



Revista Eletrônica do Programa de Pós-Graduação em Geografia - UFPR

FRAGILIDADES AMBIENTAIS DA CIDADE DE SANTA MARIA/RS

*ENVIRONMENTAL FRAGILITY IN THE CITY OF SANTA MARIA, STATE OF RIO GRANDE DO SUL,
BRAZIL*

(Recebido em 18-09-2015; Aceito em: 04-04-2016)

Marilene Dias do Nascimento

Doutora em Geografia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Técnica administrativa da Universidade Federal de Santa Maria
mdnascimento@ymail.com

Nina Simone Vilaverde Moura

Doutora em Geografia Física pela Universidade de São Paulo
Professora do Departamento de Geografia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul
nina.moura@ufrgs.br

Bernardo Sayão Penna e Souza

Doutor em Geografia Física pela Universidade de São Paulo
Professor efetivo do Departamento de Geociências da Universidade Federal de Santa Maria.
bernardosp@yahoo.com.br

Resumo

O estudo das fragilidades ambientais é essencial para a verificação da suscetibilidade do ambiente aos processos geomorfológicos. Nessa perspectiva, o principal objetivo dessa pesquisa foi mapear e interpretar a fragilidade ambiental potencial e emergente da cidade de Santa Maria/RS, com a finalidade de contribuir para o planejamento urbano e ambiental da cidade. O método de pesquisa aplicado à determinação dos graus de fragilidades ambientais, potencial e emergente teve como embasamento a metodologia do mapeamento da paisagem em Unidades Ecodinâmicas Instáveis e Unidades Ecodinâmicas Estáveis propostas por Ross (1994). Os resultados da pesquisa mostraram que, na cidade de Santa Maria/RS, existem diversos graus de fragilidades ambientais potenciais, desde o muito fraco até o muito forte, devido às características dos elementos físicos que compõem a paisagem e essas fragilidades tornam-se emergentes, em diferentes graus, desde o muito fraco até o muito forte, dependendo do nível de alteração da paisagem. A classe de fragilidade ambiental emergente mais representativa da cidade de Santa Maria/RS é a classe fraca, distribuída principalmente nos setores oeste, sul e leste da cidade, os quais se configuram como vetores de crescimento urbano e no setor norte, cuja vegetação é de florestas densas. No entanto, os locais que

apresentam graus de fragilidade ambiental emergente forte e muito forte são os causam preocupação em termos de suscetibilidade aos desastres geomorfológicos desencadeados pelos processos da dinâmica de encostas e da dinâmica fluvial, uma vez que esses processos acarretam riscos para os habitantes desses locais, podendo causar danos materiais e perdas de vidas.

Palavras-chave: Fragilidade ambiental; Expansão urbana; Suscetibilidade.

Abstract

The study of environmental fragilities is essential to verify the environmental susceptibility to the geomorphological processes. From this perspective, the main objective of this research was to map and interpret the potential and emerging environmental fragility of the city of Santa Maria/RS, in order to contribute to the urban and environmental planning of the city. The research method applied to determine the degree of potential and emerging environmental fragilities was based on the landscape mapping methodology in Unstable Ecodynamic Units and Stable Ecodynamic Units proposed by Ross (1994). The survey results showed that in the city of Santa Maria /RS, there are varying degrees of potential environmental fragilities, from very weak to very strong, due to the characteristics of the physical elements that make up the landscape and those fragilities become emerging, in different degrees, from very weak to very strong, depending on the changing level of the landscape. The class that presents the most representative emerging environmental fragility in the city of Santa Maria /RS is the weak class, distributed mainly in the west, south and east sectors of the city, which are configured as urban growth vectors and, in the northern sector, whose vegetation is dense forests. However, places which have degrees from strong emerging environmental fragility and very strong cause concern in terms of susceptibility to geomorphological disasters triggered by processes of slope dynamics and fluvial dynamics, since these processes involve risk to the inhabitants of these places, may cause property damage and loss of life.

Keywords: Environmental fragility; Urban expansion; Susceptibility.

Introdução

Com a finalidade de gerir o território, compreender e racionalizar as formas de exploração dos recursos naturais, metodologias e técnicas de análise dos ambientes naturais e antropizados têm sido desenvolvidas por diversos pesquisadores em Geomorfologia. A aplicação dos conhecimentos geomorfológicos, bem como das metodologias de análise são apontados por vários autores, como Tricart (1965, 1977); Grigoriev (1968); Ab'Saber (1969); Christofolletti, (1974); Penteado (1981), Ross (1994, 1995, 1996) e Crepani, *et al.* (2008), como possibilidades para estudos ambientais integrados.

Tricart (1977) propôs a classificação dos ambientes tendo a ecodinâmica como ponto de partida da avaliação, resultando em três grandes tipos de meios morfodinâmicos em função da intensidade, frequência e interação dos processos evolutivos atuais. São eles: "meios estáveis", "meios intergrades" e "meios fortemente instáveis".

Os "meios estáveis" têm, em termos gerais, a pedogênese como processo de maior expressão, decorrente de uma "proteção" que Tricart denomina Fitoestasia, por ser a cobertura vegetal a responsável por este fenômeno. Nestes meios o modelado evolui lentamente, os processos mecânicos atuam pouco, a cobertura vegetal é densa e a dissecação é moderada. Os "meios fortemente instáveis"

são aqueles em que "a morfogênese é o elemento predominante na dinâmica natural, e fator determinante do sistema natural, ao qual outros elementos estão subordinados". TRICART (1977 p. 51). Este fenômeno pode ser desencadeado pela degradação antrópica, especialmente com a retirada da cobertura vegetal.

Tricart (1977) considera que há uma passagem gradual entre um meio estável e um meio instável. Essa passagem gradual foi denominada "meios intergrades". Estes meios são caracterizados, de acordo com Tricart (1977, p. 47), pela "interferência permanente da morfogênese e pedogênese, exercendo-se de maneira concorrente sobre um mesmo espaço". São meios delicados e suscetíveis a fenômenos de amplificação, podendo tornar-se meios instáveis.

Dentro desta concepção ecológica o ambiente é analisado sob o prisma da Teoria do Sistema que parte do pressuposto que na natureza as trocas de energia e matéria se processam através de relações em equilíbrio dinâmico. Esse equilíbrio, entretanto, é frequentemente alterado pelas intervenções humanas, gerando estados de desequilíbrios temporários ou até permanentes. Assim, a abordagem ecodinâmica proposta por Tricart (1977) possibilita a aplicação do método sistêmico para o estudo da dinâmica das paisagens físicas, uma vez que tal classificação baseia-se no instrumento lógico de sistema, e enfoca as relações mútuas entre os diversos componentes do meio ambiente físico.

A partir da proposta de Tricart (1977), Ross (1994) sugeriu o estudo da fragilidade ambiental considerando as Unidades Ecodinâmicas Instáveis como aquelas que sofrerão e/ou sofrem intervenções antrópicas com modificações dos ambientes naturais e, Unidades Ecodinâmicas Estáveis como aquelas que estão em equilíbrio dinâmico, poupadas da ação humana.

A metodologia da fragilidade empírica em ambientes naturais e antropizados proposta por Ross (1994) fundamenta-se no princípio de que a natureza apresenta funcionalidade intrínseca entre seus componentes físicos e bióticos. Os procedimentos operacionais para a sua construção exigem num primeiro instante os estudos básicos do relevo, solo, geologia, clima, uso da terra e cobertura vegetal. Posteriormente, essas informações são analisadas de forma integrada gerando um produto síntese que expressa os diferentes graus de fragilidade que o ambiente possui em função de suas características genéticas.

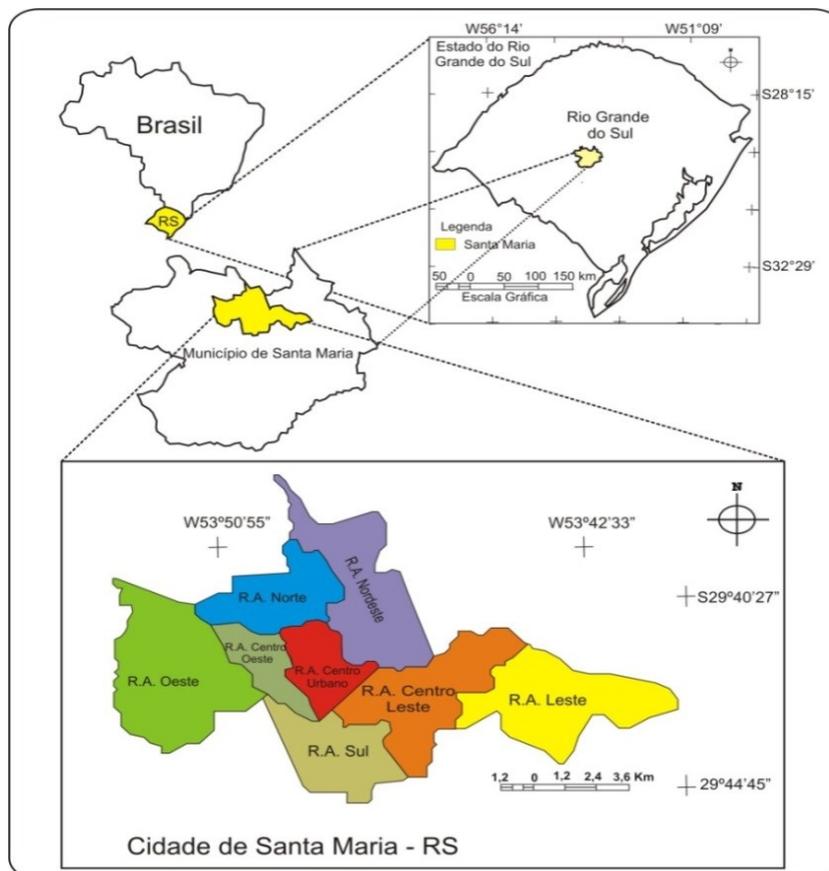
Crepani *et al.* (2008: 286) também argumenta que "o desafio do desenvolvimento sustentado, e a receita para vencê-lo passa pelo conhecimento do território, desde suas características físicas até seu estado atual de uso, para que se respeitem suas fraquezas e se explorem suas potencialidades".

Nessa perspectiva, essa pesquisa teve como objetivo principal mapear e interpretar a fragilidade ambiental potencial e emergente da cidade de Santa Maria/RS, com a aplicação da

metodologia de estudo das fragilidades ambientais desenvolvidas por Ross (1994), com a finalidade de contribuir para o planejamento urbano e ambiental da cidade, uma vez que o estudo da fragilidade ambiental constitui-se elemento fundamental que permite avaliar as potencialidades do meio ambiente combinando suas características naturais com suas restrições de uso e ocupação.

A cidade de Santa Maria/RS, objeto do presente estudo, localiza-se no centro geográfico do estado do Rio Grande do Sul (Figura 01), em uma área de transição morfológica entre a Depressão Periférica Sul Rio-grandense e a porção Sul dos Planaltos e Chapadas da Bacia do Paraná, entre as coordenadas geográficas de 29°39'53" a 29°43'56" de Latitude Sul e 53°50'22" a 53°45' de Longitude Oeste.

Figura 01: Localização da cidade de Santa Maria/RS



Fonte: Organizado pelos autores, 2013.

Procedimentos metodológicos e operacionais

Para que os mapas de fragilidades ambientais, potencial e emergente, da cidade de Santa Maria fossem elaborados foi necessário o estudo e o mapeamento das características dos elementos físicos que compõem a paisagem, uma vez que na metodologia da análise da fragilidade empírica em

ambientes naturais e antropizados proposta por Ross (1994) os procedimentos operacionais para a construção dos mapas de fragilidades ambientais potenciais e emergentes exigem num primeiro momento os estudos básicos do relevo, solo, geologia, clima, uso da terra e cobertura vegetal. Posteriormente, essas informações foram analisadas de forma integrada gerando os produtos sínteses que expressam os diferentes graus de fragilidade que o ambiente possui em função de suas características genéticas e antrópicas.

Todos os produtos cartográficos foram desenvolvidos no *software SPRING* (Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas), versão 4.3.2, desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE e de livre acesso. Após foram editados no programa Corel Draw 12.0.

O mapa geológico foi elaborado com base em Gaspareto *et al.* (1988) e Maciel Filho (1990), a partir da compilação dos mapas geológicos da folha de Camobi e da folha de Santa Maria, na escala 1:50.000 e da carta de Unidades Geotécnicas de Santa Maria, escala 1:25.000, elaborada por Maciel Filho (1990). Os graus de fragilidades foram definidos com base nas propriedades geotécnicas de cada formação geológica identificada por Maciel Filho (1990) e pelas declividades onde são encontradas.

O mapa de solos foi compilado do mapeamento realizado por Pedron (2005), em nível de semidetalhe (escala 1:25.000), adaptado ao Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – SiBCS (2006). Os graus de fragilidades dos solos foram definidos considerando as características como textura, estrutura, plasticidade, grau de coesão das partículas e profundidade/espessura dos horizontes superficiais e a susceptibilidade à erosão. Estas características estão diretamente relacionadas com o relevo, litologia, clima e elementos motores da pedogênese, conforme Ross (1994), Guerra e Botelho (2011) e Pedron (2005).

Para a elaboração do mapa clinográfico foi gerado uma grade triangular (TIN - *Triangular Irregular Network*), no programa computacional *SPRING*, versão 4.3.2. A partir da vetorização das curvas de nível e pontos cotados tendo como base cartográfica as cartas topográficas em escala 1:25.000 – DSG, Folhas: SH.22-V-C-IV/1-SE, SH.22-V-C-IV/2-SO e SH.22-V-C-IV/1-SO. Essa grade triangular permitiu construir o Modelo Numérico do Terreno (MNT). Na modelagem da superfície por meio da grade irregular triangular, cada polígono que forma uma face do poliedro é um triângulo. Os vértices do triângulo são geralmente os pontos amostrados da superfície. Essa modelagem permitiu que as informações morfológicas importantes, como as discontinuidades representadas por feições lineares do terreno e a rede de drenagem fossem consideradas durante a geração da grade triangular, possibilitando assim, modelar a superfície do terreno preservando as feições geomorfológicas da superfície.

As classes de declividades utilizadas foram as propostas por Ross (1994) representadas pelos intervalos de <3%, 3 a 6%, 6 a 12%, 12 a 20%, 20 a 30% e >30%.

O mapa geomorfológico foi elaborado no programa computacional de geoprocessamento *SPRING*, versão 4.3.2, considerando a proposta da Taxonomia de Relevo sugerida por Ross (1992), na qual é proposto o estudo do relevo e a elaboração do mapa geomorfológico considerando seis táxons de análise. Essa proposta taxonômica apoia-se fundamentalmente no aspecto fisionômico das diferentes formas e tamanhos de relevo, fundamentado na gênese e na idade dessas formas, tendo em vista o significado morfogenético e as influências estruturais e esculturais no modelado. Tem explicação na superfície terrestre, que se compõe de formas de relevo de diferentes táxons (tamanhos), idades e processos genéticos distintos e é, portanto, uma taxonomia dinâmica e capaz de proporcionar a análise da superfície terrestre de forma sistêmica.

Considerou-se os graus de declividades e a fisionomia dos padrões de formas de relevo para a elaboração do mapa geomorfológico. A partir das informações obtidas no mapa clinográfico e no mapa hipsométrico foram identificadas as formas de relevo considerando as características fisionômicas e a gênese dos processos quer de Denudação ou de Agradação, conforme demonstrado no quadro 1. As formas de relevo foram agrupadas em tipologias semelhantes, abrangendo até o 4º táxon de análise.

Quadro 01: Padrões de formas de relevo

Formas de Denudação		Formas de Agradação	
	Denudação (erosão)		Acumulação (deposição)
a	Formas com topos aguçados	pf	Formas de planícies fluviais
c	Formas com topos convexos	tf	Formas de terraços fluviais
t	Formas com topos tabulares	vf	Formas de vales fluviais
p	Formas com topos planos		
e	Formas de escarpas		

O resultado do mapa geomorfológico foi apurado com as imagens do satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres - CBERS-2B, adquiridas no banco de imagens da Divisão de Geração de Informação (DGI) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e em trabalho de campo.

Essas formas de relevo estão inseridas nas unidades morfológicas que por sua vez fazem parte das unidades morfoesculturais pertencentes a uma determinada estrutura de relevo. Os graus de fragilidade foram estabelecidos a partir das características geomorfológicas de cada unidade de relevo.

Os diferentes graus de fragilidades ambientais atribuídos aos elementos físicos da paisagem de Santa Maria (declividades, formas de relevo, litologias e solos) foram definidos conforme demonstrado no quadro 2.

Quadro 02: Graus de fragilidade ambiental dos elementos físicos

Graus de Fragilidade	Clinografia (%)	Morfologia	Geologia	Solos
1 – Muito Fraca	< 6	-	-	-
2 – Fraca	6 – 12	-	F. Santa Maria F. Serra Geral	-
3 – Média	12 – 20	Colinas Dc do Planalto Colinas Dc da Depressão	F. Rosário do Sul F. Caturrita	Argissolos
4 – Forte	20 – 30	Vale Fluvial Avf do Planalto Terraços Fluviais	Terraços Fluviais	Planossolos
5 – Muito Forte	> 30	Morros Da, Dc do Planalto Morros Da da Depressão Planície Fluvial Apf da Depressão	F. Botucatu Depósitos Recentes	Neossolos

As informações relativas ao uso da terra referem-se às atividades antrópicas e à cobertura vegetal. O grau de proteção foi atribuído considerando as recomendações de Ross (1994), o qual recomenda que em áreas de florestas densas naturais ou cultivadas o grau de proteção é maior do que em áreas desmatadas e de solo exposto. Também considera que a urbanização, dependendo dos padrões de impermeabilização do solo, as áreas verdes e a infraestrutura urbana contribuem para o aumento da fragilidade ambiental emergente.

Seguindo a classificação de Ross (1994), para as florestas, atribui-se o grau de proteção muito forte (1), para a vegetação intermediária secundária, o grau de proteção forte (2), o uso agrícola, o grau de proteção médio (3), os locais urbanizados, o grau de proteção fraco (4) e locais com solo exposto o grau de proteção muito fraco (5).

O mapa de uso da terra e cobertura vegetal foi elaborado a partir da classificação digital da imagem dos sensores HRC e CCD do satélite CBERS-2B de 25/11/2013. As imagens foram adquiridas

no banco de imagens da Divisão de Geração de Informação (DGI) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

O método de pesquisa aplicado à determinação dos graus de fragilidades ambientais, potencial e emergente, tem como embasamento a metodologia do mapeamento da paisagem em Unidades Ecodinâmicas Instáveis e Unidades Ecodinâmicas Estáveis proposto por Ross (1994).

Tanto as Unidades Ecodinâmicas Estáveis quanto as Unidades Ecodinâmicas Instáveis, podem ter variações de instabilidade em diversos graus desde Muito Fraca a Muito Forte, utilizando números de 1 a 5 para demonstrar os diferentes graus de fragilidade dos ambientes.

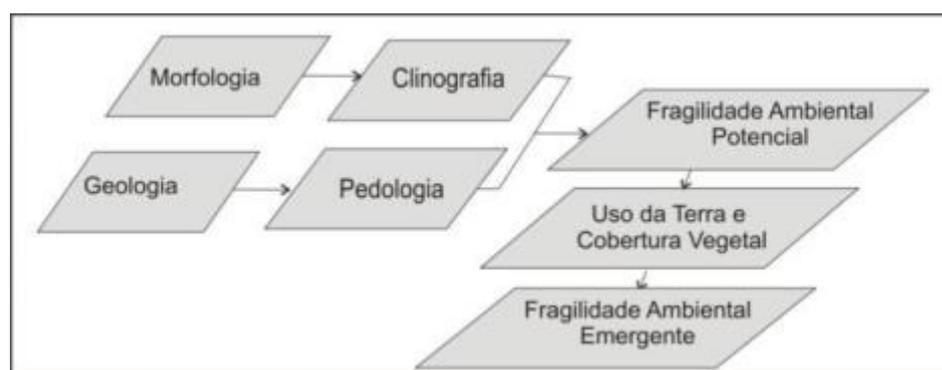
O mapa de Fragilidade Ambiental Potencial foi elaborado através da superposição dos Planos de Informações (PIs) dos mapas temáticos de clinografia, geologia, geomorfologia e de solos previamente classificados, utilizando as operações de manipulação e análise espacial disponíveis na linguagem de programação LEGAL (Linguagem Espacial de Geoprocessamento Algébrico Linear) do programa SPRING 4.3, com pesos igualitários.

Para que se tornasse possível realizar a combinação entre os diferentes níveis de informações e representá-los, foi estabelecida uma hierarquização das classes das fragilidades potenciais e atribuídos valores (pesos). Tal hierarquização foi escalonada, segundo a proposta de Ross (1994), em cinco classes de fragilidades ambientais potenciais: muito fraca - peso 1, fraca - peso 2, média - peso 3, forte - peso 4 e muito forte - peso 5.

O mapa de Fragilidade Ambiental Emergente foi elaborado a partir da combinação das informações dos mapas temáticos de Fragilidade Potencial e de Uso da Terra e Cobertura Vegetal. Este foi desenvolvido através da linguagem de programação LEGAL (Linguagem Espacial de Geoprocessamento Algébrico Linear) do programa SPRING 4.3.

Foi utilizada a média aritmética da fragilidade potencial e do uso da terra e cobertura vegetal, com pesos equivalentes, para representar a fragilidade emergente (Figura 2).

Figura 02: Planos de Informações para o mapeamento da fragilidade ambiental Potencial e Emergente

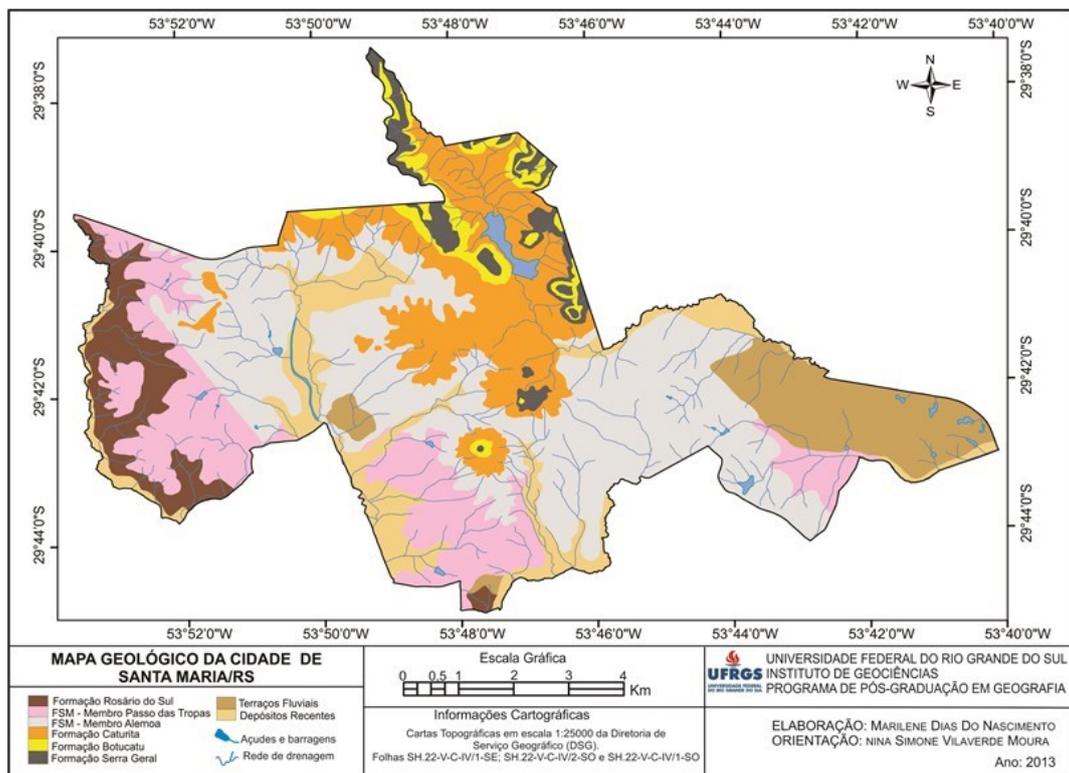


Os graus de proteção atribuídos pelo uso da terra e cobertura vegetal foram sobrepostos aos graus de fragilidade potencial definidos no mapa de Fragilidade Ambiental Potencial. O mapa de Fragilidade Emergente foi hierarquizado em cinco classes de fragilidade desde a muito fraca - peso 1, fraca - peso 2, média - peso 3, forte - peso 4 até a muito forte - peso 5.

Resultados e discussões: Elementos Físicos que compõem a paisagem de Santa Maria

No mapeamento e estudo realizado sobre os elementos físicos que compõem a paisagem de Santa Maria/RS, os quais serviram de subsídio para a identificação das fragilidades ambientais potenciais verificou-se que a maior parte desta é composta por litologias antigas que correspondem ao pacote de rochas sedimentares Triássicas, as quais englobam as Formações Rosário do Sul (inferior), Caturrita (superior) e Santa Maria (intermediária), sendo que, 51,12% da área é constituída pela Formação Santa Maria, subdividida em Membro Passo das Tropas (arenitos), com pouca resistência aos processos erosivos e Membro Alemoa (siltitos argilosos), com baixa permeabilidade (Figura 03).

Figura 03: Mapa Geológico da cidade de Santa Maria/RS.



Fonte: Carta Geológica de Santa Maria de Maciel Filho (1990) organizada pelos autores (2013)

Sobre essas litologias assentam-se formas de relevo bastante diversificadas, transitando entre as unidades morfoesculturais da Depressão Periférica Sul-Rio-grandense e a porção sul dos Planaltos

apresentam declividades superiores a 12%, com significativas ocorrências de inclinações superiores a 30% e altitudes que variam dos 180 aos 400 metros. Esse padrão de formas de relevo é constituído ora por escarpas abruptas, em forma de morros com topos convexos ou tabulares, dependendo da intensidade da ação erosiva, ora por degraus ou patamares. Trata-se de uma área muito acidentada, com alta dissecação fluvial, transitando das superfícies planálticas para as áreas planas da Depressão Periférica Sul-rio-grandense. Os processos de dinâmica superficial atuantes são os movimentos de massa, como rastejos, escorregamentos e queda de blocos e os processos erosivos.

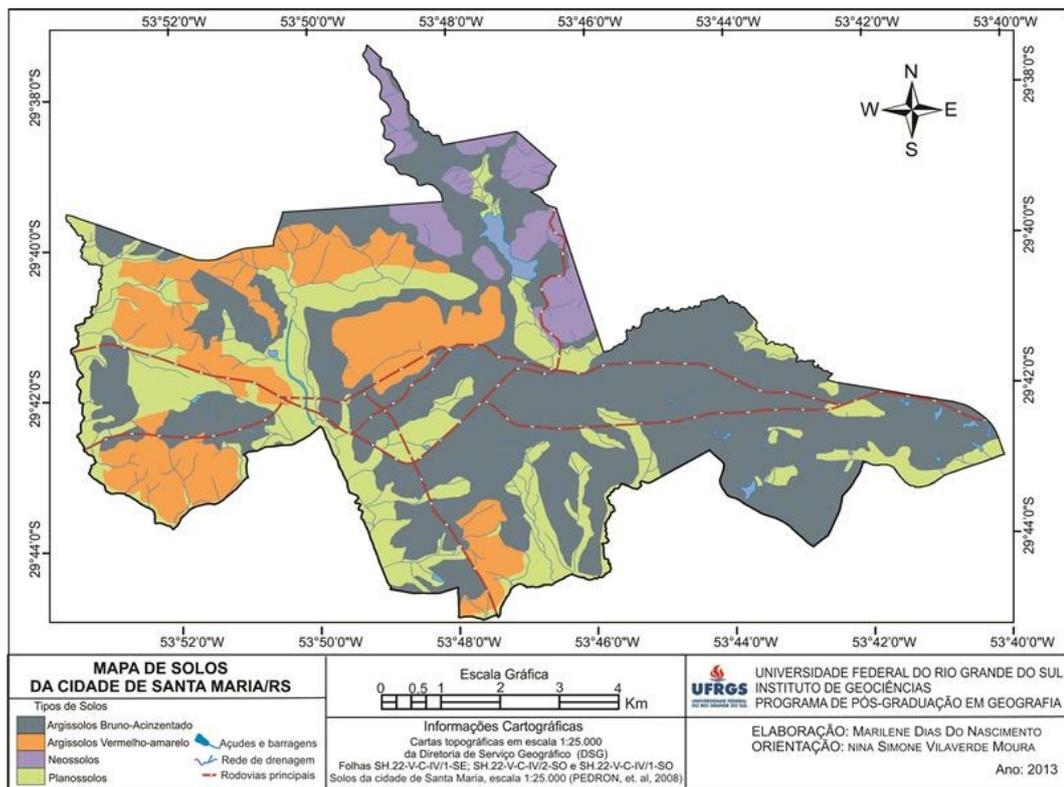
O padrão de relevo derivado dos processos de acumulação representam formas de relevo ligado à ação fluvial. Essas formas são decorrentes de processos de acumulação e referem-se aos vales fluviais da bacia hidrográfica do arroio Vacacaí Mirim, extremo norte da cidade de Santa Maria e as formas de planícies fluviais associadas às redes de drenagem dos arroios Cadena, Vacacaí Mirim, Ferreira e Passo das Tropas. Nessas formas de relevo a dinâmica superficial é comandada pelos processos de acumulação. Os depósitos fluviais são recentes e constituídos de fragmentos de rochas vulcânicas e sedimentares e sua deposição ocorre durante os períodos de cheias, onde a carga em suspensão é acumulada ao longo das planícies de inundação.

Os vales fluviais são definidos por um vale encaixado cujo padrão de drenagem apresenta forte controle estrutural, visível no arranjo da drenagem com características de paralelismo e padrões retangulares. Caracterizam-se por apresentar declividades inferiores a 3% e comprimentos de rampas superiores a 1750 metros cujas altitudes não ultrapassam os 100 metros.

As Planícies Fluviais são formas com topografias planas, cujas declividades variam de inferiores a 3%, no talvegue, a 12% no leito maior dos cursos d'água. As altitudes variam de 60 a 100 metros. Os depósitos são constituídos de fragmentos de rochas vulcânicas e sedimentares e sua deposição ocorre durante os períodos de cheias, onde a carga em suspensão é acumulada ao longo das planícies de inundação.

Os solos desenvolvidos sobre essas formas de relevo são, principalmente, Argissolos Bruno Acinzentados e Argissolos Vermelho-amarelo, em 70% da área de estudo. No Rebordo do Planalto, em morfologias de morros e colinas ocorrem os Neossolos e nas planícies fluviais ocorrem, principalmente, os Planossolos (Figura 05).

Figura 05: Mapa de Solos da cidade de Santa Maria/RS.



Fonte: Pedron (2005, 2008). Organizado pelos autores (2013).

A principal característica dos Argissolos, de maneira geral, é o grande aumento de argila em subsuperfície ocasionando rápida infiltração de água em superfície e lenta em subsuperfície, influenciando os processos erosivos.

Os Neossolos são solos rasos, pouco desenvolvidos, pouco coesos e com pouca alteração pelos processos pedogenéticos. Associados a relevos acidentados são facilmente lixiviados e transportados. Tais características os tornam fortemente suscetíveis ao desencadeamento dos processos erosivos, se agravando em encostas íngremes e desprovidas de vegetação.

Os Planossolos são solos bastante profundos. Estes apresentam forte suscetibilidade à erosão em função da transição abrupta, com o aumento significativo do teor de argila entre os horizontes A e B e, associados às Planícies Fluviais, esse aumento de argila dificulta a infiltração rápida das águas pluviais causando alagamentos.

O clima de Santa Maria é classificado como sendo Subtropical Úmido, cuja gênese está associada a áreas com maior influência dos sistemas polares e tropicais continentais, com interferência crescente dos sistemas tropicais marítimos, fortemente influenciados pelo relevo (Rebordo do Planalto) e pela continentalidade. As precipitações são regulares durante todo o ano, sem estação seca definida. Os sistemas frontais são responsáveis pela maior parte das precipitações. As chuvas oscilam entre

1500-1700 mm anuais distribuídas em 90-110 dias de chuva. Mensalmente a chuva cai em 6-9 dias. A temperatura média anual varia entre 17-20°C. A temperatura média do mês mais frio oscila entre 11-14°C e a temperatura do mês mais quente varia entre 23-26°C. Os meses mais chuvosos são outubro, novembro, dezembro e janeiro e os meses mais secos são março, maio, junho e julho, Rossato (2011).

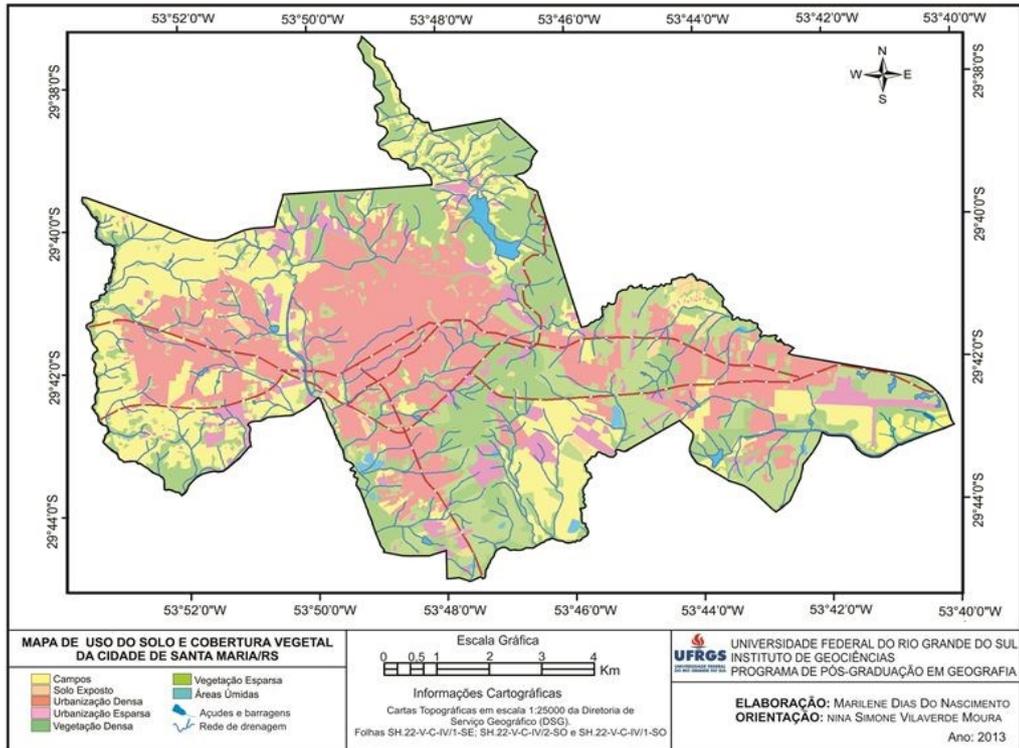
Os problemas ocorrem quando a média de precipitações mensais concentra-se em poucos dias do mês, de forma intensa e acumulada, influenciando diretamente os processos oriundos da dinâmica das encostas (erosivos e movimentos de massa) e os processos oriundos da dinâmica fluvial (alagamentos, enchentes, inundações e enxurradas).

No que diz respeito a rede hídrica da cidade de Santa Maria, esta é composta por quatro bacias hidrográficas, a do arroio Vacacaí-Mirim e a do arroio Cadena, pertencentes a Bacia do Vacacaí-Jacuí e a do arroio Ferreira e do arroio Passos das Tropas, pertencente a Bacia do Uruguai. Estas se encontram em estágios bastante avançados de alteração decorrente das intervenções antrópicas diretas e indiretas. As bacias hidrográficas mais expressivas são a do arroio Vacacaí Mirim, no leste e nordeste da cidade e a do arroio Cadena, no sentido norte/centro/sul da cidade, abrangendo, juntas, cerca de 73% da área total da cidade.

O estudo do uso do solo e da cobertura vegetal

De acordo com o mapa de Uso do Solo e Cobertura Vegetal da cidade de Santa Maria/RS (Figura 6), esta possui 23,8% de sua área coberta com florestas nativas, as quais correspondem às florestas subcaducifólias subtropical, mantida pelas condições climáticas, com alta umidade do ar, chuvas abundantes e nevoeiros.

Figura 06: Mapa de Uso do Solo e Cobertura Vegetal da cidade de Santa Maria/RS.



Fonte: Imagem dos sensores HRC e CCD do satélite CBERS-2B de 25/11/2012.

Organizado pelos autores (2013).

A cobertura florestal densa recobre áreas com declividades acentuadas nos morros testemunhos e no rebordo do planalto e, em menor quantidade como mata ciliar ao longo de alguns cursos d'água. São consideradas áreas de restrito acesso à ocupação humana, como no topo de morros e áreas com alta energia de relevo, no norte da área de estudo, nos padrões morfológicos de morros e nos morros residuais (Cerrito e Mariano da Rocha) da Depressão Periférica Sul-riograndense.

No entanto, devido ao intenso processo de alteração antrópica, em circunstâncias de uso agrícola e crescimento urbano, as estruturas naturais dessas coberturas vegetais florestais nativas encontram-se bastante descaracterizadas, exceto nas porções de maiores declividades. Nesses locais a vegetação nativa encontra-se mais preservada, apresentando fragmentos de florestas em vários estágios de sucessão. As coberturas florestais naturais de Santa Maria são as matas galerias e os capões, os quais estão associados aos campos Sulinos, e a floresta estacional semidecidual, com formações florestais e ecossistemas inseridos no bioma da Mata Atlântica, junto às áreas declivosas (MARCHIORI, 2004).

Segundo Ross (2005), as florestas naturais exercem grau de proteção muito forte sobre o ambiente, mantendo o equilíbrio dinâmico deste. A vegetação exerce papel fundamental na preservação dos ambientes naturais à medida que uma grande parte da água da chuva fica retida nas copas e folhas das árvores, evitando que a água caia diretamente no solo, possibilitando uma infiltração mais lenta nas camadas subsuperficiais, reduzindo o risco do escoamento concentrado na superfície. Em solos com vegetação preservada pode ocorrer erosão, só que em menor proporção.

As florestas também restringem o efeito das amplitudes térmicas e da umidade. A ausência da vegetação densa faz com que os solos sofram contrações e dilatações, abrindo fendas no terreno. Estas fendas favorecem a infiltração e percolação das águas diminuindo a resistência e coesão do material subsuperficial inconsolidado favorecendo a erosão.

Além da vegetação florestal mais densa a cidade de Santa Maria conta com 14,29% de área coberta por uma vegetação menos adensada que são as áreas de reflorestamento, as áreas verdes ainda não totalmente urbanizadas, os parques e os pátios de residências, distribuídos em toda a extensão do perímetro urbano.

A vegetação campestre constitui uma formação vegetal típica da Depressão Periférica Sul-riograndense e ocupa 22,92% da área de estudo. Encontra-se distribuída em declividades inferiores a 12%, de relevo plano a suave ondulado de colinas.

A área urbana ocupa 36,25% e está dividida em área adensada e área pouco adensada. A área urbana adensada corresponde a 30,20% e é encontrada praticamente na unidade morfoescultural da Depressão Periférica Sul-riograndense, região central, oeste e leste da área de estudo, que se constitui a base na qual a cidade está assentada, sobre morfologia suavemente ondulada de colinas, denominadas regionalmente de coxilhas baixas e alongadas e por tabuleiros areníticos, cujas cotas raramente ultrapassam os 150 metros.

As áreas definidas como urbanização esparsa ou pouco adensada representam 6,05% do perímetro urbano da sede de Santa Maria e localizam-se contornando as áreas de urbanização adensada. Correspondem às áreas com baixa concentração de edificações e caracterizam-se pelo crescimento horizontal, principalmente nos setores sul e norte da área de estudo.

Em contraposição às áreas com florestas, para Ross (2005) as áreas urbanas e as áreas com solo exposto são as que apresentam o menor grau de proteção, tornando o ambiente extremamente frágil e, por vezes, em função da total impermeabilização, a dinâmica superficial é zero.

Nos solos expostos a ausência da vegetação expõe o solo causando a degradação destes e intensificando os processos erosivos que aliados aos eventos pluviométricos tornam essas áreas extremamente desprotegidas.

Fragilidade ambientais da cidade de Santa Maria – Rio Grande do Sul: O estudo da fragilidade ambiental potencial

As delimitações das unidades espaciais no Mapa de Fragilidade Ambiental Potencial (Figura 07) expressam o equilíbrio dinâmico natural da cidade de Santa Maria/RS, sem considerar a influência das atividades antrópicas e da cobertura vegetal, ou seja, as Unidades Ecodinâmicas Estáveis – Instabilidade Ambiental Potencial e as suas variações de instabilidade.

O mapeamento das classes com diferentes graus de fragilidade ambiental potencial é o resultado da ponderação das classes de fragilidade das cartas morfológica, pedológica, clinográfica e geológica.

As classes de fragilidade potencial obtidas foram: muito fraca (5), fraca (4), média (3), forte (2) e muito forte (1) (Tabela 1).

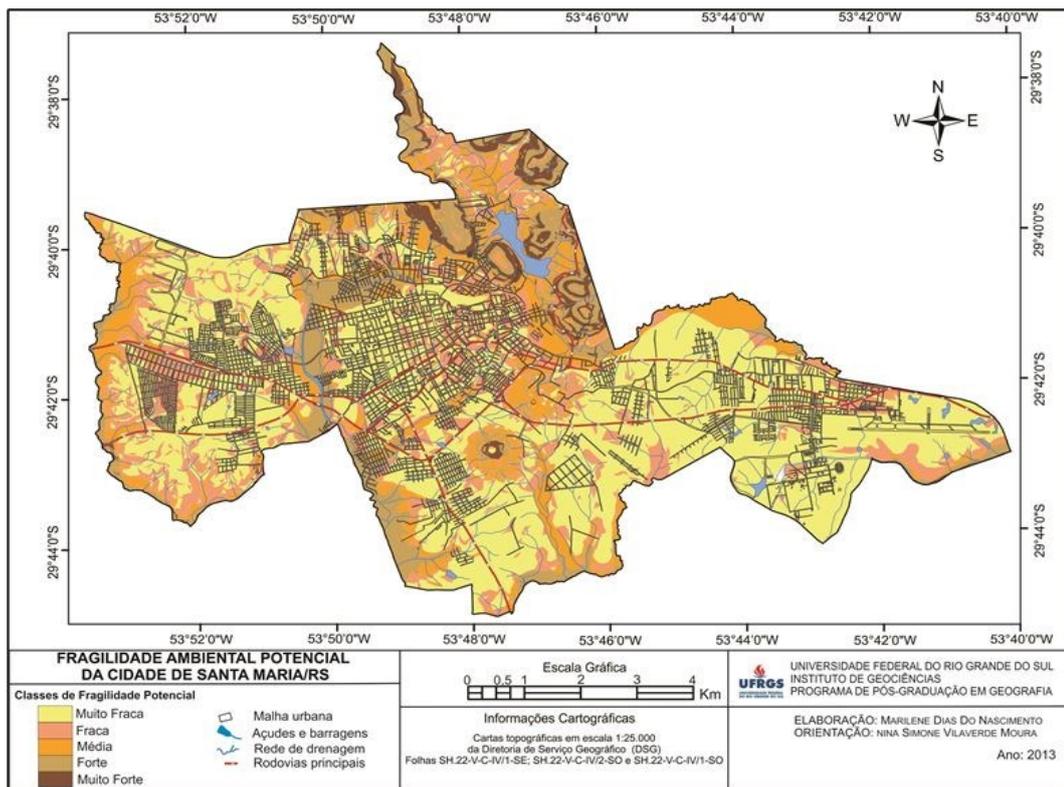
Tabela 01 - Medida das classes de fragilidade ambiental potencial da sede do município de Santa Maria/RS.

Fragilidade Ambiental Potencial	Área (km ²)	Área (%)
Muito Fraca	67,10	53,21
Fraca	24,00	19,03
Média	16,00	12,69
Forte	14,50	11,50
Muito Forte	4,50	3,57
Total	126,1	100

Fonte: Organizado pelos autores, 2013.

As áreas de fragilidade ambiental potencial considerada muito fraca correspondem a 53,21% da área mapeada, em uma extensão de 67,10 Km², distribuídas nos setores oeste, centro, sul e leste da área de estudo. Estão localizadas em altitudes entre 60 e 110 metros, declividades inferiores a 6%, composta por Argissolos Bruno Acinzentados da Formação Santa Maria, de relevo plano a suave ondulado, característico das colinas da Depressão Periférica Sul-rio-grandense.

Figura 07: Mapa de Fragilidade Ambiental Potencial da cidade de Santa Maria/RS.



Fonte: Sobreposição de Pls das cartas Clinográfica, Morfológica, Geológica e de Solos. Organizado pelos autores (2013).

As áreas de fragilidade ambiental potencial considerada muito fraca correspondem a 53,21% da área mapeada, em uma extensão de 67,10 Km², distribuídas nos setores oeste, centro, sul e leste da área de estudo. Estão localizadas em altitudes entre 60 e 110 metros, declividades inferiores a 6%, composta por Argissolos Bruno Acinzentados da Formação Santa Maria, de relevo plano a suave ondulado, característico das colinas da Depressão Periférica Sul-rio-grandense.

São áreas consideradas estáveis, em condições de equilíbrio ambiental, com a manutenção da vegetação natural e a ausência de intervenções antrópicas. Apresentam a pedogênese como processo de maior expressão, em decorrência da evolução lenta do modelado devido às características das formas do relevo com vertentes suaves, declividades mínimas, comprimentos de rampa longos e estabilidade dos solos. Os processos mecânicos atuam pouco e de modo lento.

A classe de fragilidade ambiental potencial considerada fraca abrange 19,03% da área de estudo, correspondente a 24 Km². São áreas com declividades entre 0 e 12%; altitudes entre 130 e 200 metros; solos da classe dos Planossolos e dos Argissolos Bruno Acinzentados e Vermelho-Amarelo, sobre as Formações Santa Maria e Caturrita, em relevo de colinas suave onduladas a onduladas e com predomínio de vertentes convexas. Também são consideradas áreas em que, não havendo

interferência antrópica significativa, como exemplo a retirada da mata ciliar, mantém-se em equilíbrio ambiental.

A classe de fragilidade ambiental potencial intermediária ou média abrange 12,69% da área mapeada, estendendo-se por uma área de 16,00 Km². São áreas que apresentam entre 0 e 20% de declividades, relevo de colinas onduladas a forte onduladas, com predomínio de vertentes convexas e também nos relevos planos das planícies fluviais.

Os solos encontrados abrangem a classe dos Argissolos, principalmente do Argissolo Bruno - Acinzentado, originário da Formação Caturrita, na porção central e norte com declividades mais acentuadas; a classe dos Planossolos, originários na Formação Santa Maria e da Formação Rosário do Sul (oeste) nas unidades morfológicas das planícies fluviais, do arroio Vacacaí Mirim, no leste, do arroio Cadena, na região central, do Ferreira, no oeste e do Passo das Tropas no sul. A classe de fragilidade ambiental potencial média também é encontrada no sopé dos morros residuais Cerrito e Mariano da Rocha, em declividades entre 12 e 20%, composta pelos arenitos da Formação Caturrita.

Estes locais são denominados por Tricart (1977) "meios intergrades", pois ocorre uma transição gradual entre um meio estável e um meio instável. São caracterizados pela ação permanente da morfogênese e da pedogênese, exercendo-se de maneira concorrente. São meios suscetíveis a fenômenos de amplificação, podendo tornar-se meios instáveis.

Nas planícies fluviais em que a dinâmica ambiental é forte as mudanças decorrentes do uso do solo e retirada da cobertura vegetal acentuam os processos erosivos, os quais promovem a alteração na dinâmica fluvial contribuindo para o desencadeamento dos processos derivados dessa dinâmica como inundações, alagamentos e erosões de margens. A erosão de margens desencadeia a remoção e o transporte de solo dos taludes marginais, provocando o assoreamento dos canais e a possibilidade de inundações e enchentes nos eventos pluviométricos mais intensos.

A classe de fragilidade ambiental potencial forte abrange 11,50% da área de estudo e corresponde a 14,50 Km². Está associada às formas de denudação, com influência dos processos erosivos e às formas de agradação, com influência dos processos acumulativos. A fragilidade ambiental potencial forte associada às formas de denudação está localizada em áreas com declividades entre 20 e 30%, nas encostas inferiores dos morros, com vertentes convexas, aguçadas e em forma de escarpas, cujos solos predominantes são os Neossolos, de pouca profundidade, originários da Formação Caturrita, Botucatu e Serra Geral. Encontra-se, principalmente no norte da área de estudo, Porção sul do Planalto e Chapadas da Bacia do Paraná. Nestes locais a dinâmica das vertentes está associada aos processos de movimentos e transportes de massa, nos quais acontece a desagregação e remoção de partículas do solo ou fragmentos e partículas de rochas, pela ação

combinada da gravidade com a água e com o vento. A rugosidade topográfica, a presença de declives acentuados, a natureza litológica e as propriedades do solo proporcionam forte fragilidade ambiental a estes locais.

A fragilidade ambiental potencial forte associada aos processos acumulativos, próprios de formas agradacionais localizam-se em declividades inferiores a 3%. Corresponde aos depósitos recentes das planícies de inundação dos arroios Cadena, Vacacaí-Mirim e Passo das Tropas e nos terraços fluviais pleistocênicos do Quaternário destes mesmos arroios. Os solos predominantes são os planossolos, originários dos arenitos médios argilosos e siltitos arenosos de cores cinza-clara, rosa e amarela, de ambiente fluvial.

Os processos superficiais desencadeados nessas áreas fazem parte da dinâmica fluvial e são deflagrados, geralmente, por chuvas rápidas e fortes, intensas e de longa duração, cujas planícies de inundação caracterizadas por serem áreas relativamente planas e baixas recebem os excessos de água e extravasam o canal de drenagem.

As áreas classificadas como fragilidade ambiental potencial muito forte perfazem 3,57% da área mapeada, 4,5 Km². Está localizada em formas de denudação, associadas à dinâmica das encostas, no setor norte da área de estudo, unidade morfoescultural da Porção sul dos Planaltos e Chapadas da Bacia do Paraná. Localizam-se, principalmente, na região de transição entre os Planaltos da Bacia do Paraná e a Depressão Periférica Sul-rio-grandense, denominada Rebordo do Planalto, em elevações acima dos 200 metros, nos cumes e terço superior das vertentes sobre morfologia de morros, cujas declividades, geralmente apresentam inclinações superiores a 30%. Nessa unidade predominam as combinações de Neossolo Regolítico Eutrófico léptico textura arenosa a média e Neossolo Litólico Eutrófico fragmentário textura arenosa, originários dos basaltos da Formação Serra Geral e da Formação Caturrita, altamente susceptíveis à erosão, por serem pouco desenvolvidos e pouco profundos, textura franco-arenosa, estrutura fraca a moderada, muito pedregoso e pouco rochoso.

Em alguns locais da área de fragilidade potencial muito forte são encontrados depósitos de colúvio, o qual corresponde ao material depositado ao pé das encostas. Esse material é bastante instável devido sua heterogeneidade, uma vez que as partículas constituintes possuem diferentes resistências e características estruturais.

Nesse sentido, considerando as características físicas naturais, as áreas definidas como fragilidade ambiental potencial muito forte são extremamente suscetíveis às alterações da paisagem em face da ocupação humana tanto rural quanto urbana. São locais inapropriados para a expansão

urbana e para o desenvolvimento de atividades humanas de natureza agrícola. Estas atividades poderão causar desequilíbrio no dinamismo da natureza e na sua evolução.

O estudo da fragilidade ambiental emergente

A fragilidade emergente, além de considerar os elementos naturais constantes na fragilidade potencial como tipos de solo, declividades, relevo e geologia, acrescentam o elemento humano, que se caracteriza pelas suas intervenções no meio. A sede do município de Santa Maria possui 36,25% do uso do solo urbano e 61% da área revestida com cobertura vegetal, distribuída em vegetação campestre (22,92%), vegetação pouco adensada (14,29%) e vegetação florestal densa (23,80%).

O uso da terra e a cobertura vegetal conferem o grau de proteção dos ambientes naturais, desde muito fraco a muito forte, sendo que o muito fraco e fraco são definidos pelo uso excessivo da terra, quer com elementos urbanos, quer com a exposição direta do solo com atividades agropecuárias ou de extração. O grau forte e muito forte de proteção é atribuído à cobertura vegetal que exerce papel fundamental na preservação dos ambientes naturais à medida que favorece a infiltração das águas da chuva e reduz o risco do escoamento concentrado na superfície.

De acordo com a análise da tabela 2 as classes de fragilidade ambiental emergente encontrada na área de estudo foram: muito fraca (10,13%), fraca (42,09%), média (30,90%), forte (14,57%) e muito forte (2,31%), as quais são resultados da fragilidade potencial e do grau de proteção decorrente do uso do solo e da cobertura vegetal, sendo que cada tipo de vegetação protege de maneira diferente o solo.

Tabela 02 - Medida das classes de fragilidade ambiental emergente da sede do município de Santa Maria/RS.

Fragilidade Ambiental Emergente	Área (km ²)	Área (%)
Muito Fraca	12,78	10,13
Fraca	53,10	42,09
Média	38,98	30,90
Forte	18,38	14,57
Muito Forte	2,92	2,31
Total:	126,16	100

Fonte: Organizado pelos autores, 2013.

Quanto mais desenvolvida e mais densa a vegetação, melhor a proteção do solo. Assim, a vegetação de floresta apresentou o grau de proteção 1 (muito forte); a vegetação esparsa, o grau de proteção 2 (forte); a vegetação campestre o grau de proteção 3 (médio), enquanto o solo exposto não apresentou proteção alguma.

Na área de estudo a vegetação, por apresentar alto grau de proteção, amenizou a fragilidade potencial. Ao comparar a tabela 1 (fragilidade potencial) com a tabela 2 (fragilidade emergente) observa-se que a classe muito forte (5) de fragilidade potencial, que ocupava 3,57% da área, foi reduzida, na fragilidade emergente, para 2,31%. O alto grau de proteção dado pela cobertura vegetal reduziu a fragilidade potencial muito forte (5) para fragilidade emergente forte (4) e média (3) de acordo com o tipo de vegetação. As florestas reduziram para classe emergente média (3), enquanto que a vegetação de campos reduziu para classe emergente forte (4).

O aumento da classe forte (4), de 11,50% na área na fragilidade ambiental potencial para 14,57% na fragilidade ambiental emergente, deve-se, principalmente à urbanização no setor norte, em áreas com maiores declividades e ao longo do curso do arroio Cadena, no limite Norte do Centro Urbano.

As alterações causadas na paisagem pela urbanização, principalmente construções de baixo padrão construtivo proporcionou um grau maior de fragilidade ambiental, devido às alterações no ambiente físico-natural como a retirada da cobertura vegetal e a substituição por áreas construídas que introduziu novas formas no relevo e alterou o curso natural das águas.

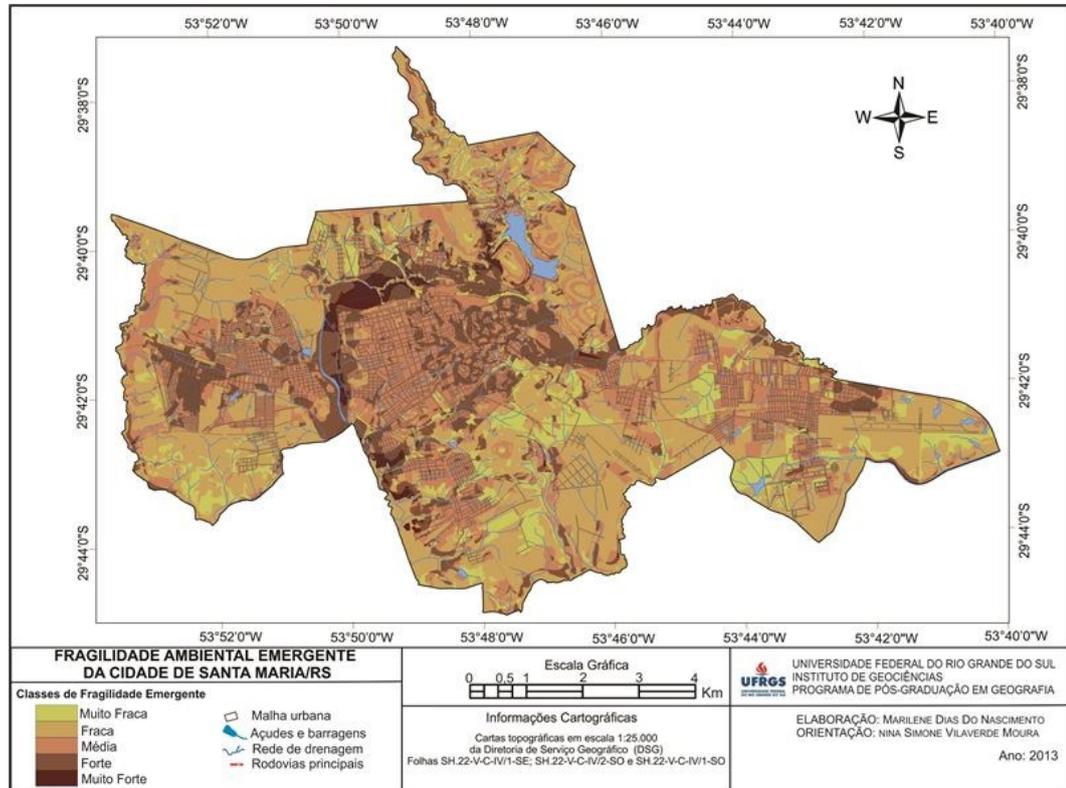
Portanto, ainda de acordo com as tabelas 1 e 2, verifica-se que as classes de fragilidade ambiental emergente muito fraca e fraca foram reduzidas em torno de 27% em relação às classes de fragilidade ambiental potencial desses mesmos graus, enquanto que as classes de fragilidade ambiental emergente média e forte foram ampliadas em 44,60%, em relação a essas mesmas classes na fragilidade ambiental potencial. A classe de fragilidade ambiental emergente muito forte reduziu 35,29% em relação à classe de fragilidade ambiental potencial, devido à proteção atribuída à cobertura vegetal, gerando, portanto, classes de fragilidade emergente de menor proporção.

A cobertura vegetal mais densa de florestas contribuiu para a fragilidade emergente muito fraca e fraca, enquanto que o uso urbano contribuiu para a passagem da posição de fragilidade ambiental potencial fraca e média para uma fragilidade ambiental emergente forte a muito forte. Ocupações antrópicas em locais inapropriados, como encostas dos morros com declividades acentuadas, extremamente susceptíveis ao desencadeamento de processos da dinâmica das vertentes e em locais sujeitos a ação dos processos da dinâmica fluvial contribuiu para transformar uma fragilidade ambiental potencial forte para uma fragilidade ambiental emergente muito forte.

A classe de fragilidade ambiental emergente mais representativa é a classe fraca (2), que ocorre em 42,09% da área total, o que corresponde a uma extensão territorial de 53,10km², podendo se observar também, que essa classe ocorre distribuída principalmente nos setores oeste, sul e leste, os quais se configuram os vetores de crescimento urbano da cidade de Santa Maria, cuja mancha

urbana ainda encontra-se pouco adensada, apresentando vários vazios urbanos recobertos com vegetação em diferentes estágios e no setor norte, cuja vegetação florestal é densa e a urbanização não é significativa, embora esteja avançando nas encostas basais dos morros (Figura 08).

Figura 08: Mapa de Fragilidade Ambiental Emergente da sede do município de Santa Maria/RS.



Fonte: Sobreposição dos mapas de Fragilidade Ambiental Potencial e de Uso da Terra e Cobertura Vegetal. Organizado pelos autores (2013).

Outra classe de fragilidade ambiental emergente representativa na área de estudo é a fragilidade média (3) que ocorre em 30,90% da área total, representando uma extensão territorial de 38,98 km².

Esta classe desenvolve-se predominantemente nos setores leste, central e oeste da cidade, em relevos com topografias suaves a suave-onduladas dos limites da Formação Santa Maria, Membro Alemoa, que apresentam declividades inferiores a 6% e altitudes que não ultrapassam os 100 metros.

Os solos constituintes do tipo Argissolos Bruno - Acinzentados e Planossolos apresentam alta suscetibilidade à degradação ambiental quando são manejadas inadequadamente, principalmente em relação à erosão hídrica das camadas superficiais, pois são solos com problemas de drenagem. O Argissolo Bruno - Acinzentado se mantém saturado em determinados períodos do ano e os Planossolos ocorrem, geralmente, em áreas de banhado e em várzeas que são áreas de recarga dos

aquíferos locais. O principal uso da terra nesses locais são vegetação campestre, urbanização concentrada e solo exposto.

No norte da área de estudo a fragilidade ambiental emergente classificada como média está ligada, de maneira geral, àquelas áreas que apresentam a categoria de uso do solo como sendo de solo exposto, agricultura alternando com pastagens. Nesse sentido, mesmo os setores que apresentam declividades de até 6% e solos profundos como o Planossolo Háplico Eutrófico e morfologia de planícies, classificadas como áreas de fragilidade potencial muito fraca, quando comparadas com o tipo de uso apresentam fragilidade emergente média.

A fragilidade média também se apresenta em locais com declividades menos acentuada, entre 6 e 12%, no sopé dos morros, em relevos suaves ondulados, cobertos por vegetação rasteira e arbustiva.

A classe de fragilidade ambiental emergente considerada como muito fraca representa 10,13%, perfazendo 12,78Km² e está associada, basicamente, a significativa presença da vegetação arbórea densa, com formações superficiais espessas, formas de relevo em colinas suaves e planas, com declividades inferiores a 6% e a pouca urbanização. A fragilidade emergente muito fraca está relacionada a locais que ainda mantêm-se preservados da ação antrópica.

A classe de fragilidade emergente forte representa 14,57% da área, em uma extensão territorial de 18,38 Km². Ocorre distribuída em todos os setores da área de estudo, sendo mais presente, porém nos setores nos quais a urbanização é mais concentrada e a presença de vegetação é quase nula, como no centro urbano, leste e oeste da área de estudo. As declividades desses locais variam entre 6 e 20%.

No setor norte da área de estudo os locais de fragilidade emergente forte são as encostas dos morros que já se encontram urbanizadas.

A classe de fragilidade ambiental emergente muito forte está presente em 2,31% da área, o que representa em extensão territorial 2,92 km² (Tabela 2). Embora sejam menos representativas essas áreas são muito preocupantes em termos ambientais e de riscos geomorfológicos, pois estão associadas às áreas em que a ocupação humana está instalada em locais inapropriados, como nas planícies de inundações dos rios e nas áreas de relevo de morros caracterizados por vertentes retilíneas, com grande presença de solo exposto e ausência de vegetação arbórea densa.

Nas planícies de inundação dos rios foram identificadas fragilidade emergente muito forte, principalmente nas margens do arroio Cadena, região central e sul e nas margens do arroio Vacacaí Mirim, região leste. Essas fragilidades estão combinadas com as mudanças na paisagem decorrentes

do uso inapropriado do solo, que podem desencadear os processos relacionados à dinâmica fluvial (alagamentos, inundações e enchentes).

As características físicas predisponentes nas planícies de inundação, por serem áreas de baixadas, com declividades inferiores a 3%, com baixa capacidade de escoamento; constituírem-se por Planossolos originários do Membro Alemoa da Formação Santa Maria, cuja susceptibilidade à erosão é moderada a ligeira e baixa capacidade de infiltração, combinadas com o inadequado uso do solo apresentam alto risco à população.

Os riscos por dinâmica fluvial, alagamentos, inundações e enchentes ocorrem, geralmente, em áreas planas de planícies fluviais, localizadas próximas à rede de drenagem.

Os processos e risco, nessas condições, são desencadeados por ações antrópicas como: eliminação da cobertura vegetal; uso do solo que propicia o aumento do escoamento superficial; estrangulamento da drenagem e assoreamento dos canais. A influência da urbanização e das ocupações sobre as áreas suscetíveis a inundações é concreta. A ocupação da planície de inundação, sem medidas de proteção das margens e de controle das cheias é responsável pelo surgimento de áreas de risco geomorfológico e de casos de inundação das moradias.

Nas áreas de encosta dos morros, no setor norte da área de estudo também foi identificado fragilidades ambientais emergentes muito fortes. Estas fragilidades estão associadas, além dos aspectos físicos da paisagem envolvente, principalmente às ocupações em locais com declividades acentuadas, acima dos 20%, como no setor Sudoeste do morro Cechela, Vila Bela Vista, no Bairro Itararé e na Vila Bilíbio, no Bairro Km3.

A urbanização identificada nesses locais foi sendo ampliada de forma espontânea e não planejada, o que contribui para elevar a fragilidade ambiental emergente da área para muito forte, causando desequilíbrio ambiental.

Nesses locais é comum a presença de depósitos de colúvios e são áreas extremamente suscetíveis a movimentos de massa, onde a presença do homem, embora já existente, em locais já urbanizados, como o setor Oeste do morro Cechela, não é aconselhada. As declividades são sempre acima dos 20% e os solos encontrados são, geralmente, os Neossolo Regolítico Eutrófico léptico combinados com os Neossolo Litólico Eutrófico fragmentários, que são solos rasos e mal desenvolvidos.

Considerações

Com a realização dos mapeamentos dos elementos físicos e do uso do solo e cobertura vegetal foi possível realizar os mapeamentos das fragilidades ambientais potenciais (sobreposição dos

elementos físicos) e emergentes (combinação das fragilidades potenciais com o uso do solo e cobertura vegetal).

Os mapas de fragilidade ambiental potencial emergente comprovaram que na cidade de Santa Maria/RS existem diversos graus de fragilidades ambientais potenciais, desde o muito fraco até o muito forte, em razão das características dos elementos físicos (formas de relevo, solos, declividades, clima, litologias) e essas fragilidades tornam-se emergentes, em diferentes graus, desde o muito fraco até o muito forte, conforme o nível de alteração introduzido na paisagem pelas atividades antrópicas decorrentes da ocupação e da urbanização e dos graus de proteção conferidos pela vegetação.

Embora a classe de fragilidade ambiental emergente mais representativa seja a classe fraca (2), que ocorre em 42,09% da área total e está distribuída principalmente nos setores oeste, sul e leste da cidade, os quais se configuram como vetores de crescimento urbano e ainda encontram-se pouco urbanizados, representando vazios urbanos recobertos com vegetação em diferentes estágios e no setor norte, cuja vegetação ainda é de florestas densas no rebordo do planalto, são os locais que apresentam graus de fragilidade ambiental emergente forte e muito forte que preocupam em termos de suscetibilidade aos desastres geomorfológicos desencadeados por eventos climáticos.

Estes locais de fragilidade ambiental emergente forte e muito forte representam juntos em torno de 18% da área da cidade, sendo que os mais críticos, cujas fragilidades foram consideradas muito forte representam em torno de 3% da área. No entanto, mesmo sendo a menos representativa das classes, é a mais preocupante, pois apresenta alta susceptibilidade à ação dos processos da dinâmica geomorfológica, tanto da dinâmica de encostas como da dinâmica fluvial e esses processos acarretam riscos à população que habita esses locais, podendo causar danos materiais e perdas de vidas.

Esses locais estão associados às áreas em que o crescimento urbano deu-se em locais inapropriados para a ocupação humana, como nas planícies de inundação dos arroios Cadena e Vacacai Mirim, norte/centro/sul e nordeste-leste da cidade e nas áreas de relevo de morros caracterizados por vertentes retilíneas, cujas declividades são acentuadas, no nordeste e norte da cidade.

Mudanças no uso da terra alteraram a dinâmica fluvial. O desmatamento e o crescimento da área urbana reduziu a capacidade de infiltração e aumentou o escoamento superficial fornecendo maior volume de sedimentos para os canais fluviais em ocasiões de chuvas intensas e acumuladas, comuns na cidade de Santa Maria, o que resultou no assoreamento do leito principal dos arroios e enchentes nas planícies de inundação. Esses processos ocorrem várias vezes ao ano, nas épocas de chuvas, geralmente com tempo de duração de algumas horas ou até mesmo dias com a área inundada.

Os locais de fragilidade emergente muito forte estão associados às profundas alterações realizadas na paisagem decorrentes do uso inadequado que é feito pelo homem ao assentar suas atividades. Os usos inadequados referem-se à retirada da cobertura vegetal, a qual propicia o aumento do escoamento superficial; o estrangulamento da drenagem e assoreamento dos canais; a realização de cortes de aterros sem controle estrutural adequado em vertentes inclinadas para a construção das residências.

Essas construções, na maior parte de baixo padrão construtivo, assentadas sobre as planícies de inundações dos arroios Cadena e Vacacaí Mirim são as mais vulneráveis aos processos geomorfológicos da dinâmica fluvial como enchentes e inundações, uma vez que são construídas sem qualquer tipo de medida de proteção das margens e de controle das cheias.

Nas áreas de encosta dos morros, nos setores nordeste e norte da área de estudo as fragilidades ambientais emergentes muito fortes detectadas estão associadas, além dos aspectos físicos da paisagem como relevo em forma de morros, declividades acima dos 20%, solos rasos e mal desenvolvidos, presença de depósitos de colúvios em áreas extremamente suscetíveis a movimentos de massa, às ocupações, em sua maioria de baixo padrão construtivo.

A urbanização identificada nesses locais foi se expandindo de forma espontânea e não planejada, o que contribuiu para elevar a fragilidade ambiental emergente da área para muito forte, causando desequilíbrios ambientais nesses locais.

O estudo e mapeamento dos diferentes graus de fragilidade ambiental contribuem para subsidiar os responsáveis pelas políticas de ocupação territorial e exploração dos recursos naturais, no planejamento urbano e ambiental sustentável.

Referências

- AB'SÁBER, A. N. *Um conceito de geomorfologia a serviço das pesquisas sobre o quaternário*. Revista Brasileira de Geomorfologia, n.18, 1969.
- CHRISTOFOLETTI, A. *Geomorfologia*. São Paulo: Editora Edusp, 1974.
- CREPANI, E. MEDEIROS, J. S. PALMEIRA, A. F. SILVA, E. F. *Zoneamento Ecológico-Econômico*. In: FLORENZANO, T. G. (Org). *Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais*. São Paulo: Editora Oficina de Textos, 2008.
- EMBRAPA. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 2ª ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2006.
- GASPARETO, N. V. L. MEDEIROS, E. R. VEIGA, P. MACIEL FILHO, C. L. SARTORI, P. L. P. MENEGOTO, E. *Mapa geológico da folha de Santa Maria – RS* Santa Maria: Editora Finep, 1988.
- GRIGORIEV, A. A. *The theoretical fundamentals of modern physical geography*. Moscou, Editora M, 1968.
- GUERRA, A. J. T. BOTELHO, R. G. M. *Erosão dos solos*. (In) CUNHA, S. B. GUERRA, A. J. T. *Geomorfologia do Brasil*. Rio de Janeiro: Editora Bertrand Brasil. 2011.
- MACIEL FILHO, C. L. *Carta Geológica de Santa Maria*. Santa Maria: Editora UFSM, 1990.

- MARCHIORI, J. N. C. *Fitogeografia do Rio Grande do Sul: campos Sulinos*. Porto Alegre: Editora EST, 2004.
- PEDRON, F. *Classificação do potencial de uso das terras da cidade de Santa Maria-RS*. Dissertação de Mestrado em Ciências do Solo. Editora da UFMS, 2005.
- PENTEADO, M. M. *Geografia e Planejamento: A Geomorfologia no Contexto Social*. São Paulo: Editora FFLCH, 1981.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE SANTA MARIA. Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano Ambiental (PDDUA) de Santa Maria – RS. 2006. Disponível em <www.santamaria.rs.gov.br/>. Acesso em 28 de novembro de 2011.
- ROSS, J. L. S. *Geografia do Brasil*. São Paulo: Editora Edusp, 2003.
- ROSS, J. L. S. FIERZ, M. S. *Algumas Técnicas de Pesquisa em Geomorfologia*. (In) VENTURA, L. A. B. (Org). *Praticando Geografia: técnicas de campo e laboratório*. São Paulo: Editora Oficina de Textos, 2005.
- ROSS, J. L. S. *Análise e síntese na abordagem geográfica do planejamento ambiental*. Revista do Departamento de Geografia, São Paulo, n.9, p. 65-76. Jan/dez, 1995.
- ROSS, J. L. S. *Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados*. Revista do Departamento de Geografia; n.8, p. 63 - 74. São Paulo, USP, 1994.
- CUNHA, S.B. *Geomorfologia e meio ambiente*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996. Cap. 7, p. 291-336.
- ROSS, J. L. S. *O registro cartográfico dos fatos geomorfológicos e a questão da taxonomia do relevo*. Revista do Departamento de Geografia. São Paulo. 1992, n. 6, p. 17-29.
- ROSSATO, S. M. *Os Climas do Rio Grande do Sul: vulnerabilidade, tendências e tipologia*. Tese de Doutorado em Geografia. Programa de Pós-Graduação em Geografia. Porto Alegre, 2011.
- TRICART, J. *Ecodinâmica*. Rio de Janeiro: Editora FIBGE, 1977.
- TRICART, J. *Principes et méthodes de la geomorphologie*. Paris: Editora Masson et Cie. 1965.

(Recebido em 18-09-2015; Aceito em: 04-04-2016)