

AValiação da fragilidade ambiental no município de Pelotas/ RS

Solange Otte Nörnberg¹
Moisés Ortemar Rehbein²

Resumo: O objetivo deste trabalho é apresentar o mapeamento da fragilidade ambiental do município de Pelotas/ RS. Para tanto, utilizou-se do modelo metodológico de Ross (1994). Sobrepueram-se planos de informações de declividades, tipos de solos e coberturas e usos da terra. As classes de fragilidade ambiental muito fraca (0,85%) e fraca (23,36%) se destacam ao Sul e Leste do município; a classe de fragilidade média (44%) espalha-se por toda área do município e as classes de fragilidade forte (19,43%) e muito forte (2,68%) se concentram ao Norte e Oeste. Neste trabalho, a necessidade de inserção de variáveis ambientais não previstas no modelo metodológico contribui para sua adequação às realidades locais e, também, para sua replicação regional.

Palavras-chave: Erosão. Declividade. Coberturas e Usos da Terra.

EVALUATION OF ENVIRONMENTAL FRAGILITY IN THE MUNICIPALITY PELOTAS/RS

Abstract: The aim of this article is to present the of environmental fragility mapping in the municipality of Pelotas/RS. For this purpose, it was used the methodological model of Ross (1994). It was overlapped declivity information plans, soil types and land uses. The very weak (0.85%) and weak (23.36%) environmental fragility classes it stands out in the South and East of the municipality; the average fragility class (44%) is spread throughout the municipality area and the strong (19.43%) and very strong (2.68%) fragility classes are concentrated in the North and West. In this article, the necessity to include environmental variables not foreseen in the methodological model contributes to their adequation to local realities and, also, to their regional replication.

Keywords: Erosion. Declivity. Land Cover and Uses.

EVALUACIÓN DE LA DEBILIDAD AMBIENTAL EN EL MUNICIPIO PELOTAS/ RS

Resumen: El objetivo de este trabajo es presentar el mapeamiento de la fragilidad ambiental del Municipio Pelotas/ RS; por lo cual, se utilizó el modelo metodológico de Ross (1994). Se solaparon planos de información de declives, tipos de suelos, coberturas y usos de la tierra. Las clases de fragilidad ambiental muy débil (0,85%) y débil (23,36%) se destacan al Sur y al Este del municipio; la clase de fragilidad media (44%) se esparce por toda el área del municipio y la clase de fragilidad fuerte (19,43%) y muy fuerte (2,68%) se concentran en el Norte y Oeste del municipio. En este trabajo, la necesidad de inserción de las variables ambientales no previstas en el modelo metodológico, contribuyen para su adecuación a las realidades locales y, también, para su replicación regional.

Palabras clave: Erosión. Declividad. Coberturas y Usos de la Tierra.

¹ Universidade Federal de Pelotas (UFPel), Departamento de Geografia, Brasil, solangenornberg2@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-4170-6627>

² Universidade Federal de Pelotas (UFPel), Departamento de Geografia, Pelotas, Brasil, moisesgeoufpel@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-8237-437X>

Introdução

As alterações nos usos e coberturas da terra para fins de exploração dos recursos naturais, sem o devido cuidado técnico e planejamento, podem resultar modificações nos sistemas naturais e promover quebras automáticas de seus estados de equilíbrios dinâmicos (ROSS, 1994). O rompimento desse estado de equilíbrio, comumente, observa-se através de ritmos mais intensos no desenvolvimento dos processos naturais e degradação ambiental (SPÖRL, 2007). Entre outros, Silva (2016) destaca os impactos dos desmatamentos, erosão dos solos, assoreamento dos corpos d'água, poluição e contaminação dos recursos hídricos.

A erosão é um processo natural, porém, transformações nas coberturas e usos da terra tem feito aumentar a taxa de incidência desse processo, promovendo “erosão acelerada” (HERNANI *et al.*, 2002; SPÖRL, 2007). A supressão da cobertura vegetal pelas atividades antrópicas, em muitos casos, deixa os solos desnudos e, quando expostos à ação pluviométrica, as partículas constituintes deste, podem sofrer maior quebra de agregados, salpicamento e selamento, dando condições para o escoamento superficial e erosão. O aumento do volume de sedimentos na calha fluvial, resultante da erosão acelerada, contribui para o assoreamento dos leitos dos cursos d'água e numa maior recorrência de inundações (GUERRA, 2009; NETTO, 2009).

Diante de problemas como esse, propõem-se métodos de análise da fragilidade ambiental que visem avaliar o fenômeno da erosão, sua origem, condicionantes e mecanismos de desenvolvimento, assim como, medidas que auxiliem na prevenção, controle e estabilização (SPÖRL, 2007). Dentre esses métodos está a proposta de Ross (1994), a qual, a partir da integração de elementos do meio físico com a ocupação antrópica, busca identificar áreas com maior ou menor susceptibilidade à perda de solos.

Considerando-se o modelo metodológico proposto por Ross (1994), o objetivo deste trabalho é apresentar o mapeamento da fragilidade ambiental do município de Pelotas/ RS. Spörl (2001) destaca a importância que estes estudos possuem para o planejamento ambiental, pois, esses mapeamentos, possibilitam análises do ambiente em função de seus diferentes níveis de fragilidade, contribuindo para indicação de áreas com restrições de usos e ou de maiores aptidões agrícolas.

Localização e caracterização do município de Pelotas/ RS

O município de Pelotas/ RS localiza-se no sudeste do estado do Rio Grande do Sul. É limitado pelas coordenadas 31° 50' 6" a 31° 16' 55" de latitude Sul e 51° 57' 33" a 52° 40' 24" de longitude Oeste, com área de 1.610 km² (IBGE, 2010). O acesso ao perímetro urbano de Pelotas se dá pelas rodovias BR 116, através dos municípios limítrofes de Turuçu e Capão do Leão e BR 392, através de Rio Grande e Canguçu (Figura 01).

Figura 01 - Localização do município de Pelotas/RS.



Fonte: Organizado pelos autores.

Em relação a população, de acordo com o último censo demográfico, Pelotas/ RS possui 328.275 habitantes, dos quais 306.193 (93,27%) residentes urbanos. É o terceiro maior centro urbano populacional do estado do RS e se caracteriza, pela oferta de produtos e serviços, como polo de atração econômica e populacional para os municípios da região sul do estado (IBGE, 2010). Na contagem realizada em 2018 pelo IBGE, estima-se que a população do município tenha tido um acréscimo de 4,07%, ou seja, aumento de 13.373 habitantes.

Na região, o município de Pelotas/ RS também se destaca pela diversidade de atividades agrícolas, como pecuária leiteira, extrativismo de madeira para fins energéticos (lenha), cultivos de milho, feijão, hortaliças, fumo e fruticultura, assim

como, criação de gado de corte e produção de monoculturas de arroz e soja (MIURA *et al.*, 2009).

No contexto da Geografia Física, na área do município se observam formas de relevo associados à unidade morfoestrutural da Bacia Sedimentar de Pelotas (planícies e terraços flúvio-lacustres) e do Escudo Sul-Riograndense (colinas, morrotes e morros graníticos), dispostos em amplitude altimétrica de 397 metros (SILVA e REHBEIN, 2018; REHBEIN e DUTRA, 2019, no prelo). Na hidrografia se destacam as bacias de drenagem dos arroios Pelotas, Santa Bárbara, Corrientes e Contagem, assim como, inúmeras áreas úmidas associadas às hidrodinâmicas do Canal São Gonçalo e Laguna dos Patos (Figura 1). Esses cursos e corpos d'água, além da função ecológica, são importantes recursos hídricos às atividades agropecuárias, industriais e ao abastecimento doméstico do município e região (PMP, 2007).

De acordo com a classificação de Köeppen, em Pelotas/ RS observa-se o clima subtropical úmido (Cfa), o que compreende ao tipo climático temperado (C), com chuvas durante todos os meses do ano (f) e verões amenos (a). Este tipo climático apresenta para o mês mais quente temperatura média superior a 22°C e para o mês mais frio temperatura média superior a 3°C (SEMA-RS/UFSM, 2001). Na área também se observam eventos meteorológicos associados à fenômenos climáticos do El Niño e La Niña, enquanto chuvas intensas e períodos de estiagens. Um desses eventos influenciado pelo El Niño ocorreu em 29 de janeiro de 2009, quando estações pluviométricas localizadas na zona rural do município de Pelotas/ RS registraram aproximadamente 600 mm de chuva em apenas 24 horas. As enxurradas ocasionadas pelo evento torrencial resultaram em aprofundamentos de talvegues fluviais, supressões de vegetação ciliar, inundações e danos estruturais e agrícolas (MEGIATO, 2011). Conforme Rehbein e Dutra (2019, no prelo), eventos extremos como este, intensificam processos erosivos nas encostas do relevo de Pelotas/ RS, especialmente, em vertentes de moderadas à altas declividades com coberturas vegetais esparsas ou com solos desnudos, em pousios ou preparos agrícolas.

Materiais e Métodos

Ross (1994) considera que para analisar a fragilidade de uma área é necessário um estudo integrado dos diversos componentes do estrato geográfico (solo, relevo, vegetação, etc.), calcado no princípio de que a natureza apresenta

funcionalidades intrínsecas entre os seus componentes físicos e bióticos. O princípio da funcionalidade intrínseca baseia-se no conceito de Unidade Ecodinâmica preconizada 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 equilíbrios dinâmicos. Esses equilíbrios, no entanto, podem ser rompidos no momento em que intervenções antrópicas atuam sobre o ambiente (OLIVEIRA, 2012).

Utilizando dos conceitos propostos por Tricart (1977) e visando suas aplicabilidades no planejamento ambiental, Ross (1990, 1994 e 2006) apresenta critérios para definição de Unidades Ecodinâmicas Estáveis e Unidades Ecodinâmicas Instáveis. O autor definiu as Unidades Ecodinâmicas Estáveis (ou de Instabilidade Potencial) como sendo aquelas poupadas da ação antrópica e que estão próximas do seu nível de equilíbrio dinâmico ou em um evoluído estágio de recuperação ambiental. As Unidades Ecodinâmicas Instáveis (ou de Instabilidade Emergente) são definidas como unidades que foram intensamente modificadas pelas intervenções antrópicas, como aquelas fortemente desmatadas em decorrência de práticas econômicas.

Para a avaliação da fragilidade ambiental, Ross (1994) ressalta que 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.

1) Estruturação de Banco de Dados Geográficos (BDG) e elaboração de Planos de Informações (PIs) – Esta etapa compreende a seleção de dados digitais e elaboração dos PIs declividade, solos e cobertura e uso da terra.

Os dados que estruturam o BDG são apresentados no quadro 01.

Quadro 01 - BDG.

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)
Imagem de satélite Landsat 8, de 25/08/2017, órbita/ponto 221/082, Bandas bandas 4, 5 e 6.	Matricial	-	~30m	INPE (2017)

Fonte: Organizado pelos autores.

O **PI declividade** foi elaborado a partir das curvas de nível e pontos cotados, disponibilizados por Hasenack e Weber (2010). Para evitar perdas de informações, os dados foram recortados a partir de um *buffer* de 5 Km dos limites do município de Pelotas. Procedeu-se a geração de um Modelo Numérico do Terreno (MNT) através de modelagem por grade triangular. Na escolha das classes de declividade, utilizou-se como base os intervalos estabelecidos por Ross (1994) por meio de estudos de capacidade de uso/aptidão agrícola: <6%, 6-12%, 12-20%, 20-30% e >30%. Por fim, realizou-se o recorte das informações somente para a área em estudo.

O **PI solos** foi elaborado a partir da vetorização das informações contidas no mapa pedológico de Pelotas (CUNHA, 1996) e da atualização das nomenclaturas das classes de solos, para o 1º nível categórico, conforme quadro 2 com base no Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (Santos *et al.*, 2018).

Quadro 02 - Atualização das nomenclaturas dos tipos de solos encontrados no município de Pelotas/ RS.

Tipos de Solos	
Nomenclatura Antiga (CAMARGO <i>et al.</i> , 1987)	Nomenclatura Nova (SANTOS <i>et al.</i> , 2018)
GLEI	GLEISSOLOS
SOLOCHAK	
SOLO HIDROMÓRFICO	
PLANOSSOLO	PLANOSSOLOS
SOLONETZ	
PODZÓLICO	ARGISSOLOS
PODZOL	ESPODOSSOLOS
REGOSSOLO	NEOSSOLOS
SOLO ALUVIAL	
AREIAS QUARTZOSAS	
SOLO ORGÂNICO	ORGANOSSOLOS

Fonte: Cunha (1996).

O **PI cobertura e uso da terra** foi obtido a partir de imagens do satélite *Landsat 8 sensor OLI*. Inicialmente, gerou-se a composição colorida falsa-cor 564 (RGB), a qual, segundo Franco (2017), facilita a diferenciação das áreas de solo exposto, água e áreas florestais. Esta composição representa as bandas 5 (infravermelho próximo, faixa espectral: 0.845 - 0.885 μm), 6 (Infravermelho médio, faixa espectral: 1.560 - 1.660 μm) e 4 (faixa do visível referente a cor vermelho, faixa espectral: 0.630 - 0.680 μm).

Posteriormente, foram identificadas sobre a composição falsa-cor as classes de coberturas e usos da terra presentes na área de estudo. Para facilitar o processo de interpretação da imagem, foram levados em consideração pontos observados em campo com Sistema de Posicionamento Global (GPS), imagens de satélite de maior

resolução espacial (do *Google Earth Pro*) e elementos de interpretação como cor, tonalidade, forma, padrão, tamanho e textura dos alvos (FLORENZANO, 2007). Seguindo-se orientações do Manual Técnico de Uso da Terra do IBGE (2013b), foram definidas 8 classes de cobertura e uso da terra: Áreas Campestres e Pastagens, Lavouras Temporárias, Áreas Descobertas, Vegetação Natural Florestal, Áreas Úmidas, Corpos D'água; Área Urbanizada e Silvicultura.

Estabelecidas as classes de coberturas e usos da terra, realizou-se a classificação digital supervisionada pelo método da Máxima Verossimilhança (MaxVer). Foram coletadas sobre a composição colorida falsa-cor acima de 35 amostras de treinamento para cada uma das classes definidas, a exceção das classes Silvicultura e Área Urbanizada. As amostras contemplam uma porcentagem igual ou superior a 10% de cada cobertura e uso da terra que se quer classificar. As áreas de Silvicultura, por representar resposta espectral muito semelhante as áreas de Vegetação Natural Florestal, e as áreas Urbanizadas, por apresentar resposta espectral muito similar as áreas de Solo Exposto, foram mapeadas por meio de vetorizações e aplicação de máscaras poligonares.

Por fim, afim de validar a classificação gerada, o mapa de cobertura e uso da terra foi submetido ao cálculo do índice *Kappa* (CONGALTON; GREEN, 2009). Com apoio da composição colorida falsa-cor, imagens disponibilizadas no programa *Google Eart Pro*, e pontos observados em campo com GPS, foram analisadas aproximadamente 50 amostras de cada classe de cobertura e uso, conforme recomendado por Congalton e Green (2009) para mapas com dimensões de até aproximadamente 4.047Km² e com menos de 12 classes. O mapa exibiu um índice de exatidão $K=0,93$, classificado como excelente pelos limiares de concordância estabelecidos por Landis e Koch (1977).

2) Classificação dos PIs e elaboração do mapa síntese de fragilidade ambiental – Esta etapa consiste na definição de valores de fragilidade ambiental preconizados por Ross (1994), que variam entre 1 (muito fraca) a 5 (muito forte), para cada classe temática dos PIs. Posteriormente, através da integração em ambiente SIG dos PIs classificados, procedeu-se a elaboração do mapa de fragilidade ambiental do município de Pelotas/ RS.

Para o **PI declividade** foram atribuídas às classes clinográficas os graus de fragilidade apresentados no quadro 03.

Quadro 03 - Classes de fragilidade dos intervalos de declividades encontrados no município de Pelotas/RS.

Classes de fragilidade	Intervalos de Declividades (%)
1 - muito fraca	< 6
2 - fraca	6 - 12
3 - média	12 - 20
4 - forte	20 - 30
5 - muito forte	> 30

Fonte: Ross (1994).

No **PI solos** foram atribuídos valores de fragilidade aos tipos de pedologia conforme quadro 04, seguindo-se as proposições de Ross (1994) e definições de suscetibilidade à erosão descritos nos perfis de solos apresentados em Cunha e Silveira (1996).

Quadro 04 - Classes de fragilidade dos tipos de solos encontrados no município de Pelotas/RS.

Classes de fragilidade	Tipos de Solos
1 - muito fraca	GLEISSOLOS
	PLANOSSOLOS
3 - média	ARGISSOLOS
4 - forte	ESPODOSSOLOS
5 - muito forte	NEOSSOLOS
	ORGANOSSOLOS

Fonte: Ross (1994); Cunha e Silveira (1996).

Para as unidades de mapeamento que apresentam a associação de dois ou mais tipos de solos (CUNHA, 1996), calculou-se uma média simples entre os valores de fragilidade de cada classe de solo. A associação que apresentou o valor final do cálculo da média 1,0 recebeu grau de fragilidade muito fraca; entre 1,1 a 2,0 grau de fragilidade fraca; entre 2,1 a 3,0 grau de fragilidade média; entre 3,1 a 4,0 grau de fragilidade forte e entre 4,1 a 5,0 grau de fragilidade muito forte (Quadro 05).

Quadro 05 - Classes de fragilidade das unidades de mapeamento de solos em Pelotas/RS.

Tipos de solos (fragilidade componente)	Fragilidade média	Classes de fragilidade (unidade de mapeamento)
Gleissolos (1)	1,0	1 - muito fraca
Gleissolos (1) + Planossolos (1)	1,0	
Argissolos (3) + Gleissolos (1)	2,0	2 - fraca
Planossolos (1) + Argissolos (3)	2,0	
Gleissolos (1) + Neossolos (5)	3,0	3 - média
Argissolos (3)	3,0	
Espodossolos (4) + Gleissolos (1)	2,5	
Organossolos (5) + Gleissolos (1)	3,0	
Argissolos (3) + Neossolos (5)	4,0	4 - forte
Gleissolos (1) + Organossolos (5) + Neossolos (5)	3,7	
Espodossolos (4) + Neossolos (5) + Gleissolos (1) + Organossolos (5)	3,8	
Neossolos (5)	5,0	5 - muito forte
Neossolos (5) + Argissolos (3) + Afloramentos	4,3	

Rochosos (5)		
--------------	--	--

Fonte: Ross (1994); Cunha (1996).

As classes temáticas no **PI cobertura e uso da terra** foram classificadas quanto ao seu grau de fragilidade conforme quadro 6. As áreas urbanizadas e os corpos d'água não são contemplados nesta classificação. Para classificar as áreas urbanas 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.

Quadro 06 - Classes de fragilidade de cobertura e uso da terra em Pelotas/ RS.

Classes de Fragilidade	Classes de Cobertura e Uso da Terra
1 - Muito Fraca	Vegetação Natural Florestal
3 - Média	Áreas Campestres e Pastagens
	Silvicultura
4 - Forte	Lavouras Temporárias
	Áreas Úmidas
5 - Muito Forte	Áreas Descobertas

Fonte: Adaptado de Ross (1994).

A classe das áreas úmidas não consta na metodologia de Ross (1994). Essas áreas são apontadas como ecossistemas produtivos fundamentais para o crescimento de inúmeras espécies de plantas e animais (RAMSAR, 2013), são comumente refúgios de espécies endêmicas e ou ameaçadas de extinção (BARCELLOS, 2019). Também são áreas responsáveis pela manutenção hidrológica, pois, em períodos de cheia, atuam como grandes esponjas naturais, retendo temporariamente os excessos de água, enquanto que em períodos de estiagem, contribuem para perenidade dos cursos fluviais e demais corpos d'água continentais (DARONCH; CABRAL; PRADO, 2006). Considerando-se a dinamicidade ecológica e hidrológica, às áreas úmidas foi elencado o grau de fragilidade 4 - forte.

Atribuídos os valores de fragilidade para todas as classes, por fim, realizou-se a soma dos PIs declividade, solos e coberturas e usos da terra, afim de mapeamento da fragilidade ambiental do município de Pelotas/ RS. 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 01.

Tabela 01 - Definição das classes de Fragilidade Ambiental.

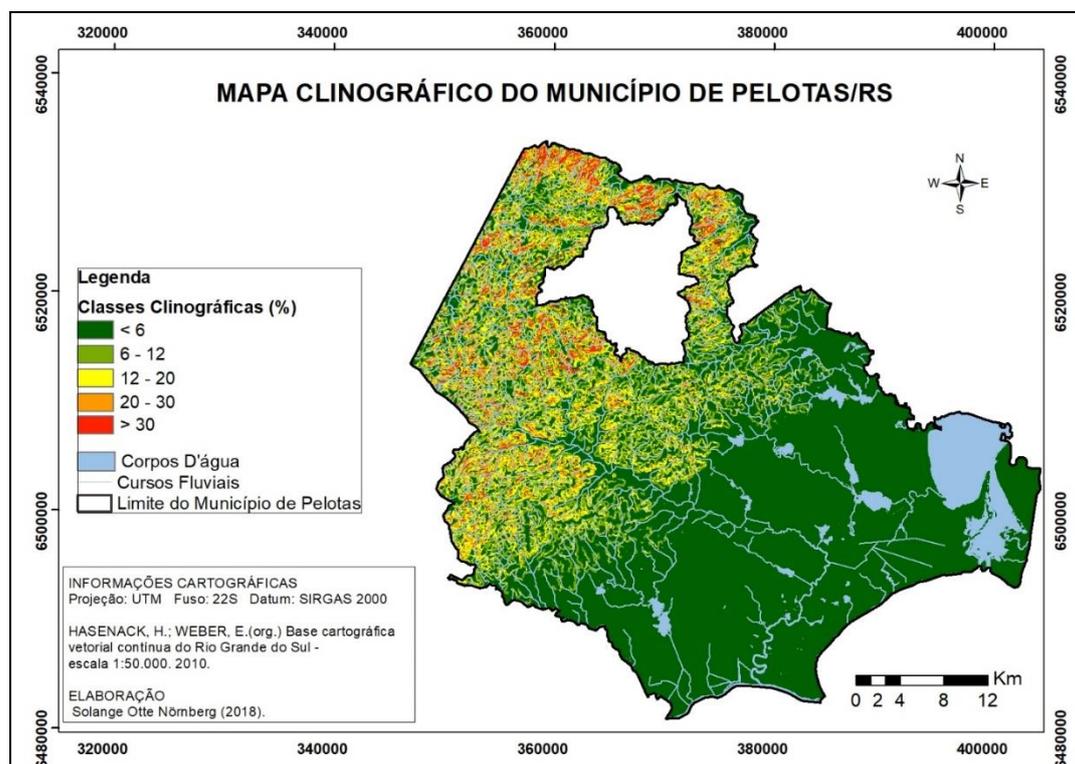
Valores de Fragilidade					
Declividade			Uso e Cobertura da Terra	Fragilidade Ambiental	Descrição das Classes
1	1		1	03	Muito Fraca
2	2		2	04 a 06	Fraca
3	3	+	3	07 a 09	Média
4	4	+	4	10 a 12	Forte
5	5		5	13 a 15	Muito Forte

Fonte: Adaptado de Ross (1994).

Resultados e Discussões

Declividades, solos, coberturas e usos da terra

No município de Pelotas/ RS foram identificadas e mapeadas classes de declividades inferiores a 6% a superiores a 30% (Figura 2). As informações da área e enquadramento dessas classes quanto a sua fragilidade potencial são apresentadas na tabela 02.

Figura 02 - Mapa clinográfico do município de Pelotas/RS.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Tabela 02 - Classes clinográficas e fragilidade ambiental no município de Pelotas/RS.

Classes clinográficas (%)	Área		Classe de fragilidade
	Km ²	%	
< 6	1115,92	69,31	Muito fraca
6 - 12	204,36	12,69	Fraca
12 - 20	178,08	11,06	Média

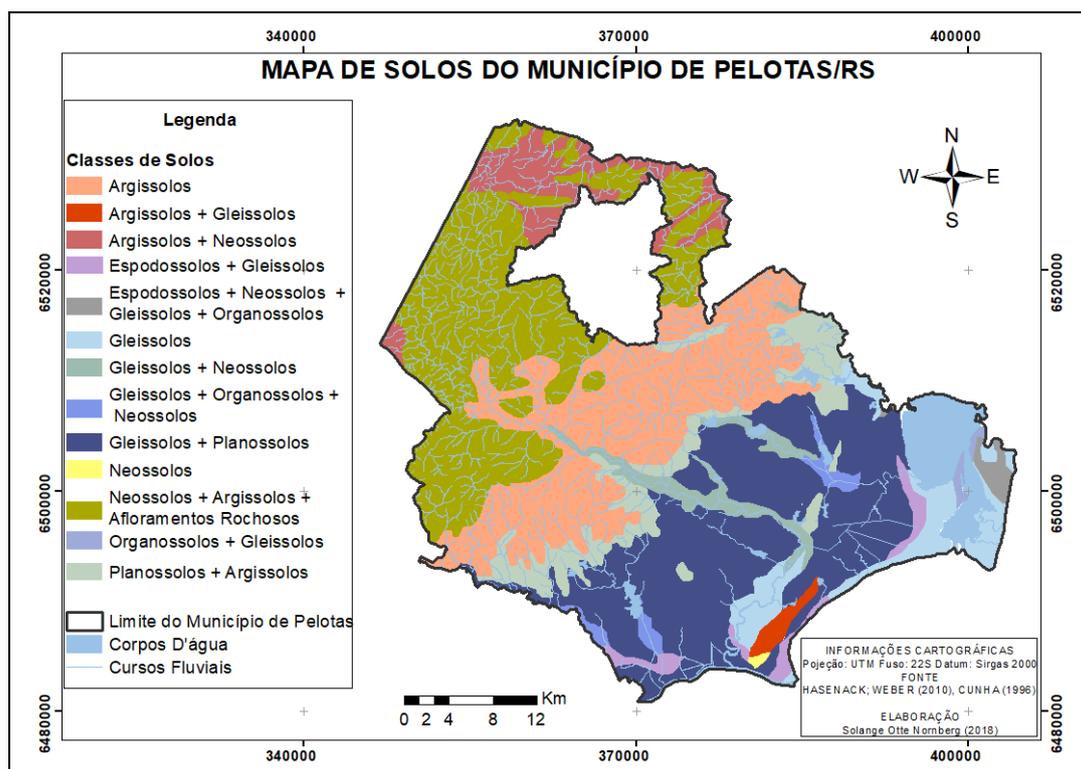
20 - 30	77,77	4,83	Forte
> 30	33,95	2,11	Muito forte

Fonte: Organizado pelos autores.

Na área do município predomina a classe clinográfica de valores inferiores a 6%, enquadrada como muito fraca fragilidade. É notória a espacialização dessa classe em sentido Sul e Leste no município. A classe de declividades, em intervalos de 6 a 12%, enquadrada como fraca fragilidade, ocorre principalmente em porções centrais e em sentido Norte e Oeste de Pelotas/ RS. Os intervalos de declividades mais acentuadas, acima de 12%, enquadrados como de média a muito forte fragilidade, notadamente, ocorrem em sentido Norte e Oeste.

Quanto aos solos, conforme Cunha (1996), são identificadas no município 13 unidades de mapeamento. A figura 03 traz a espacialização dessas unidades enquanto tipos e associações de solos e a tabela 2 organiza essas informações em valores de área e fragilidade potencial.

Figura 03 - Mapa de solos do município de Pelotas/ RS.



Fonte: Adaptado de Cunha (1996).

Tabela 03 - Classes de solos e fragilidade ambiental no município de Pelotas/RS.

Classes de solos	Área		Classe de fragilidade
	Km ²	%	
Gleissolos	79,81	5,14	Muito fraca
Gleissolos + Planossolos	410,81	26,46	
Argissolos + Gleissolos	11,62	0,75	Fraca
Planossolos + Argissolos	112,19	7,22	

Gleissolos + Neossolos	47,49	3,06	
Argissolos	347,51	22,38	Média
Espodossolos + Gleissolos	25,59	1,65	
Organossolos + Gleissolos	7,69	0,50	
Argissolos + Neossolos	89,19	5,74	Forte
Gleissolos + Organossolos + Neossolos	21,89	1,41	
Espodossolos + Neossolos + Gleissolos + Organossolos	11,37	0,73	
Neossolos	1,49	0,10	Muito forte
Neossolos + Argissolos + Afloramentos Rochosos	386,33	24,88	

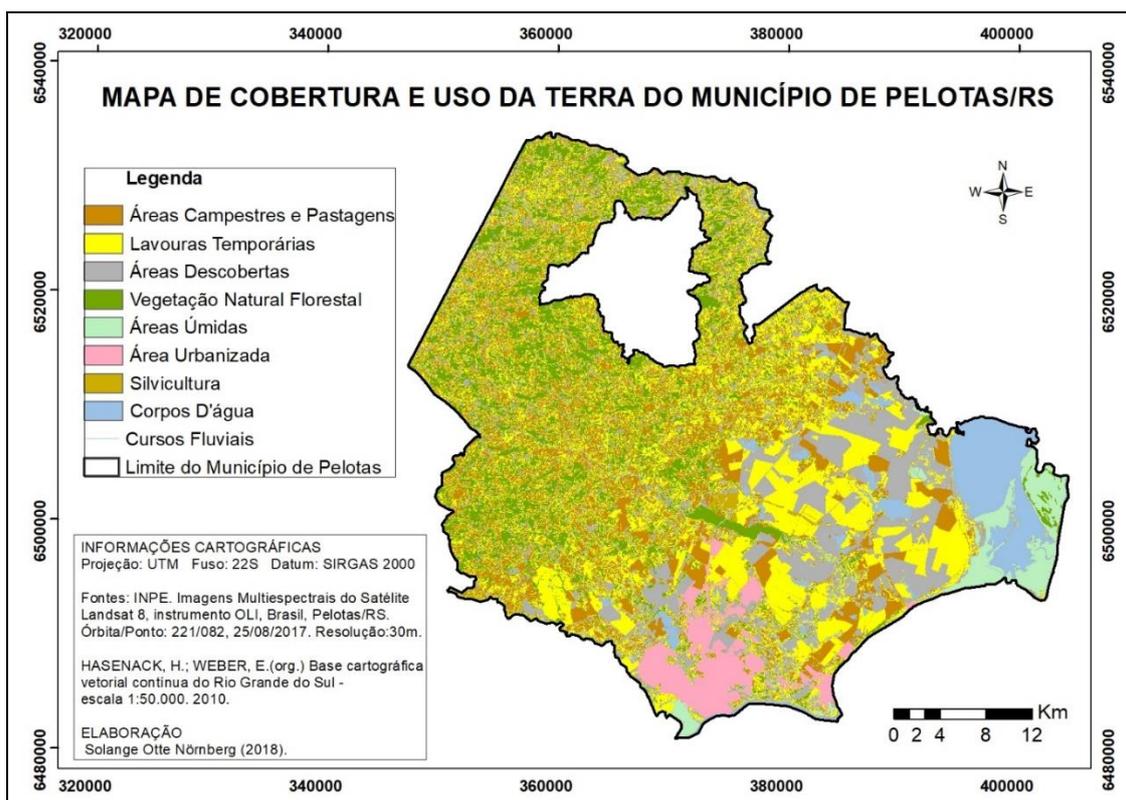
Fonte: Organizado pelos autores.

Observa-se no município o predomínio da associação Gleissolos e Planossolos, seguida da associação de Neossolos, Argissolos e afloramentos rochosos e a classe de Argissolos. Essas classes de solos (unidades de mapeamento) ocorrem em mais de 73% da área de Pelotas/ RS.

A associação Gleissolos e Planossolos ocorre principalmente na porção sudeste do município em áreas de declividades predominantemente inferiores à 6% e se classifica como de muito fraca fragilidade. A associação Neossolos, Argissolos e afloramentos rochosos ocorre majoritariamente na porção noroeste da área de estudo em declividades predominantemente superiores a 12% e se enquadra como muito forte fragilidade. Os Argissolos ocorrem principalmente na porção central da área do município e em classes de declividades de 6% a 20%, enquadrando-se como de média fragilidade.

No município também se apresentam unidades de mapeamento de solos que se enquadram como de fraca e forte fragilidade, das quais se destacam, respectivamente, a associação de Planossolos e Argissolos, de ocorrência Centro-Sul e declividades predominantemente inferiores a 6%; e a associação de Argissolos e Neossolos, verificadas majoritariamente ao Norte e em declividades acima de 12%.

Quanto às coberturas e usos da terra, em Pelotas/ RS foram mapeadas as classes Áreas Campestres e Pastagens; Lavouras Temporárias; Áreas Descobertas; Vegetação Natural Florestal; Áreas Úmidas; Área Urbanizada; Silvicultura e Corpos D'água (Figura 4). A quantificação dessas classes em área e a indicação de suas fragilidades potenciais estão organizadas na tabela 04.

Figura 04 - Mapa de cobertura e uso da terra do município de Pelotas/RS.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Tabela 04 - Classes de cobertura e uso da terra e fragilidade ambiental no município de Pelotas/RS.

Classes de cobertura e uso da terra	Área		Classe de fragilidade
	Km ²	%	
Vegetação Natural Florestal	289,26	17,97	Muito fraca
Áreas Campestres e Pastagens	286,89	17,83	Média
Silvicultura	11,73	0,73	
Lavouras Temporárias	462,54	28,72	Forte
Áreas Úmidas	48,12	2,99	
Áreas Descobertas	356,04	22,10	Muito forte
Corpos D'água	90,60	5,63	-
Área Urbanizada	64,90	4,03	

Fonte: Organizado pelos autores.

No município predominam as classes de Lavouras Temporárias e Áreas Descobertas, as quais somadas, representam 50,82% da área. As Lavouras Temporárias, de forte fragilidade, representam cultivos de plantas com ciclo vegetativo inferior a um ano. Na região Sul e Leste do município as Lavouras Temporárias possuem dimensões maiores e estão associadas principalmente às monoculturas de arroz e soja. Já na região Central, Norte e Oeste estas áreas possuem, de modo geral, dimensões menores e representam às propriedades com cultivos mistos, como: hortaliças, milho, feijão, batata e fumo.

As Áreas Descobertas, enquadradas como muito forte fragilidade, correspondem as superfícies de solos desnudos em pousio ou preparo agrícola, nesse caso, muitas vezes, com o revolvimento dos perfis superiores. São áreas que se apresentam em todas as orientações, mas são maiores em sentido Sudeste no município.

As classes de Vegetação Natural Florestal, de muito fraca fragilidade, e Áreas Campestres e Pastagem, de média fragilidade, totalizaram 35,8% da área de Pelotas/ RS. A classe de Vegetação Natural Florestal corresponde, principalmente, às matas ciliares de cursos e corpos d'água e capões localizados em encostas íngremes e topos de morros angulosos. As Áreas Campestres e Pastagens representam coberturas herbáceas e arbustivas naturais e introduzidas para criação de ovinos, caprinos, equinos, pecuária leiteira e criação de gado de corte. Ocorrem distribuídas em Pelotas/ RS associadas às Lavouras Temporárias em pousio ou em vertentes de relevo que impedem atividades agrícolas com maquinários.

Os Corpos D'água; Área Urbanizada; Áreas Úmidas e Silvicultura, somados, representam 13,38% da área territorial de Pelotas/ RS. A classe dos Corpos D'água compreende canais fluviais, lagoas, açudes e ou reservatórios, utilizados para piscicultura, irrigação de lavouras, criação de animais e abastecimento doméstico rural e urbano. Os corpos d'água de maiores dimensões, em função da orientação da rede de drenagem, ocorrem na porção Leste e Sul do município.

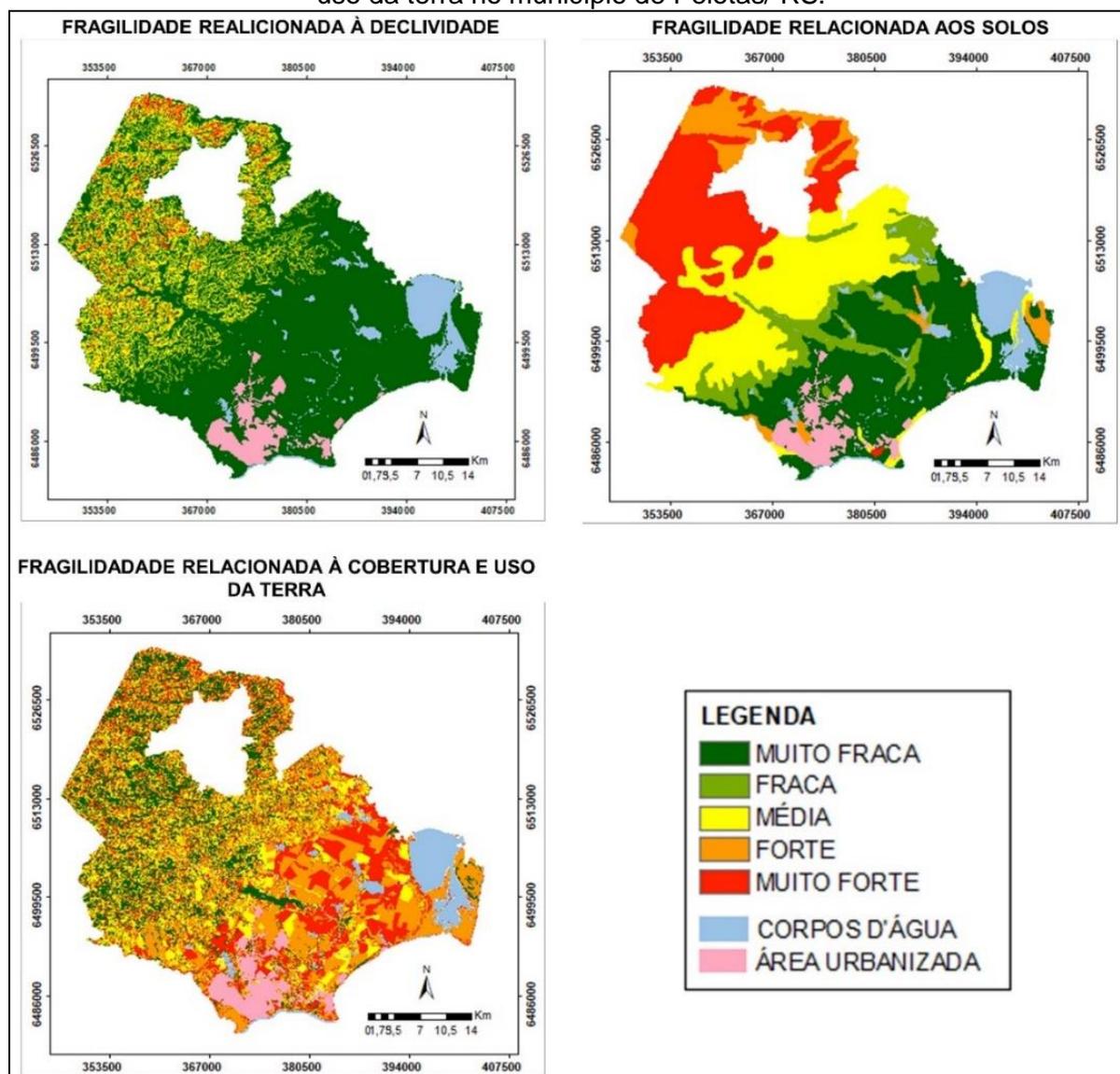
A classe Área Urbanizada, na porção Sul do município, compreende a macha urbana de Pelotas/ RS e representa aglomerações de edificações residenciais, comerciais, industriais e do sistema viário. A expansão da mancha urbana tem pressionado a supressão das áreas úmidas. A classe das Áreas Úmidas compreende superfícies planas, próximas a cursos e corpos d'água, de solos mal drenados e vegetação adaptada as oscilações do nível freático, sazonalmente superficial. A reconhecida importância ecológica e o dinamismo hidrológico dessas áreas lhe conferem forte fragilidade ambiental.

Por fim, a classe de Silvicultura compreende as áreas de coberturas florestais exóticas, especialmente eucaliptos. Estão distribuídas por todo município e têm variadas dimensões, todavia, notoriamente os cultivos são maiores ao Sul. Servem às demandas de pequenas propriedades rurais e de matéria prima para as indústrias. Classificam-se como de média fragilidade.

Mapeamento da fragilidade ambiental

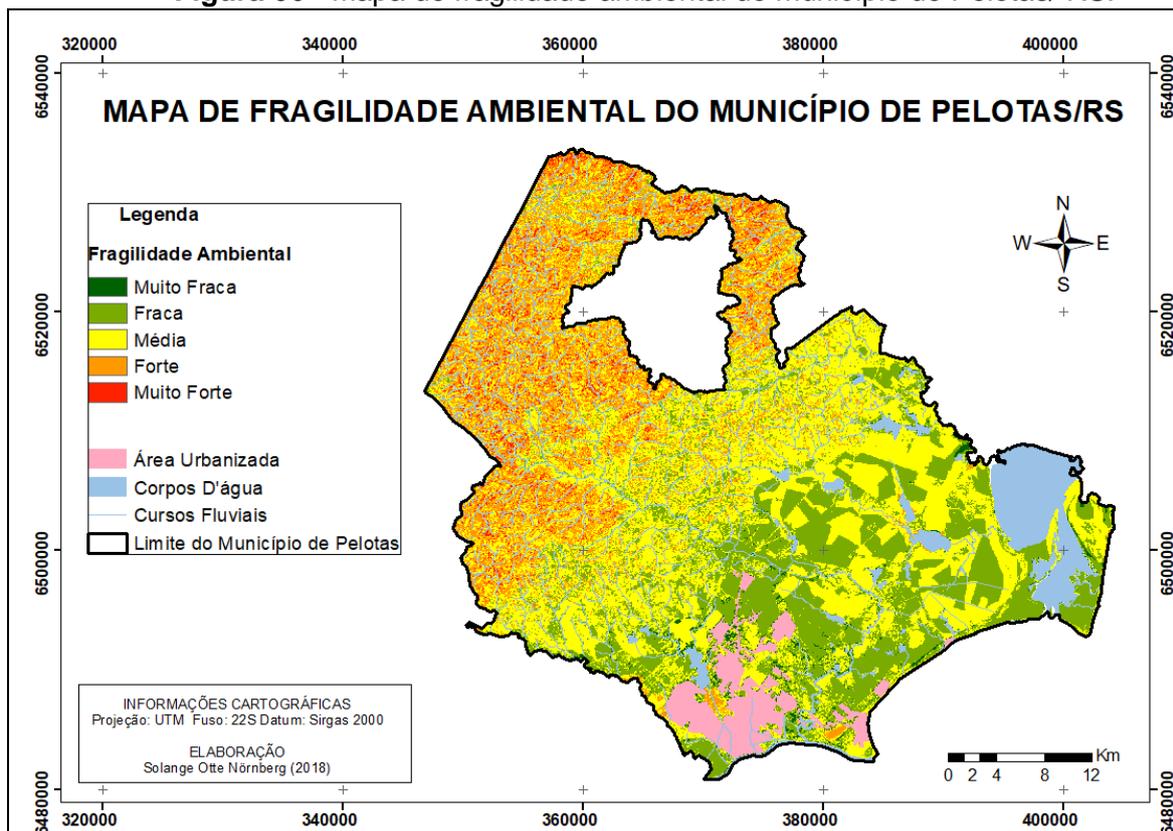
Para o mapeamento de fragilidade ambiental do município de Pelotas/ RS realizou-se a soma dos PIs de fragilidades ambientais relacionados à declividade, solos e cobertura e uso da terra, conforme figura 05.

Figura 05 - PIs de fragilidades ambientais relacionadas à declividade, solos e cobertura e uso da terra no município de Pelotas/ RS.



Fonte: Organizado pelos autores.

O resultado da superposição desses diferentes PIs é apresentado na figura 6, enquanto documento síntese da pesquisa ou mapa de fragilidade ambiental do município de Pelotas/ RS. No município foram mapeadas classes de fragilidade que variam de muito fraca a muito forte. A área de cada classe de fragilidade é apresentada na tabela 05.

Figura 06 - Mapa de fragilidade ambiental do município de Pelotas/ RS.

Fonte: Organizado pelos autores.

Tabela 05 - Classes de fragilidade ambiental no município de Pelotas/RS e respectivas áreas.

Classes de fragilidade	Área	
	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.

As áreas que apresentaram muito fraca fragilidade ambiental ocorrem principalmente na porção Sul do município, em locais de declividade inferior a 6%, em que há ocorrência de Gleissolos e associação de Gleissolos com Planossolos, cobertos por vegetação natural florestal (Figura 7 a). Representam 0,85% da área do município.

A classe de fragilidade fraca destaca-se ao Sul e Leste do município e representa superfícies de declividades majoritariamente inferiores a 6% em que ocorrem Gleissolos, Argissolos, associação de Gleissolos com Planossolos e associação de Argissolos com Planossolos. Compreendem áreas de lavouras temporárias, áreas úmidas, vegetação herbácea e de vegetação natural florestal (Figura 7 b). Representam 23,36% da área de Pelotas/ RS.

A classe de média fragilidade ambiental espalha-se por todo o município e é a mais representativa, com 44% da área territorial do município. Nas porções Norte e Noroeste, a classe representa vertentes com declividades entre 12 e 20%, em que predominam Argissolos com coberturas herbáceas (campos ou pastagens), lavouras temporárias ou áreas descobertas (Figura 07 c). Nas porções Central, Leste e Sudeste, compreende declividades inferiores a 6%, associações de Planossolos com Argissolos, Gleissolos com Planossolos e Gleissolos com Neossolos, e áreas de solo exposto (Figura 07 d).

As classes de fragilidades forte (19,43% da área) e muito forte (2,68%) especializam-se ao Norte e Oeste do município. A classe de forte fragilidade representa principalmente vertentes de declividades que variam de 12% até 30%. Correspondem as unidades de mapeamento de associação de Gleissolos com Organossolos e Neossolos, e associação de Neossolos com Argissolos e afloramentos rochosos. Quanto aos usos e coberturas, envolvem áreas de solo exposto, lavouras temporárias, campos e pastagens (Figura 07 e).

A classe de fragilidade ambiental muito forte compreende vertentes de declividades superiores a 12% com associação de Neossolos, Argissolos e afloramentos rochosos, sobre os quais se observam lavouras temporárias, campos e pastagens ou solo exposto (Figura 07 f).

Figura 7 - (a; b; c; d; e; f): Diferentes categorias de fragilidade ambiental no município de Pelotas/ RS.

 <p>a</p>	<p>Área de muito fraca fragilidade ambiental, com declividade inferior a 6%, associação de Gleissolos com Planossolos e vegetação natural florestal. Coordenadas UTM: 6493909.01m N e 370037.21m E. Orientação da visada: SO. Fonte: Os autores.</p>
 <p>b</p>	<p>Área de fraca fragilidade ambiental, com declividade menor que 6%, associação de Planossolos com Argissolos e cobertura herbácea. Coordenadas UTM: 6497568.21m N e 386373.59m E. Orientação da visada: E. Fonte: Silva (2017, p. 94).</p>
 <p>c</p>	<p>Área de média fragilidade ambiental, com declividade entre 6 e 12%, Argissolos e cobertura herbácea. Coordenadas UTM: 6502419.69m N e 366413.54m E. Orientação da visada: SO. Fonte: Silva (2017, p. 85).</p>
 <p>d</p>	<p>Área de média fragilidade ambiental, com declividade entre 12% e 20%, associação de Planossolos com Gleissolos e cobertura herbácea. Coordenadas UTM: 6493897.10m N e 370227.26m E. Orientação da visada: O. Fonte: Silva (2017, p. 85).</p>
 <p>e</p>	<p>Área de forte fragilidade ambiental, com declividade entre 12 e 20%, associação de Argissolo, Neossolo e afloramentos rochosos, e lavoura temporária. Coordenadas UTM: 6516428.25m N e 357586.91m E. Orientação da visada: SO. Fonte: Os autores.</p>
 <p>f</p>	<p>Área de muito forte fragilidade ambiental, com declividade superior a 30%, associação de Neossolos, Argissolos e afloramentos rochosos, e solo exposto. Coordenadas UTM: 6514039.53m N e 349755.58m E. Orientação da visada: NE. Fonte: Os autores.</p>

Fonte: Organizado pelos autores.

Considerações Finais

A superposição dos Pls de declividades, solos, coberturas e usos da terra resultou no mapeamento da fragilidade ambiental no município de Pelotas/ RS. Na

área, são notórias as influências das unidades morfoestruturais e esculturais do relevo na espacialização das classes de fragilidade ambiental. Ao Sul e Leste do município, áreas de influência da Bacia Sedimentar de Pelotas e Planície Costeira do RS, concentram-se as classes de fraca a muito fraca fragilidade e ao Norte e Oeste, superfícies de influência do Escudo e Planalto Sul-Riograndense, concentram-se as classes de forte a muito forte fragilidade. Essas unidades de relevo são determinantes na espacialização das declividades e solos e, assim, condicionantes dos usos da terra.

O mapa de fragilidade ambiental de Pelotas/ RS é o produto de uma realidade estática, considerando-se a resolução espacial e a data das imagens de satélite usadas para o mapa de coberturas e usos da terra. A evolução espaço-temporal das práticas agrícolas ou as dinâmicas sazonais nos usos da terra no município, como por exemplo entre lavouras temporárias e áreas descobertas, podem resultar alguma alteração na espacialização e nos dados de área das classes de fragilidades.

Na área de estudo ocorrem tipos e associações de solos e classes de usos da terra não previstas no modelo de Ross (1994). A inserção dessas variáveis e proposições de ponderações quanto à fragilidade ambiental contribuem para adequação do modelo às realidades locais e, também, para sua replicação regional, fomentando-se, desse modo, novos estudos nesta perspectiva de análise ambiental.

Referências

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

CAMARGO, M. N.; KLAMT, E.; KAUFFMAN, J. H. **Classificação dos solos usada em levantamentos pedológicos no Brasil**. Boletim Informativo da Sociedade Brasileira Ciência do Solo, Campinas, v.12, n.1, p.11-33, jan./abr. 1987.

CONGALTON, R.; GREEN, K. **Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices**. Boca Raton: CRC/Taylor & Francis, 2009. 183p.

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.

- FLORENZANO, T. G. **Iniciação em sensoriamento remoto**. 2º edição de Imagens de satélite para estudos ambientais. São Paulo: Oficina de textos, 2007.
- FRANCO, R. **Composiciones Landsat en ARCGIS. Guía Básica**. Bogotá, Colombia. 45p. 2017. Disponível em: <https://mixdyr.wordpress.com/2017/06/30/composiciones-landsat-en-arcgis/>. Acesso em: 03 de ago. 2019.
- GUERRA, A. J. T. Processos erosivos nas encostas. In: GUERRA, A.J.T; CUNHA. S. B (Orgs). **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2009.
- 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).
- HERNANI, L. C. *et al.* **A erosão e seu impacto**. In: MANZATTO, C.V. et al. (Ed.). Uso agrícola dos solos brasileiros. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002. p. 47-60.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **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.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Censo demográfico – 2010**. Resultados do Universo relativos às características da população e dos domicílios. Rio Grande do Sul. Rio de Janeiro, 2010.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Manual técnico de uso da terra**. In: Manuais Técnicos em Geociências. Nº 7. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Rio de Janeiro/ RJ, 2013b.
- LANDIS, J.R., KOCH, G.G. **The measurement of observer agreement for categorical data**. *Biometrics*, v. 33, n.1, p. 159-174, 1977.
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE. 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.
- MEGIATO, E. I. **Análise da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do Arroio Pelotas, RS**. 2011. 149f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul/UFRGS. Porto Alegre, RS. 2011.
- MIURA, A. K. *et al.* **Deteção de mudanças no uso das terras no município de Pelotas (RS, Brasil) no período de 1985 a 2007, por meio de processamento digital de imagens**. In: Anais... Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 5997-6004.
- NETTO, A.L.C. Hidrologia de encosta na interface com a geomorfologia. In: GUERRA, A.J.T; CUNHA. S. B (Orgs). **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2009.
- OLIVEIRA, R. G. de; *et al.* **Análise da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do córrego São João-MS utilizando geoprocessamento**. *Revista Brasileira de Cartografia*, nº 64/1, p.15-24, 2012.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE PELOTAS. III PLANO DIRETOR DO MUNICÍPIO DE PELOTAS. **Mapa temático: bacias hidrográficas e área de nascentes**. Pelotas:

Secretaria Municipal de Urbanismo, 2007. Escala 1:100.000. Projeção UTM. DATUM Sad-69.

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-rio-grandense no município de Pelotas**. Estudos Geográficos: Revista Eletrônica de Geografia, 2019. No prelo.

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.

ROSS, J. L. S. **Geomorfologia, Ambiente e Planejamento**. Editora Contexto, São Paulo, 1990.

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

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

SECRETARIA DO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL – SEMA/ UFSM-RS. 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. E. da. **Análise e mapeamento geomorfológico da área de influência da Planície Costeira do município de Pelotas/ RS**. 2017. 181f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Instituto de Ciências Humanas, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2017.

SILVA, A. R. E. da; 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, São Paulo, v. 19, n 3. p.567-585, 2018.

SILVA, R. C. da. **Estudo da dinâmica da fragilidade ambiental na Bacia Hidrográfica do Rio Gravataí, RS**. 2016. Tese (Doutorado em Geografia), Universidade Federal da Bahia. Instituto de Geociências. Salvador, 2016.

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

SPÖRL, C. **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.

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

NOTAS DE AUTOR

CONTRIBUIÇÃO DE AUTORIA

Solange Otte Nörnberg – Concepção e elaboração do manuscrito. Participação ativa da discussão dos resultados; Revisão da Bibliografia. Análise das informações bibliográficas. Revisão da versão final do trabalho.

Moisés Ortemar Rehbein – Concepção do manuscrito. Participação ativa da discussão dos resultados; Revisão da Bibliografia. Análise das informações bibliográficas. Revisão e aprovação da versão final do trabalho.

FINANCIAMENTO

Não se aplica.

CONSENTIMENTO DE USO DE IMAGEM

Não se aplica.

APROVAÇÃO DE COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA

Não se aplica.

CONFLITO DE INTERESSES

Não se aplica.

LICENÇA DE USO

Este artigo está licenciado sob a [Licença Creative Commons CC-BY](#). Com essa licença você pode compartilhar, adaptar, criar para qualquer fim, desde que atribua a autoria da obra.

HISTÓRICO

Recebido em: 15-11-2019

Aprovado em: 28-05-2020