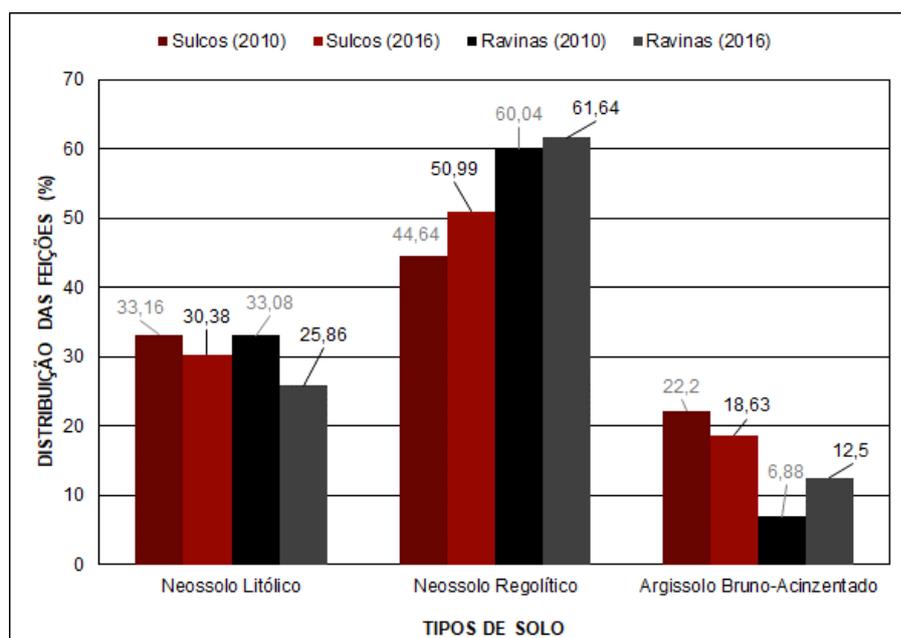
Figura 6 - Alto curso da bacia hidrográfica do Arroio Quilombo (RS): Mapa das feições erosivas lineares, 2016.



Fonte - HASENACK e WEBER (2010); GOOGLE (2010; 2016). Elaboração e organização: os autores, 2022.

Relacionando-se essas feições aos tipos de solo que compõem a área de estudo, chegou-se aos dados representados na Figura 7.

Figura 7 - Alto curso da bacia hidrográfica do Arroio Quilombo (RS): Relação entre feições erosivas lineares e tipos de solo ao longo do tempo (%), 2010 e 2016.



Elaboração - os autores, 2022.

A primeira consideração a ser feita é a de que os valores encontrados, tanto de sulcos quanto de ravinas e em ambos os cenários, refletem de modo bastante aproximado os próprios valores relativos de ocorrência de cada tipo de solo na área de estudo, o que nos leva à conotação de que menores ou maiores incidências de feições erosivas lineares em cada tipo de solo estão fortemente atreladas à distribuição pedológica (Figura 1).

Nachtigall et al. (2020), em pesquisa acerca da erosão hídrica do solo na bacia hidrográfica do Arroio Fragata, localizada na região sul do Rio Grande do Sul, chegaram ao resultado de que os Argissolos e os Neossolos foram as classes de solo que apresentaram maiores perdas por erosão hídrica, superando os limites considerados toleráveis.

De modo complementar, o estudo de Tavares et al. (2020), em propriedades agrícolas de Pelotas (RS), concluiu que a baixa profundidade efetiva dos solos, juntamente com a presença de horizonte Bt foram os principais fatores limitantes à capacidade de uso das terras. Ressalta-se que são justamente esses atributos os mais representativos dos solos da área de estudo.

Especificamente no caso dos Neossolos Litólicos e Regolíticos, diversos trabalhos vêm apontando a alta susceptibilidade a processos erosivos apresentados por esses solos, o que deriva essencialmente do pouco grau de evolução, de profundidade e de infiltração da água (PINTON e CUNHA, 2008; MARCATTO; SILVEIRA, 2017; MOURA-BUENO et al., 2018; MIGUEL et al., 2021). Moura-Bueno et al. (2018) trabalham inclusive com a possibilidade de gênese reversa decorrente da redução de espessura do horizonte A pelos processos erosivos, o que levaria Neossolos Regolíticos a se transformarem em Neossolos Litólicos, e Viel, Rosa e Hoff (2017) destacam a alta restrição desses solos às culturas anuais.

Já no que diz respeito aos Argissolos Bruno-Acinzentados, a erodibilidade elevada se manifesta em função da existência de gradiente textural e da ocorrência de mudanças texturais abruptas, fenômenos que acarretam na baixa permeabilidade do horizonte subsuperficial e na promoção do escoamento superficial (NACHTIGALL et al., 2020).

De modo geral, o que se verifica é uma generalizada predisposição dos solos do alto curso da bacia hidrográfica do Arroio Quilombo ao desenvolvimento de processos erosivos. De qualquer maneira, declividades mais acentuadas e menor proteção do solo pela cobertura vegetal se constituem em fatores capazes de amplificar a erodibilidade inerente a esses solos (TARTARI et al., 2012; VIEL e ROSA; HOFF, 2017; TAVARES et al., 2020).

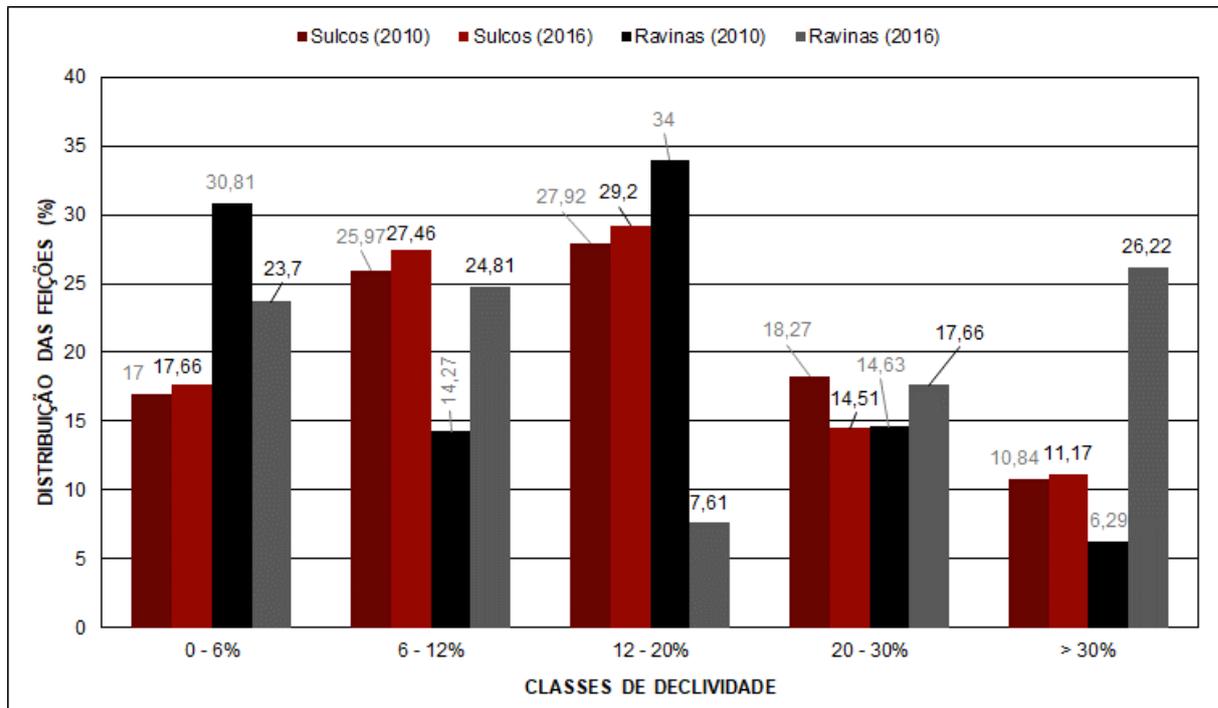
Tendo em vista que a declividade é o fator que determina o volume e a velocidade das enxurradas (BERTONI e LOMBARDI NETO, 2010) e considerando a classificação proposta por Spörl e Ross (2004), a área de estudo apresenta 46,6% da área com declives variando de 0 a 12%, os quais correspondem a muita fraca e fraca susceptibilidade à erosão. Em 25,3% da área, verifica-se declives variando de 12 a 20%, correspondendo à susceptibilidade média à erosão hídrica do solo. Por fim, as áreas mais susceptíveis aos processos de erosão hídrica do solo ocupam 28,1% da área de estudo (Figura 1).

As classes de declividade se relacionam à aptidão agrícola/capacidade de uso das terras, de modo que, quanto mais altas, maior é a indicação de usos conservacionistas, o que conflita com a ocorrência de cultivos aplicados, de maneira convencional, em áreas de declividades moderadas à acentuadas, verificados na área de estudo por Flach (2018). Conforme a classificação de Spörl e Ross (2004), estas classes correspondem a declividades que superam os 12%.

De modo geral, a presença de sulcos cresceu em todas as classes de declividade, à exceção da que abrange declividades entre 20-30%, ao passo que as ravinas apresentaram um comportamento mais complexo, com grandes variações, principalmente, nas classes 12-20% e > 30%.

Os dados obtidos a partir do cruzamento das informações relativas às feições erosivas lineares com as classes de declividade trabalhadas demonstraram variação entre os cenários de 2010 e de 2016 (Figura 8).

Figura 8 - Alto curso da bacia hidrográfica do Arroio Quilombo (RS): Relação entre feições erosivas lineares e classes de declividade ao longo do tempo (%), 2010 e 2016.



Elaboração - os autores, 2022.

Tanto no cenário de 2010 quanto no de 2016, a ocorrência de sulcos predominou em áreas cujas declividades variam de 6-20% (mais de 50% de incidência nessas áreas). Apesar de a concentração dos sulcos se dar em locais cuja declividade representa riscos baixos (6-12%) e moderados (12-20%) à erosão, a fragilidade pedológica associada a usos mais intensos, em especial a culturas temporárias, acaba promovendo o desenvolvimento das feições erosivas lineares, principalmente quando poucas técnicas de manejo e conservação do solo são aplicadas (TAVARES et al., 2020). Este cenário é corriqueiro na área de estudo e representa as condições ideais para a degradação do solo e para o desenvolvimento de processos erosivos (FLACH, 2018).

As feições classificadas como ravinas se concentraram, em 2010, nas classes de declividade de 0-6% (30,81%) e de 12-20% (34%), com os valores de ocorrência intermediários se assemelhando nas classes de 6-12% e de 20-30%. O predomínio de feições erosivas lineares em classes de declividade de até 20% se aproxima dos resultados presentes em Knierin, Trentin e Robaina (2018) e em Rademann, Trentin e Robaina (2018), onde os processos erosivos se concentraram em declividades de até 15%.

Já os resultados do mapeamento de 2016 indicaram comportamento peculiar das feições de ravinas. As classes de declividade que, em 2010, apresentaram as maiores porcentagens de ocorrência de ravinas (0-6% e 12-20%), consequência da combinação entre solos frágeis e usos intensivos, tiveram quedas em suas taxas, com destaque à classe 12-20%, que apresentou queda relativa de 77,6%. O motivo da diminuição da participação de ambas as classes deriva da aplicação de técnicas de obliteração para que as terras continuem a ser utilizadas. Neste sentido, Zanatta, Lupinacci e Boin (2017) expressam a possibilidade de obliteração das ravinas e indicam o soterramento como uma técnica viável para áreas cujo grau de declive permite o uso mais intensivo da terra.

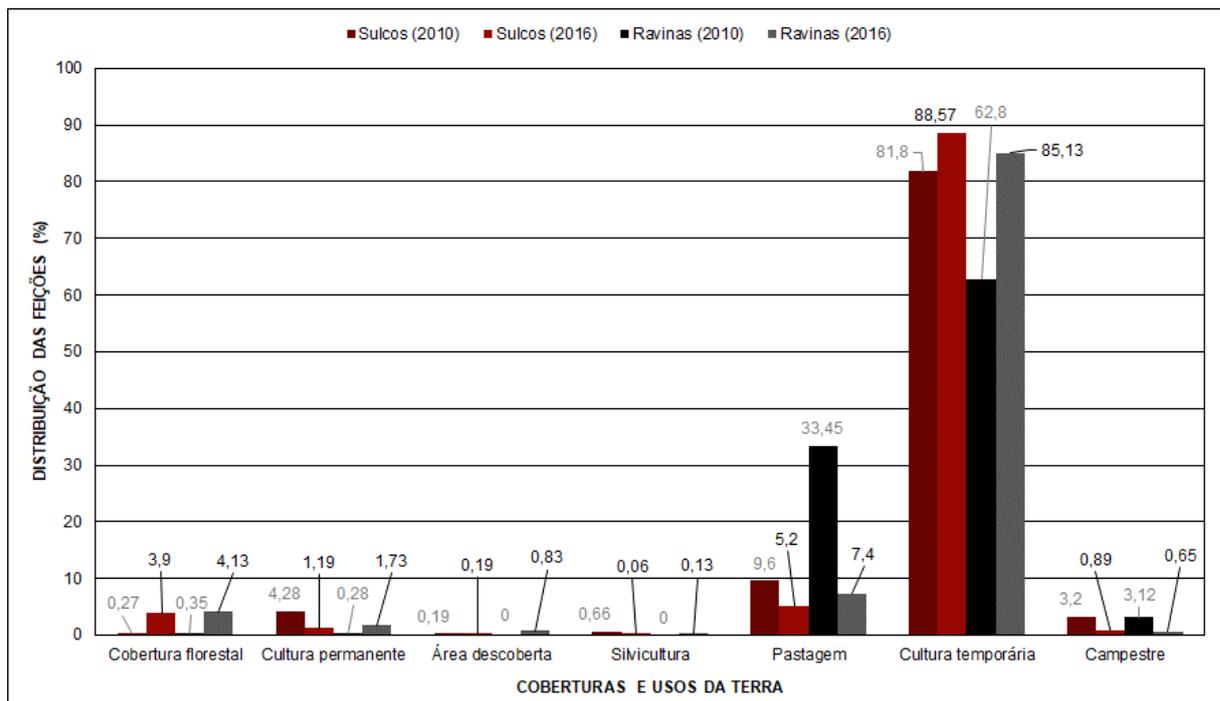
Nas demais classes de declividade, a incidência de ravinas aumentou. Na classe 6-12%, o aumento das ravinas se explica pela maior intensidade dos usos, tendo-se em vista que são áreas de relevo

menos acidentado. O destaque, por óbvio, é a classe > 30%, que passou do menor índice em 2010 ao protagonismo em 2016, com um aumento relativo de 316,8%.

Uma vez que as ravinas também se expandiram na classe de 20-30%, entende-se que o acréscimo na classe > 30% se relaciona com o aumento de cultivos em locais mais suscetíveis à erosão, de modo que os valores elevados apenas reforçam as restrições geomorfológicas ao uso destas áreas, mas também responde a outros dois processos que ocorreram de forma concomitante: (I) as ravinas já existentes em 2010 sofreram um alargamento e um aprofundamento, de modo que expandiu a área ocupada e (II) parte dos sulcos existentes em 2010 evoluíram, se aprofundaram e se transformaram em ravinas (ALMEIDA FILHO e GAMA JÚNIOR, 2018), o que aconteceu paralelamente ao surgimento de novos sulcos, uma vez que a ocorrência destas feições nas classes de declividades elevadas variou pouco ao longo do tempo.

De acordo com diversos autores, o uso das terras, juntamente com o manejo empregado, corresponde ao principal elemento nas perdas aceleradas de solo, uma vez que se constitui no componente antrópico do processo (MCCOOL et al., 1995; BOUMANNNS et al., 2010; TARTARI et al., 2012; VIEL; ROSA; HOFF, 2017; SILVA et al., 2017; MIGUEL et al., 2021). Na Figura 9, observa-se que em ambos os cenários avaliados as culturas temporárias foram os usos que mais propiciaram o desenvolvimento de feições erosivas lineares.

Figura 9 - Alto curso da bacia hidrográfica do Arroio Quilombo (RS): relação entre feições erosivas lineares e coberturas e usos da terra ao longo do tempo (%), 2010 e 2016.



Elaboração - os autores, 2022.

O grau de ocorrência das feições, sejam sulcos ou ravinas, em áreas descobertas ou destinadas à silvicultura é, de fato, muito baixo em ambos os cenários. Os locais da bacia classificados como áreas descobertas foram, basicamente, as estradas vicinais, e o motivo para a não existência de feições erosivas lineares nessas áreas é a necessidade de constante reparo das vias para que o tráfego de veículos possa ser constante e seguro (KERNISKI e CUNHA, 2017). Quanto aos locais de silvicultura – “florestas” plantadas no dizer de Silva (2009) –, o motivo da pequena presença de sulcos e ravinas

se deve à função protetiva dos solos exercida pelas árvores, ainda que não sejam nativas, através do processo de interceptação (COELHO NETTO, 1995).

A redução de feições em áreas campestres e de pastagens pode ser compreendida como uma consequência direta da própria diminuição dessas áreas (Figura 4). O crescimento do número de ravinas em locais de cultura permanente deriva da aplicação destas culturas em locais de maior declividade, que apresentam restrições às culturas temporárias, e da atribuição de tais culturas em locais já erodidos, a fim de proporcionar maior proteção aos processos erosivos em comparação com os cultivos temporários.

O aumento de sulcos e de ravinas de 2010 para 2016 em áreas de cobertura florestal se deve a destinação de locais que anteriormente eram usados de outra forma – e que, em função dos usos prévios, desenvolveram feições erosivas lineares – para a restauração/replanteio de áreas florestais (Figuras 2 e 3), de modo que os resquícios dos usos anteriores ainda se fazem presentes. Também parte considerável das áreas de vegetação florestal são APPs, as quais localizam-se justamente em locais mais frágeis da bacia hidrográfica, com relevo mais declivoso e de concentração do fluxo hídrico.

No geral, as culturas temporárias foram a classe de uso da terra que apresentou os maiores índices de feições erosivas lineares. Com valores expressivos em ambos os cenários, a ocorrência de sulcos em áreas submetidas a esse uso aumentou 8,3% de 2010 para 2016; de forma análoga, mas em proporções bem maiores, a incidência de ravinas aumentou em 35,5%.

Os impactos negativos que o plantio de algumas culturas temporárias causa na qualidade dos solos não é novidade, já tendo sido enfatizados por autores como Lepsch (2010) e Moura-Bueno et al. (2018). As culturas temporárias tornam os solos mais propensos à erosão em função da necessidade de revolvimento constante do solo, deixando-o exposto em determinados períodos do ano (LEPSCH, 2010; NACHTIGALL et al., 2020). Assim, a combinação de usos temporários com solos de natureza frágil, clima chuvoso e ausência de práticas conservacionistas (FLACH, 2018; PRESTES, 2018), culmina na intensificação dos processos erosivos acelerados.

Com valores de ocorrência de feições erosivas lineares tão destoantes das demais coberturas e usos da terra, as culturas temporárias demonstram ser, entre todas as variáveis abordadas no estudo, aquela que mais influenciou nas perdas de solo, da mesma forma como constatado nos estudos de Endres et al. (2006) e de Boumanns et al. (2010). Na área de estudo, a influência da declividade no desenvolvimento das feições erosivas lineares acaba sendo encoberta pela generalizada fragilidade dos solos, característica que propicia o surgimento das feições mesmo em áreas menos declivosas.

As Tabelas 1 e 2 demonstram, em termos de distribuição em área (%), as principais características físicas e antrópicas que promoveram o desenvolvimento de feições erosivas lineares.

Tabela 1 - Alto curso da bacia hidrográfica do Arroio Quilombo (RS): Combinações de elementos que propiciaram a ocorrência de sulcos em área superior a 100 m<sup>2</sup>, 2010 e 2016.

<b>Sulcos</b>			
<b>2010</b>			
<b>Solo</b>	<b>Declividade</b>	<b>Uso da terra</b>	<b>Área ocupada (m<sup>2</sup>)</b>
Neossolo Regolítico	6 - 12%	Cultura temporária	894,69
Neossolo Regolítico	12 - 20%	Cultura temporária	826,26
Neossolo Litólico	12 - 20%	Cultura temporária	743,11
Neossolo Regolítico	0 - 6%	Cultura temporária	632,13
Argissolo Bruno-Acinzentado	6 - 12%	Cultura temporária	509,26

Neossolo Litólico	20 - 30%	Cultura temporária	490,37
Neossolo Regolítico	20 - 30%	Cultura temporária	473,78
Neossolo Litólico	6 - 12%	Cultura temporária	455,43
Argissolo Bruno-Acinzentado	12 - 20%	Cultura temporária	451,13
Neossolo Litólico	> 30%	Cultura temporária	438,76
Argissolo Bruno-Acinzentado	20 - 30%	Cultura temporária	302,43
Neossolo Litólico	0 - 6%	Cultura temporária	251,88
Neossolo Regolítico	> 30%	Cultura temporária	216,26
Argissolo Bruno-Acinzentado	0 - 6%	Cultura temporária	207,72
Neossolo Regolítico	0 - 6%	Pastagem	206,80
Argissolo Bruno-Acinzentado	> 30%	Cultura temporária	157,05
<b>Total</b>			<b>7257,06</b>
<b>2016</b>			
<b>Solo</b>	<b>Declividade</b>	<b>Uso da terra</b>	<b>Área ocupada (m<sup>2</sup>)</b>
Neossolo Regolítico	6 - 12%	Cultura temporária	704,29
Neossolo Regolítico	12 - 20%	Cultura temporária	675,10
Neossolo Regolítico	0 - 6%	Cultura temporária	430,70
Neossolo Litólico	12 - 20%	Cultura temporária	403,40
Neossolo Litólico	6 - 12%	Cultura temporária	340,66
Argissolo Bruno-Acinzentado	6 - 12%	Cultura temporária	320,64
Neossolo Regolítico	20 - 30%	Cultura temporária	315,57
Argissolo Bruno-Acinzentado	12 - 20%	Cultura temporária	299,67
Neossolo Litólico	20 - 30%	Cultura temporária	298,82
Neossolo Regolítico	> 30%	Cultura temporária	277,53
Neossolo Litólico	> 30%	Cultura temporária	248,89
<b>Total</b>			<b>4811,29</b>

Elaboração - os autores, 2022.

Em 2010, 97% dos sulcos de maior representatividade espacial foram observados em culturas temporárias, com cerca de 80% destes se situando em áreas de Neossolos. A partir destes dados, a elevada erodibilidade dos solos locais é reafirmada; com relação à declividade, a distribuição relativamente equilibrada leva ao entendimento de que, como já visto, as áreas mais suscetíveis à erosão são menos utilizadas e aquelas mais planas são usadas intensamente, o que acaba aproximando os índices de desenvolvimento de feições erosivas lineares em ambas e até mesmo fazendo com que as áreas menos declivosas possuam maior quantidade de sulcos, dado que a fragilidade dos solos é constante; com relação aos usos, as culturas temporárias imperam.

Já em 2016, 100% dos sulcos erosivos foram observados junto às culturas temporárias, sendo que destes, 87% se encontravam em Neossolos. Assim, no cenário de 2016, verifica-se a continuidade da relação entre os sulcos e os cultivos temporários, bem como a manutenção da predominância destas feições junto aos Neossolos. A presença das culturas temporárias em todas as classes de declividade demonstra o contínuo avanço das áreas destinadas a este uso.

Tabela 2 - Alto curso da bacia hidrográfica do Arroio Quilombo (RS): Combinações de elementos que propiciaram a ocorrência de ravinas em área superior a 50 m<sup>2</sup>, 2010 e 2016

<b>Ravinas</b>			
<b>2010</b>			
<b>Solo</b>	<b>Declividade</b>	<b>Uso da terra</b>	<b>Área ocupada (m<sup>2</sup>)</b>
Neossolo Regolítico	0 - 6%	Pastagem	499,28
Neossolo Regolítico	12 - 20%	Cultura temporária	354,85
Neossolo Litólico	20 - 30%	Cultura temporária	292,53
Neossolo Litólico	12 - 20%	Cultura temporária	225,38
Neossolo Regolítico	6 - 12%	Cultura temporária	176,41
Neossolo Regolítico	12 - 20%	Pastagem	144,38
Neossolo Regolítico	0 - 6%	Cultura temporária	96,74
Neossolo Regolítico	6 - 12%	Pastagem	92,42
Neossolo Litólico	> 30%	Cultura temporária	87,65
Neossolo Litólico	6 - 12%	Cultura temporária	67,31
Neossolo Regolítico	20 - 30%	Cultura temporária	64,57
Argissolo Bruno-Acinzentado	0 - 6%	Cultura temporária	51,60
<b>Total</b>			<b>2153,11</b>
<b>2016</b>			
<b>Solo</b>	<b>Declividade</b>	<b>Uso da terra</b>	<b>Área ocupada (m<sup>2</sup>)</b>
Neossolo Regolítico	6 - 12%	Cultura temporária	1968,25
Neossolo Regolítico	12 - 20%	Cultura temporária	1573,74
Neossolo Regolítico	0 - 6%	Cultura temporária	1307,17
Neossolo Regolítico	20 - 30%	Cultura temporária	1140,73
Neossolo Litólico	0 - 6%	Cultura temporária	740,31
Neossolo Litólico	6 - 12%	Cultura temporária	629,02
Neossolo Litólico	20 - 30%	Cultura temporária	590,07
Argissolo Bruno-Acinzentado	12 - 20%	Cultura temporária	573,14
Neossolo Litólico	12 - 20%	Cultura temporária	503,89
Neossolo Litólico	> 30%	Cultura temporária	453,27
Neossolo Regolítico	0 - 6%	Pastagem	451,49
Neossolo Regolítico	> 30%	Cultura temporária	410,92
Argissolo Bruno-Acinzentado	0 - 6%	Cultura temporária	257,19
Argissolo Bruno-Acinzentado	20 - 30%	Cultura temporária	245,30
Argissolo Bruno-Acinzentado	6 - 12%	Cultura temporária	211,17
Neossolo Regolítico	6 - 12%	Pastagem	191,82
Neossolo Regolítico	12 - 20%	Cultura permanente	95,28
Neossolo Litólico	6 - 12%	Cobertura florestal	80,96
Neossolo Regolítico	12 - 20%	Pastagem	70,56
Neossolo Litólico	12 - 20%	Cobertura florestal	65,79
Neossolo Regolítico	12 - 20%	Cobertura florestal	59,47
Neossolo Regolítico	6 - 12%	Cultura permanente	58,96
<b>Total</b>			<b>11678,50</b>

Elaboração - os autores, 2022.

Quanto às ravinas de maior representatividade espacial mapeadas em 2010, 34% foram observadas junto às áreas de pastagem e 66% junto às culturas temporárias, sendo 98% ocorrentes em Neossolos. A elevada ocorrência de ravinas em áreas de culturas temporárias já era prevista face a menor proteção que essas culturas fornecem aos solos. Contudo, destaca-se que é o uso da terra como pastagem que compõe a agregação de elementos que apresentou maior área de presença de ravinamentos, o que é consequência da geração de caminhos preferenciais e da compactação do solo decorrentes do pisoteio animal, conforme verificado por Flach, Alves e Meurer (2020) na área de estudo e por Stefanuto e Lupinacci (2019), no estado de São Paulo.

Como visto anteriormente, as ravinas tiveram um acréscimo significativo entre os dois cenários analisados, o que reflete nas 22 associações com área de ocorrência maior do que 50 m<sup>2</sup> para o cenário de 2016. A quase totalidade das ravinas (91%) foram observadas em culturas temporárias, as quais foram predominantes sobre Neossolos. Apenas 6% das feições foram encontradas em áreas de pastagem. Estes números vão ao encontro da expansão das áreas destinadas às culturas temporárias, de modo que a menor proteção concedida por estas culturas aos solos favorece o aprofundamento e a expansão de feições erosivas lineares já existentes, gerando os ravinamentos.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Especialmente nos últimos anos, o bioma Pampa vem passando por um intenso processo de supressão de sua principal cobertura vegetal nativa: a vegetação campestre, que caracteriza os campos sulinos. Entre os anos de 2010 e de 2016, o alto curso da bacia hidrográfica do Arroio Quilombo apresentou uma redução de quase metade dos seus campos nativos. Contudo, não somente a classe campestre teve sua abrangência espacial diminuída, haja vista que se verificou uma redução generalizada de várias coberturas e usos, motivada pela expansão das coberturas florestais, das áreas descobertas e, destacadamente, das culturas temporárias, com ênfase à fumicultura.

As consequências das mudanças na dinâmica de cobertura e uso da terra não incidiram somente sobre a biodiversidade pampeana em âmbito local, mas causaram impactos diretos nos solos do ACBHAQ. Através de uma análise integrada dos elementos físico-naturais da área de estudo com as atividades antrópicas nela desenvolvidas, constatou-se que a variação espaço-temporal das coberturas e dos usos da terra proporcionou um estímulo ao desenvolvimento dos processos erosivos lineares decorrentes da erosão hídrica, muito em função da fragilidade geral dos solos presentes na área.

Ainda que a erosão do solo e, mais especificamente, o desenvolvimento de feições erosivas lineares, seja resultado de vários fatores que atuam de maneira conjunta, a presente pesquisa evidenciou o incremento em área dos cultivos temporários como o elemento central para o surgimento e o desenvolvimento das feições, uma vez que: a espacialização das feições erosivas sobre o plano de informação dos solos refletiu a própria abrangência de cada tipo de solo na bacia; e a intersecção com o plano de informação da declividade não apresentou nenhum padrão que indique que determinada classe de declividade possui maior tendência ao desenvolvimento destas feições – a não ser o fato de que as feições tendem a se aprofundar e se expandir em áreas mais declivosas.

Considerando-se a orientação histórica do uso e ocupação do Pampa à supressão dos campos nativos, por motivos econômicos, com vistas predominantemente ao aumento das áreas agrícolas, é muito difícil projetar uma alteração radical nesta lógica, essencialmente pela inexistência de uma legislação que proteja especificamente as áreas campestres. De qualquer forma, qualquer tipo de expansão dos cultivos deve ser o mais racional possível, de modo a verificar quais são os locais onde possíveis avanços da fronteira agrícola causam o menor impacto no ambiente, com ênfase aos solos.

O estado do Rio Grande do Sul possui uma forte vocação agrícola, mas caso os solos não sejam conservados, a própria produção poderá ser afetada. Portanto, falar da conservação dos solos pampeanos vai muito além de uma questão puramente ambiental, uma vez que os impactos – positivos ou negativos – estarão diretamente ligados à economia, tanto em âmbito local, como estadual e nacional.

Em função de o território da Serra dos Tapes carregar um importante processo histórico e cultural que se manifesta na configuração atual de ocupação e uso da terra, marcada pelo predomínio da agricultura familiar, devem ser adotadas medidas de conservação dos solos por parte dos produtores, bem como deve ser realizada a recuperação das áreas degradadas, o que seria de grande valia para

a manutenção econômica e social desta parte do bioma Pampa, em especial das áreas de maiores declividades bem como daquelas já intensamente utilizadas e amplamente erodidas.

Futuramente, devem ser desenvolvidas pesquisas que analisem também a dinâmica da erosão laminar, a fim de se obter um panorama mais completo da evolução dos processos erosivos resultantes das mudanças de uso da terra que a área de estudo vem sofrendo. O ideal, contudo, seria expandir a abrangência espaço-temporal da pesquisa, com os mapeamentos das feições erosivas lineares e da erosão laminar ampliados para o Pampa como um todo e para um recorte temporal mais amplo.

## AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS) (Edital ARD 01/2017) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) (Edital Universal/2018).

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA FILHO, G. S. de; GAMA JÚNIOR, G. F. de C. Processos erosivos hídricos lineares dos tipos ravina e boçoroca. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL, 16., 2018, São Paulo. **Anais [...]**. São Paulo: CBGE, 2018. Disponível em: <http://www.schenautomacao.com.br/cbge/anais/trabalhos.php>. Acesso em: 16 fev. 2022.
- AMARAL, C. M.; MARTINS, R. A. Breve análise conceitual de erosão e movimento de massa. In: SIMPÓSIO DE GESTÃO AMBIENTAL E BIODIVERSIDADE, 7., 2018. **Anais [...]** Três Rios: UFRRJ, 2018. Disponível em: <https://itr.ufrj.br/sigabi/7o-anais-simposio-de-gestao-ambiental-e-biodiversidade-issn-2525-4928/>. Acesso em: 22 fev. 2022.
- AFUBRA – Associação dos Fumicultores do Brasil. **Fumicultura no Brasil**. Santa Cruz do Sul: Afubra, [2019]. Disponível em: <https://afubra.com.br/fumicultura-brasil.html>. Acesso em: 11 fev. 2020.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. São Paulo: Ícone, 2010. 360 p.
- BOUMANN, R. et al. Modelagem Dinâmica do Uso e Cobertura das Terras para o Controle da Erosão na Bacia Hidrográfica do Rio Mogi-Guaçu e Pardo - São Paulo -Brasil. **Revibec: revista de la Red Iberoamericana de Economía Ecológica**, v. 14, p. 01-12, 2010.
- BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. Porto Alegre: Bookman Editora, 2013.
- BRASIL. **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Brasília: Presidência da República, 2012. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm). Acesso em: 03 nov. 2021.
- CARAMINAN, L. M.; MORAIS, E. S. de. Explorando a álgebra de mapas com a EUPS e a sua utilidade para a gestão integrada: a bacia hidrográfica do córrego Pindaúva, PR, Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 23, n. 1, p. 117-122, 2022. <https://doi.org/10.20502/rbg.v23i1.2034>
- CHAPLOT, V. et al. Spatial and temporal assessment of linear erosion in catchments under sloping lands of northern Laos. **Catena**, v. 63, n. 2-3, p. 167-184, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2005.06.003>
- CHRISTOFOLETTI, A. Caracterização do Sistema Ambiental. In: CHRISTOFOLETTI, A. **A Modelagem de Sistemas Ambientais**. São Paulo: Edgard Blucher, 1999. Cap. 3, p. 35-50.
- COELHO NETTO, A. L. Hidrologia de encosta na interface com a geomorfologia. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (orgs.). **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. 7.ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007. p. 105-126.
- CONTINI, E.; ARAGÃO, A. **O Agro Brasileiro alimenta 800 milhões de pessoas**. Online. 2021. Disponível em: <https://neomundo.org.br/2021/02/26/o-agro-brasileiro-alimenta-800-milhoes-de-pessoas/>. Acesso em: 21 fev. 2022.

- CORATZA, P.; PARENTI, C. Controlling factors of badland morphological changes in the Emilia Apennines (Northern Italy). **Water**, v. 13, n. 4, p. 1-19, 2021. <https://doi.org/10.3390/w13040539>
- CUNHA, A. S. da; DOMÍNGUEZ, A.; HILLIG, C. Os modelos de produção no campo e o estado neoliberal no Pampa gaúcho e uruguaio. **Revista OKARA: Geografia em debate**, v. 13, n. 2, p. 316-337, 2019. <https://doi.org/10.22478/ufpb.1982-3878.2019v13n2.40630>
- DANIEL, E.; VIEIRA, B. C. A evolução das feições erosivas da Bacia do Córrego Espreado, São Pedro (SP). **Boletim Goiano de Geografia**, v. 35, n. 2, p. 321-337, 2015. <https://doi.org/10.5216/bgg.v35i2.37435>
- DECHEN, S. C. F. et al. Perdas e custos associados à erosão hídrica em função de taxas de cobertura do solo. **Bragantia**, v. 74, p. 224-233, 2015. <https://doi.org/10.1590/1678-4499.0363>
- DUBE, H. B. et al. A global analysis of the morphology of linear erosion features. **Catena**, v. 190, p. 1-12, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104542>
- DUTRA, E. J. da S. **A fumicultura no Passo dos Oliveiras, Canguçu-RS**: Consequências na reorganização do setor agrário. 2010. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2010.
- \_\_\_\_\_. A cadeia produtiva do tabaco na região sul do Brasil: perspectivas e horizontes. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE DESENVOLVIMENTO REGIONAL, 6. 2013. **Anais [...]** Santa Cruz do Sul: UNISC, 2013. Disponível em: <https://www.unisc.br/site/sidr/pages/anais.html?#>. Acesso em: 20 fev. 2022.
- \_\_\_\_\_. **Mapeamento geomorfológico da área de influência do Escudo Sul-Rio-Grandense no município de Pelotas/RS**. 2016. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2016.
- ECHER, R. et al. Usos da terra e ameaças para a conservação da biodiversidade no bioma Pampa, Rio Grande do Sul. **Revista Thema**, Pelotas, v. 12, n. 2, p. 4-13, 2015. <https://doi.org/10.15536/thema.12.2015.4-13.318>
- ENDRES, P. F. et al. Quantificação das classes de erosão por tipo de uso do solo no município de Franca-SP. **Engenharia Agrícola**, v. 26, n. 1, p. 200-207, 2006. <https://doi.org/10.1590/S0100-69162006000100022>
- ESPINDOLA, S. C. **Análise da lucratividade do tabaco em economia familiar**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Contábeis) – Universidade de Santa Cruz do Sul, Santa Cruz do Sul, 2019.
- FANG, H.; FAN, Z. Assessment of Soil Erosion at Multiple Spatial Scales Following Land Use Changes in 1980–2017 in the Black Soil Region, (NE) China. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 17, n. 20, p. 1-19, 2020. <https://doi.org/10.3390/ijerph17207378>
- FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Status of the World's soil resources**. 2015. Disponível em: <https://www.fao.org/documents/card/en/c/c6814873-efc3-41db-b7d3-2081a10ede50/>. Acesso em: 16 de mar. 2022.
- FEE – Fundação de Economia e Estatística. **DEEDADOS**. Online. Disponível em: <http://feedados.fee.tche.br/feedados/>. Acesso em: 10 mar. 2022.
- FEPAM – Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luis Roessler. **Zoneamento Ambiental para a Atividade de Silvicultura no RS**. Online. Disponível em: [http://www.fepam.rs.gov.br/biblioteca/zoneam\\_silvic.asp](http://www.fepam.rs.gov.br/biblioteca/zoneam_silvic.asp). Acesso em: 15 fev. 2022.
- FLACH, C. W. **Esboço fotopedológico, análise morfológica e de degradação dos solos no alto curso da bacia hidrográfica do Arroio Quilombo**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geografia) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2018. <https://doi.org/10.14393/RCG217348139>
- FLACH, C. W.; ALVES, E. A. C.; MEURER, M. Taxa de infiltração da água e resistência mecânica à penetração em solos submetidos a diferentes usos na região da Serra de Sudeste/RS. **Revista Caminhos de Geografia**, v. 21, n. 73, p. 223-242, 2020.
- GALEANO, E. **As veias abertas da América Latina**. Porto Alegre: L&PM, 2014.
- GAÚCHA ZH. **Pampa gaúcho sofreu desmate de 44%, aponta novo monitoramento do Inpe**. Online. 2019. Disponível em: <https://gauchazh.clicrbs.com.br/geral/noticia/2019/06/pampa-gaucha->

sofreu-desmame-de-44-aponta-novo-monitoramento-do-inpe-cjwja5enq02mw01mcq9y2e3pf.html. Acesso em: 09 nov. 2021.

GOOGLE. **Google Earth website**. <http://earth.google.com/>. 2010.

\_\_\_\_\_. **Google Earth website**. <http://earth.google.com/>. 2016.

\_\_\_\_\_. **Google Earth website**. <http://earth.google.com/>. Plugin HCMGIS, 2022.

GRANDO, M. Z. **Pequena Agricultura em Crise**: o caso da colônia francesa no Rio Grande do Sul. Porto Alegre: Fundação de Economia e Estatística, 1989.

GUERRA, A. J. T.; JORGE, M. do C. O. (orgs.). **Degradação dos solos no Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2014.

GUERRA, A. J. T.; MENDONÇA, J. K. S. Erosão dos Solos e a Questão Ambiental. In: VITTE, A. C.; GUERRA, A. J. T. **Reflexões sobre a Geografia Física no Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2012. p. 226-256

HAESBAERT, R.; PORTO-GONÇALVES, C. W. A des-ordem ambiental planetária. In: HAESBAERT, R.; PORTO-GONÇALVES C. W. **A nova des-ordem mundial**. São Paulo: Editora UNESP, 2006. Cap. 5, p. 105-129.

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

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapa de Biomas do Brasil**. IBGE, 2004. Online. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/informacoes-ambientais/15842-biomas.html?=&t=downloads>. Acesso em: 12 fev. 2022.

\_\_\_\_\_. **Manual Técnico de Pedologia**. 2 ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2007.

\_\_\_\_\_. **Municípios do Rio Grande do Sul**. IBGE, 2021. Online. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html?=&t=downloads>. Acesso em: 15 jan. 2022.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. **Special report on Climate Change and Land**. 2019. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/srcl>. Acesso em: 16 de mar. 2022. <https://doi.org/10.1017/9781009157988>

KERNISKI, M. M.; CUNHA, M. C. Estradas rurais e os impactos em bacias hidrográficas gerados pela sua implantação e manutenção. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 17., 2017, Campinas. **Anais** [...]. Campinas: UNICAMP, 2017. Disponível em: <https://ocs.ige.unicamp.br/ojs/sbgfa/article/view/1810>. Acesso em: 29 jan. 2022. <https://doi.org/10.20396/sbgfa.v1i2017.1810>

KNIERIN, I. da S.; TRENTIN, R.; ROBAINA, L. E. de S. Relação dos processos erosivos lineares com os atributos do relevo no município de Unistalda-RS. **Geo UERJ**, n. 32, p. 1-22, 2018. <https://doi.org/10.12957/geouerj.2018.23397>

KOSOLAPOV, V. M. et al. The Role Of Perennial Grasses In The Protection Of Soil Resources Of Erosive Ecosystems With Active Development Of Linear Erosion. In: **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**. IOP Publishing, 2021. p. 1-7. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/901/1/012007>

KUPLICH, T. M.; CAPOANE, V.; COSTA, L. F. F. O avanço da soja no bioma Pampa. **Boletim Geográfico do Rio Grande do Sul**, Porto Alegre, n. 31, p. 83- 100, 2018.

LEITE, O. da C.; ORLANDO, P. H. K.; VIOLA, M. R. Mapeamento de feições erosivas lineares em Três Ranchos (GO). **Espaço em Revista**, v. 18, n. 2, p. 100-110, 2016.

LEPSCH, I. F. **Formação e Conservação dos Solos**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

LOHMANN, M.; SANTOS, L. J. C. A morfopedologia aplicada à compreensão dos processos erosivos na bacia hidrográfica do Arroio Guassupi, São Pedro do Sul–RS. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 6, n. 2, 2005. <https://doi.org/10.20502/rbg.v6i2.55>

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Agropecuária brasileira em números**. Online. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/politica-agricola/todas-publicacoes-de-politica-agricola/agropecuaria-brasileira-em-numeros/abn-02-2022.pdf/view>. Acesso em: 05 mar. 2022.

- MAQSOOM, A. et al. Geospatial assessment of soil erosion intensity and sediment yield using the revised universal soil loss equation (RUSLE) model. **ISPRS - International Journal of Geo-Information**, v. 9, n. 6, p. 356, 2020. <https://doi.org/10.3390/ijgi9060356>
- MARCATTO, F. S.; SILVEIRA, H. Relação entre as propriedades físicas e hídricas e os tipos de uso da terra em Neossolos Regolíticos da bacia hidrográfica do rio Pirapó-PR. **Caderno de Geografia**, v. 27, n. 50, p. 427-440, 2017. <https://doi.org/10.5752/p.2318-2962.2017v27n50p427>
- MCCOOL, D. K. et al. The revised universal soil loss equation. In: **Department of Defense/Interagency workshop on Technologies to address soil erosion on Department of Defense Lands San Antonio, TX**. 1995. 9p.
- MEDEIROS, P. S. C. de et al. Caracterização de Neossolos Litólicos e Neossolos Regolíticos do RS e análise do seu potencial agrícola. In: **Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**. 2007.
- MENGUE, V. P. et al. Detecção de mudanças espaciais relacionadas à expansão da fronteira agrícola no Bioma Pampa. **Revista Brasileira de Cartografia**, Uberlândia, v. 70 n. 1, p. 40-70, 2018. <https://doi.org/10.14393/rbcv70n1-45189>
- MESSAGER, E. et al. Two millennia of complexity and variability in a peri-alpine socioecological system (Savoie, France): the contribution of palynology and seda DNA analysis. **Frontiers in Ecology and Evolution**, p. 343, 2022. <https://doi.org/10.3389/fevo.2022.866781>
- MIGUEL, P. et al. Mapeamento da erodibilidade e erosão potencial do solo em uma bacia hidrográfica de encosta. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 26, p. 01-09, 2021. <https://doi.org/10.1590/s1413-415220190235>
- MILAZZO, F. et al. The resilience of soil erosion rates under historical land use change in agroecosystems of Southern Spain. **Science of The Total Environment**, v. 822, p. 153672, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153672>
- MOREIRA, F. M. S. et al. **O ecossistema solo**. Lavras: UFLA, 2013. <https://doi.org/10.24927/rce2013.075>
- MOREIRA, J. G. **Transformações produtivas no Pampa brasileiro: as mudanças na bovinocultura de corte diante do avanço da soja**. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Rural) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019.
- MOURA-BUENO, J. M. et al. Erosão em áreas de encosta com solos frágeis e sua relação com a cobertura do solo. **Scientia Agraria**, v. 19, n. 1, p. 102-112, 2018. <https://doi.org/10.5380/rsa.v19i1.53738>
- NACHTIGALL, S. D. et al. Modelagem espacial da erosão hídrica do solo associada à sazonalidade agroclimática na região sul do Rio Grande do Sul, Brasil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 25, p. 933-946, 2020. <https://doi.org/10.1590/s1413-4152202020190136>
- NEVES, E. H. das. **Análise da degradação ambiental da bacia hidrográfica do Arroio Pelotas-RS, através do diagnóstico físico-conservacionista (DFC)**. 2012. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.
- OLIVEIRA, C. V. de. **Análise de mudanças da cobertura e uso do solo no Bioma Pampa com matrizes de transição**. 2020. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2020.
- OVERBECK, G. E. et al. Brazil's neglected biome: The South Brazilian Campos. **Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics** v.9, p. 101-116, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.ppees.2007.07.005>
- PAGANOTTO, V. D. et al. Adequabilidade da ocupação espacial da Alta Bacia do Arroio Quilombo (Pelotas/RS) às classes de capacidade de uso da terra. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 12., 2018, Crato. **Anais** [...]. Crato: SINAGEO, 2018. Disponível em: <http://www.sinageo.org.br/2018/trabalhos/10/10-277-161.html>. Acesso em: 10 fev. 2020.
- PAMPALONE, V.; FERRO, V. Estimating soil loss of given return period by USLE-M-type models. **Hydrological Processes**, v. 34, n. 11, p. 2324-2336, 2020. <https://doi.org/10.1002/hyp.13730>
- PANAGOS, P. et al. Projections of soil loss by water erosion in Europe by 2050. **Environmental Science & Policy**, v. 124, p. 380-392, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2021.07.012>
- PINTON, L. de G.; CUNHA, C. M. L. Avaliação da dinâmica dos processos erosivos lineares e sua relação com a evolução do uso da terra. **Geociências**, v. 27, n. 3, p. 329-343, 2008.

- PRESS, F. et al. **Para Entender a Terra**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.
- PRESTES, V. **Erosão hídrica e uso da terra no alto curso do Arroio Quilombo por meio da Equação Universal de Perdas de Solos – EUPS**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geografia) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2018.
- PROJETO MAPBIOMAS. **Coleção 6 da Série Anual de Mapas de Uso e Cobertura da Terra do Brasil**. Online. 2021. Disponível em: <https://plataforma.brasil.mapbiomas.org/>. Acesso em: 09 nov. 2021.
- PUGLIESI, A. C. V. et al. Valoração econômica do efeito da erosão em sistemas de manejo do solo empregando o método custo de reposição. **Bragantia**, v. 70, p. 113-121, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0006-87052011000100017>
- RADEMANN, L. K.; TRENTIN, R.; ROBAINA, L. E. de S. Relação das variáveis ambientais com os processos erosivos no município de Cacequi, Rio Grande do Sul. **Revista Georaguaiá**, v. 8, n. 2, 2018. <https://doi.org/10.20396/sbgfa.v1i2017.2575>
- RIBEIRO, S. et al. Protected Areas of the Pampa biome presented land use incompatible with conservation purposes. **Journal of Land Use Science**, v. 16, n. 3, p. 260-272, 2021. <https://doi.org/10.1080/1747423X.2021.1934134>
- RIO GRANDE DO SUL. **Zoneamento ambiental da silvicultura**. v. 2. Porto Alegre: SECRETARIA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE, 2010.
- ROLIM, R. G.; ROSENFELD, M. F.; OVERBECK, G. E. Are we ready to restore South Brazilian grasslands? Plant material and legal requirements for restoration and plant production. **Acta Botanica Brasilica**, v. 36, 2022. <https://doi.org/10.1590/0102-33062021abb0155>
- ROSSATTO, M. S. **Os climas do Rio Grande do Sul: variabilidade, tendências e tipologia**. 2011. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.
- RUTZ, E. C. **Análise histórica das enxurradas no município de Pelotas e as consequências da enxurrada de 2009 na bacia hidrográfica do Arroio Quilombo, Pelotas/RS**. 2015. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2015.
- SALAMONI, G. et al. **A Geografia da Serra dos Tapes: natureza, sociedade e paisagem**. Pelotas: Editora UFPel, 2021. 140 p.
- SALAMONI, G.; WASKIEVICZ, C. A. Serra dos Tapes: espaço, sociedade e natureza. **TESSITURAS: Revista de Antropologia e Arqueologia**, v. 1, n. 1, p. 73-100, 2013.
- SALGADO, C. M. et al. Análise Espaço-Temporal da Erosão Linear no Médio-Baixo Vale do Ribeirão do Secretário (Paty do Alferes/RJ). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 9, n. 1, p. 75-85, 2008. <https://doi.org/10.20502/rbg.v9i1.103>
- SANEP – Serviço Autônomo de Saneamento de Pelotas. **Sistema de captação**. Online. 2021. Disponível em: <https://portal.sanep.com.br/agua/sistema-captacao>. Acesso em: 26 fev. 2022.
- SANTOS, S.; SILVA, L. G. da. Mapeamento por imagens de sensoriamento remoto evidencia o bioma Pampa brasileiro sob ameaça. **Boletim de Geografia**, v. 29, n. 2, p. 49-57, 2011. <https://doi.org/10.4025/bolgeogr.v29i2.12366>
- SICSÚ, A. B. et al. Fronteiras agrícolas no Brasil: a lógica de sua ocupação recente. **Nova Economia**, v. 10, n. 1, p. 109-138, 2000.
- SILVA, D. C. da C. et al. Identificação de áreas com perda de solo acima do tolerável usando NDVI para o cálculo do fator C da USLE. **Raega-O Espaço Geográfico em Análise**, v. 42, p. 72-85, 2017. <https://doi.org/10.5380/raega.v42i0.45524>
- SILVA, M. D. da. Bioma pampa, um sistema ameaçado. **Revista Floresta**, Paraná, v. 42, n. 1, p. 215-226, 2012.
- SOMMER, J.; SALDANHA, D. Análise Temporal do Uso e Cobertura dos Solos no Município de São José dos Ausentes, Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 1, n.1, p. 18-32, 2012. <https://doi.org/10.26848/rbqf.v5i1.232749>
- SPÖRL, C.; ROSS, J. L. S. Análise comparativa da fragilidade ambiental com aplicação de três modelos. **GEOUSP-Espaço e Tempo**, v. 15, n. 1, p. 39-49, 2004.

- STEFANUTO, E. B.; LUPINACCI, C. M. Avaliação das características ambientais de ocorrências das feições erosivas lineares nos limites depressão-cuesta-Analândia (SP). **Caminhos de Geografia**, v. 20, n. 70, p. 367–384, 2019. <https://doi.org/10.14393/RCG207043159>
- TARTARI, D. T. et al. Perda de solo e água por erosão hídrica em Argissolo sob diferentes densidades de cobertura vegetal. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 7, n. 3, p. 85-93, 2012.
- TAVARES, M. A. dos R. et al. Capacidade de uso da terra e abatimento de erosão hídrica em propriedades agrícolas do sul do Rio Grande do Sul. **Científica**, v. 48, n. 4, p. 374-385, 2020. <https://doi.org/10.15361/1984-5529.2020v48n4p374-385>
- VENTURI, L. A. B. Recurso Natural: a construção de um conceito. **GEOUSP - Espaço e Tempo**, v. 10, n. 1, p. 09-17, 2006. <https://doi.org/10.11606/issn.2179-0892.geousp.2006.74004>
- VERDUM, R.; STRECK, E. V.; VIEIRA, L. de F. dos S. Degradação dos solos no Rio Grande do Sul. In: GUERRA, A. J. T.; JORGE, M. do C. O. **Degradação dos solos no Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2014. p. 87-121.
- VIEL, J. A.; ROSA, K. K. da; HOFF, R. Estudo da erosão superficial do solo por meio de SIG na região da denominação de origem Vale dos Vinhedos (Brasil). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 18, n. 3, p. 521-533, 2017. <https://doi.org/10.20502/rbg.v18i3.1197>
- WILLIAMS, J. R. Sediment-yield prediction with universal equation using runoff energy factor. **Present and prospective technology for predicting sediment yield and sources**. v. 40, p. 244, 1975.
- WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning**. Department of Agriculture, Science and Education Administration, 1978.
- ZANATTA, F. A. S.; LUPINACCI, C. M.; BOIN, M. N. Morfometria do relevo e dinâmica erosiva linear em área rural degradada no oeste paulista. **Raega - O Espaço Geográfico em Análise**, v. 41, p. 82-97, 2017. <https://doi.org/10.5380/raega.v41i0.49280>
- ZANATTA, F. A. S.; LUPINACCI, C. M.; BOIN, M. N. O uso da terra e alterações do relevo na alta bacia do ribeirão Areia Dourada, Marabá Paulista (SP): um estudo a partir de princípios da antropogeomorfologia. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 16, n. 1, 2015. <https://doi.org/10.20502/rbg.v16i1.560>
- ZAPPE, A. L. **A produção agrícola de tabaco (*Nicotiana Tabacum*) brasileira através da perspectiva de avaliação de ciclo de vida**. 2020. Tese (Doutorado em Tecnologia Ambiental) – Universidade de Santa Cruz do Sul, Santa Cruz do Sul, 2020.
- ZHOU, P. et al. Effect of vegetation cover on soil erosion in a mountainous watershed. **Catena**, v. 75, n. 3, p. 319-325, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2008.07.010>

Recebido em: 11/07/2022

Aceito para publicação em: 31/10/2022