

FRAGILIDADE AMBIENTAL E VULNERABILIDADE À PERDA DE SOLOS NO MUNICÍPIO DE PELOTAS/RS: APLICAÇÃO E COMPARAÇÃO DE MODELOS

Solange Otte Nörnberg

Universidade Federal de Pelotas, Instituto de Ciências Humanas
Programa de Pós-Graduação em Geografia, RS, Brasil
solangenornberg2@gmail.com

Moisés Ortemar Rehbein

Universidade Federal de Pelotas, Instituto de Ciências Humanas
Programa de Pós-Graduação em Geografia, RS, Brasil
moises.rehbein@ufpel.edu.br

RESUMO

A intensificação da erosão pela ação antrópica resulta em prejuízos ambientais, sociais e econômicos e pode ser mitigada pela planificação do uso do solo, orientada por modelos preditivos. Nesta premissa, o objetivo deste trabalho é aplicar e comparar modelos de fragilidade ambiental e de vulnerabilidade à perda de solos para área do município de Pelotas/RS. A pesquisa se desenvolve pela obtenção e sobreposição, a partir de materiais e técnicas de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento, de planos de informações da geologia, geomorfologia, hipsometria, declividade, pedologia e cobertura e uso da terra. O modelo de fragilidade ambiental classificou a área do município em cinco classes (de muito fraca a muito forte fragilidade) e o de vulnerabilidade à perda de solos em três classes (de moderadamente estável a moderadamente vulnerável). As classes de semelhante nível hierárquico entre os modelos equivalem a 30,83% da área do município e as de diferentes níveis a 59,17%, o que embasa e, ao mesmo tempo, sugere a formulação de um modelo qualitativo ponderado e adequado às particularidades físico-ambientais e de cobertura e uso da terra para área do município e região.

Palavras-chave: Sensoriamento Remoto. Geoprocessamento. Uso e cobertura da terra.

ENVIRONMENTAL FRAGILITY AND VULNERABILITY TO THE LOSS OF SOILS IN THE MUNICIPALITY OF PELOTAS/RS: APPLICATION AND COMPARISON OF MODELS

ABSTRACT

The intensification of erosion by anthropic action results in environmental, social and economic damages and can be mitigated by the planification of the soil use, guided by predictive models. In this premise, the goal of this work is to apply and compare models of environmental fragility and vulnerability to the loss of soils for the municipality of Pelotas/RS area. The research is developed by the obtainment and superposition, from materials and technics of Remote Sensing and Geoprocessing, geology information plans, geomorphology, hypsometry, declivity, pedology and use and cover land. The environmental fragility model classified the municipality area in five classes (from very weak to very strong fragility) and the vulnerability to the soil losses into three classes (from moderately stable to moderately vulnerable). The classes of similar hierarquical level between the models are equivalent to 30,83% of the municipality area and those of different levels to 59,17%, what bases and, at the same time, suggests the formulation of a weighted qualitative model and appropriate to the physical-environmental peculiarities and the use and cover land for the municipality and region area.

Keywords: Remote Sensing. Geoprocessing. Use and land cover.

INTRODUÇÃO

O processo erosivo se constitui pela transferência de energia e matéria originada pelo rompimento do sistema água/ solo/ cobertura vegetal que fomenta a remoção progressiva da cobertura pedológica. O impacto das precipitações sobre as coberturas superficiais dos modelados, atingido o limite de

resistência dos seus agregados, resulta na remoção, transporte e deposição de sedimentos em posições de jusante, conforme declividades e geometrias das vertentes do relevo (MAFRA, 2010).

Como resultado da erosão, o horizonte superficial e mais produtivo do solo é perdido e, pela progressão funcional, demais camadas do perfil podem ser removidas. Ocorre, assim, a redução do potencial físico e químico do solo e da sua capacidade produtiva (MAFRA, 2010).

O processo erosivo é um fenômeno natural no contexto do equilíbrio dinâmico ambiental, no entanto, a ação antrópica, através do desmatamento de áreas geomorfologicamente ativas, através do desnudamento e manejo inadequado dos solos em práticas agrícolas ou loteamentos urbanos, para citar alguns exemplos, podem intensificar severamente as taxas de erosão, resultando prejuízos de ordem ambiental, econômica e social (OLIVEIRA; SANTOS; ARAÚJO, 2017).

No intuito de mitigação do fenômeno da erosão, estudos têm sido desenvolvidos na perspectiva de compatibilização dos usos do solo às restrições intrínsecas a cada tipo pedológico e ao ambiente em que se inserem. Nesta perspectiva, Mafra (2010, p. 301) fundamenta sobre a planificação de uso do solo, esta: “[...] deve incorporar o tratamento da questão da erosão, incluindo principalmente a identificação dos fatores relacionados à atuação dos processos erosivos e a detecção de áreas mais suscetíveis à erosão (atual e potencial).”

Os processos erosivos podem ser estudados a partir de diferentes abordagens. De acordo com Salomão (2010), de modo geral, há abordagens que primam pela quantificação das perdas de solo por erosão e outras que pela avaliação qualitativa do comportamento erosivo das superfícies.

Conforme Mafra (2010), reconhecem-se fundamentalmente três abordagens metodológicas na caracterização da erosão pluvial: a) a aplicação da Equação Universal da Perda do Solo (USLE); b) a quantificação do processo através de parcelas experimentais *in loco*, por meio de precipitação natural e ou simuladores; e c) a aplicação de modelos qualitativos ponderados que, ao definir valores e sobrepor variáveis condicionantes de erosão, permitem a identificação de diferentes classes do processo (categorias de unidades de suscetibilidades) para uma determinada área ou território. Esta última abordagem, ainda segundo a autora, pode viabilizar resultados eficazes, especialmente quando não se dispõem de meios operacionais para avaliação da erosividade e erodibilidade através de experimentos de campo e laboratório.

Em Spörl (2007) elencam-se modelos qualitativos empíricos que visam avaliar o fenômeno da erosão a partir de fatores condicionantes. Dentre esses métodos, destacam-se as propostas de Ross (1994) e de Crepani et al. (2001), as quais, a partir da integração de elementos do meio físico com a ocupação antrópica, buscam identificar áreas com maior ou menor susceptibilidade à perda de solos.

Este trabalho tem como objetivo aplicar e comparar os resultados dos modelos metodológicos de análise da fragilidade ambiental, proposto por Ross (1994), e da vulnerabilidade à perda de solos, proposto por Crepani et al. (2001), para o município de Pelotas, no Rio Grande do Sul (RS). Estes modelos, de acordo com Spörl e Ross (2004), podem contribuir para planificação de uso do solo.

Localização e caracterização do município de Pelotas

O município de Pelotas está localizado na porção sudeste do estado do Rio Grande do Sul (RS). É limitado pelos municípios de Turuçu, Canguçu, Capão do Leão, Rio Grande e pelo enclave Arroio do Padre. Pelotas possui área de aproximadamente 1.610 km² e comporta importantes modais rodoviários (BR 116, 392 e 293), hidroviários (Canal São Gonçalo e Laguna dos Patos) e ferroviário (Figura 1). Estes modais viabilizam logísticas de escoamento da produção do estado, sobretudo de grãos para exportação, conectando-se aos portos de Pelotas, de Rio Grande e Porto Alegre.

Conforme dados do IBGE (2019), o município conta com uma população de 342.405 habitantes e se destaca como polo de prestação de serviços da região sul, estruturando-se como terceiro maior centro urbano em número de habitantes do estado do RS. No setor primário, o município destaca-se pela diversidade nas atividades agrícolas: silvicultura (extrativismo de madeira para fins energéticos), fruticultura, monoculturas de arroz e soja, fumicultura, pastagem (para pecuária de corte e leiteira) e lavouras de milho, feijão e hortaliças (IBGE, 2017).

Figura 1 - Localização do município de Pelotas/ RS



Fonte: Organizado pelos autores.

Do ponto de vista das paisagens naturais, o município se insere no contexto do bioma pampa, caracterizado pelo predomínio de campos nativos, formações arbustivas, matas ciliares, de encostas e adaptadas às áreas úmidas. O Pampa apresenta flora e fauna endêmicas, expressiva biodiversidade, ainda não totalmente descrita pela ciência. Em relação às áreas naturais protegidas no Brasil o Pampa é o bioma que proporcionalmente tem menor representatividade no Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC). A vegetação do bioma tem notória contribuição para o sequestro de carbono e controle da erosão (PILLAR et al., 2009).

O clima predominante em Pelotas, de acordo com a classificação de Köppen, é o subtropical úmido (Cfa), que compreende ao tipo climático temperado (C), com chuvas durante todos os meses do ano (f) e verões amenos (a). Para o mês mais quente este tipo climático apresenta média superior a 22°C e para o mês mais frio temperatura média superior a 3°C (SEMA-RS/UFSM, 2001). Segundo dados da Estação Agroclimatológica de Pelotas (2020) a média mensal de precipitação na região entre o período de 1971 a 2000 foi de 113,92mm.

Na área também ocorrem eventos meteorológicos associados à fenômenos climáticos do *El Niño* e *La Niña* que determinam anomalias de precipitação pluvial. Nas datas de 28 e 29 de janeiro de 2009 (ano de *El Niño*) estações pluviométricas do município de Pelotas/ RS registraram aproximadamente 600 mm de chuva (SALDANHA et al., 2012). As fortes enxurradas, ocasionadas por eventos extremos, acentuam processos erosivos nas encostas do relevo da área, especialmente, em vertentes de moderadas às altas declividades com coberturas vegetais esparsas ou com solos desnudos, em pousios ou preparos agrícolas (REHBEIN e DUTRA, 2020).

No contexto geomorfológico-geológico, o município de Pelotas contempla feições de duas unidades morfoesculturais do relevo do estado do RS, dispostas em amplitude altimétrica de aproximadamente 400 metros. A porção noroeste está em área de influência do Planalto Sul Riograndense (PSRG), embasado pelo Batólito Pelotas, formado por diferentes suítes graníticas (PHILIPP e MACHADO, 2001). A porção sudeste está em área de influência da Planície e/ou Terras Baixas Costeiras do RS (PCRS), formada por sistemas de Leques Aluviais e de Lagunas-Barreiras, de diferentes episódios de glacio-eustatismo (TOMAZELLI et al., 2007).

Na área do PSRG, conforme Rehbein e Dutra (2020), são identificadas morfologias do relevo em morros, morrotes e colinas. Em geral, os morros e morrotes apresentam altas e médias vertentes de declividades acentuadas (predominantemente acima de 30% e entre 20 e 30%, respectivamente) e as colinas encostas de notórios comprimentos de rampa. Sobre esses padrões de relevo são observados materiais pedogenéticos de natureza eluvionar e coluvionar. Em segmentos de topos ocorrem afloramentos rochosos e, comumente, solos rasos, assim como, nas médias e baixas encostas solos com horizonte B textural. Dá alta à baixa encosta os autores evidenciaram morfodinâmicas laminares e lineares.

Sobre essas morfologias do relevo, Rehbein e Dutra (2020) também destacam o mapeamento de 1.587 cabeceiras de drenagens com formação de *hollows* ou segmentos de relevo concentradores de fluxos de escoamentos e presenças de olhos d'água (nascentes fluviais). Já na PCRS, Silva e Rehbein (2018) mapearam diferentes planícies e terraços flúvio-lacustres, cujas transições marcadas por rupturas de declive e feições erosivas lineares. Nas áreas de planícies são comuns os solos hidromórficos e a formação de áreas úmidas, através de ascensão freática periódica e inundações fluviais, lacustres e lagunar. Algumas inundações, especula-se tanto no trabalho de mapeamento geomorfológico da área de influência do PSRG (REHBEIN e DUTRA, 2020) como da PCRS no município de Pelotas (SILVA e REHBEIN, 2018) podem estar associadas aos assoreamentos de seções fluviais.

Na hidrografia, Pelotas apresenta uma vasta rede de drenagem, com cursos e corpos d'água perenes que, além da função ecológica, são importantes recursos hídricos às atividades agropecuárias, industriais e domésticas do município e da região, abastecendo unidades político-administrativas vizinhas e mesmo do Uruguai. Neste caso, através da Barragem Eclusa do Canal São Gonçalo que regula fluxos hidrodinâmicos entre a Lagoa Mirim e a Laguna dos Patos (ALM, 2020).

METODOLOGIA

Os procedimentos metodológicos dos modelos propostos por Ross (1994) e Crepani et al. (2001) baseiam-se no conceito de Unidade Ecodinâmica preconizado por Tricart (1977). Nessa concepção o ambiente é analisado sob o prisma da Teoria dos Sistemas, partindo-se do pressuposto de que na natureza as trocas entre energia e matéria são processadas através de relações de equilíbrio dinâmico. Esse equilíbrio, no entanto, pode ser rompido quando intervenções antrópicas atuam sobre os diversos componentes da natureza, gerando estado de desequilíbrio temporário e até permanente. Dessa forma, Tricart (1977) define que os ambientes quando estão em equilíbrio dinâmico são estáveis e quando em desequilíbrio são instáveis (SPÖRL, 2001).

Utilizando-se dos conceitos propostos por Tricart (1977) e visando suas aplicabilidades no planejamento ambiental, Ross (1990, 1994, 2006) acrescenta novos critérios para definir as Unidades Ecodinâmicas Instáveis (ou de Instabilidade Emergente) e Unidades Ecodinâmicas Estáveis (ou de Instabilidade Potencial). Para o autor, as Unidades Ecodinâmicas Instáveis são aquelas áreas onde ocorreram intervenções antrópicas, que causam modificações intensas nos ambientes naturais através de desmatamentos e práticas econômicas sem medidas conservacionistas, enquanto que as Unidades Ecodinâmicas Estáveis correspondem aquelas que, apesar de estarem em equilíbrio dinâmico, apresentam Instabilidade Potencial qualitativamente previsível, face as suas características naturais e a possível inserção antrópica.

Desta forma, Ross (1994) ressalta que para a avaliação da Fragilidade Ambiental deve ser considerada a Fragilidade Potencial dos ambientes, a partir da análise de fatores naturais como as declividades do relevo e tipos de solos; e a Fragilidade Emergente, a partir dos usos da terra.

Por sua vez, Crepani et al. (2001) desenvolveram a metodologia para a geração de mapas de vulnerabilidade à perda de solo fundamentados na relação morfogênese/ pedogênese e na análise integrada de informações da geomorfologia (declividade, hipsometria e unidades geomorfológicas), solos, geologia e cobertura e uso da terra. A partir da análise conjunta destes temas é determinado o grau de vulnerabilidade à perda de solo das Unidades Territoriais Básicas (UTBs), as quais são subdivididas em: "Unidades de Paisagem Natural" e "Polígonos de Intervenção Antrópica".

Enquanto procedimentos metodológicos operacionais, desenvolveram-se duas etapas:

Primeira etapa: Estruturação de Banco de Dados Geográficos e elaboração de Planos de Informações (PIs)

Esta etapa consiste na estruturação de um Banco de Dados Geográficos (BDG) (Quadro 1) em ambiente computacional e no processamento dos materiais do BDG para elaboração de Planos de Informações (PIs) através do software ArcGis 10.2 – licenciado pelo Laboratório de Estudos Aplicados em Geografia Física da Universidade Federal de Pelotas. Para os diferentes PIs se adotou a escala de 1: 250.000, manutenção das informações cartográficas de escalas maiores, projeção UTM (fuso 22S) e o datum SIRGAS2000.

Quadro 1 - Banco de Dados Geográficos

Dado digital	Tipo de representação	Escala cartográfica	Resolução espacial	Fonte
Limite municipal de Pelotas	Vetorial (polígono)	1:250.000	-	IBGE (2013a)
Curvas de nível (20m); Pontos cotados; Hidrografia (cursos fluviais e corpos d'água).	Vetorial (linha e polígono)	1:50.000	-	Hasenack e Weber (2010)
Mapa pedológico de Pelotas	Matricial	1:100.000	-	Cunha (1996)
Cartas geomorfológicas Pelotas/Mostardas (MI: SH.22-y-d/zc) e Pedro Osório (MI: SH.22-y-c)	Matricial	1:250.000	-	IBGE (2003)
Mapa geológico do RS ¹	Matricial ¹	1:750.000 ¹	-	CPRM ¹ (2008)
Imagem de satélite Landsat 8, de 25/08/2017, órbita/ponto 221/082, bandas 4, 5 e 6.	Matricial	-	~30m	INPE (2017)

Fonte: Organizado pelos autores.

O **PI Declividade** e o **PI Hipsometria** foram obtidos a partir de Modelo Numérico do Terreno (MNT), por meio da interpolação de curvas de nível (equidistância de 20m) e pontos cotados disponibilizados por Hasenack e Weber (2010) em formatos vetoriais. Para evitar perdas de informações, os dados foram recortados a partir de um buffer de 5 Km dos limites da área de estudo, posteriormente, somente para a área em estudo.

Para a obtenção do **PI Solos** realizou-se a digitalização do mapa pedológico de Pelotas de Cunha (1996), o georreferenciamento através da ferramenta *georeferencing* e a vetorização das informações por meio da ferramenta *editor*. Posteriormente procedeu-se a atualização das nomenclaturas das classes de solos com base no Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (SIBCS) de Santos et al. (2018) – 1º Nível Categórico. No **PI Unidades Geomorfológicas** realizou-se a digitalização, o georreferenciamento, o mosaico das cartas geomorfológicas de Pelotas/ Mostardas e Pedro Osório do IBGE (2003) e, por fim, a vetorização das informações presentes nos limites municipais de Pelotas do IBGE (2013a). Para este procedimento foram utilizadas as ferramentas *editor*, *georeferencing* e *Mosaic to New Raster*.

No **PI Geologia** efetuou-se o georreferenciamento, recorte com base no limite municipal de Pelotas (IBGE, 2013a) e a vetorização das unidades geológicas presentes no mapa geológico do Rio Grande do Sul (CPRM, 2008).

¹Na área de influência da PCRS no município de Pelotas/ RS, este mapa possui como base as cartas geológicas atualizadas por Favilla et al. (2000) na escala 1:250.000. Já no âmbito do PSRG, a CPRM (2008) apoia-se no trabalho de Philipp (1998) que apresenta uma síntese geológica de seções do Batólito Pelotas, como a seção Pelotas, Canguçu e Pinheiro Machado. No estudo destas seções, o autor se baseia em um compilado de dados desde a escala de 1:25.000.

Os georreferenciamentos realizados foram balizados pelas grades de coordenadas dos mapas, obtendo-se um Erro Médio Quadrático (EMQ) inferior a 0,7 pixels, considerado aceitável segundo Congalton e Green (2009).

Para a obtenção do **PI Cobertura e Uso da Terra** realizou-se classificação digital supervisionada pelo método da Máxima Verossimilhança (MaxVer) da imagem Landsat 8 (sensor OLI) lançada pela NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) em 2013 e disponibilizada pelo INPE (2017). Estas imagens são obtidas georreferenciadas e ortorretificadas, dispensando-se o trabalho de correção geométrica. Utilizando-se as ferramentas *Raster Processing/Clip* e *Composite Bands*, foi realizado o recorte da imagem com base no limite municipal de Pelotas do IBGE (2013a) e a composição colorida falsa-cor 564 (RGB). Em seguida, através da caixa de ferramentas *Image Classification* procedeu-se a coleta de amostras e geração do mapeamento. Seguindo-se orientações do Manual Técnico de Uso da Terra do IBGE (2013b) foram definidas oito classes: 1) Áreas Campestres e Pastagens, 2) Lavouras Temporárias, 3) Áreas Descobertas, 4) Vegetação Natural Florestal, 5) Áreas Úmidas, 6) Corpos D'água; 7) Área Urbanizada e 8) Silvicultura. De modo validar a classificação gerada, o mapa de cobertura e uso da terra foi submetido ao cálculo do índice Kappa (CONGALTON e GREEN, 2009). Com o apoio de imagens disponibilizadas no programa *Google Earth Pro* e pontos observados em campo com Sistema de Posicionamento global (GPS), analisaram-se aproximadamente 50 amostras de cada classe de cobertura e uso. O mapa exibiu um índice de exatidão K=0,93, classificado como excelente pelos limiares de concordância estabelecidos por Landis e Koch (1977).

Segunda etapa: Elaboração dos mapas sínteses de fragilidade ambiental e vulnerabilidade à perda de solos

Modelo proposto por Ross (1994)

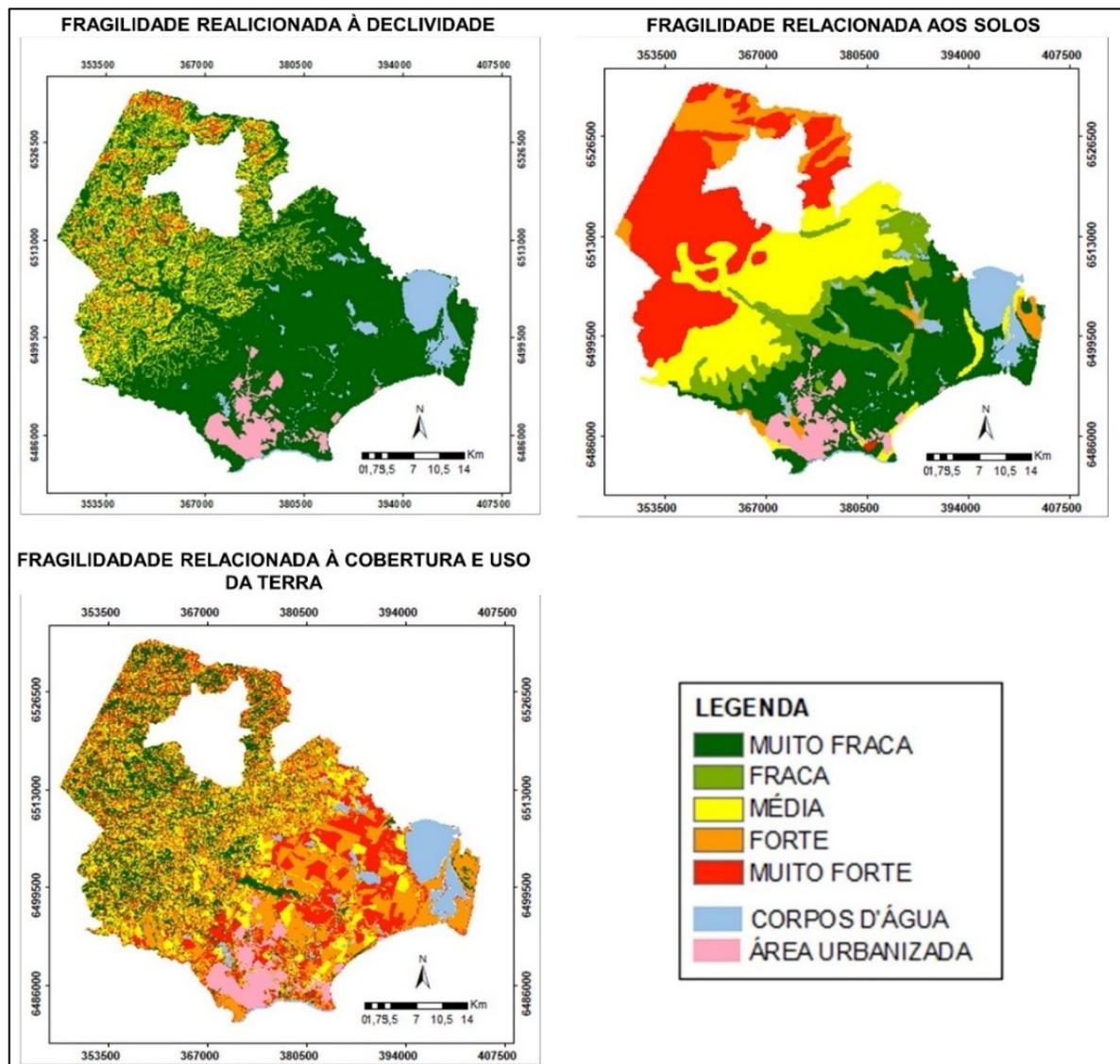
O modelo de fragilidade ambiental de Ross (1994) se baseia na análise integrada dos temas declividade, solos e cobertura e uso da terra. A metodologia propõe que para cada tema analisado seja atribuído graus de fragilidade ambiental que variem entre 1 (muito fraca) a 5 (muito forte). Assim sendo, realizou-se a reclassificação dos PIs Declividade, Solos e Coberturas e Usos da Terra quanto ao grau de fragilidade de cada classe temática a partir da ferramenta *Reclassify* (Quadro 2, Figura 2).

Quadro 2 - Graus de fragilidade dos intervalos de declividades, solos e classes de cobertura e uso da terra encontrados no município de Pelotas/RS.

Tema	Grau de Fragilidade	Tema	Grau de Fragilidade
Solos (Unidade de Mapeamento)		Declividade (%)	
Gleissolos	1	< 6	1
Gleissolos + Planossolos	1	6-12	2
Argissolos + Gleissolos	2	12-20	3
Planossolos + Argissolos	2	20-30	4
Gleissolos + Neossolos	3	> 30	5
Argissolos	3	Classes de Cobertura e Uso da Terra	
Espodossolos + Gleissolos	3	Vegetação Natural Florestal	1
Organossolos + Gleissolos	3	Áreas Campestres e Pastagens	3
Argissolos + Neossolos	4	Silvicultura	3
Gleissolos + Organossolos + Neossolos	4	Lavouras Temporárias	4
Espodossolos + Neossolos + Gleissolos + Organossolos	4	Áreas Úmidas	4
Neossolos	5	Áreas Descobertas	5
Neossolos + Argissolos + Afloramentos Rochosos	5		

Fonte: Ross (1994), Cunha e Silveira (1996), Daronch; Cabral; Prado (2006), RAMSAR (2013) e Barcellos (2019)

Figura 2 - PIs de fragilidade ambiental relacionados à declividade, solos e cobertura e uso da terra do município de Pelotas/RS.



Fonte: elaborado pelos autores.

No PI Cobertura e Uso e da Terra as áreas urbanizadas e os corpos d'água não foram considerados quanto ao grau de fragilidade, pois, segundo Ross (1994), é necessário distinguir os padrões de urbanização quanto à impermeabilização, áreas verdes, infraestrutura, etc., o que não faz parte da proposta deste trabalho. Igualmente, os cursos e corpos d'água requerem o aprofundamento de outros estudos, não considerados por essa pesquisa.

Atribuídos os valores de fragilidade para todas as classes, realizou-se, no sentido de mapeamento da fragilidade ambiental do município de Pelotas/ RS, a soma dos PIs na ferramenta *Raster Calculator*. O grau de fragilidade ambiental foi dado pela gradação do menor valor, no caso 3 (muito fraca), ao maior valor possível, no caso 15 (muito forte), conforme tabela 1. Para a quantificação das classes de fragilidade, realizou-se a conversão do arquivo para o formato *shapefile*, a adição de um novo campo na tabela de atributos por meio da ferramenta *add field* e cálculo da área através da ferramenta *calculate geometry*.

Tabela 1 - Definição das classes de Fragilidade Ambiental.

Declividade	Temas			Fragilidade Ambiental	Descrição das Classes
	Solos	Cobertura e Uso da Terra			
1	1	1	1	03	Muito Fraca
2	2	2	2	04 a 06	Fraca
3	3	3	3	07 a 09	Média
4	4	4	4	10 a 12	Forte
5	5	5	5	13 a 15	Muito Forte

Fonte: Adaptado de Ross (1994).

Modelo proposto por Crepani et al. (2001)

Em conformidade com Crepani et al. (2001), a vulnerabilidade à perda de solo das unidades de paisagem natural é definida a partir da análise integrada dos temas Geologia, Geomorfologia, Solos e Cobertura e Uso da Terra. Para cada classe temática deve ser atribuído um valor de vulnerabilidade que varia de 1 a 3. Os valores próximos a 1 apontam situações onde há o predomínio dos processos pedogenéticos e os valores próximos a 3 indicam situações de predomínio dos processos morfogenéticos.

Posto isto, realizou-se através da ferramenta *Reclassify*, a reclassificação dos PIs Geologia, Solos e Cobertura e Uso da Terra de acordo com os graus de vulnerabilidade apresentados no quadro 3.

Quadro 3 - Valores de vulnerabilidade atribuídos aos PIs Geologia, Cobertura e Uso da Terra e Solos.

Tema	Grau de Vulnerabilidade	Tema	Grau de Vulnerabilidade
Geologia		Solos (Unidade de Mapeamento)	
Granito Arroio Moinho	1,1	Argissolos	2
Suíte Granítica Dom Feliciano	1,1	Planossolos + Argissolos	2
Complexo Granito-gnáissico Pinheiro Machado	1,1	Gleissolos + Planossolos	2,5
Depósitos Colúvio-Aluvionar	3	Argissolos + Gleissolos	2,5
<i>Sistema Laguna-Barreira IV</i>		Espodossolos + Gleissolos	2,5
Depósitos aluviais	3	Argissolos + Neossolos	2,5
Depósitos de praias e cristas lagunares	3	Neossolos + Argissolos + Afloramentos Rochosos	2,7
Depósitos de planície lagunar	3	Espodossolos + Neossolos + Gleissolos + Organossolos	2,75
Turfeiras	3	Gleissolos	3
<i>Sistema Laguna-Barreira III</i>		Organossolos + Gleissolos	3
Depósitos de praias e cristas lagunares	3	Gleissolos + Neossolos	3
Depósitos de planície lagunar	3	Gleissolos + Organossolos + Neossolos	3
<i>Sistema Laguna-Barreira II</i>		Neossolos	3
Depósitos eólicos	3		
Depósitos praias eólicos	3		
Depósitos de planície lagunar	3		
Classes de Cobertura e Uso da Terra			
Vegetação Natural Florestal	1,6		
Silvicultura	2,2		
Áreas Úmidas	2,5		
Áreas Campestres e Pastagens	2,8		
Lavouras Temporárias	3		
Áreas Descobertas	3		

Fonte: Crepani et al. (2001), Daronch; Cabral; Prado (2006), RAMSAR (2013) e Barcellos (2019).

Para o tema Geomorfologia, Crepani et al. (2001) ressaltam que se deve analisar e atribuir valores de vulnerabilidade para três índices: Unidades Geomorfológicas, Hipsometria e Declividade. Posteriormente, deve-se calcular a média aritmética afim de se obter o valor final de vulnerabilidade deste tema:

$$\text{GEOMORFOLOGIA} = \frac{G^a + H + D}{3} \quad (\text{Equação 1})$$

Onde “G^a” é a vulnerabilidade das Unidades Geomorfológicas, “H” é a vulnerabilidade da Hipsometria e “D” é a vulnerabilidade da Declividade.

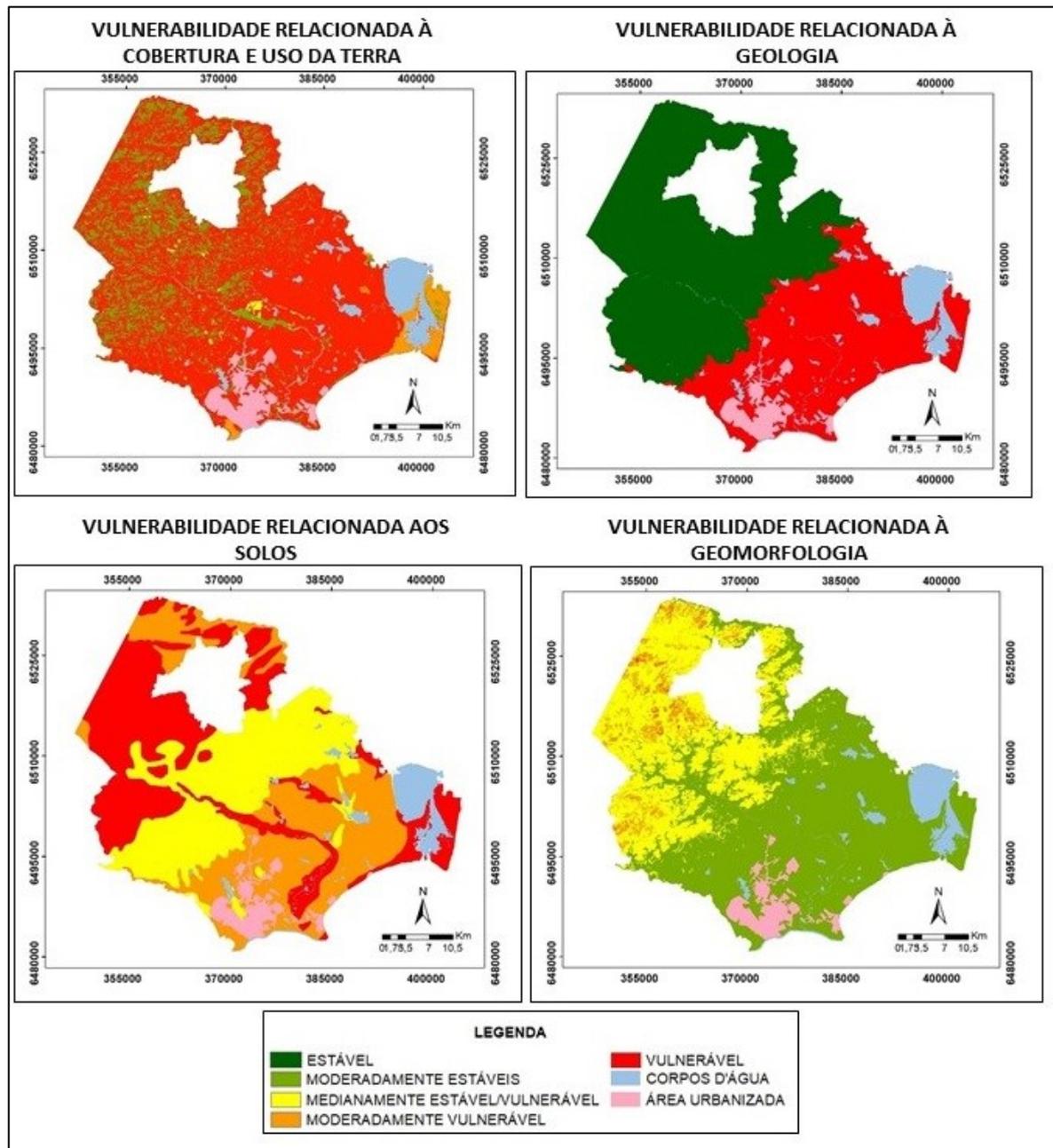
Obteve-se através da ferramenta *Reclassify* a reclassificação dos PIs Unidades Geomorfológicas, Hipsometria e Declividade, em conformidade aos valores de vulnerabilidade apresentados no quadro 4. Sequencialmente, calculou-se na ferramenta *Raster Calculator* a média entre os valores de vulnerabilidade dos PIs, obtendo-se o PI Geomorfologia. A figura 3 evidencia a espacialização dos diferentes PIs para obtenção do mapa de vulnerabilidade à perda de solos no município de Pelotas.

Quadro 4 - Valores de vulnerabilidade atribuídos às Unidades Geomorfológicas, Hipsometria e Declividade.

Unidades Geomorfológicas	Grau de Vulnerabilidade	Declividade (%)	Grau de Vulnerabilidade
Planaltos Residuais	2	< 3,5	1
Planaltos Rebaixados	2,5	3,5 - 5,8	1,1
Planície Alúvio-Coluvionar	2,9	5,8 - 8,2	1,2
Planície Lagunar	3	8,2 - 10,3	1,3
Hipsometria (m)	Grau de Vulnerabilidade	10,3 - 12,9	1,4
< 20	1	12,9 - 15,1	1,5
20 - 29,5	1,1	15,1 - 17,4	1,6
29,5 - 39	1,2	17,4 - 19,8	1,7
39 - 48,5	1,3	19,8 - 22,2	1,8
48,5 - 58,0	1,4	22,2 - 24,5	1,9
58 - 67,5	1,5	24,5 - 27,2	2
67,5 - 77	1,6	27,2 - 29,6	2,1
77 - 84,5	1,7	29,6 - 32,1	2,2
84,5 - 94	1,8	32,1 - 34,6	2,3
94 - 103,5	1,9	34,6 - 37,2	2,4
103,5 - 113	2	37,2 - 39,8	2,5
113 - 122,5	2,1	39,8 - 42,4	2,6
122,5 - 132	2,2	42,4 - 45,3	2,7
132 - 141,5	2,3	45,3 - 48,1	2,8
141,5 - 151	2,4	48,1 - 50	2,9
151 - 160,5	2,5	> 50	3
160,5 - 170	2,6		
170 - 179,5	2,7		
179,5 - 189	2,8		
189 - 200	2,9		
> 200	3		

Fonte: Crepani et al. (2001).

Figura 3 – PIs da vulnerabilidade à perda de solos no município de Pelotas/ RS.



Fonte: elaborado pelos autores.

Após a obtenção dos valores de vulnerabilidade dos PIs, realiza-se por meio da ferramenta *Raster Calculator* as operações de soma e média, obtendo-se o valor final do grau de vulnerabilidade à perda de solo:

$$\text{VULNERABILIDADE} = \frac{G + Ge + S + CU}{4} \quad (\text{Equação 2})$$

Onde: "G" é a vulnerabilidade para o tema Geologia, "Ge" é a vulnerabilidade para o tema Geomorfologia, "S" é a vulnerabilidade para o tema Solos e "CU" é a vulnerabilidade para o tema Cobertura e Uso da Terra.

As áreas que apresentam valor médio de vulnerabilidade à perda de solo entre 1,0 e 1,3 definem-se como estáveis; as que apresentam valores de 1,4 a 1,7 como moderadamente estáveis; as de 1,8 a 2,2 como medianamente estável/vulnerável; de 2,3 a 2,6 como moderadamente vulnerável e as de 2,7

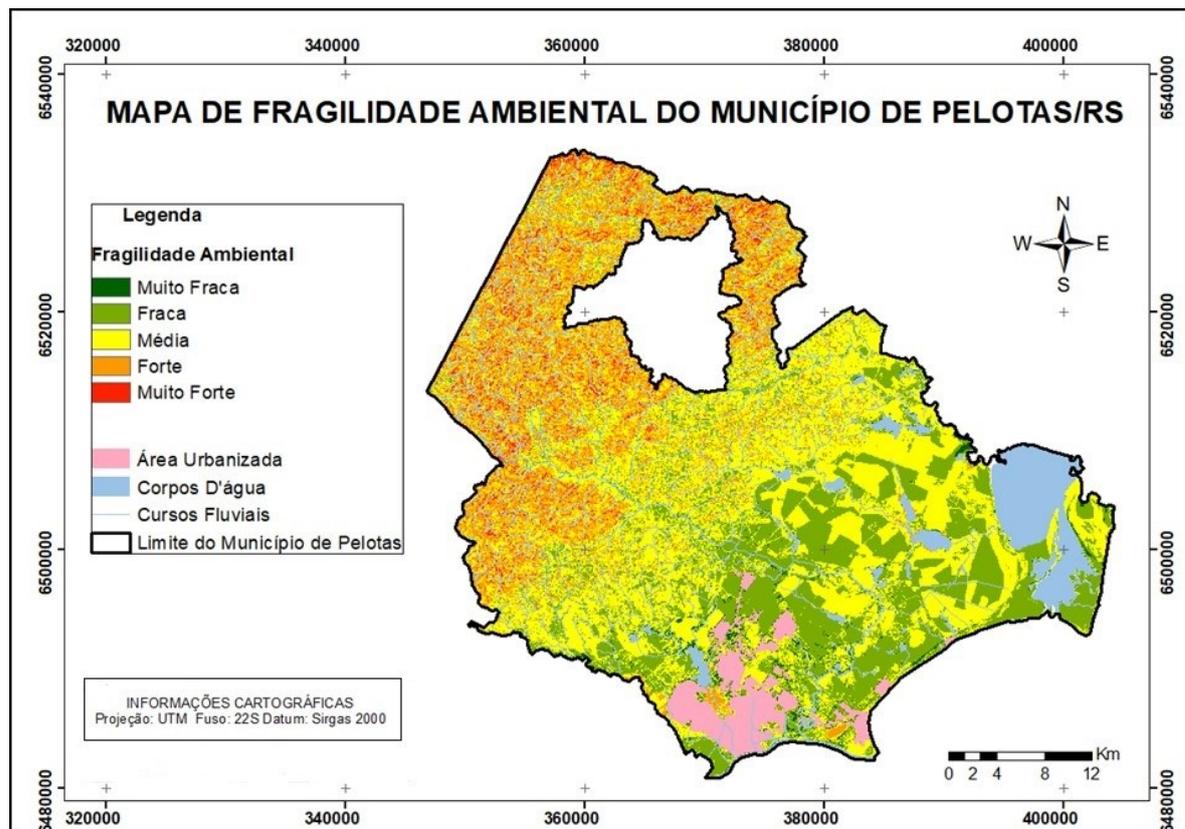
a 3,0 como vulneráveis. Para a quantificação das classes de vulnerabilidade à perda de solo se realizaram os mesmos procedimentos descritos no modelo metodológico de Ross (1994).

RESULTADOS

Metodologia proposta por Ross (1994)

O mapa de fragilidade ambiental do município de Pelotas elaborado a partir da metodologia proposta por Ross (1994), como observado na figura 4 e tabela 2, apresenta áreas com graus de fragilidade ambiental que variam de muito fraca a muito forte.

Figura 4 - Mapa de fragilidade ambiental do município de Pelotas/ RS.



Fonte: Organizado pelos autores.

Tabela 2 - Graus de fragilidade ambiental no município de Pelotas/RS e respectivas áreas.

Graus de fragilidade ambiental	Área ²	
	Km ²	%
Muito fraca	13,68	0,85
Fraca	376,10	23,36
Média	708,81	44,02
Forte	312,86	19,43
Muito forte	43,13	2,68

Organização: Os autores.

² Na Tabela 2 não estão contabilizados 90,60Km² (5,63%) referentes aos corpos d'água e 64,90Km² (4,03%) correspondentes a área urbana do município.

As áreas de muito fraca fragilidade são as menos representativas e ocorrem na porção sul do município, em superfícies de declividades inferiores a 6%, com presença de Gleissolos e associação de Gleissolos com Planossolos, cobertos por vegetação natural florestal. As áreas de fraca fragilidade ocorrem majoritariamente ao sul e leste e correspondem as superfícies de declividades menores que 6%, com presença de Gleissolos, Argissolos, associação de Gleissolos com Planossolos e associação de Argissolos com Planossolos. Os tipos de coberturas e usos da terra dominantes são de vegetação natural florestal, vegetação herbácea, áreas úmidas e lavouras temporárias.

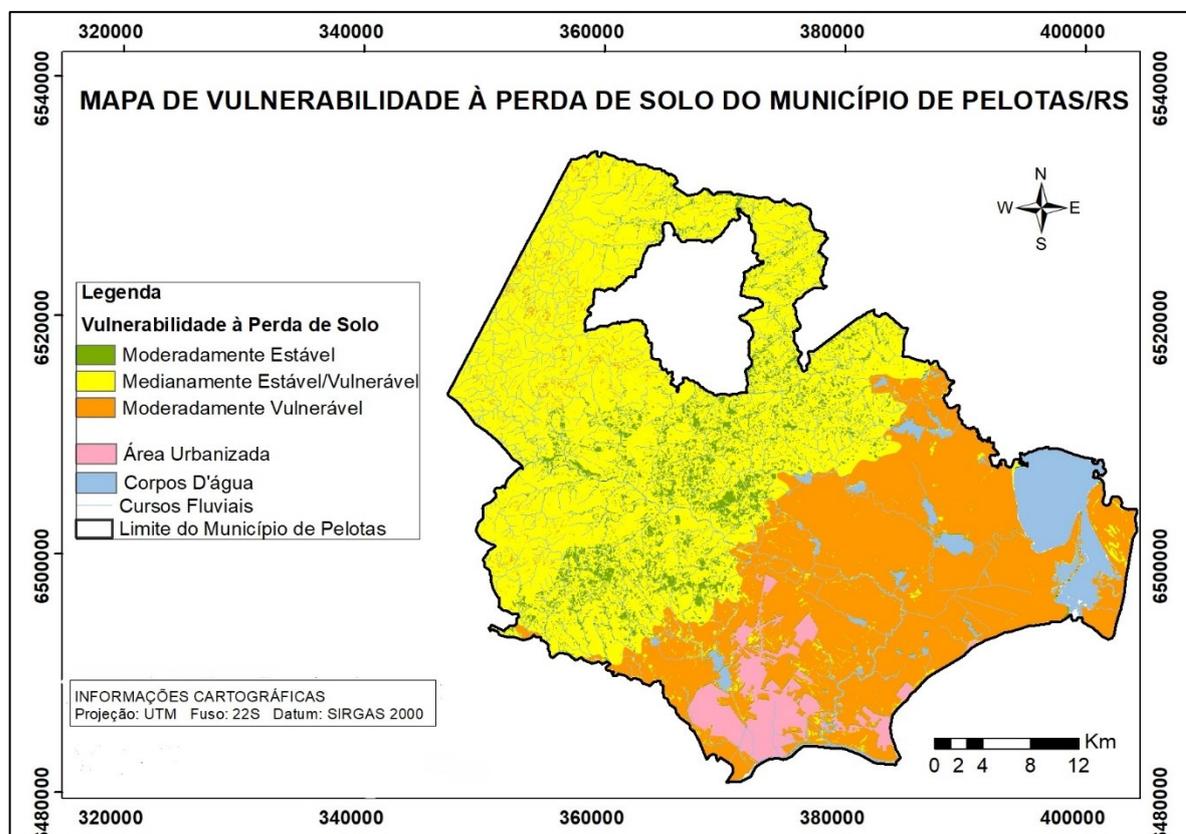
A classe de média fragilidade ambiental é a mais representativa na área de estudo. Nas porções norte, noroeste e central do município, esta classe representa superfícies de declividades inferiores a 20% com Argissolos e áreas descobertas, campos e pastagens e lavouras temporárias. Nas porções sul e sudoeste, a classe compreende superfícies de declividades inferiores a 6% de associação de Gleissolos com Planossolos, associação de Planossolos com Argissolos e associação de Gleissolos com Neossolos, em áreas predominantemente descobertas.

As áreas de forte e muito forte fragilidade ambiental são observadas em sentido norte do município. A classe de forte fragilidade compreende vertentes com declividades que variam entre 12% a 30%, ocorrência de associação de Gleissolos com Organossolos e Neossolos, associação de Neossolos com Argissolos e afloramentos rochosos, áreas de solo exposto, lavouras temporárias e de campos e pastagens. A classe de muito forte fragilidade ambiental constitui superfícies de declividades superiores a 12% com associação de Neossolos e Argissolos, sobre os quais se observam lavouras temporárias, campos e pastagens ou solo exposto.

Metodologia proposta por Crepani et al. (2001)

O mapa de vulnerabilidade à perda de solo do município de Pelotas elaborado a partir da metodologia proposta por Crepani et al. (2001), como observado na figura 5 e tabela 3, apresenta áreas com grau de vulnerabilidade que variam entre moderadamente estáveis a moderadamente vulneráveis.

Figura 5 - Mapa de vulnerabilidade à perda de solo do município de Pelotas/ RS.



Fonte: Organizado pelos autores.

Tabela 3 - Graus de vulnerabilidade à perda de solo no município de Pelotas/RS e respectivas áreas.

Graus de Vulnerabilidade à Perda de Solo	Área ³	
	Km ²	%
Moderadamente Estável	98,81	6,14
Medianamente Estável/Vulnerável	805,70	50,04
Moderadamente Vulnerável	550,07	34,16

Fonte: Organizado pelos autores.

A classe moderadamente estável é a menos representativa na área de estudo, ocorrendo na porção central do município. Representa superfícies com declividades inferiores a 15% em amplitudes altimétricas entre 20 e 140m. Compreende Argissolos, associação de Argissolos com Neossolos e associação de Neossolos, Argissolos e afloramentos rochosos. As coberturas e usos da terra dominantes são vegetação natural florestal e silvicultura. Em relação à geologia e unidades geomorfológicas, compreendem predominantemente litologias do Complexo Granito-Gnáissico Pinheiro Machado e feições de relevo do Planalto Rebaixado Marginal.

A classe moderadamente estável/vulnerável é a mais representativa, ocorrendo principalmente na porção noroeste de Pelotas, em vertentes de variadas declividades e altitudes, de Argissolos, associação de Gleissolos com Planossolos, associação de Gleissolos com Neossolos e associação de Planossolos com Argissolos. As coberturas e usos da terra dominantes são áreas descobertas, lavouras temporárias, campos e pastagens. Esta classe representa unidades geológicas e geomorfológicas, fundamentalmente, do Granito Arroio Moinho, Suíte Granítica Dom Feliciano, Complexo Granito-Gnáissico Pinheiro Machado e feições de relevo do Planalto Rebaixado Marginal e Planalto Residual.

A classe moderadamente vulnerável ocorre em sentido sudeste do município, correspondendo a superfícies com inclinações menores que 3,5%, altitudes inferiores a 29,5m e ocorrência de Gleissolos e associação de Planossolos com Gleissolos. As principais coberturas e usos da terra são áreas úmidas, lavouras temporárias e solo exposto. Enquanto unidades geológicas e geomorfológicas compreendem, respectivamente, depósitos colúvio-aluviais, depósitos dos Sistemas Laguna-Barreiras II, III e IV e feições de relevo das Planícies Alúvio-Coluvionar e Lagunar.

Comparação entre os modelos

Os modelos propostos por Ross (1994) e Crepani et al. (2001) possuem em comum a inter-relação de elementos do meio físico com a ocupação antrópica. Estes modelos partem do mesmo princípio, as Unidades Ecodinâmicas preconizadas por Tricart (1977), porém, com diferenças nos seus modos de aplicação. Para Ross (1994) as organizações humanas são inseparáveis dos produtos (fluxos de energia) da paisagem natural. E, considerando que qualquer proposta de planejamento ambiental pressupõe contato, exploração e produção a partir das potencialidades naturais, torna-se fundamental realçar a capacidade e o potencial que as intervenções sociais possuem de ocasionar instabilidade ambiental (BASTOS JÚNIOR, 2016).

No modelo proposto por Crepani et al. (2001) a Unidade de Paisagem Natural corresponde a área física, revestida de uma “condição natural”, em que o equilíbrio dinâmico não sofreu modificações pelas intervenções sociais. Diferentemente, os polígonos de Intervenção Antrópica representam as superfícies onde a atuação humana altera as condições de equilíbrio do sistema, representadas pela Unidade de Paisagem Natural.

Em razão disso, enquanto o modelo de Ross (1994) pressupõe uma instabilidade potencial prognosticável devido às características naturais do meio e a sempre possível inserção antrópica, Crepani et al. (2001) prevê unidades estáveis e moderadamente estáveis (BASTOS JÚNIOR, 2016).

³ Na Tabela 3 não estão contabilizados 90,60Km² (5,63%) referentes aos corpos d'água e 64,90Km² (4,03%) correspondentes a área urbana do município.

Diante do exposto, de modo estabelecer uma correlação de mesmo nível entre classes de Fragilidade Ambiental do modelo de Ross (1994) e de Vulnerabilidade à Perda de Solo do modelo de Crepani et al. (2001), propõe-se o quadro 5.

Quadro 5 - Correlação entre classes de Fragilidade Ambiental e Vulnerabilidade à Perda de Solo.

Classes de Fragilidade Ambiental (ROSS, 1994)	Classes de Vulnerabilidade à Perda de Solo (CREPANI et al., 2001)
Muito Fraca	Estável
Fraca	Moderadamente Estável
Média	Medianamente Estável/Vulnerável
Forte	Moderadamente Vulnerável
Muito Forte	Vulnerável

Fonte: Organizado pelos autores.

Em relação às divergências entre os modelos, estas residem nas variáveis envolvidas, na operacionalização metodológica e nos resultados obtidos. Ambos os modelos utilizam as variáveis declividade, solos e cobertura e uso da terra e se diferem pela adoção, do de Crepani et al. (2001), das variáveis geologia, hipsometria e unidades geomorfológicas.

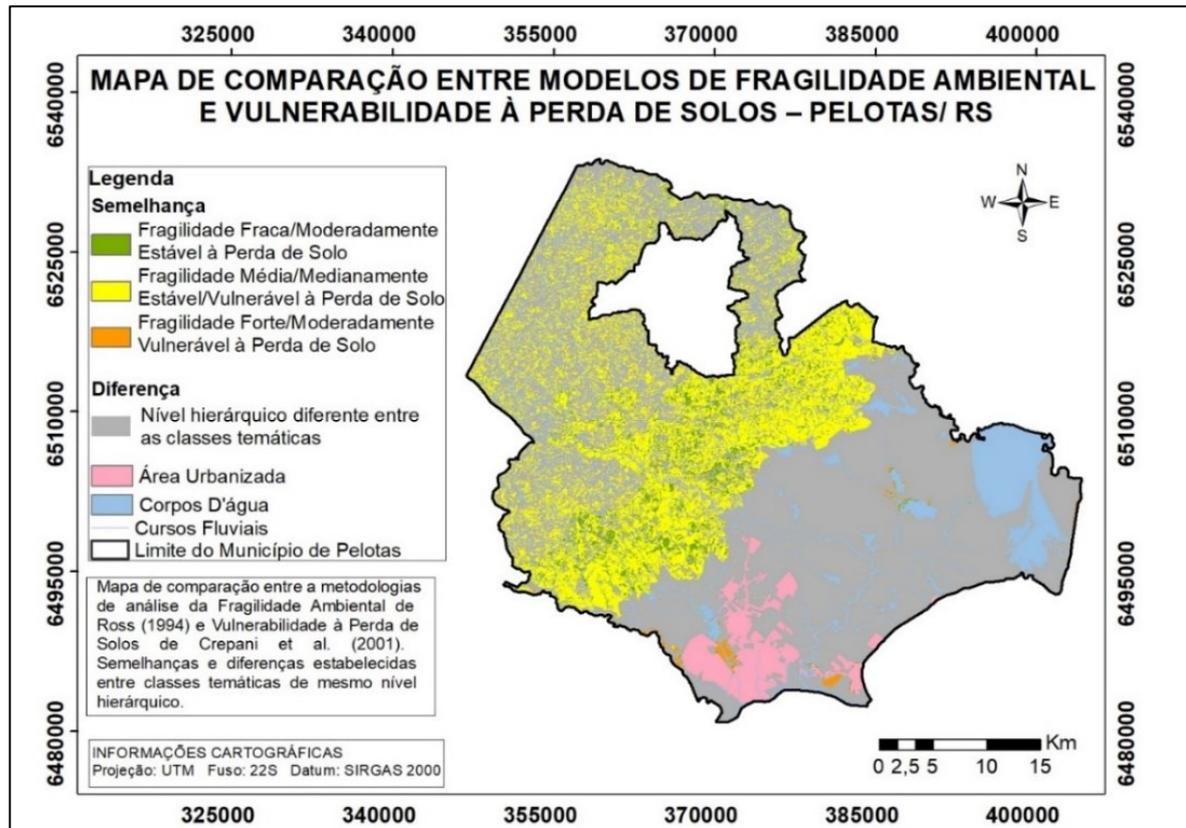
Quanto ao cálculo da fragilidade no modelo de Ross (1994), os diferentes graus de fragilidade ambiental de uma área são obtidos através da soma dos valores de fragilidade das variáveis declividade, solos e cobertura e uso da terra. Na proposta de Crepani et al. (2001) a classificação da vulnerabilidade à perda de solo de uma região é obtida através da média aritmética dos valores de vulnerabilidade da geologia, solos, geomorfologia (hipsometria, declividade e unidade geomorfológica) e cobertura e uso da terra.

A aplicação dos modelos para Pelotas/ RS resultam em mapeamentos sínteses com diferentes números de classes. O modelo de Ross (1994) classifica o município em cinco graus de fragilidade (muito fraca, fraca, média, forte e muito forte) e o modelo de Crepani et al. (2001) classifica-o em três graus de vulnerabilidade (moderadamente estável, medianamente estável/vulnerável e moderadamente vulnerável). A fim de comparar esses mapeamentos sínteses, considerando-se a correlação de mesmo nível entre as classes dos modelos, apresenta-se a figura 6.

As classes de semelhante nível hierárquico, entre os dois modelos, equivalem a 30,83% ou 501,71km² da área do município. Compreendem as classes de fragilidade fraca e moderadamente estável à perda de solo (5,06% ou 81,39Km²), de fragilidade média e medianamente estável/vulnerável à perda de solo (25,62% ou 412,47Km²) e de fragilidade forte e moderadamente vulnerável à perda de solo (0,49% ou 7,85Km²).

As áreas de diferentes níveis hierárquicos, entre as classes temáticas dos dois modelos, equivalem a 59,17% ou 952,87Km² do município. Estes diferentes níveis hierárquicos entre as classes, explicam-se pela influência das variáveis declividade, solos e geologia nos resultados dos modelos, em sentido noroeste e, sobretudo, sudeste de Pelotas. Nesta orientação, enquanto na metodologia de Ross (1994) os graus de fragilidade são atenuados pelas baixas declividades da superfície e ocorrência de solos hidromórficos, na proposta de Crepani et al. (2001) acentua-se a vulnerabilidade pela geologia da área, constituída de sedimentos inconsolidados.

Figura 6 - Comparação entre modelos de análise da Fragilidade Ambiental e de Vulnerabilidade a Perda de Solos no município de Pelotas/ RS



Fonte: Organizado pelos autores.

CONCLUSÕES

A utilização de materiais e técnicas de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento, adotadas nessa pesquisa, mostra-se efetiva na obtenção de produtos cartográficos resultantes da aplicação e comparação dos modelos de fragilidade ambiental de Ross (1994) e vulnerabilidade à perda de solos de Crepani et. al. (2001).

Destaca-se também a importância da atribuição referenciada, a partir do levantamento bibliográfico de análises empíricas, dos graus de fragilidade ambiental e vulnerabilidade à perda de solos às diferentes variáveis empregadas pelos modelos, procurando-se considerar particularidades da área de estudo.

Os documentos cartográficos obtidos da aplicação dos modelos de Ross (1994) e de Crepani et al. (2001) servem como diagnósticos ambientais e a análise comparativa deles, enquanto identificação das suas principais semelhanças e diferenças, como importante base para futuros trabalhos de campo e a formulação de um novo modelo qualitativo, ponderado e adequado às características da área do município de Pelotas e região.

O modelo de Ross (1994), embora congregue um menor número de variáveis em detrimento ao modelo de Crepani et. al. (2001), resulta em um maior número de classes para área do município de Pelotas, evidenciando maior detalhamento hierárquico espacial. Também, a espacialização das classes do modelo de Ross (1994) é mais coerente com as análises sobre as morfodinâmicas das unidades morfoestruturais e esculturais do relevo do município de Pelotas, realizadas nos trabalhos de Silva e Rehbein (2018) e Rehbein e Dutra (2020).

Nesse sentido, considerando-se os dados desses trabalhos ora citados, os quais também evidenciam o desenvolvimento de processos erosivos lineares e de solapamentos de taludes em diferentes morfologias do relevo do município de Pelotas, propõe-se para novo modelo qualitativo a inserção de temas (variáveis) como rupturas de aclave/ declive (especialmente entre planícies e diferentes níveis de

terraços), cabeceiras de drenagem com formação de *hollows*, seções marginais a canais fluviais, corpos lacustres e lagunar e estradas não pavimentadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALM - Agência de Desenvolvimento da Bacia da Lagoa Mirim. **Barragem Eclusa**. Disponível em: <<https://wp.ufpel.edu.br/alm/>>. Acesso em 01 de out. 2020.

BARCELLOS, C. B. **Fundamentação técnico científica para a criação da Unidade de Conservação Pontal da Barra do Laranjal, Pelotas, RS**. Pelotas: UFPel, 2019, 88p.

BASTOS JÚNIOR, E. M. **Vulnerabilidade/fragilidade ambiental à erosão no município de Nossa Senhora da Glória/SE**. 2016. 155 p. Dissertação (Pós-Graduação em Geociências e Análise de Bacias) - Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2016.

CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul. Escala 1:750.000. (2008). Disponível em: <<http://geosgb.cprm.gov.br/>>. Acesso em 29 jan. 2018.

CONGALTON, R.; GREEN, K. Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices. Boca Raton: CRC/Taylor & Francis, 2009. 183p. <https://doi.org/10.1201/9781420055139>

CREPANI, E. et al. Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial. São José dos Campos: INPE, 2001.

CUNHA, N. G. **Solos – Pelotas**. Pelotas: EMBRAPA/ CPACT, Ed. UFPEL, 1996. Escala 1:100.000.

CUNHA, N. G.; SILVEIRA, J. C. **Estudo dos solos do município de Pelotas/ RS**. Pelotas: EMBRAPA/ CPACT, Ed. UFPel, 1996. 50p.

DARONCH, M.C.; CABRAL, I.L.L.; PRADO, R. J. **O impacto da rizicultura e pecuária sobre os Banhados do Jacaré e Grande - município de São Borja/RS**. VI Simpósio Nacional de Geomorfologia / Regional Conference on Geomorphology. Goiânia - GO. 2006.

ESTAÇÃO AGROCLIMATOLÓGICA DE PELOTAS. **Normais Climatológicas do Município de Pelotas, 1971 – 2000 (mensais e anuais)**. Disponível em: <<http://https://wp.ufpel.edu.br/agrometeorologia/informacoes/clima-de-pelotas/>>. Acesso em: 10 out. 2020.

FAVILLA, C. A. et al. **Mapas Geológicos da Região Costeira do Rio Grande do Sul**. 2000. Porto Alegre, CPRM/ UFRGS. (7 folhas na escala 1:250.000).

HASENACK, H.; WEBER, E. J. (orgs.) **Base cartográfica vetorial contínua do Rio Grande do Sul - escala 1:50.000**. Porto Alegre: UFRGS Centro de Ecologia. 2010. 1 DVD-ROM. (Série Geoprocessamento n.3). Disponível em: <<https://www.ufrgs.br/labgeo/index.php/dados-espaciais/250-base-cartografica-vetorial-continua-do-rio-grande-do-sul-escala-1-50-000>>

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Banco de Dados Cidades@**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/pelotas/panorama>>. Acesso em: 09 de dez. 2019.

_____. **Base cartográfica contínua do Brasil na escala de 1:250.000**. 2013a. Disponível em: <<https://mapas.ibge.gov.br/bases-e-referenciais/bases-cartograficas/malhas-digitais.html>>. Acesso em: 27 de out. 2017.

_____. **Censo Agropecuário – 2017**. Dados para Pelotas. IBGE, 2017. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/pelotas/pesquisa/24/76693>>. Acesso em: 07 out. 2020.

_____. **Censo demográfico – 2010**. Resultados do Universo relativos às características da população e dos domicílios. Rio Grande do Sul. Rio de Janeiro, 2010.

_____. **Geomorfologia**. Pelotas/Mostardas e Pedro Osório – RS, folhas SH.22-Y-D/Z-C e SH.22-Y-C. IBGE, 2003. Escala 1:250.000. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geocienciasnovoportal/informacoesambientais/geomorfologia/10870-geomorfologia.html?=&t=downloads>>. Acesso em: 03 de maio 2018.

_____. **Manual técnico de uso da terra**. In: Manuais Técnicos em Geociências. Nº 7. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Rio de Janeiro/ RJ, 2013b.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Imagens do satélite Landsat, instrumento OLI 8. Brasil, Pelotas. Órbita/ Ponto 221/82.** Obtidas em: 25 ago. 2017. Resolução 30m. Disponível em: <<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>>. Acesso em: 15 abr. 2017.

LANDIS, J.R., KOCH, G.G. **The measurement of observer agreement for categorical data.** Biometrics, v. 33, n.1, p. 159-174, 1977. <https://doi.org/10.2307/2529310>

MAFRA, N. M. C. Erosão e planificação de uso do solo. In.: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO R. G. M. (Orgs.) **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações.** 6º ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010. P. 301-22

NASA - National Aeronautics and Space Administration. **Landsat Data Continuity Mission: Continuously Observing Your World.** 2013. Disponível em: <http://ldcm.gsfc.nasa.gov/mission_details.html>. Acesso em 6 out. 2020.

OLIVEIRA, F. F.; SANTOS, R. E. S.; ARAUJO. R. C. **Processos Erosivos: dinâmica, agentes causadores e fatores condicionantes.** Revista Brasileira de Iniciação Científica, Itapetininga, v. 5, n. 3, jun. 2018.

PHILIPP, R. P. **Evolução geológica e tectônica do Batólito Pelotas no Rio Grande do Sul.** Tese de Doutorado. Porto Alegre, UFRGS, 1998. <https://doi.org/10.25249/0375-7536.2001313257266>

PHILIPP, R. P; MACHADO, R. **SUÍTES GRANÍTICAS DO BATÓLITO PELOTAS NO RIO GRANDE DO SUL: PETROGRAFIA, TECTÔNICA E ASPECTOS PETROGENÉTICOS.** Revista Brasileira de Geociências 31(3):257-266, setembro de 2001.

PILLAR, V. de P. *et al.* **Campos Sulinos – conservação e uso sustentável da biodiversidade.** Brasília: MMA, 2009. 403 p. Disponível em: <https://mma.gov.br/publicacoes/biomas/category/64-pampa.html>.

RAMSAR CONVENTION SECRETARIAT. **The Ramsar Convention Manual: A guide to the Convention on Wetlands (Ramsar, Iran, 1971).** 6.ed. Gland, Switzerland: Ramsar Convention Secretariat, 2013.

REHBEIN, M. O.; DUTRA, D. S. **Mapeamento Geomorfológico da área de influência do Escudo Sul-Riograndense no município de Pelotas/ RS.** Estudos Geográficos (UNESP), v. 18, p. 01-23, 2020.

ROSS, J. L. S. **Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados.** Revista do Departamento de Geografia, n. 8. São Paulo: FFLCH- USP, 1994. <https://doi.org/10.7154/RDG.1994.0008.0006>

_____. **Geomorfologia, Ambiente e Planejamento.** Editora Contexto, São Paulo, 1990.

_____. **Ecogeografia do Brasil: subsídios para o planejamento ambiental.** São Paulo: Oficina de Textos, 2006. 208p.

SALDANHA, C. B. et al. **O Evento de Chuva Intensa de Janeiro de 2009 Sobre a Região de Pelotas-RS.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v.17, n.2; p. 255- 265, 2012. <https://doi.org/10.21168/rbrh.v17n2.p255-265>

SALOMÃO, F. X. T. Controle e prevenção dos processos erosivos. In.: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO R. G. M. (Orgs.) **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações.** 6º ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010. P. 229-68

SANTOS, H. G. et al. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** Brasília: EMBRAPA, 2018. 356p.

SEMA/UFMS-RS - Secretaria do Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Governo do Estado. **Relatório final do inventário florestal contínuo do Rio Grande do Sul.** Porto Alegre, 2001. v.1 e 2, 706p.

SILVA, A. R.; REHBEIN, M. O. **Análise e mapeamento geomorfológico da área de influência da Planície Costeira de Pelotas (Rio Grande do Sul, Brasil).** Revista Brasileira de Geomorfologia, v. 19, p. 567-585, 2018. <https://doi.org/10.20502/rbg.v19i3.1342>

SPÖRL, C. **Análise da fragilidade ambiental relevo-solo com aplicação de três modelos alternativos nas bacias do Rio Jaguari-Mirim, Ribeirão do Quartel e Ribeirão da Prata.** 2001.

159 p. Dissertação (Mestrado em Geografia Física). Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

_____. **Metodologia para elaboração de modelos de fragilidade ambiental utilizando redes neurais**. 2007. 185 p. Tese (Doutorado em Geografia Física), Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

SPÖRL, C.; ROSS, J. L. S. **Análise comparativa da fragilidade ambiental com aplicação de três modelos**. GEOUSP – Espaço e Tempo, São Paulo, n. 15, p. 39-49, 2004.
<https://doi.org/10.11606/issn.2179-0892.geousp.2004.123868>

TOMAZELLI, L.J. et al. Sistemas Depositionais e Evolução Geológica da Planície Costeira do Rio Grande do Sul: uma Síntese. In: **IANNUZZI, R.; FRANTZ, J. C. (Ed.). 50 anos de geologia: Instituto de Geociências, contribuições**. Porto Alegre: Comunicação e Identidade, 2007. p. 327-340.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: IBGE/SUPREN, 1977.

ⁱ Recebido em: 10/06/2020

Aceito para publicação em: 21/05/2021