

Caracterização da fragilidade ambiental de uma bacia hidrográfica urbana no município de Santa Maria - RS

Characterization of the environmental fragility of a urban river basin in the municipality of Santa Maria – RS

Bruna Nascimento de Vasconcellos Schiavo¹, Ângela Maria Klein Hentz², Ana Paula Dalla Corte³, Carlos Roberto Sanquetta⁴

¹Mestranda do Programa de Pós Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

²Doutoranda do Programa de Pós Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

^{3,4} Prof.^a Dr.^a do Departamento de Ciências Florestais, Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

Resumo

O Geoprocessamento tem sido considerado instrumento fundamental na definição de políticas de intervenção e gestão ambiental. O presente trabalho objetiva caracterizar a fragilidade ambiental da sub-bacia hidrográfica do arroio Cadena, inserida no município de Santa Maria, região central do estado do Rio Grande do Sul, com o uso de geotecnologias. Utilizou-se o método adaptado proposto por Ross em (1994), que é baseado na compreensão das características e da dinâmica do ambiente natural. Para avaliar a fragilidade foram estabelecidos pesos ou notas a cada situação que as variáveis do processo apresentaram, processadas em ambiente SIG a partir da ferramenta álgebra de mapas. A bacia hidrográfica possui uma fragilidade potencial fraca, com 52,9 % em relação a área total, consequência da declividade plana agregada ao tipo de solo. Apresenta uma fragilidade emergente forte, com 37,7% da área total, devido ao processo de urbanização associado a ocupações irregulares e uso inadequado dos recursos naturais. A metodologia apresentada foi considerada satisfatória, pois, foi possível analisar a fragilidade ambiental da área de estudo, e ainda, os resultados obtidos indicam a importância de se implantar um plano de gerenciamento urbano e ambiental no município de Santa Maria.

Palavras-chave: Vulnerabilidade ambiental, Landsat8, SRTM, Geotecnologias, Urbanização.

Abstract

The Geoprocessing has been considered a fundamental tool in the definition of intervention policies and environmental management. This work presents a methodological guide of application of Geoprocessing technologies to characterize the environmental fragility of Arroio Cadena sub river basin, inserted in the municipality of Santa Maria, central region of Rio Grande do Sul state. We used the methodology proposed by Ross in (1994), which is based in the comprehension of the characteristics and the dynamics of the natural environment. To evaluate the fragility, it is established weights or grades to each situation that the variables can present. We used as indicators of the potential environmental fragility, the factors: declivity and soil type, and as indicators of emerging fragility, the factors: declivity, soil type and the use and occupation of the land. Among the uses of the basin, the areas of soil that is exposed and urbanization predominate. The basin has a weak potential fragility, with 52.9% in relation to the total area, and it is a consequence of the flat declivity aggregated in the soil type. It presents a strong emerging fragility, with 37.7% of the total area, due to the irregular occupations and the inadequate use of natural resources.

Keywords: Environmental vulnerability, Landsat 8, SRTM, Geotechnologies, Urbanization.

1 Introdução

As últimas décadas têm trazido preocupação à sociedade com as mudanças ambientais globais, associadas à degradação ambiental e as práticas ambientais não sustentáveis. Conforme o uso irracional dos recursos naturais compromete a sustentabilidade do planeta, a existência humana passa a depender da conservação racional dos recursos naturais (RUSCHEL, 2000).

Fragilidade ambiental é a susceptibilidade do ambiente de sofrer intervenções, ou de ser alterado. Quando é quebrado o estado de equilíbrio dinâmico, o sistema pode entrar em colapso, passando para uma situação de risco. A desestabilização do sistema pode ter como indutores tanto processos naturais quanto antrópicos (SPORL, 2004).

De acordo com Kawakubo (2005), o estudo de fragilidade ambiental constitui uma das principais ferramentas utilizadas pelos órgãos públicos na elaboração do planejamento territorial ambiental. O mapeamento da fragilidade ambiental permite avaliar as potencialidades do meio ambiente de forma integrada, compatibilizando suas características naturais com suas restrições.

Diante disso, é possível avaliar se as ações efetuadas pelo homem (uso e ocupação da terra), no presente ou no passado, podem conviver em harmonia com os condicionantes naturais, assim como realizar simulações em relação a cenários futuros (TAVARES, 2006).

De acordo com Calijuri (2007) estudos e investigações que dão suporte à avaliação do meio físico natural, integrando as atividades antrópicas, são considerados de extrema importância no planejamento e ordenamento do uso da terra, compatibilizando o desenvolvimento socioeconômico com a conservação do meio ambiente. A identificação dos ambientes naturais e suas fragilidades potenciais e emergentes proporcionam uma melhor definição das diretrizes, servindo de base para planejamento do território (SPORL, 2004).

De acordo com Tamanini (2008), o conceito de fragilidade ambiental diz respeito à vulnerabilidade do ambiente em sofrer qualquer tipo de dano. Relaciona-se com fatores de desequilíbrio de ordem tanto natural (expresso pela própria dinâmica do ambiente), como em situações de elevadas declividades e alta susceptibilidade erosiva dos solos, quanto antropogênica (uso inadequado da terra e de intervenções em regimes fluviais).

A variedade de tipos de solos e sua distribuição espacial influenciam na eficiência dos usos e ocupações, e na intensidade dos impactos ambientais (TRENTIN, 2012).

Já a declividade pode ser considerada um importante fator de análise no estudo da fragilidade ambiental de um local, pois, os processos erosivos podem ser acelerados conforme o grau de inclinação da bacia. Entretanto, esse fator não pode ser analisado de forma isolada, mas sim combinado com alguns fatores como tipo de uso e ocupação do solo do local (PADILHA, 2013).

A fragilidade ambiental potencial se caracteriza pela fragilidade natural a que uma determinada área está submetida, ou seja, em função de suas características físicas, bem como: tipo de solo, declividade, índice de pluviosidade, entre outros. É possível ainda fazer a análise da fragilidade emergente, considerando os fatores ambientais, acrescentando o elemento humano, caracterizado como a forma que o homem ocupa a terra.

A identificação da fragilidade ambiental de uma bacia hidrográfica permite avaliar, através de análises isoladas de indicadores dos aspectos físicos do ambiente em estudo e posteriores cruzamentos destes, a intensidade com que este ambiente pode ser explorado sem prejudicar sua dinâmica e seu equilíbrio (GHEZZI, 2003).

Uma bacia hidrográfica pode sofrer mudanças ambientais devido a muitos fatores, bem como perturbações antrópicas como mudanças no uso e ocupação da terra, desenvolvimento urbano, fragmentação florestal, entre outros (CONSTANTINI, 2012).

Padilha (2008) considera que as ferramentas de geoprocessamento são essenciais na análise da fragilidade ambiental, pois permitem que sejam realizadas análises, planejamento e monitoramento de áreas naturais. Permitem assim simulações e estabelecimento de intervenções das melhores alternativas.

Jensen (2009) relata que a utilização do geoprocessamento para o mapeamento de ambientes terrestres é uma das aplicações mais antigas, já que geralmente é utilizada como subsídio para outros estudos, como os de monitoramento e de estimativas.

Diante do exposto, o presente trabalho objetiva analisar a fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do arroio Cadena no município de Santa Maria - RS, com auxílio de ferramentas de geoprocessamento.

2 Material e métodos

2.1 Caracterização da área de estudo

A área de estudo que compreende a Sub-Bacia Hidrográfica do Arroio Cadena está localizada no município de Santa Maria, região central do Estado do Rio Grande do Sul, entre as coordenadas geográficas 29° 41' 25" e 29° 46' 20" de latitude sul, 53° 46'58" e 53° 51'45" de Longitude oeste, conforme apresenta a Figura 1.

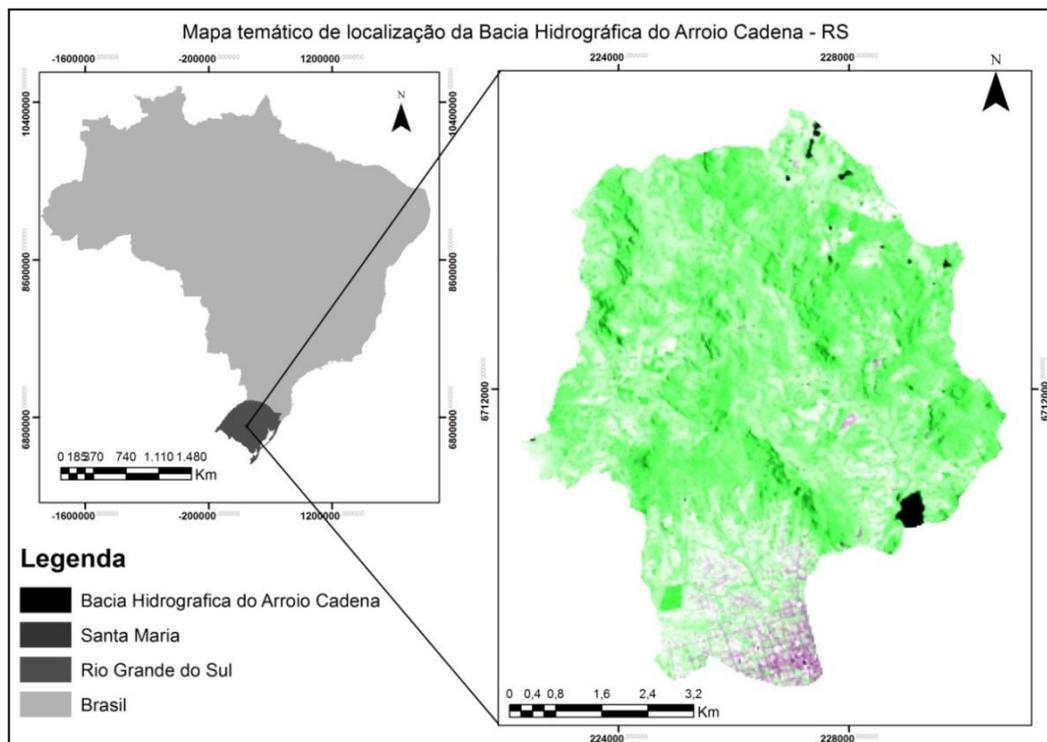


Figura 1 – Mapa temático da localização da Bacia Hidrográfica do Arroio Cadena – RS

Segundo a classificação de Köppen (1846-1940), Santa Maria se enquadra no tipo Cfa, clima subtropical, úmido em todas as estações, com verão quente, temperatura média anual de 19,4 °C, oscilando entre 30 °C no verão e médias inferiores a 18 °C no inverno, com precipitação de 1.300 a 1.800 mm ao ano (NASCIMENTO, 2010).

Segundo Oliveira (2004), o arroio Cadena é considerado um dos cursos d'água mais importantes de Santa Maria, pois, banha maior parte da área urbanizada do município, sendo estas, em grande parte ocupadas por moradias, apresentando transformações ambientais significativas para a sub-bacia.

2.2 Metodologia aplicada

A metodologia utilizada baseou-se na adaptação da análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados proposta por Ross em 1994. Tal metodologia consiste de estudos básicos do relevo, solo, uso e cobertura da terra.

Para avaliar cada uma das variáveis, foram estabelecidos pesos ou notas a cada situação que as variáveis apresentaram. Dessa forma, para cada situação de cada parâmetro avaliado, foram atribuídas notas quanto a sua fragilidade, como sendo muito fraca, fraca, média, forte e muito forte. O produto final do trabalho sintetiza a soma das variáveis, (tipo de uso e cobertura da terra, tipo de solo, declividade) ou seja, o cruzamento de dados para a obtenção do grau de fragilidade a qual está exposta a área de estudo.

A delimitação da bacia hidrográfica foi realizada a partir das imagens SRTM, conforme a metodologia proposta por Pasa et al. (2012). Os dados SRTM consistem em um Modelo Digital de Elevação (MDE) que apresenta resolução espacial (horizontal) de três segundos de arco, aproximadamente 90m, e resolução vertical de um metro. Esses dados são disponibilizados no formato "raster" pela NASA, em que cada pixel possui um determinado valor altimétrico.

Para elaboração do Modelo Numérico do Terreno (MNT), foi realizada uma interpolação, do tipo Rede Triangular Irregular (TIN), onde a elevação digital é convertida em um modelo do terreno no qual a superfície é coberta por triângulos conectados. Adotou-se intervalos de 20 em 20 metros de equidistância entre as curvas de nível.

Com a geração do MNT foi elaborado o mapa de declividade, a partir do qual, é possível obter uma representação muito próxima da topografia existente no local, com detalhes da formação e do relevo a partir da representação tridimensional. A definição dos pesos para a variável declividade, adotada de Ross (1994), é apresentada a seguir, na tabela 01.

Tabela 01 – Fragilidade das classes de declividade do modelo adaptado de Ross (1994)

Classes de Declividade	Classes de Fragilidade	Peso
Até 6%	Muito Baixo	1
De 6 a 12%	Baixo	2
De 12 a 20%	Médio	3
De 20 a 30%	Alto	4
Maior que 30%	Muito Alto	5

Para realizar a análise do tipo de uso e ocupação da terra foram utilizadas imagens do satélite Landsat Thematic Mapper 8, com resolução espacial de 30m, as quais são disponibilizadas gratuitamente pelo *United States Geological Survey* (USGS).

Para análise do uso e ocupação da terra realizou-se a classificação digital supervisionada, que consiste em um processo de decisão no qual um grupo de pixels é definida como pertencente a uma mesma classe, utilizando como algoritmo classificador MaxVer. Os pesos do tipo de uso e cobertura da terra estão apresentados na tabela 02.

Tabela 02 – Classes de proteção dos usos e coberturas da terra proposto por Ross (1994)

Tipo de cobertura	Classe de Fragilidade	Peso
Florestas e matas naturais	Muito Baixo	1
Formações arbustivas naturais e pastagens	Baixo	2
Cultivos de ciclo curto e silvicultura	Médio	3
Culturas de ciclo longo	Alto	4
Áreas desmatadas, solo exposto e urbanização	Muito Alto	5

A qualidade das amostras da classificação digital supervisionada foi avaliada através do índice Kappa, um dos índices mais utilizados, pois retira do cálculo a parte referente a alocação puramente aleatória das classes (Gaboardi, 2003).

Landis e Koch (1977), propõem uma escala de avaliação da classificação para a análise do Coeficiente Kappa, conforme pode ser visualizado na Tabela 03.

Tabela 03 – Qualidade da classificação segundo intervalos do Coeficiente Kappa, segundo Landis e Koch (1977)

Valor Kappa	Qualidade da Classificação
<0,00	Péssima
0,00 – 0,20	Ruim
0,20 – 0,40	Razoável
0,40 – 0,60	Boa
0,60 – 0,80	Muito Boa
0,80 – 1,00	Excelente

Para realizar a análise de tipo de solo utilizou-se a base cartográfica da Embrapa (2011), que classifica os tipos de solo de todo Brasil. Os tipos de solos foram classificados como sugere Ross (1994), conforme pode ser visualizado na tabela 04.

Tabela 04 - Tipo de solo e classe de fragilidade proposto por Ross (1994)

Tipo de solo	Fragilidade	Peso
Latossolo roxo, latossolo vermelho escuro e vermelho amarelo	Muito Baixo	1
Latossolo amarelo e vermelho amarelo textura médio/argilosa	Baixo	2
Latossolo vermelho amarelo, Terra roxa, Terra Bruna, Litossolo	Médio	3
Planossolo vermelho-amarelo textura média/arenosa, cambissolos	Alto	4
Podzólicos com cascalho, Litólicos e areias quartzosas.	Muito Alto	5

Para a elaboração dos mapas temáticos de fragilidade ambiental potencial e emergente, utilizou-se a Álgebra de mapas, que consiste no cruzamento dos mapas realizado no ArcGis, onde é realizado sobreposições de vários mapas utilizando uma escala comum e pesos para cada classe conforme sua importância.

Para a fragilidade potencial considerou-se as variáveis solos e declividade, enquanto que para a fragilidade emergente utilizou-se os dois fatores anteriores, além da variável uso e ocupação da terra, considerada a resposta antropizada.

3 Resultados e discussão

A bacia hidrográfica estudada apresenta dois tipos de solo, sendo planossolos e litossolos, e possuem dois graus de fragilidade ambiental. As classes que englobam a maioria dos solos presentes na bacia, são de fragilidade alta e média, salientando assim a necessidade de um manejo adequado. A classe alta é mais expressiva, com 83,9 % da área, sendo esta de planossolos, enquanto que a classe média é representada por litossolos, com 16,1% da área total.

Quanto a declividade, a área de estudo é considerada moderadamente plana, apresentando uma fragilidade baixa e muito baixa, fator que favorece a construção de edificações pela população ribeirinha.

De acordo com Ross (1994) os valores de declividade indicam as características do relevo que geram energia potencial para a ocorrência de processos geomorfológicos, como erosão laminar e deslizamentos.

A declividade apresentou as cinco classes de fragilidade, porém, as classes fraca e muito fraca são as mais significativas, conforme pode ser visto na tabela 05.

Tabela 05 - Quantificação de cada classe de declividade

Classes de Declividade	Área (km ²)	Percentual (%)
Até 6%	101,08	48,4
De 6 a 12%	78,32	37,5
De 12 a 20%	19,00	9,1
De 20 a 30%	2,08	1
Maior que 30%	835,44	4

A partir do levantamento das duas variáveis anteriores, e da sobreposição destas, foi obtida a fragilidade emergente, e verificou-se que a classe mais representativa é muito fraca com 52,9%, e fraca com 21,4% da área total, conforme pode ser visualizado na tabela 06.

Tabela 06 - Quantificação das classes de fragilidade potencial

Fragilidade Potencial	Área (km ²)	Percentual (%)
Muito Fraca	110,48	52,9
Fraca	44,69	21,4
Média	23,39	11,2
Alta	16,08	7,7
Muito Alta	14,20	6,8

Desta forma, considera-se que a bacia hidrográfica do arroio Cadena apresenta uma baixa vulnerabilidade ambiental, conforme pode ser visto na Figura 02.

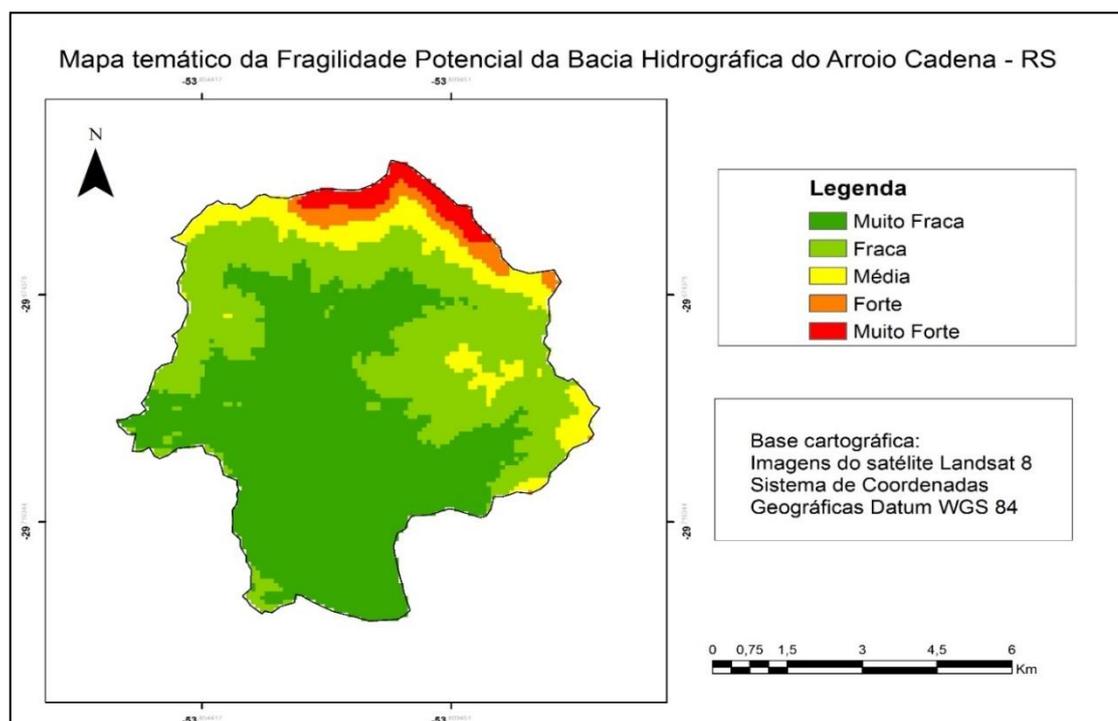


Figura 02 – Mapa temático da Fragilidade Potencial da Bacia Hidrográfica do Arroio Cadena

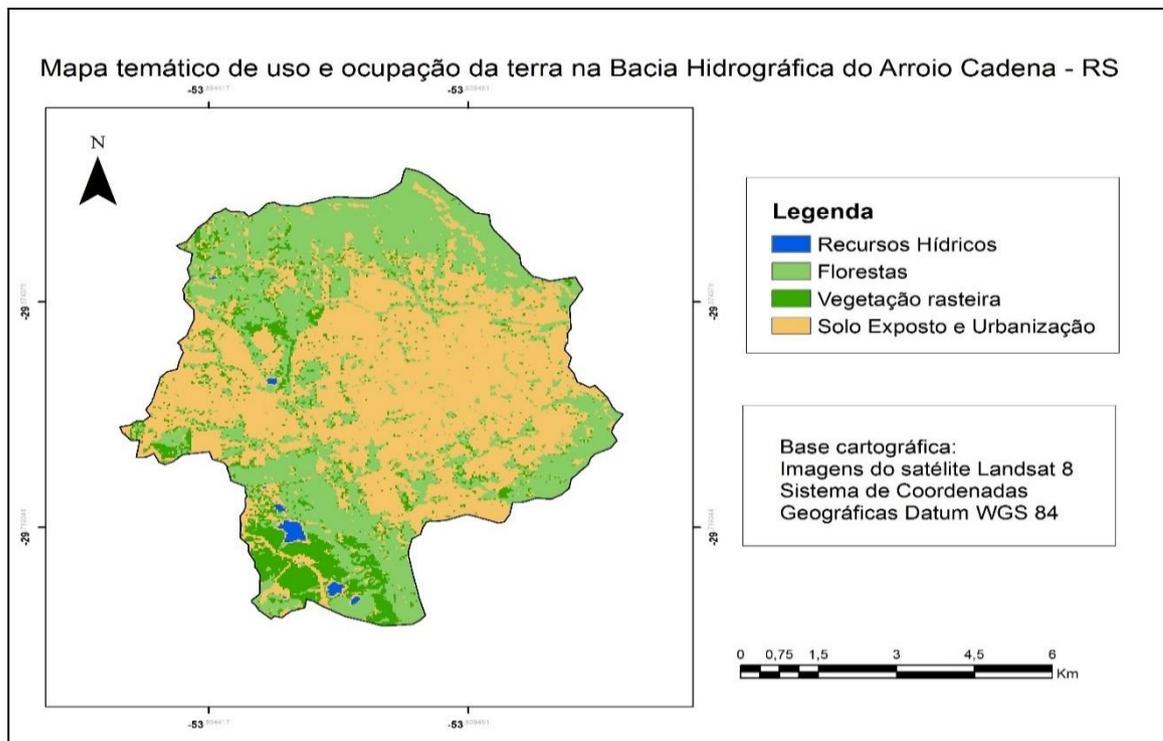
Apesar da fragilidade potencial ser classificada principalmente como baixa e muito baixa, a área apresenta limitações para construções urbanas. Pedron et al., (2008) considera que os planossolos apresentam potencial restrito para construções, devido às limitações como risco de inundações, textura e drenagem.

A Embrapa (2014) considera que os litossolos apresentam poucas alternativas de uso por se tratarem de solos rasos e usualmente rochosos e pedregosos.

Considera-se de suma importância conhecer a fragilidade potencial de um determinado local, pois a partir desta, será possível reconhecer as áreas mais suscetíveis a instabilidade, ou seja, aquelas áreas pelas suas características de origem podem facilmente ser alteradas (SPORL, 2004).

Quanto ao uso do solo, constatou-se que nos 208,86 km², da sub-bacia hidrográfica do Arroio Cadena, a classe solo exposto e urbanização é a de maior abrangência, com uma área total de 138,26 km², representando 66,2% da área total. As classes solo exposto e urbanização foram unificadas, pois a resposta espectral do pixel é muito semelhante. A grande proporção de solo exposto e urbanização mostra-se preocupante, visto que estes tipos de cobertura não garantem a estabilidade do solo.

Ainda, de acordo com Isaia (2004), grande parte da expansão urbana de Santa Maria ocorre na inobservância de restrições legais, agravando problemas como erosão, assoreamentos, inundações e perda de qualidade de vida dos ribeirinhos.



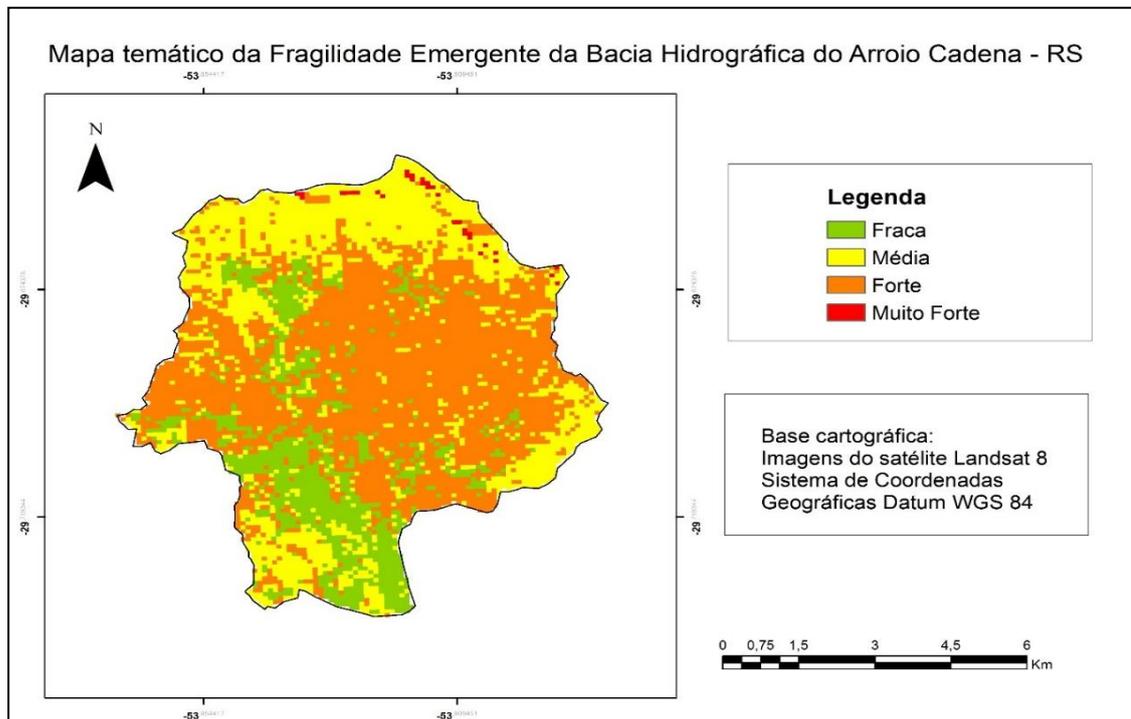
Além dos dados apresentados, os mais significativos foram: a classe florestas com 18,7% da área total, seguido de 8,9% de vegetação e 6,2% de recursos hídricos, conforme pode ser visualizado na Figura 03.

Figura 03 – Mapa temático de uso e ocupação da terra na Bacia Hidrográfica do Arroio Cadena – RS

Considera-se importante analisar o uso da terra como subsídio básico de planejamento, pois a identificação de diferentes paisagens possibilita a previsão e a ampliação de áreas cultiváveis, seus problemas e soluções, determinando áreas prioritárias, possibilitando os mais diversos usos e ocupação do solo, como por exemplo, agropecuária, silvicultura, entre outros (BENEDETTI, 2006).

O resultado do coeficiente Kappa foi de 0,945 (94,57 %) e enquadra-se em uma classificação “excelente” de acordo com a Tabela 03, apresentada anteriormente.

O mapa de fragilidade ambiental emergente foi obtido então pela síntese da análise integrada da declividade, tipo de solo e uso e cobertura da terra. Esta análise evidencia as alterações realizadas pelo



homem, muitas vezes transformando um ambiente pouco vulnerável em uma área com potencial de degradação elevado, como pode ser considerado o caso da sub-bacia do arroio Cadena.

As áreas de forte fragilidade emergente estão diretamente relacionadas a classe solo exposto e urbanização, conforme pode ser visualizado na Figura 04.

Figura 04 – Mapa temático da Fragilidade Emergente da Bacia Hidrográfica do Arroio Cadena - RS

A partir do mapeamento da fragilidade emergente, verificou-se que a classe predominante é forte, com aproximadamente 37,7% em relação à área total, seguida pela classe média responsável por 32,2% da área total, como pode ser visto na tabela 07.

Tabela 07- Quantificação de cada classe de fragilidade emergente

Fragilidade Emergente	Área (km ²)	Percentual (%)
Muito Fraca	0	0
Fraca	58,48	28
Média	67,25	32,2
Alta	78,74	37,7
Muito Alta	4,38	2,1

Segundo Reckziegel (2006), em Santa Maria o processo de ocupação irregular, por famílias de baixa renda, das áreas próximas ao arroio Cadena iniciaram na década de 1950, resultando em sérios conflitos sócio-espaciais, bem como, o surgimento de áreas de risco geomorfológico e de inúmeros casos de inundação das moradias. Outro problema existente na área associa-se à concentração de olarias que, foi responsável pela criação de cavas (barreiros), que acumulam água, e de canais

artificiais, que ligam as antigas áreas de extração ao canal principal do arroio Cadena, servindo para drenar a água acumulada junto aos “barreiros”.

De acordo com Tamiosso (2011), os estudos de fragilidades ambientais vêm sendo largamente utilizados, como é o caso do Projeto que está sendo desenvolvido na bacia do Rio Uruguai, intitulado “Desenvolvimento Metodológico e Tecnológico para Avaliação Ambiental Integrada Aplicada ao Processo de Análise de Viabilidade de Hidrelétricas” – FRAG-RIO.

A classe floresta é mais significativa nas maiores altitudes, possivelmente pela dificuldade de acesso da população ribeirinha, evitando construções irregulares.

4 Conclusões

A bacia hidrográfica do arroio Cadena apresenta, nas maiores proporções, uma fragilidade potencial baixa, e em contrapartida uma fragilidade emergente alta, fator que pode estar associado aos conflitos sócio-espaciais e uso inadequado dos recursos naturais.

Os resultados obtidos mostram a importância de se implantar na área um plano de manejo, de uso e ocupação sustentável, considerando as potencialidades e fragilidades da área.

A partir dos resultados obtidos, considera-se que a metodologia empregada apresentou-se satisfatória, pois foi possível avaliar os graus de fragilidade ambiental e potencial da bacia hidrográfica do arroio Cadena.

Destaca-se também a relevância de estabelecer um plano de gerenciamento tanto para os critérios de uso e ocupação da bacia, quanto na caracterização das áreas de maior e menor fragilidade ambiental. Deste modo, seria possível fornecer subsídios para o planejamento da Bacia Hidrográfica e para expansão urbana em Santa Maria.

Nesse sentido, é de vital importância preocupar-se com a ordenação do uso dos recursos naturais que ainda restam e atentar para o fato de que estes sejam utilizados de forma racional visando a sua preservação.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de pessoal de Nível Superior (Capes), pela concessão das bolsas de estudo.

Referências

Benedetti ACP. Análise espacial da evolução do uso e cobertura da terra na sub-bacia hidrográfica do Arroio Arenal [dissertation] Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria/UFSM; 2006. 72p.

Calijuri ML, Alves JEM, Baptista AC, Santiago AF, Loures SSP. Proposta metodológica para geração da carta de fragilidade ambiental, utilizando lógica *fuzzy* e combinação linear ponderada. In: XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto [CD-ROM]:2007 abr 21-26; Florianópolis, Brasil, p.3311-3318.

Constantini ML, Zaccarelli N, Mandrone S, Rossi D, Calizza E, Rossi L. NDVI spatial pattern and the potential fragility of mixed forested areas in volcanic lake watersheds. *Forest Ecology and Management*, 2012 p. 133-141,.

- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 2006. 306 p.
- Gaboardi C. Utilização da imagem de coerência SAR para classificação do uso da terra: Floresta Nacional do Tapajós [dissertation] São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais/INPE; 2003. 137p.
- Ghezzi AO. Avaliação e mapeamento da fragilidade ambiental da Bacia do Rio Xaxim, Bahia de Antonina – PR, com o auxílio de geoprocessamento [dissertation] Curitiba: Universidade Federal do Paraná/UFPR; 2003. 64p.
- Isaia EMBI. Geoprocessamento e educação ambiental no processo de gestão do conflito socioambiental do Arroio Cadena, Santa Maria – R S[dissertation] Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria/UFSM; 2004. 136p.
- Jensen JR. Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres. José Carlos Neves Epiphanyo translator . São José dos Campos, SP: Parêntese, 2009. 598p.
- Kawakubo FS, Morato RG, Campos KC, Luchuari A, ROSS JLS. Caracterização empírica da fragilidade ambiental utilizando geoprocessamento. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto [CD-ROM]: 2005 abr 16-21; Goiânia, Brasil, p..2203-2210.
- Landis JR, Koch GG. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, 1977: 159-174.
- Nascimento MD. Fragilidade ambiental e expansão urbana da região administrativa nordeste da sede do município de Santa Maria – RS. *Ciência e Natura*.2010; 32 (2): 163 – 181.
- Oliveira ELA. Áreas de risco geomorfológico na Bacia Hidrográfica do Arroio Cadena, Santa Maria/RS: zoneamento e hierarquização [dissertation] Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria/UFSM; 2004. 147p
- Padilha DG. Geoprocessamento aplicado na caracterização da fragilidade ambiental da Bacia Hidrográfica do Arroio Grande-RS [dissertation] Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria/UFSM; 2008.87 p.
- Padilha DG. Caracterização da fragilidade ambiental da Bacia Hidrográfica do Arroio Grande-RS como subsídio ao planejamento territorial. In: XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto [CD-ROM]: 2013 abr 13-18; Foz do Iguaçu, Brasil, 4072-4079.

- Pasa DL, Schu MS, Hentz AMK, Schulte TF, Filho JAM. Delimitação automática de microbacias através de dados SRTM. In: 4ª Semana da Geomática [CD-ROM] : 2012 dez 2-3; Santa Maria, Brasil, 128-134.
- Pedron FA, Dalmolin RSD, Azevedo AC. Solos do Perímetro Urbano de Santa Maria: características, classificação e potencial de uso. 1. Ed. Santa Maria: Orium, 2008. v. 1. 143 p
- Reckziegel, BW. Hierarquização das moradias em situação de risco geomorfológico associado à dinâmica fluvial na Vila Urlândia, Santa Maria – Rio Grande do Sul. In: VI Simpósio Nacional de Geomorfologia [CD-ROM]: 2006 set 6-10; Goiânia, Brasil, 1-11.
- Ross JLS. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. Revista do Departamento de Geografia.1994; (8) p.3-74.
- Ruschel AR. Avaliação e valorização de espécies madeiráveis de Floresta Estacional do Alto Uruguai [dissertation] Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina/UFSC; 2000. 116p.
- Sporl C, Ross JLS. Análise comparativa da Fragilidade Ambiental com Aplicação de Três Modelos. GEOUSP - Espaço e Tempo.2004; (15), 39-49.
- Tamanini MAS. Diagnóstico físico-ambiental para a determinação da fragilidade potencial e emergente da Bacia do Baixo curso do Rio Passaúna em Araucária [dissertation] Curitiba: Universidade federal do Paraná/UFPR;2008.118p.
- Tamiosso CF. Fragilidades ambientais aplicadas a gestão da qualidade das águas: estudo de caso da Bacia do Rio Santa Maria, RS [dissertation] Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria/UFSM; 2011.145p.
- Tavares JA. Fragilidade ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Punaú (RN) e área litorânea adjacente [dissertation] Natal: Universidade Federal do Rio Grande do Norte/UFRN; 2006. 178p
- Trentin R, Robaina LES. Unidades Geoambientais na Bacia Hidrográfica do Rio Itu – Oeste do Estado do Rio Grande do Sul, Brasil. Revista do Departamento de Geografia – USP. 2012. (23), p. 267-287.