



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS E ESCOLA DE ENGENHARIA
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

JÚLIA CIGANA SCHENKEL

**MAPEAMENTO DAS ÁREAS DE RISCO DE
ESCORREGAMENTOS TRANSLACIONAIS NA BACIA DO
ARROIO FORROMECO - RS**

Porto Alegre

Dezembro 2014

JÚLIA CIGANA SCHENKEL

**MAPEAMENTO DAS ÁREAS DE RISCO DE ESCORREGAMENTOS
TRANSLACIONAIS NA BACIA DO ARROIO FORROMECO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO
APRESENTADO AO CURSO DE
ENGENHARIA AMBIENTAL DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO
GRANDE DO SUL COMO PARTE DOS
REQUISITOS PARA A OBTENÇÃO DO
TÍTULO DE ENGENHEIRO AMBIENTAL.

Orientador: Masato Kobiyama

Co-orientador: Gean Paulo Michel

Porto Alegre

Dezembro 2014

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Universidade Federal do Rio Grande do Sul pela oportunidade de estudo, estrutura e professores qualificados, me proporcionando um ensino de qualidade.

Agradeço ao meu orientador Masato Kobiyama e co-orientador Gean Paulo Michel pela grande ajuda, ensinamentos, supervisão e pela amizade, sempre dispostos a me atender. Também agradeço a todo o pessoal do GPDEN que de alguma forma contribuiu com meu tcc.

Agradeço a minha família pelo apoio, incentivo, investimento na minha educação e amor. Foram muito importantes nestes seis anos de faculdade.

Aos meus amigos e namorado pelos conselhos e compreensão, e por estarem sempre ao meu lado para momentos felizes, únicos e inesquecíveis.

RESUMO

Os escorregamentos translacionais são um tipo de fenômeno natural causador de desastres naturais, cuja frequência e intensidade têm aumentado e, conseqüentemente os danos associados. Portanto, é necessário executar medidas preventivas que podem prevenir e reduzir os danos, entre elas o mapeamento das áreas de risco. No presente estudo foi realizado o mapeamento de risco para a Bacia do Arroio Forromeco, no estado de Rio Grande do Sul. O risco foi considerado como sendo a associação entre perigo e vulnerabilidade. O mapa de perigo foi elaborado a partir do modelo de estabilidade de encosta SHALSTAB, que utiliza dados topográficos, pedológicos e hidrológicos para previsão das áreas instáveis. Os dados topográficos foram mensurados através do uso de ferramentas de sistemas de informação geográfica e os dados pedológicos foram retirados da bibliografia. Também foi gerado um inventário das cicatrizes de escorregamento, para a realização da calibração do modelo. A vulnerabilidade foi construída através de 6 variáveis relacionadas às características demográficas, educacionais, de renda e dependência retiradas do Censo 2000 e 2010 e elaboradas para os 116 setores censitários dentro da bacia. Cruzando o índice de perigo com o índice de vulnerabilidade obteve-se o índice de risco para cada setor censitário. O mapa final de perigo mostrou uma divisão geográfica, onde no centro da bacia concentraram-se áreas de perigo muito alto e somente no extremo norte e noroeste se encontram áreas de perigo muito baixo a baixo. A distribuição geográfica das classes de vulnerabilidade na bacia se mostrou heterogênea. O setor com menor Índice de Vulnerabilidade se encontra no município de Carlos Barbosa, e o setor com maior Índice de Vulnerabilidade se encontra no município de Farroupilha. Em conclusão foi demonstrado que a Bacia do Arroio Forromeco possui risco alto, sendo que os municípios com maior risco de escorregamento de encosta são Alto Feliz, Barão e Carlos Barbosa e com menor risco de escorregamento é Bom Princípio.

Palavras-chave: Escorregamentos Translacionais, Mapeamento, Risco, Perigo, Vulnerabilidade, SHALSTAB.

ABSTRACT

Translational landslide is a kind of natural phenomena that cause natural disasters, whose frequency and intensity have increased, and consequently the damage associated. Therefore, it is necessary to implement preventive measures that can reduce or prevent, such as mapping of risk areas. In this study, the Arroio Forromeco basin, in Rio Grande do Sul state was mapped and the risk was calculated as the association between hazard and vulnerability. The hazard map was assessed by the terrain stability model SHALSTAB, which uses topographic, pedological and hydrological data to predict unstable areas. The topographic data was obtained by geographic information systems tools and the pedological data was measured according to literature. In addition, a landslide scar inventory was generated to calibrate the model. The vulnerability was measured by 6 variables related to demographic characteristics, education, income and dependency, according to 2000 and 2010 census and prepared for the 116 census tracts within the basin. The risk index was established for each census tract by analysing the relationship between hazard and vulnerability index. The final hazard map showed a clear geographic separation, with very high hazard in the basin centre and very low and low hazard in the northwest and north. The geographic distribution of the vulnerability index showed a heterogenic distribution in the basin. The lowest vulnerability index was found in Carlos Barbosa city, and the highest vulnerability index was found in Farroupilha city. In conclusion, we found that the Arroio Forromeco basin has high risk and the cities with the highest landslide risk are Alto Feliz, Barao and Carlos Barbosa, whereas the lowest risk was found in Bom Princípio.

Key-words: Translational Landslide, Mapping, Risk, Hazard, Vulnerability, SHALSTAB.

SUMÁRIO

| | | |
|--------|---|----|
| 1. | INTRODUÇÃO | 7 |
| 2. | OBJETIVOS..... | 9 |
| 2.1. | Objetivo Geral | 9 |
| 2.2. | Objetivos Específicos..... | 9 |
| 3. | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... | 10 |
| 3.1. | Perigo natural e desastre natural | 10 |
| 3.2. | Vulnerabilidade e risco..... | 12 |
| 3.2.1. | Vulnerabilidade | 12 |
| 3.2.2. | Tipos de vulnerabilidade | 14 |
| 3.2.3. | Risco | 15 |
| 3.3. | Classificação dos movimentos de massa | 17 |
| 3.4. | SHALSTAB | 19 |
| 3.4.1. | Modelo Hidrológico de Estado Uniforme | 19 |
| 3.4.2. | Modelo de Estabilidade de Encosta Infinita | 21 |
| 3.4.3. | Combinação dos Modelos | 25 |
| 4. | MATERIAIS E MÉTODOS | 26 |
| 4.1. | Área de estudo | 26 |
| 4.1.1. | Municípios..... | 26 |
| 4.1.2. | Bacia do Arroio Forromeco..... | 30 |
| 4.2. | Dados Topográficos e Geotécnicos | 32 |
| 4.2.1. | Dados Topográficos | 32 |
| 4.2.2. | Dados Geotécnicos..... | 33 |
| 4.3. | Aplicação e Calibração do Modelo SHALSTAB | 34 |
| 4.4. | Estimativa da vulnerabilidade | 35 |
| 4.5. | Análise do Risco de escorregamento..... | 39 |
| 5. | RESULTADOS E DISCUSSÃO | 41 |
| 5.1. | Mapeamento das áreas de perigo..... | 41 |
| 5.2. | Mapeamento da vulnerabilidade | 48 |
| 5.3. | Mapeamento das áreas de risco | 53 |
| 6. | CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES | 60 |
| 7. | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 63 |
| | Apêndice I – Variáveis censitárias escalonadas e índice de vulnerabilidade para cada setor. ... | 70 |
| | Apêndice II – Áreas instáveis e estáveis, índices de perigo, vulnerabilidade e risco. | 73 |

1. INTRODUÇÃO

Os desastres naturais vêm aumentando consideravelmente nos últimos anos, isso se deve principalmente ao aumento da população, a ocupação desordenada e ao intenso processo de urbanização e industrialização. Os escorregamentos de terra são um exemplo de desastre natural hidrológico, segundo a classificação utilizada pelo Banco de Dados Internacional de Desastres (EM-DAT) com graves consequências como perdas materiais e humanas onde se tem como agravante a ocupação desordenada das encostas íngremes. De acordo com o EM-DAT há um grande incremento no número dos desastres naturais, principalmente os hidrológicos. Isso não ocorre necessariamente por causa do aumento da ocorrência desses desastres, a ocupação de áreas suscetíveis a desastres naturais pela população é o principal causador deste incremento.

Os danos gerados pela ocorrência de escorregamentos de encostas são elevados. Porém, se medidas preventivas forem adotadas, os danos podem ser evitados ou minimizados. Souza *et al.* (2009) dividiram as medidas preventivas em dois grupos:

- Medidas Estruturais: obras de engenharia, geralmente de alto custo, tais como obras de contenção, implantação de sistemas de drenagem, e reurbanização de áreas;
- Medidas Não Estruturais: ações de políticas públicas voltadas ao planejamento do uso do solo e ao gerenciamento, como o zoneamento geoambiental, planos preventivos de defesa civil, educação ambiental.

O monitoramento das áreas de risco de escorregamento é um tipo de medida não estrutural, mais simples, acessível e com custo mais baixo que as medidas estruturais, por isso este trabalho apresenta um método de mapeamento que pode ser usado como base para planos de controle e monitoramento destas áreas. Evitando, assim, que este desastre natural tenha uma magnitude maior e cause danos ambientais e sócio-econômicos.

A Bacia do Arroio Forromeco (Figura 1), situada na serra gaúcha, sofre com desastres hidrológicos, como inundações e escorregamentos (Figuras 2 e 3). Por isso foi escolhida para realizar este mapeamento. As fotos foram cedidas pela Prefeitura de São Vendelino.



Figura 1 - Arroio Forromeco



Figura 2 - Inundações em São Vendelino em 1982



Figura 3 - Escorregamento de encosta em São Vendelino em 2000

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Mapear áreas de risco de escorregamentos translacionais na bacia do arroio Forromeco – RS.

2.2. Objetivos Específicos

- Elaborar o inventário de cicatrizes de escorregamento da bacia.
- Calibrar o modelo de estabilidade de encosta SHALSTAB para a área de estudo.
- Mensurar a vulnerabilidade da bacia por setores censitários.
- Gerar os mapas de perigo e vulnerabilidade da bacia.
- Gerar o mapa das áreas de risco de escorregamento da bacia.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Perigo natural e desastre natural

O perigo natural é um fenômeno natural potencialmente prejudicial ao meio ambiente podendo causar danos socioeconômicos. Alcántara-Ayala (2002) comenta que perigos naturais têm a característica de colocar em risco diferentes entidades e classes sociais, mas esse risco não se refere aos fenômenos naturais *por si*, mas a junção dos fenômenos naturais com os sistemas humanos e suas vulnerabilidades.

O termo perigo natural pode estar relacionado a diversos fenômenos naturais, nota-se isso na Tabela 1 onde são apresentadas diferentes definições para o termo perigo (*hazard*). Percebe-se que existe uma relação entre todas as definições: a interação entre os eventos naturais extremos e a sociedade.

Tabela 1 - Termos e definições para perigo natural. (Adaptada de Goerl et al. 2012)

| Autor | Termo | Definição |
|-------------------------------|----------------|---|
| Schumm (1994) | Perigo | Refere-se ao risco ou perigo potencial, o qual geralmente é assumido como sendo uma catástrofe ou desastre em potencial, que envolve grandes danos e perdas de vidas. |
| Smith (1996) | Perigo | Pode ser definido como uma ameaça potencial para o ser humano e seu bem-estar. |
| ISDR (2004) | Perigo | Evento físico, fenômeno ou atividade humana potencialmente danosa, que pode causar mortes, danos às propriedades, distúrbios sociais e econômicos ou degradação ambiental. |
| Alcântara-Ayala (2002) | Perigo Natural | São eventos capazes de produzir danos ao espaço físico e social, não apenas durante sua ocorrência, mas também posteriores a sua ocorrência, pelas associações de duas consequências. |
| Benson e Clay (2003) | Perigo Natural | Um evento geofísico, atmosférico ou hidrológico que tem o potencial de causar prejuízos e danos. |
| Tobin e Montz (1997) | Perigo Natural | Representa uma interação potencial entre a sociedade e eventos naturais extremos. |
| Dwyer et al. | Perigo Natural | Pode ser considerado como sendo um específico evento natural caracterizado por uma certa magnitude e probabilidade de ocorrência. |

Desastre natural é o nome dado ao fenômeno natural que atinge uma área ou região habitada pelo homem gerando danos humanos, ambientais e econômicos (SOUZA *et al.*, 2009).

O desastre natural é, portanto, resultado da interação entre o perigo natural e o sistema humano. Para Kobiyama *et al.* (2006) os desastres naturais ocorrem quando fenômenos intensos, tais como inundações, escorregamentos, secas, furacões, entre outros;

atingem locais onde os seres humanos vivem, resultando em danos (materiais e humanos) e prejuízos (sócio-econômicos). Isso ocorre devido ao aumento populacional das últimas décadas, visto que uma parcela da população tende a se deslocar para regiões com existência de perigos naturais, como planícies de inundação ou áreas declivosas, que são mais propícias a escorregamentos.

Segundo o Banco de Dados Internacional de Desastres (EM-DAT), há cinco classes de desastres naturais:

- Geofísico – originados por forças internas da terra;
- Meteorológicos – originados por processos atmosféricos temporários;
- Hidrológicos – originados por alterações no sistema hidrológico local;
- Climatológico – originados por efeitos climáticos duradouros;
- Biológicos – originados pela exposição a germes e substâncias tóxicas.

Os movimentos de massa úmida, que, no Brasil, ocorrem em sua maioria devido à incidência de chuvas são classificados como desastres hidrológicos.

3.2. Vulnerabilidade e risco

3.2.1. Vulnerabilidade

Para elaborar o mapa de risco, deve ser analisado o potencial em causar danos. Este dano depende do elemento que é exposto ao perigo, ou seja, a vulnerabilidade governará a magnitude do dano. Para Koeler *et al.* (2004), a severidade de um evento, diretamente proporcional à vulnerabilidade, depende de quatro fatores: físico, ambiental, econômico e social, representados na Figura 4.

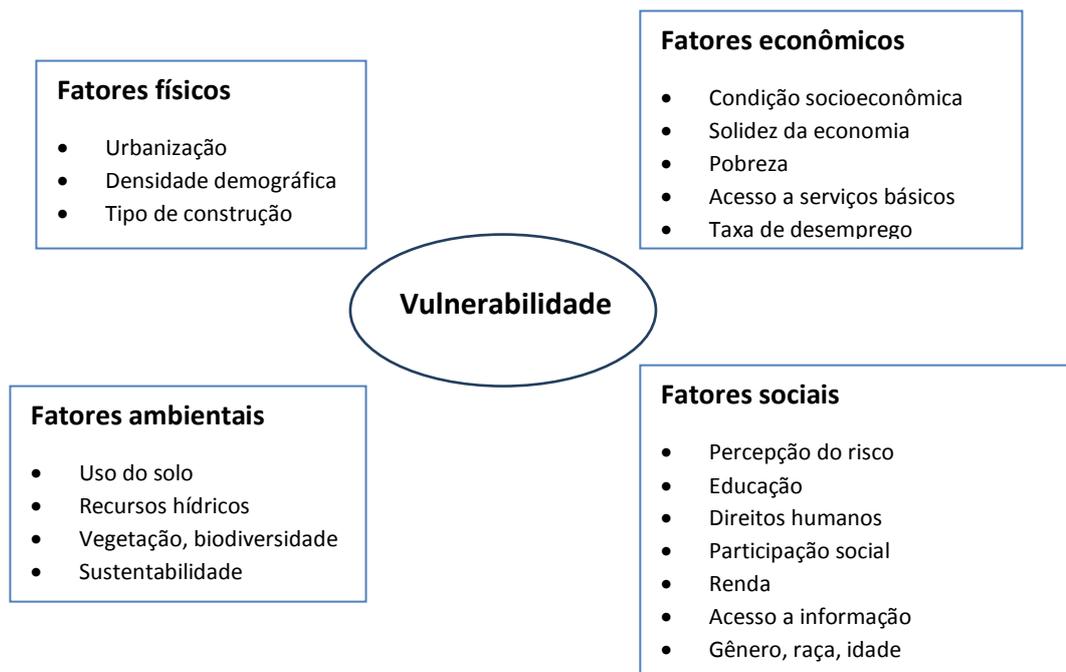


Figura 4 - Fatores relacionados à vulnerabilidade.

Fonte: Modificado de Koeler et al. (2004)

Há varias definições para o termo vulnerabilidade, para CRID (2001) a vulnerabilidade pode ser definida como o grau de suscetibilidade ou de risco a que está exposta uma população de sofrer danos por um desastre natural. Segundo UNDP (2004), vulnerabilidade é uma condição ou processo resultante de fatores físicos, sociais, econômicos e ambientais, os quais determinam a probabilidade e escala dos danos causados pelo impacto de um determinado perigo.

Segundo Vieira (2008 *apud* CARDONA, 1996), vulnerabilidade é definida como sendo um fator interno de risco, seja a um sujeito ou a um sistema todo que está exposto a uma ameaça, correspondente a sua predisposição a ser suscetível de sofrer a perda. De acordo com Alexander (1993), vulnerabilidade humana são os custos e benefícios de habitar áreas de risco ao desastre natural.

Nota-se então que existem fatores complexos para estimar a vulnerabilidade: o tipo de perigo natural, pois diferentes escalas de análises resultam em diferentes resultados; o elemento exposto ao risco, que pode ser afetado pelo perigo natural de diversas maneiras; e também a resposta do elemento em risco, que pode ser eficaz ou não na hora de evento.

3.2.2. Tipos de vulnerabilidade

Há muitos tipos de vulnerabilidade com relação aos perigos naturais. O *National Research Council* (2006) elenca dois principais tipos de vulnerabilidade: física e social. A física representa as ameaças às estruturas físicas e infraestruturas, ao meio ambiente e os prejuízos na economia. A social representa as ameaças ao bem-estar e normalidade da população.

Conforme Hill e Cutter (2001) os três tipos mais importantes de vulnerabilidade são: individual, social e biofísico. A vulnerabilidade individual diz respeito à suscetibilidade de uma pessoa ou uma estrutura sofrer um dano potencial. A vulnerabilidade social se baseia nas características demográficas de grupos sociais, as quais os fazem mais ou menos vulneráveis. Para se determinar esta vulnerabilidade, utilizam-se características socioeconômicas como idade, renda, gênero, educação, naturalidade (imigrantes) dos grupos sociais. A vulnerabilidade biofísica pode ser considerada como sinônimo de exposição física, ou seja, o quanto um local ou área é susceptível à ocorrência de um perigo natural.

A vulnerabilidade social engloba diversos indicadores essenciais para a análise dos riscos naturais. Para ISDR (2004), a vulnerabilidade social está associada ao nível de bem-estar de indivíduos, comunidades e da sociedade, o que inclui aspectos relacionados ao grau de instrução, escolaridade, segurança e políticas públicas, respeito aos direitos humanos, igualdade social, entre outros.

Portanto, neste trabalho será usado o conceito de vulnerabilidade social para determinar a vulnerabilidade total de uma determinada área. Esta vulnerabilidade engloba dados econômicos, políticos e culturais, pois as características sociais são resultados destes dados.

Ainda não existe consenso entre os pesquisadores sobre quais variáveis e indicadores deveriam ser utilizados para mensurar a vulnerabilidade social. Coppola (2007) lista os seguintes fatores que devem ser considerados na análise da vulnerabilidade social: religião, raça, gênero, saúde, taxa de analfabetismo, políticas públicas, direitos humanos, desigualdades sociais, cultura, tradição, etc.

Pine (2008) cita como bons indicadores de vulnerabilidade social:

- A porcentagem de jovens e idosos;
- Pessoas com rendimento baixo;
- Minorias étnicas;
- Turistas, sem tetos, pessoas recém chegadas.

Cutter *et al.* (2000) utilizaram como variáveis para mensurar a vulnerabilidade social a população total, número total de casas, número de pessoas do sexo feminino, número de pessoas não-brancas, número de pessoas abaixo de 18 anos, número de pessoas acima dos 65 anos, valor médio da casa.

3.2.3. Risco

Segundo UNDP (2004), risco é a probabilidade de consequências prejudiciais ou perdas (econômicas, sociais ou ambientais) resultantes da interação entre perigos naturais e os sistemas humanos. Usualmente é utilizada a expressão abaixo para a definição do risco de um desastre natural.

$$R = H.V \tag{1}$$

onde R é o risco; H é o perigo e V é a vulnerabilidade.

Augusto Filho (2001) apresenta uma diferenciação entre os termos perigo e risco correlacionando-os aos seus correspondentes em língua inglesa: perigo (*hazard*) é tomado como a "ameaça potencial a pessoas ou bens" e risco (*risk*) "expressa o perigo em termos de danos/por período de tempo, em geral, unidade monetária/ano".

Na Tabela 2 estão definidos alguns conceitos utilizados na análise de risco conforme a IUGS (*International Union of Geological Sciences*). A vulnerabilidade descrita na tabela se refere à vulnerabilidade técnica, com escalas de danos, porém difícil de quantificar e qualificar. No presente trabalho será utilizado o conceito de vulnerabilidade social.

Tabela 2 - Conceitos utilizados na análise de risco conforme a IUGS

| Termo | Definição |
|----------------------------|--|
| Risco | Uma medida da probabilidade e severidade de um efeito adverso para a saúde, propriedade ou ambiente. Risco é geralmente estimado pelo produto entre a probabilidade e as consequências. Entretanto, a interpretação mais genérica de risco envolve a comparação da probabilidade e consequências, não utilizando o produto matemático entre estes dois termos para expressar os níveis de risco. |
| Perigo | Uma condição com potencial de causar uma consequência desagradável. Alternativamente, o perigo é a probabilidade de um fenômeno particular ocorrer num dado período de tempo. |
| Elementos sob risco | Significando a população, as edificações e as obras de engenharia, as atividades econômicas, os serviços públicos e a infra-estrutura na área potencialmente afetada pelos processos considerados. |
| Vulnerabilidade | O grau de perda para um dado elemento ou grupo de elementos dentro de uma área afetada pelo processo considerado. Ela é expressa em uma escala de 0 (sem perda) a 1 (perda total). |
| Análise de Risco | O uso da informação disponível para estimar o risco para indivíduos ou populações, propriedades ou o ambiente. A análise de risco, geralmente, contém as seguintes etapas: definição do escopo, identificação do perigo e determinação do risco. |

3.3. Classificação dos movimentos de massa

Segundo Selby (1993), movimento de massa é o movimento de solo ou material rochoso encosta abaixo sob a influência da gravidade, sem a influência direta de outros fatores como água, ar ou gelo. Entretanto, água e gelo geralmente estão envolvidos em tais movimentos, reduzindo a resistência dos materiais e interferindo na plasticidade e fluidez dos solos.

Internamente estão ligados à alteração do equilíbrio entre as tensões no interior da massa (Cruz, 1974). Esse equilíbrio é controlado principalmente pelo teor de água, pelo teor e estrutura interna das argilas, pela resistência imposta pelo ângulo de atrito interno e coesão do solo. Podem ser deflagrados por eventos chuvosos extremos, chuvas prolongadas de intensidade moderada ou também estão associados a fatores como estrutura geológica, características dos materiais envolvidos, morfologia do terreno (declividade, tipo de modelado e forma das encostas) e formas de uso da terra.

A classificação dos movimentos de massa é complexa devido à variedade de parâmetros envolvidos, como velocidade e mecanismo do movimento; características dos materiais; modo de deformação; geometria do movimento e quantidade de água.

Selby (1993) apresenta os principais sistemas classificatórios internacionais. Sharpe (*apud* Selby, 1993) em 1938 utilizou os parâmetros velocidade do movimento, tipo de material (rocha ou solo) e quantidade de água e gelo contidos na massa. Os movimentos são divididos em duas categorias principais: fluxos ou corridas (*flows*) e escorregamentos (*slides*), sendo que estas categorias subdividem-se em várias outras. Varnes (*apud* Selby, 1993) em 1975 e Hutchinson (*apud* Selby, 1993) em 1968 incluem o modo de deformação como um novo parâmetro, apresentando maior refinamento no que diz respeito aos tipos de materiais. A classificação de Hutchinson inclui o rastejamento (*creep*), os escorregamentos

(*landslides*) e os movimentos ligados especificamente ao congelamento e degelo da superfície (*frozen ground phenomena*).

É possível observar diferenças significativas entre as classificações, pois cada autor atribui maior importância a um dado parâmetro. Contudo, alguns tipos de movimentos de massa estão presentes na maior parte das classificações, como na classificação proposta por Augusto Filho (2001). São eles: o rastejamento (*creep*), os fluxos de detritos (*flows*), os escorregamentos (*slides*) e as quedas de blocos (*rockfalls*).

O rastejamento é o movimento gravitacional lento e contínuo da camada superficial do solo, perceptível somente em observações de longa duração (Selby, 1993). As corridas são movimentos rápidos, associadas à concentração dos fluxos d'água superficiais em determinado ponto da encosta. De acordo com Fernandes e Amaral (1996), os escorregamentos são movimentos rápidos, de curta duração e com plano de ruptura bem definido, sendo possível a distinção entre o material deslizado e o que não foi movimentado. As quedas de blocos representam movimentos em queda livre de blocos e lascas de rocha.

Os escorregamentos podem ser subdivididos em translacionais e rotacionais, de acordo com seu plano de ruptura. Os rotacionais possuem superfície de ruptura curva, em formato de arco de círculo, ao longo da qual ocorre o movimento rotacional de uma massa de solo. Geralmente estão associados à percolação da água em profundidade, sendo deflagrados algum tempo depois de um evento chuvoso. Os escorregamentos translacionais são o tipo de movimento de massa mais comum nas encostas cobertas por solos. Apresentam superfície de ruptura com forma planar, que geralmente acompanha descontinuidades mecânicas e/ou hidrológicas do material. No Brasil são deflagrados durante eventos pluviométricos de alta intensidade, quando a taxa de infiltração torna-se

superior à taxa de retirada de água do interior da encosta por fluxos subsuperficiais (Dias *et al.*, 2002)

3.4. SHALSTAB

SHALSTAB consiste na abreviação de *Shallow Landslide Stability Analysis* (análise de estabilidade de deslizamentos rasos). O modelo SHALSTAB é um modelo determinístico que leva em conta a combinação de outros dois modelos: um hidrológico de estado uniforme e outro de estabilidade de encosta infinita (DIETRICH e MONTGOMERY, 1998).

Conforme Fernandes *et al.* (2001), o modelo hidrológico de estado uniforme é responsável pelo balanço entre a concentração e a transmissão da água no solo caracterizando, em última análise, os locais na paisagem que estarão submetidos à saturação. O modelo de estabilidade de encosta infinita simula a estabilidade de uma porção de solo situada diretamente sobre embasamento rochoso ou sobre uma interface entre dois solos de condutividade hidráulica distinta.

3.4.1. Modelo Hidrológico de Estado Uniforme

O modelo hidrológico de estado uniforme se baseia nos trabalhos de Beven e Kirkby (1979) e O'loughlin (1986), o modelo assume um estado uniforme de recarga que simularia o padrão de variação espacial da umidade (altura da coluna d'água, h/z) que ocorre durante uma época chuvosa, a qual não está em estado uniforme. A Figura 5 mostra um esquema ilustrando o modelo.

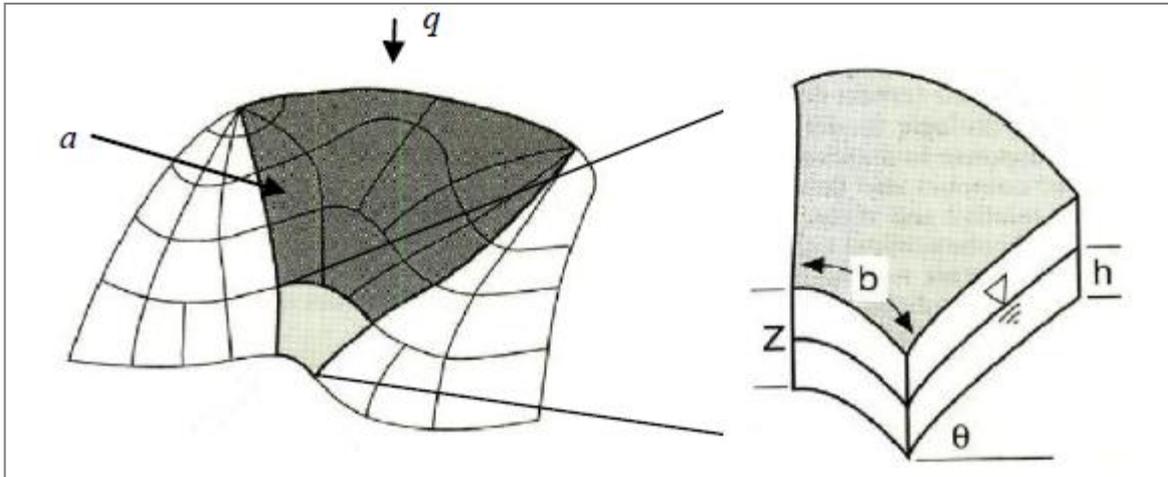


Figura 5 - Elementos usados pelo modelo hidrológico. (Adaptado de Montgomery e Dietrich, 1998).

Na Figura 5, a representa a área de contribuição a montante, b é o comprimento de contorno da fronteira inferior de cada elemento e q é a taxa de recarga uniforme. Os elementos h e z são a espessura do fluxo subsuperficial saturado e a espessura de massa instável, respectivamente.

A quantidade total de água que entra (Q_e) [m^3/d] pela área de contribuição é expressa por:

$$Q_e = q.a \quad (2)$$

A quantidade total da água que sai (Q_s) [m^3/d] pelo escoamento subsuperficial é expressa pelo produto da velocidade do fluxo pela área de saída. A velocidade do fluxo é descrita pela Lei de Darcy. K_s representa a condutividade hidráulica saturada. Logo,

$$Q_s = K_s . i . h . \cos \theta . b \quad (3)$$

O gradiente hidráulico i pode ser representado por $\sin \theta$, pois representa o quociente entre a carga hidráulica (diferença altimétrica entre o ponto inicial e o ponto final do

escoamento) e o comprimento do meio poroso a ser percorrido (comprimento da encosta).

Então a equação (3) pode ser escrita como:

$$Q_s = K_s \cdot \sin \theta \cdot h \cdot \cos \theta \cdot b \quad (4)$$

Quando ocorre a condição uniforme a quantidade de água que entra é igual a quantidade de água que sai, logo a equação (2) se iguala a (4).

$$q \cdot a = K_s \cdot \sin \theta \cdot h \cdot \cos \theta \cdot b \quad (5)$$

E quando a camada está saturada, o escoamento superficial é máximo. A equação (4) se torna:

$$Q_{smáx} = K_s \cdot \sin \theta \cdot z \cdot \cos \theta \cdot b \quad (6)$$

Como a transmissividade T [m²/d] é o produto entre a K_s [m/d] e a profundidade do solo.

$$T = K_s \cdot z \cdot \cos \theta \quad (7)$$

$$Q_{smáx} = b \cdot T \cdot \sin \theta \quad (8)$$

A umidade (*wetness*) é a taxa da quantidade de água que entra no sistema sobre a quantidade máxima da água que sai pela camada de solo deste mesmo sistema, ou seja, o escoamento que ocorre quando o solo está totalmente saturado.

$$w = \frac{Q_e}{Q_{smáx}} = \frac{q \cdot a}{b \cdot T \cdot \sin \theta} = \frac{h}{z} \quad (9)$$

3.4.2. Modelo de Estabilidade de Encosta Infinita

O modelo de estabilidade de encosta, baseado na teoria do talude infinito, simula o grau de estabilidade de uma determinada porção do solo localizada sobre o manto rochoso.

Em escorregamentos translacionais rasos, o fator de segurança (FS) de uma encosta pode ser calculado através do modelo de estabilidade de encosta infinita, utilizado quando o comprimento da encosta é muito maior que a profundidade do solo. Este modelo compara os componentes restauradores da coesão e do atrito do solo com os componentes desestabilizadores da gravidade.

A formulação do modelo é baseada na lei de Mohr-Coulomb, onde, no momento da ruptura de uma encosta, a tensão cisalhante no solo torna-se igual a resultante das forças estabilizadoras:

$$\tau = c + (\sigma - u) \cdot \tan \phi \quad (10)$$

onde, τ é a tensão cisalhante, c é a coesão efetiva, σ é a tensão normal, u é a poro-pressão, e ϕ é o ângulo de atrito interno do solo.

O atrito interno de um solo representa o atrito físico entre suas partículas e o atrito fictício proveniente do entrosamento de suas partículas. A coesão do solo é efeito das forças eletroquímicas de atração entre suas partículas.

A Figura 6 exemplifica o modelo de estabilidade de encosta infinita, considerando uma largura unitária (análise bidimensional), onde W é o peso do solo, z é a profundidade vertical do solo, h é a altura de coluna d'água no solo.

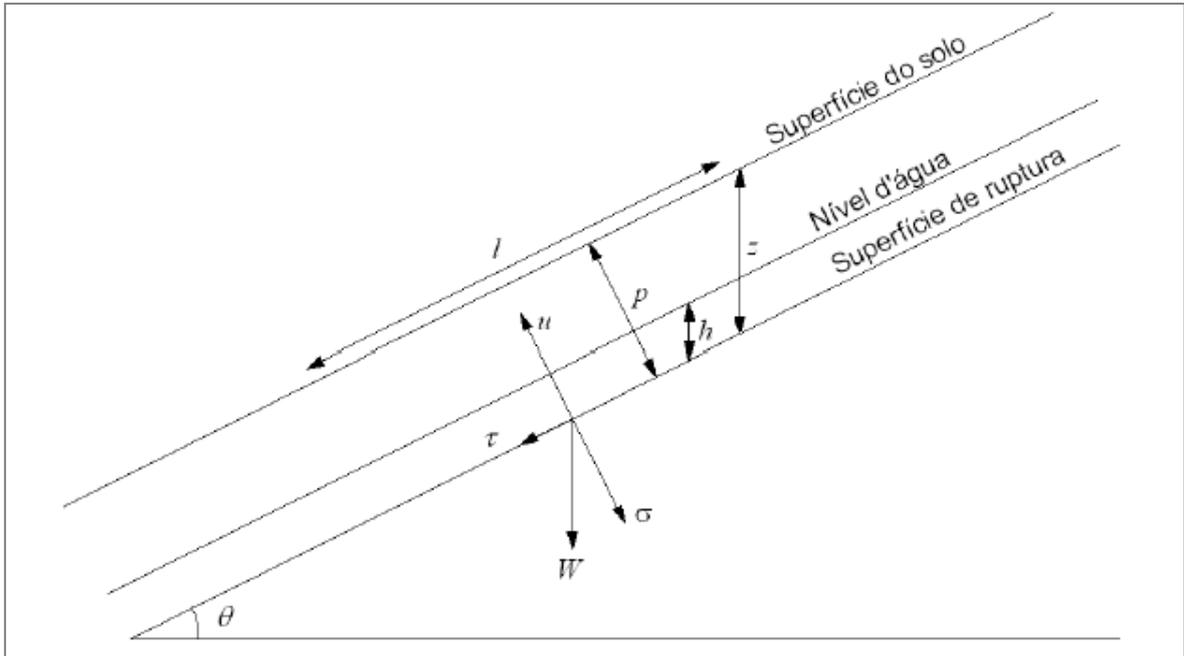


Figura 6 - Modelo de estabilidade de encosta infinita

Representando a espessura do solo como p e a declividade da encosta como θ , a profundidade vertical do solo pode ser descrita como:

$$z = \frac{p}{\cos \theta} \quad (11)$$

O peso de solo sobre a encosta pode ser representado pela equação:

$$W = l \cdot p \cdot \rho_s \cdot g \quad (12)$$

onde, l representa o comprimento da encosta; ρ_s representa a densidade do solo úmido; g representa a aceleração gravitacional; e p representa a espessura do solo.

As tensões cisalhante e normal são as componentes do peso paralelas à encosta e perpendicular a encosta, respectivamente. Como tensões devem ser expressas em força por unidade de área, dividem-se as componentes da força peso pelo produto da largura unitária e l .

$$\tau = \frac{W \cdot \sin \theta}{l} \quad (13)$$

$$\sigma = \frac{W \cdot \cos \theta}{l} \quad (14)$$

Substituindo as equações (11) e (12) nas equações (13) e (14):

$$\tau = z \cdot \rho_s \cdot g \cdot \cos \theta \cdot \sin \theta \quad (15)$$

$$\sigma = z \cdot \rho_s \cdot g \cdot \cos^2 \theta \quad (16)$$

A poro-pressão (u) é caracterizada pela pressão a que está submetida a água situada nos poros do solo e tem sentido contrário a tensão normal, pode ser expressa por:

$$\mu = h \cdot \rho_w \cdot g \cdot \cos^2 \theta \quad (17)$$

onde, h é a altura do nível d'água dentro da coluna do solo e ρ_w é a densidade da água.

Substituindo-se as equações (15), (16) e (17) na equação (10), e aplicando a modelos de estabilidade de encosta infinita, obtém-se:

$$\rho_s \cdot g \cdot z \cdot \sin \theta \cdot \cos \theta = c_r + c_s + (\rho_s \cdot g \cdot z \cdot \cos^2 \theta - \rho_w \cdot g \cdot h \cdot \cos^2 \theta) \cdot \tan \phi \quad (18)$$

onde, c_r é a coesão das raízes e c_s é a coesão do solo e ϕ é o ângulo de atrito interno do solo.

Como o FS do modelo de estabilidade de encosta infinita é obtido pela parcela das tensões estruturantes (lado direito) pela parcela das tensões desestruturantes (lado esquerdo), a equação final do modelo é expressa como:

$$FS = \frac{c_r + c_s + (\rho_s \cdot g \cdot z - \rho_w \cdot g \cdot h) \cdot \cos^2 \theta \cdot \tan \phi}{\rho_s \cdot g \cdot z \cdot \sin \theta \cdot \cos \theta} \quad (19)$$

Então, pela equação quando as tensões estabilizadoras são iguais as desestabilizadoras o FS é igual a 1; quando $FS < 1$, a encosta está instável; quando $FS > 1$, a encosta está estável.

3.4.3. Combinação dos Modelos

Como visto anteriormente, o modelo SHALSTAB consiste na combinação dos modelos citados. A equação (18) é resolvida em função de h/z , que representa a proporção saturada da espessura do solo:

$$\frac{h}{z} = \frac{\rho_s}{\rho_w} \cdot \left(1 - \frac{\tan \theta}{\tan \phi}\right) + \frac{c}{\cos^2 \theta \cdot \tan \phi \cdot \rho_w \cdot g \cdot z} \quad (20)$$

Igualando-se a equação (9) a equação (20) obtém-se a combinação dos dois modelos:

$$\frac{q \cdot a}{T \cdot b \cdot \sin \theta} = \frac{\rho_s}{\rho_w} \cdot \left(1 - \frac{\tan \theta}{\tan \phi}\right) + \frac{c}{\cos^2 \theta \cdot \tan \phi \cdot \rho_w \cdot g \cdot z} \quad (21)$$

Para a formulação adotada pelo SHALSTAB, a equação (21) deve ser reescrita em função das variáveis q e T :

$$\frac{q}{T} = \frac{b}{a} \cdot \sin \theta \left\{ \frac{\rho_s}{\rho_w} \cdot \left(1 - \frac{\tan \theta}{\tan \phi}\right) + \frac{c}{\cos^2 \theta \cdot \tan \phi \cdot \rho_w \cdot g \cdot z} \right\} \quad (22)$$

O SHALSTAB usa a equação (22) para designar o grau de estabilidade de uma encosta. Dietrich e Montgomery (1998) originalmente propuseram sete classes de estabilidade em seu modelo. Sendo duas classes extremas que representam áreas incondicionalmente instáveis e áreas incondicionalmente estáveis, expressas nas equações (23) e (24), respectivamente. As outras cinco classes são geradas em função do parâmetro livre q/T .

$$\tan \theta \geq \tan \phi + \frac{c}{\cos^2 \theta \cdot \rho_s \cdot g \cdot z} \quad (23)$$

$$\tan \theta \leq \tan \phi \cdot \left(1 - \frac{\rho_w}{\rho_s}\right) + \frac{c}{\cos^2 \theta \cdot \rho_s \cdot g \cdot z} \quad (24)$$

Os parâmetros de entrada requeridos pelo modelo são: c , ϕ , ρ_s , e z . As outras variáveis, a , b e θ , são obtidas por meio de um modelo digital do terreno (MDT). Desta maneira, a resposta do modelo é gerada em função de um “parâmetro livre” (q/T) responsável pela classificação do terreno segundo o grau de estabilidade.

O SHALSTAB vem sendo utilizado em diversos trabalhos na identificação de áreas suscetíveis a escorregamentos translacionais. Aronica *et al.* (2012) aplicaram o modelo SHALSTAB para delimitação de áreas de escorregamentos translacionais que posteriormente dariam início a fluxos de detritos. Michel *et al.* (2012) reformulou o SHALSTAB com o objetivo de investigar a influência da vegetação na estabilidade de encostas.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Área de estudo

4.1.1. Municípios

A área de estudo do trabalho se concentra em seis municípios da serra gaúcha que estão inseridos na Bacia do Arroio Forromeco (Figura 7). Os dados de área, população e densidade demográfica dos municípios foram coletados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), durante o Censo de 2010. Os resultados estão apresentados na Tabela 3.

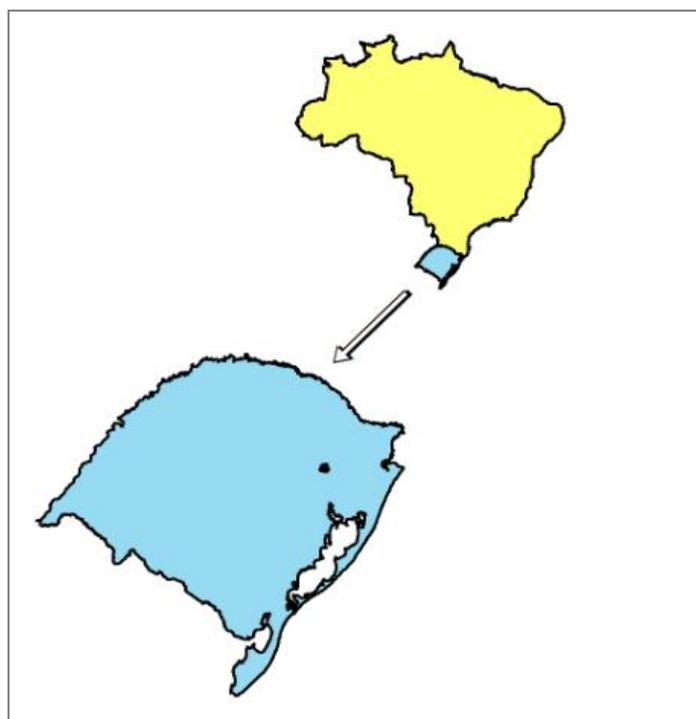


Figura 7 - Localização da área de estudo

Tabela 3 - Características gerais dos municípios

| Municípios | Área total (km²) | População (hab) (Censo 2010) | Densidade Demográfica (hab/km²) |
|-----------------------|------------------------------------|---|---|
| Alto Feliz | 79,173 | 2.917 | 36,84 |
| Barão | 124,448 | 5.741 | 46,12 |
| Bom Princípio | 88,504 | 11.789 | 133,20 |
| Carlos Barbosa | 228,669 | 25.192 | 110,17 |
| Farroupilha | 360,390 | 63.635 | 176,57 |
| São Vendelino | 32,087 | 1.944 | 60,59 |

A região dos municípios de São Vendelino e Alto Feliz apresenta grande suscetibilidade a movimentos de massa, como exemplo podemos citar os movimentos de massa ocorridos entre dezembro de 2000 e julho de 2001, quando esta foi submetida a

precipitações que deflagraram uma série de escorregamentos de formas e dimensões variadas, conforme a Figura 8.



Figura 8 - Escorregamento de encosta em Alto Feliz, próximo a RS 122 (Vanacôr, 2006)

Em 24 de dezembro de 2000, próximo ao município de São Vendelino, uma precipitação torrencial provocou diversos escorregamentos, atingindo casas e deixando lavouras destruídas. No município de Alto Feliz, quatro pessoas perderam a vida e duas ficaram feridas no escorregamento de uma encosta que atingiu um sobrado, conforme a Figura 9.



Figura 9 - Escorregamento de terra em Alto Feliz (Vanacôr, 2006)

Segundo Azambuja *et al.*(2001) a precipitação medida no posto pluviométrico junto à cidade de São Vendelino, no dia 24 de dezembro de 2000, foi de 148 mm entre as 17h e 19h. Nesta região foram contabilizados 47 escorregamentos de taludes importantes, seis rodovias vicinais foram soterradas e a rodovia RS 122 foi interrompida completamente em 10 pontos, um deles mostrado na Figura 10.



Figura 10 - Escorregamento na rodovia RS 122 (Vanacôr, 2006)

4.1.2. Bacia do Arroio Forromeco

A Bacia do Arroio Forromeco possui área de 290,9 km² e a altimetria varia de 53 m a 792 m (Figura 11).

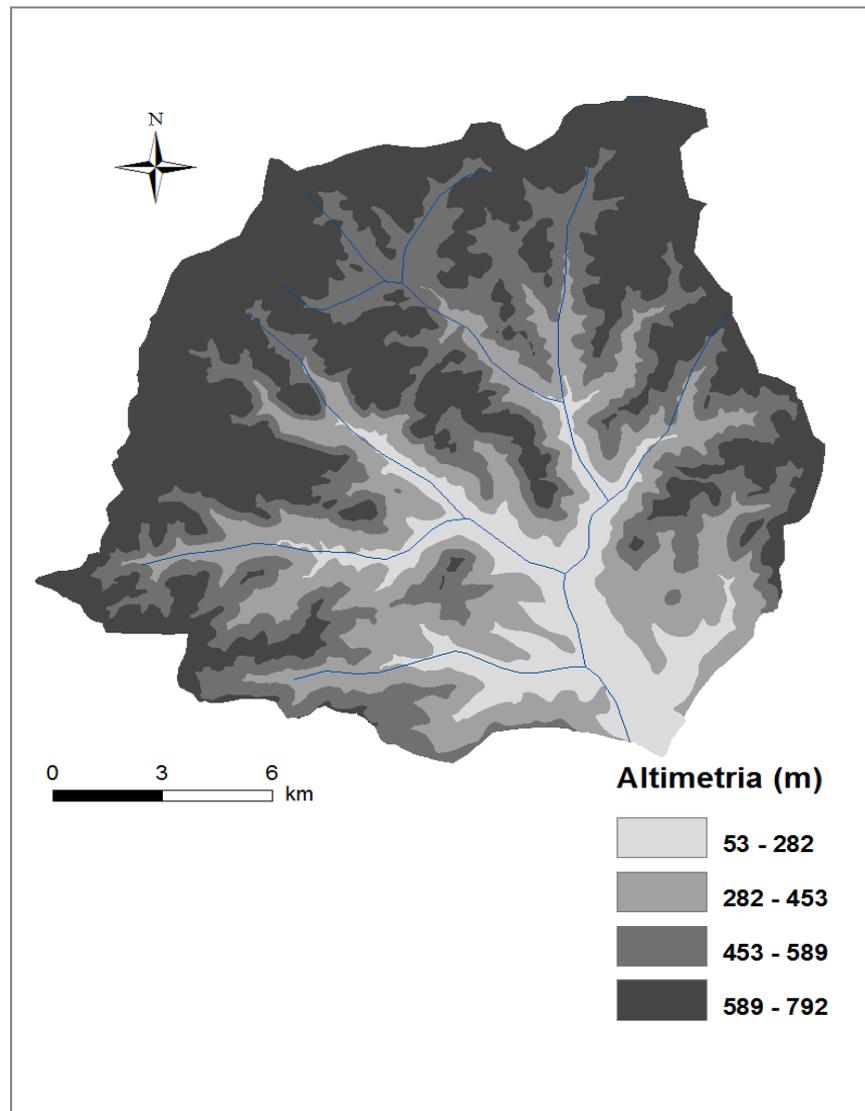


Figura 11 - Altmetria da Bacia do arroio Forromeco

A bacia do Arroio Forromeco apresenta declividade alta em várias regiões, chegando a valores de 55° (Figura 12). A estabilidade de uma encosta é diretamente influenciada pelos fatores topográficos da bacia, tal como a declividade.

Com relação à pedologia (Figura 13), a Bacia possui uma pequena parte em área de solo Brunizém Avermelhado, de acordo com a nova classificação dos solos é chamado de Chernossolo, preto, rico em matéria orgânica e alta saturação por bases. Os solos Litólicos Eutróficos são solos rasos, pouco desenvolvidos e usualmente rochosos e pedregosos. Situam-se em áreas acidentadas de serras e encostas íngremes. Os solos Terra Bruna Estruturada intermediária para Podzólico Bruno-Acinzentado são chamados de Argissolos e Luvisolos, tem como características presença de horizonte B textural de argila de atividade baixa e apresentam diversos horizontes superficiais (EMBRAPA, 2006).

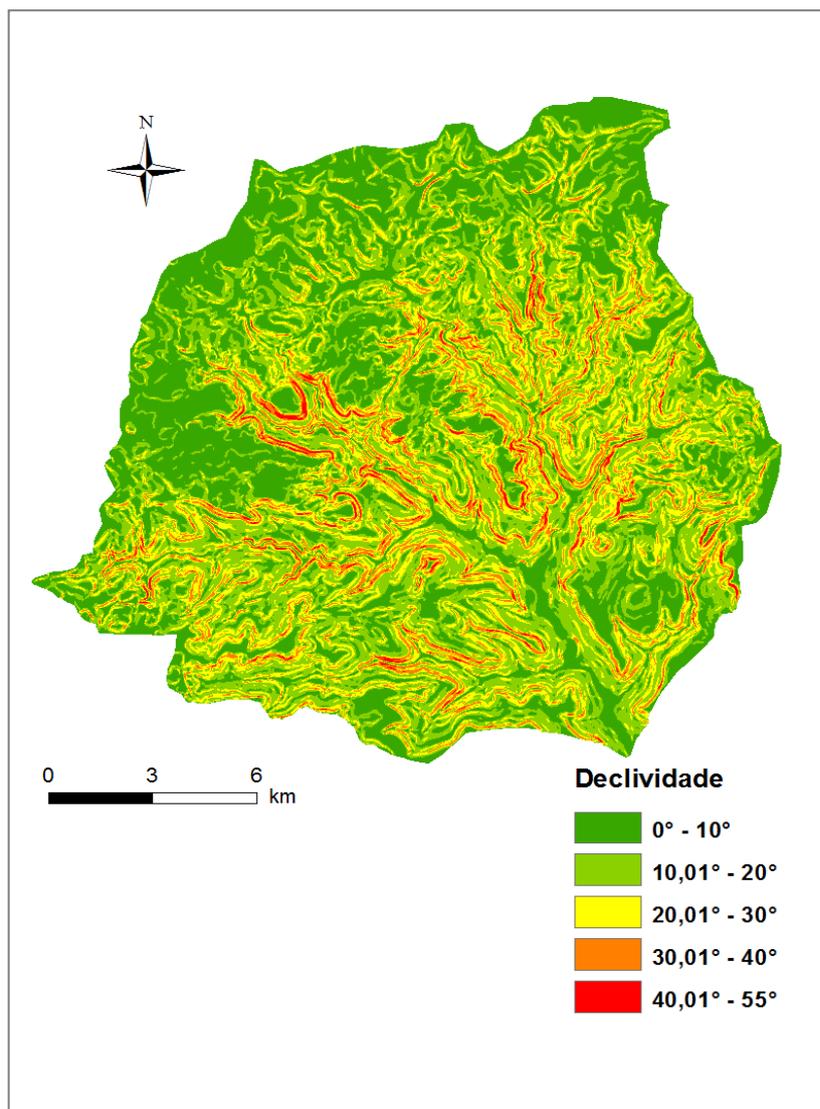


Figura 12 - Declividade da Bacia do arroio Forromeco

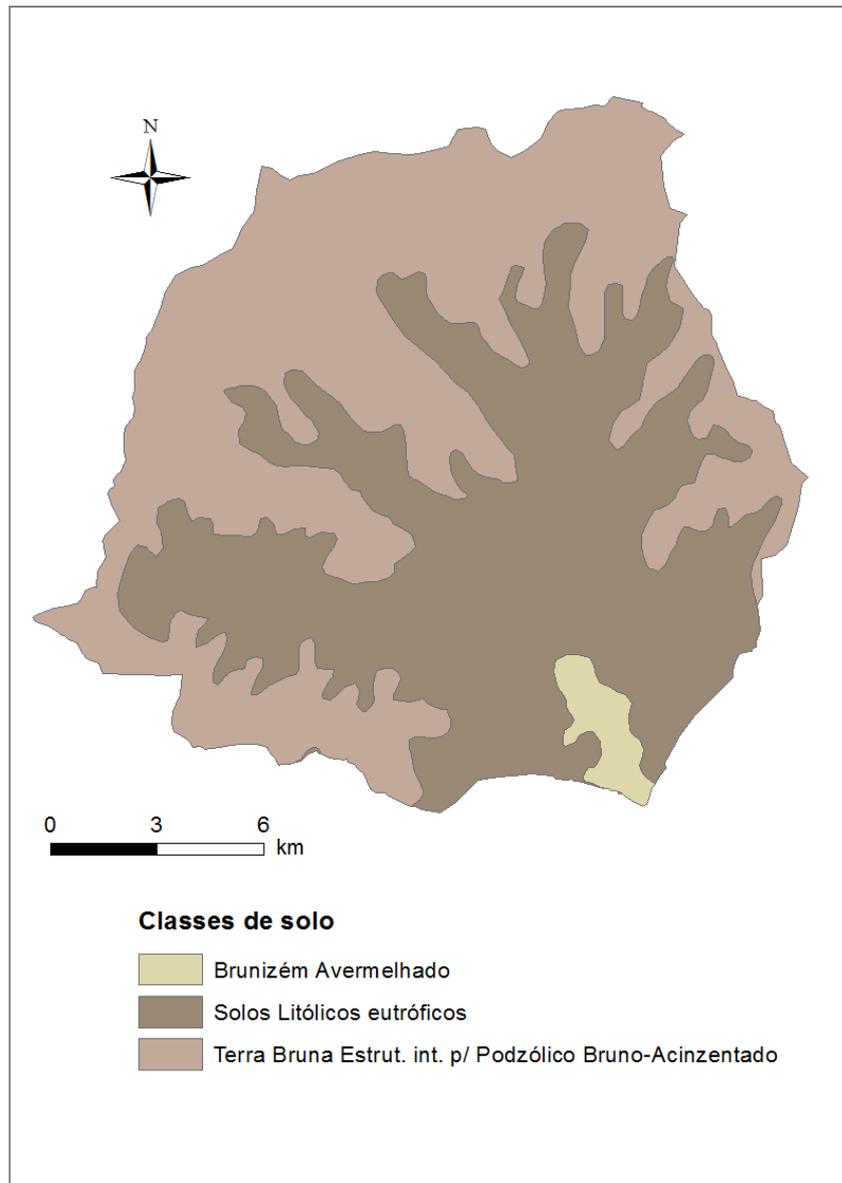


Figura 13 - Classes de solos da Bacia do arroio Forromeco

4.2. Dados Topográficos e Geotécnicos

4.2.1. Dados Topográficos

O Modelo Digital de Terreno da bacia foi elaborado a partir de curvas de nível com escala 1:50.000 (Hasenack *et al.*). As curvas de nível foram interpoladas pela extensão *Topo to Raster* do ArcGis, gerando-se um mapa em formato *raster*, com células de tamanho igual a 10 metros. Através do MDT foram obtidos os dados de área de contribuição e declividade das encostas.

4.2.2. Dados Geotécnicos

Dados geotécnicos são necessários como dados de entrada para o programa SHALSTAB. Os dados geotécnicos de entrada são:

- Coesão (c),
- Ângulo de atrito interno do solo (ϕ),
- Peso específico úmido (ρ_s),
- Profundidade do solo (z).

Essas características geotécnicas são importantes para a estabilidade de encostas, pois exercem influência na resistência do solo. Os dados foram obtidos do trabalho de Silveira (2008), realizado em um ponto na mesma área de estudo e Bressani *et al.* (2009).

4.2.2.1. Coesão e ângulo de atrito interno

Silveira (2008) realizou ensaios de cisalhamento direto e ensaios de compressão triaxial com o objetivo de determinar os parâmetros de resistência ao cisalhamento: coesão e ângulo de atrito interno do solo. As amostras para o ensaio de cisalhamento direto foram coletadas em um colúvio depositado na encosta, na cota 360 m; e para o ensaio de compressão triaxial foram coletadas na cota 365 m deste mesmo colúvio. Neste trabalho foram utilizados os valores médios obtidos através dos ensaios com amostras indeformadas do solo. Na Tabela 4 se encontram os valores determinados por Silveira (2008).

Tabela 4 - Valores de coesão e ângulo de atrito interno

| Parâmetro | Ensaio de cisalhamento direto | Ensaio de compressão triaxial | Valor utilizado (média) |
|-------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------|
| Coesão (c) | 9,7 kPa | 8,23 kPa | 8,96 kPa |
| Ângulo de atrito interno (ϕ) | 26,3° | 34,25° | 30,27° |

4.2.2.2. Profundidade do solo

Bressani *et al.* (2009) considerou que a espessura de solo coluvionar era constante, no valor de 2 metros. Este valor foi definido através de sondagens a trado e observações de campo. No presente trabalho utilizou-se espessura de 3 metros, pois a bacia engloba solos coluvionares, aluvionares e residuais.

4.2.2.3. Peso específico úmido

Silveira (2008) realizou a caracterização geotécnica do solo, o peso específico úmido foi obtido através de ensaios iniciais com as amostras que seriam utilizadas nos ensaios de cisalhamento direto e compressão triaxial. O valor utilizado neste trabalho foi uma média dos valores encontrados por Silveira. Na Tabela 5 se encontram esses valores.

Tabela 5 - Valores de peso específico úmido

| Parâmetro | Amostra do ensaio de cisalhamento direto (cota 360m) | Amostra do ensaio de compressão triaxial (cota 365m) | Valor utilizado (média) |
|------------------------------------|--|--|-------------------------|
| Peso específico úmido (ρ_s) | 14,9 kN/m ³ | 16,65 kN/m ³ | 15,8 kN/m ³ |

4.3. Aplicação e Calibração do Modelo SHALSTAB

A calibração do modelo SHALSTAB é realizada através da comparação do resultado do modelo com o inventário das cicatrizes de escorregamento ocorridas no local. As cicatrizes de escorregamento foram determinadas através da análise visual de imagens de satélite desde 2004 até 2014 na Bacia do arroio Forromeco, obtidas com o uso do programa *Google Earth*. Tentou-se identificar dentro das cicatrizes de escorregamento somente as áreas de ruptura para realizar as delimitações, retirando as áreas de transporte e deposição (Figura 14).



Figura 14 - Área de ruptura em uma cicatriz de escorregamento

Um modelo bem calibrado é aquele que resulta em uma grande coincidência espacial entre as cicatrizes de escorregamento e as áreas classificadas como instáveis pelo modelo, demonstrando bom desempenho. A calibração do modelo foi realizada através da variação do valor da profundidade. Porém esta variação não deve superestimar a quantidade de pixels instáveis dentro da bacia, ou seja, provocar um aumento muito grande das áreas instáveis acabando por não representar bem a realidade do local.

A profundidade do solo foi aumentada, já que os dados obtidos por Bressani *et al.* (2009), e utilizados neste trabalho, foram coletados em uma região de morfologia convexa da bacia. Regiões de morfologia convexa tendem a ter profundidades menores, por isso este parâmetro foi modificado para aplicação do modelo (Dietrich *et al.* 2003).

4.4. Estimativa da vulnerabilidade

A vulnerabilidade deve ser estimada para que seja possível realizar o mapeamento das áreas de risco. Conforme dito anteriormente, existem diversos tipos de vulnerabilidade,

neste trabalho foram utilizados dados socioeconômicos coletados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, durante os Censos de 2000 e 2010.

O IBGE utiliza os setores censitários como menor unidade territorial para análise. A área da Bacia do arroio Forromeco foi dividida em 116 setores (Figura 15) distribuídos nos municípios de Alto Feliz, Barão, Bom Princípio, Carlos Barbosa, Farroupilha e São Vendelino. Foram utilizados dados dos Censos de 2000 e 2010, pois alguns setores foram analisados pelo IBGE somente em um dos Censos.

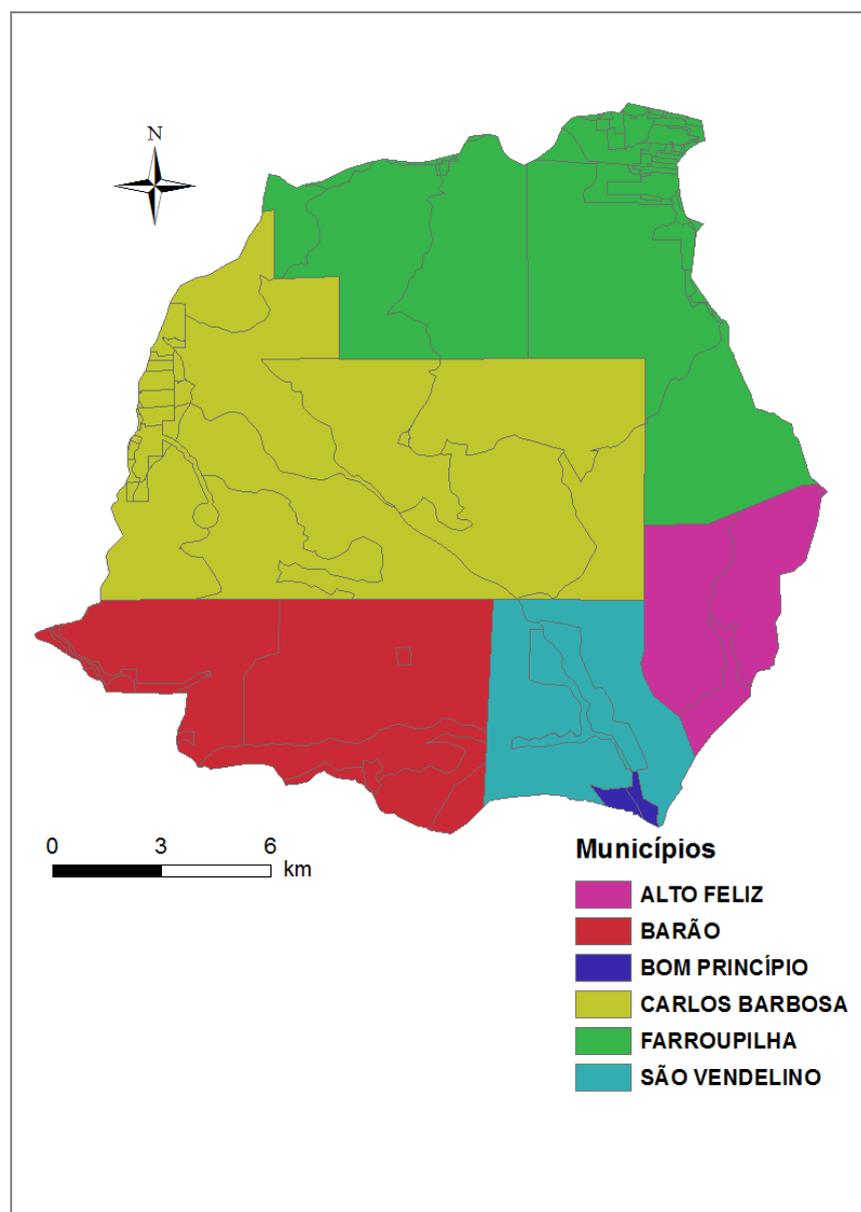


Figura 15 - Municípios e setores censitários da Bacia

A metodologia para avaliar a vulnerabilidade foi a mesma proposta por Goerl *et al.* (2012), foram utilizadas variáveis sociais (educação e renda) e econômicas. Coletaram-se 8 variáveis censitárias que foram agrupadas em 6 variáveis para construir o índice de vulnerabilidade (Tabela 6).

Tabelas 6 - Variáveis censitárias e de vulnerabilidade

| Variáveis Censitárias | Variáveis de Vulnerabilidade |
|---|---|
| Número de moradores no setor | Número de moradores no setor |
| Média de moradores por domicílio | Média de moradores por domicílio |
| Densidade Demográfica | Densidade Demográfica |
| % de pessoas analfabetas acima de 12 anos | % de pessoas analfabetas acima de 12 anos |
| % da população acima de 65 anos | % da população dependente |
| % da população abaixo de 12 anos | |
| % de Responsáveis sem rendimento | % de Responsáveis com renda baixa |
| % de Responsáveis com até um Salário Mínimo | |

Conforme Goerl *et al.* (2012) foram utilizados os valores de 12 anos e 65 anos porque o Estatuto da Criança e do Adolescente considera as pessoas abaixo de 12 anos como crianças, sendo totalmente dependentes de seus pais ou responsáveis perante a lei e perante a sociedade; e 65 anos porque segundo a Organização Mundial de Saúde a partir dessa idade as pessoas são consideradas idosas.

A partir dessas 6 variáveis o índice de vulnerabilidade (IV) foi construído:

$$IV = \frac{NM + MM + DD + TxA + TxD + RR}{IDHM} \quad (25)$$

onde *NM* é o número de moradores por setor, *MM* é a média de moradores por domicílio, *DD* é a densidade demográfica, *TxA* é a taxa de analfabetismo acima de 12 anos, *TxD* é a taxa de dependência, *RR* é a renda dos responsáveis (sem rendimento ou com até um salário mínimo) e *IDHM* é o Índice de Desenvolvimento Humano do Município. O *IDHM* é uma medida composta de indicadores de três dimensões do desenvolvimento humano do município: longevidade, educação e renda. O índice varia de 0 a 1; quanto mais próximo de 1 maior o desenvolvimento humano.

Na Tabela 7 estão mostrados os valores de *IDHM* para cada município da Bacia do arroio Forromeco. Os valores variam de 0,734 a 0,796, e de acordo com o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento – PNUD são considerados valores de médio desenvolvimento.

Tabela 7 - IDHM dos municípios

| Município | IDHM |
|------------------|-------------|
| Alto Feliz | 0,734 |
| Barão | 0,748 |
| Bom Princípio | 0,746 |
| Carlos Barbosa | 0,796 |
| Farroupilha | 0,777 |
| São Vendelino | 0,754 |

Para inserir as variáveis na equação 25 é necessário realizar um escalonamento para que variem dentro de um intervalo de 0 a 1, sendo 0 o valor mínimo de cada variável e 1 o valor máximo:

$$V_{esc} = \frac{V_{obs} - V_{mín}}{V_{máx} - V_{mín}} \quad (26)$$

Após o escalonamento, o Índice de Vulnerabilidade foi dividido em quatro classes: baixa, média, alta e muito alta. A definição das classes divide os dados em quatro grupos com igual número de ocorrências (quartis), cada um com 25% do total de setores censitários.

4.5. Análise do Risco de escorregamento

As classes de Risco foram definidas através da multiplicação entre os Índices de Perigo e de Vulnerabilidade encontrados para cada setor censitário. O Índice de Perigo foi definido como sendo a porcentagem de área instável dentro de cada setor censitário, a definição das classes de perigo foi realizada por quartis, além da classe muito baixa onde foi encontrado perigo zero. Foram classificadas como perigo muito baixo, baixo, médio, alto e muito alto. Os valores do Índice de Vulnerabilidade foram escalonados para que possuam intervalo de 0 a 1, após foram reclassificados entre baixa, média, alta e muito alta.

Calculados os Índices de Risco para cada setor censitário, a divisão entre classes foi realizada analisando os índices de perigo e vulnerabilidade, pois já estavam classificados entre muito baixo, baixo, médio, alto e muito alto. Como o coeficiente de variação (desvio padrão dividido pela média dos valores) do perigo (valor de 1,65) é maior que o coeficiente de variação da vulnerabilidade (valor de 0,48), o perigo foi mais importante como tomada de decisão na divisão entre as classes de risco.

Na Tabela 8 estão apresentadas as classes de perigo e vulnerabilidade, assim como a classe de risco adotada a partir da multiplicação entre as classes de perigo e vulnerabilidade.

Tabela 8 - Classes de perigo, vulnerabilidade e risco

| Perigo | Vulnerabilidade | Risco |
|---------------|------------------------|--------------|
| muito baixo | qualquer | muito baixo |
| baixo | baixa | baixo |
| baixo | média | baixo |
| baixo | alta | médio |
| baixo | muito alta | médio |
| médio | baixa | médio |
| médio | média | médio |
| médio | alta | médio |
| médio | muito alta | alto |
| alto | baixa | médio |
| alto | média | alto |
| alto | alta | alto |
| alto | muito alta | muito alto |
| muito alto | baixa | alto |
| muito alto | média | alto |
| muito alto | alta | muito alto |
| muito alto | muito alta | muito alto |

Na Figura 16 está representado o fluxograma com as etapas resumidas da metodologia.

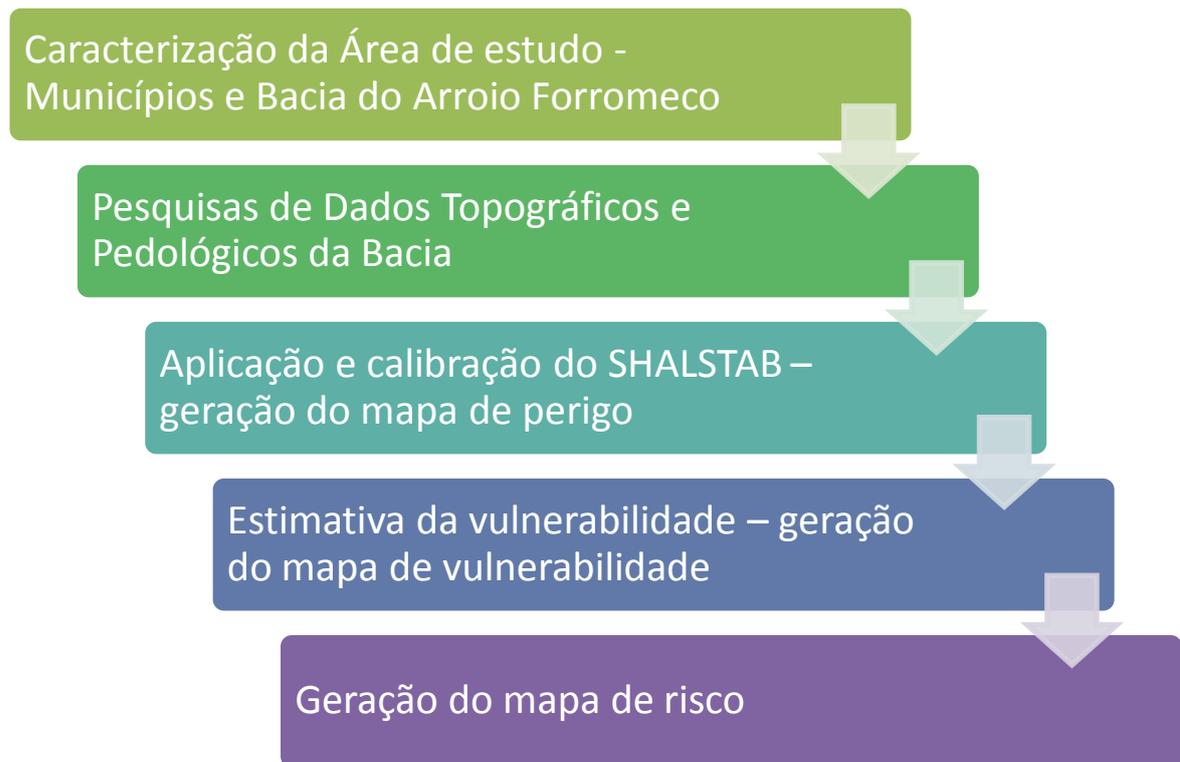


Figura 16 Fluxograma da metodologia

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Mapeamento das áreas de perigo

Para geração do mapa das áreas de perigo de escorregamento de encostas utilizou-se o modelo SHALSTAB, com os parâmetros de entrada descritos na Tabela 9.

Tabela 9 - Parâmetros de entrada do SHALSTAB (*Fonte: Silveira 2008)

| Parâmetro | Valor |
|--------------------------|--------------------------|
| Coesão | 8,96 kPa* |
| Ângulo de atrito interno | 30,27°* |
| Profundidade | 3 m |
| Peso específico úmido | 15,8 kN/m ³ * |

Com a simulação foi gerado o mapa de estabilidade da Bacia do arroio Forromeco (Figura 17) contendo as sete classes de estabilidade propostas por Dietrich e Montgomery (1998). Os valores são expressos em função logarítmica para um melhor entendimento, pois são valores muito pequenos. Os pontos pretos representam as cicatrizes de escorregamento anteriormente mapeadas. Percebe-se uma grande correlação entre as áreas mais declivosas (Figura 12) e as áreas mais instáveis.

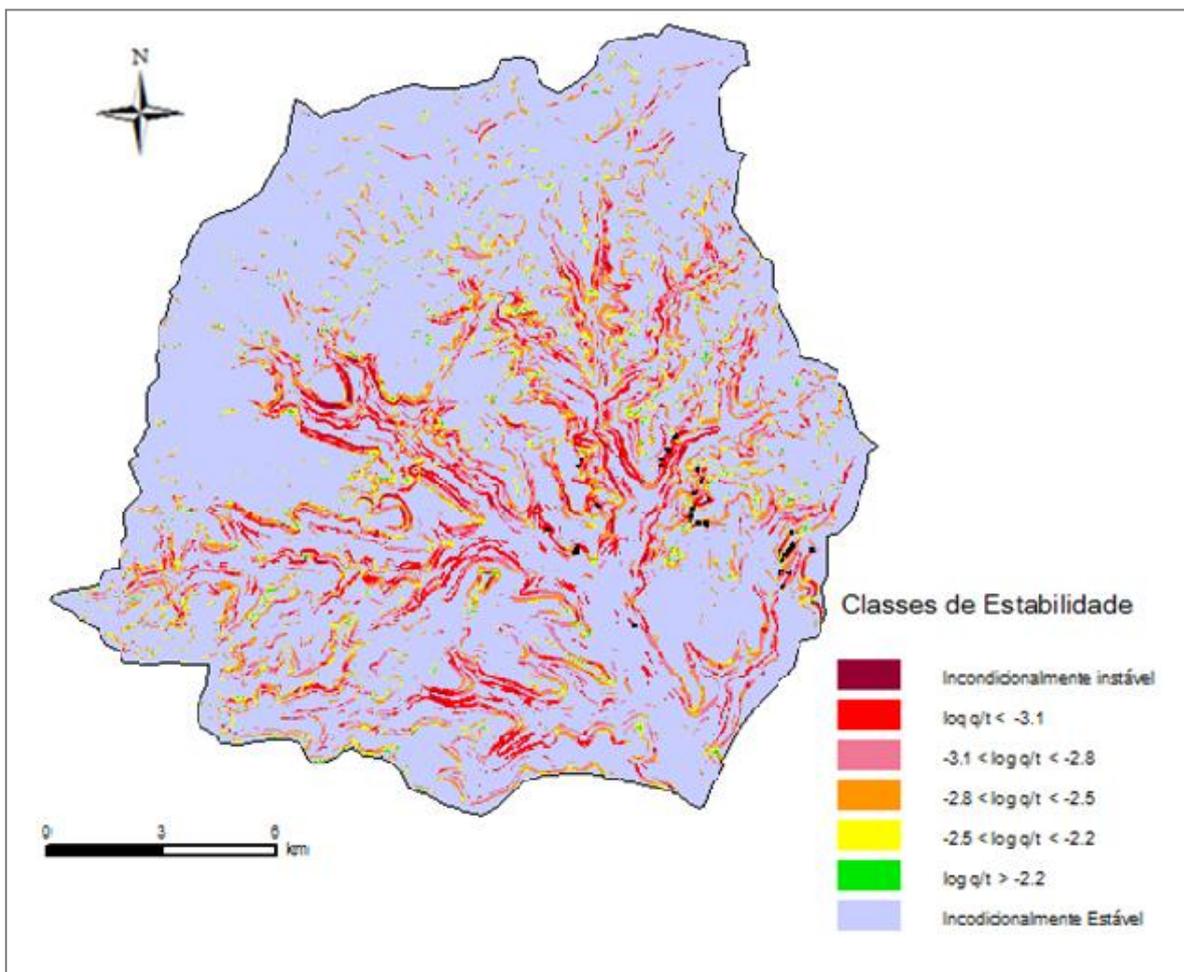


Figura 17 - Mapa de estabilidade da Bacia do arroio Forromeco

As classes de estabilidade incondicionalmente instável e incondicionalmente estável são função somente das características topográficas e pedológicas, já as demais classes ficam em função do parâmetro livre q/t e utilizam os parâmetros hidrológicos para

o cálculo da estabilidade. Então, quanto menor o valor de $\log q/t$ menos chuva (volume) é necessário para que a área se torne instável, logo esta área é mais instável do que aquelas inseridas em valores maiores de $\log q/t$.

Distribuindo as cicatrizes de escorregamento por cada classe de estabilidade é possível notar que a maioria dos escorregamentos ocorreu na classe $\log q/t < -3,1$. A Tabela 10 mostra a distribuição da área da bacia em cada classe, em porcentagem, e a distribuição dos escorregamentos em cada classe.

Tabela 10 - Distribuição das áreas e dos escorregamentos por classes de estabilidade

| Classes | Área (%) | Número de escorregamentos | Escorregamentos (%) |
|--|-----------------|----------------------------------|----------------------------|
| Incond. Instável | 0,38 | 7 | 15,56 |
| $\log q/t < -3,1$ | 4,45 | 15 | 33,33 |
| $-3,1 < \log q/t < -2,8$ | 6,16 | 7 | 15,56 |
| $-2,8 < \log q/t < -2,5$ | 6,22 | 8 | 17,78 |
| $-2,5 < \log q/t < -2,2$ | 2,56 | 5 | 11,11 |
| $\log q/t > -2,2$ | 0,46 | 0 | 0 |
| Incond. Estável | 79,77 | 3 | 6,67 |

Analisando a tabela 10, observa-se que aproximadamente 80% da bacia se encontram na classe incondicionalmente estável e que os escorregamentos ocorreram com mais frequência a partir da classe $-2,8 < \log q/t < -2,5$. Os três escorregamentos que estão inseridos na classe incondicionalmente estável demonstram um erro do modelo digital de elevação (células com tamanho de 10 metros), pois eles ocorreram em uma área declivosa, porém o mapa de declividade gerado pelo modelo classificou essa área com declividade de

10° a 20°. Isso pode ser um problema decorrido em função da baixa qualidade das curvas de nível.

A Figura 18 apresenta um gráfico composto pelos valores da declividade no eixo horizontal e os valores da área de contribuição no eixo vertical. É possível traçar as linhas que representam os valores de $\log q/t$ considerando os parâmetros de entrada utilizados para a simulação. As linhas verticais representam as fronteiras das condições estabelecidas pelas equações (23) e (24). Os pontos em vermelho demonstram as cicatrizes de escorregamento.

A partir da Tabela 10 e da Figura 18 foi escolhido o valor limiar de $\log q/t$, onde abaixo dele ($\log q/t$ menores) as áreas são classificadas como instáveis e acima dele ($\log q/t$ maiores) as áreas são classificadas como estáveis. Este valor foi $\log q/t = -2,5$, assim apenas 5 cicatrizes (11% do total de cicatrizes mapeadas) ficam abaixo deste limiar. Não foi escolhido o valor de $\log q/t = -2,2$ para não aumentar as áreas consideradas instáveis na bacia, podendo não ser representativo da realidade do local.

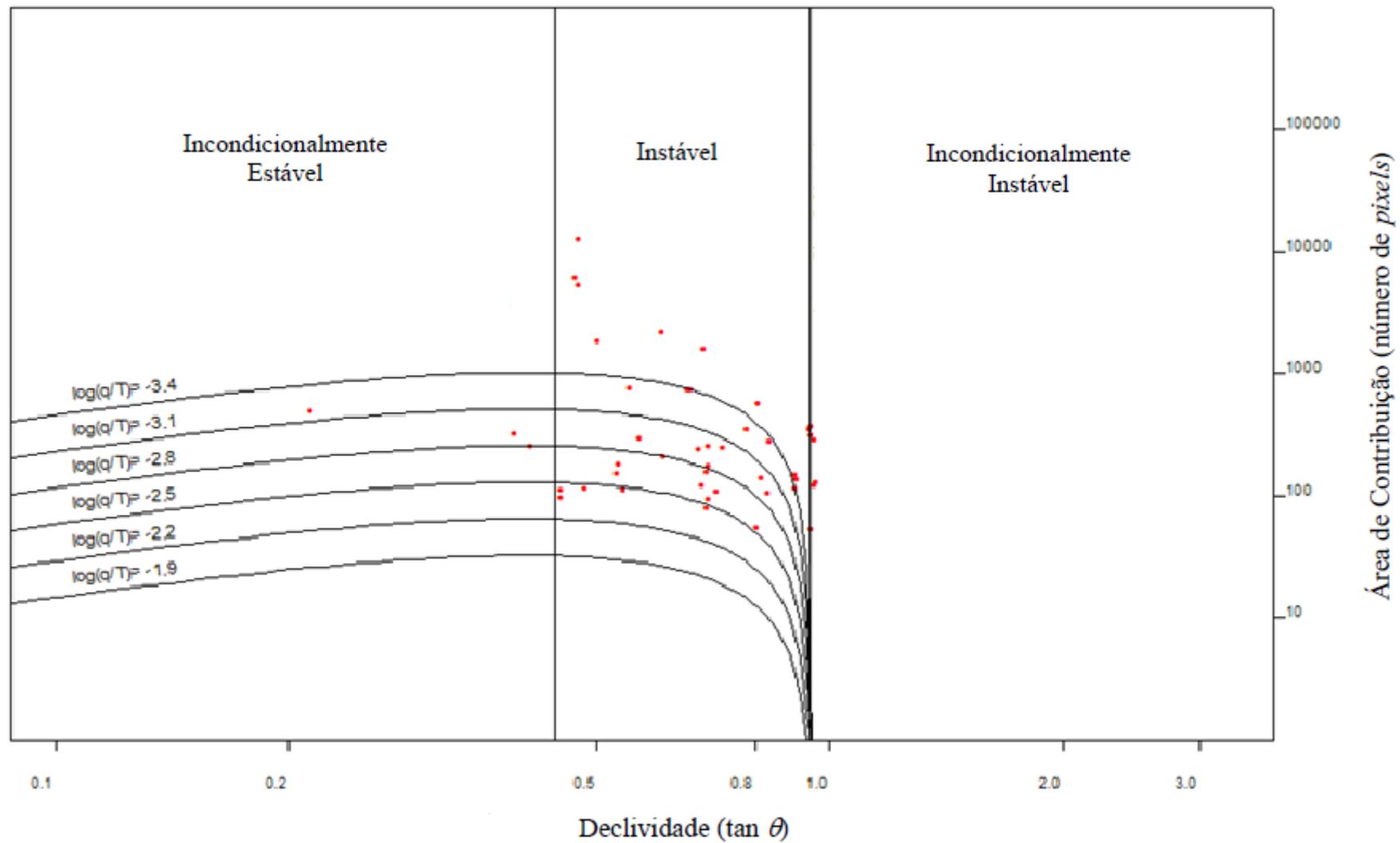


Figura 18 - Gráfico da declividade pela área de contribuição

A Figura 19 mostra o mapa final de perigo de escorregamento de encostas, reclassificando as áreas a partir do valor limiar escolhido ($\log q/t = -2,5$). Foram geradas quatro classes de estabilidade, incondicionalmente instável, instável, estável e incondicionalmente estável.

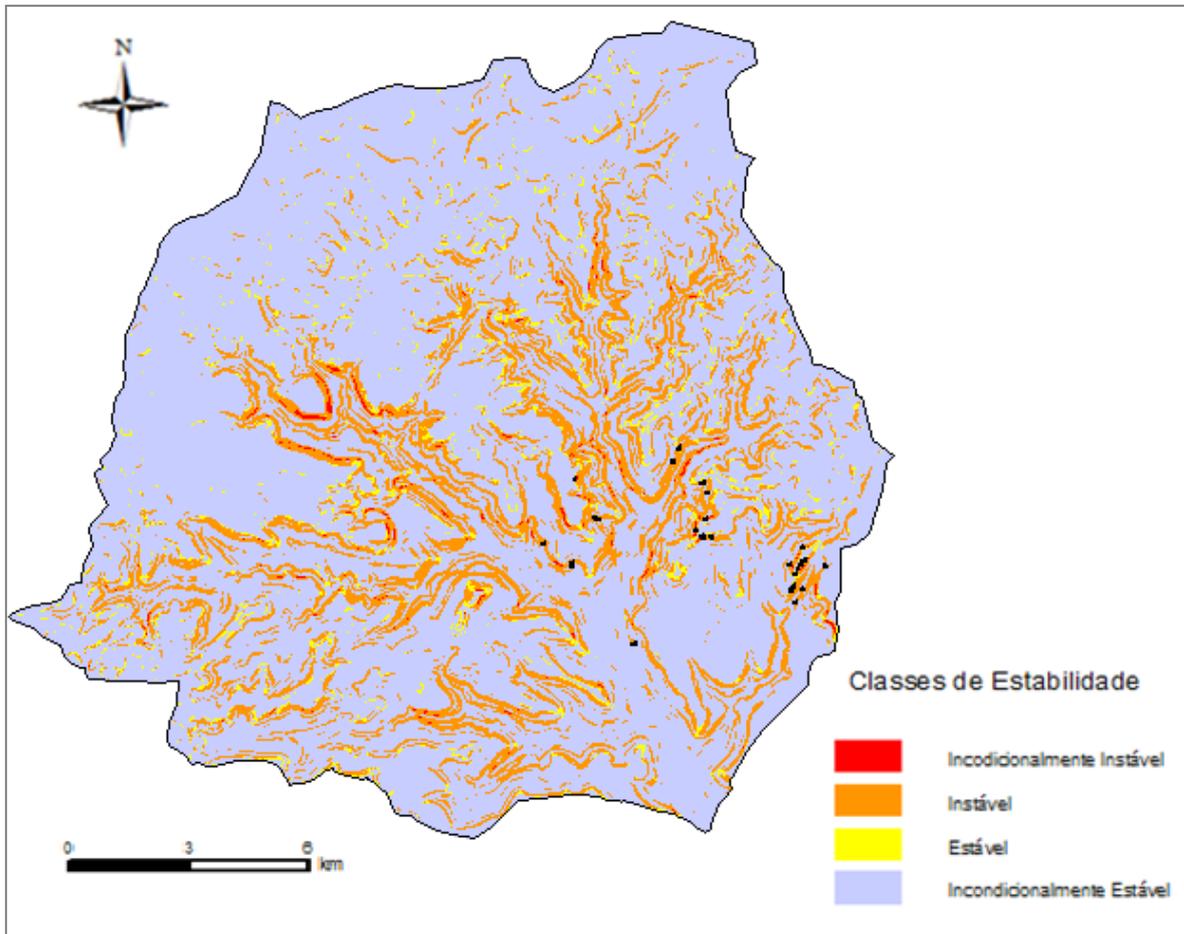


Figura 19 - Mapa das áreas de perigo da Bacia do arroio Forromeco

O Índice de Perigo foi definido como sendo a porcentagem de área instável (soma das classes incondicionalmente instável e instável) dentro de cada setor censitário. Essa definição pode causar alguns problemas quando o setor tem área muito grande, pois a porcentagem de área instável calculada pode ser pequena, mesmo que as áreas instáveis somem uma área grande. As diferenças nas dimensões do setor censitário atenuam os valores de perigo para alguns setores. A Figura 20 apresenta o mapa de perigo para cada

setor censitário. As classes de perigo foram divididas em quartis. No centro e sudoeste da bacia concentraram-se áreas de perigo muito alto e somente no extremo norte e noroeste se encontram áreas de perigo muito baixo a baixo.

- 0: perigo muito baixo;
- 0 a 0,017: perigo baixo;
- 0,017 a 0,065: perigo médio;
- 0,065 a 0,186: perigo alto;
- 0,186 a 0,329: perigo muito alto.

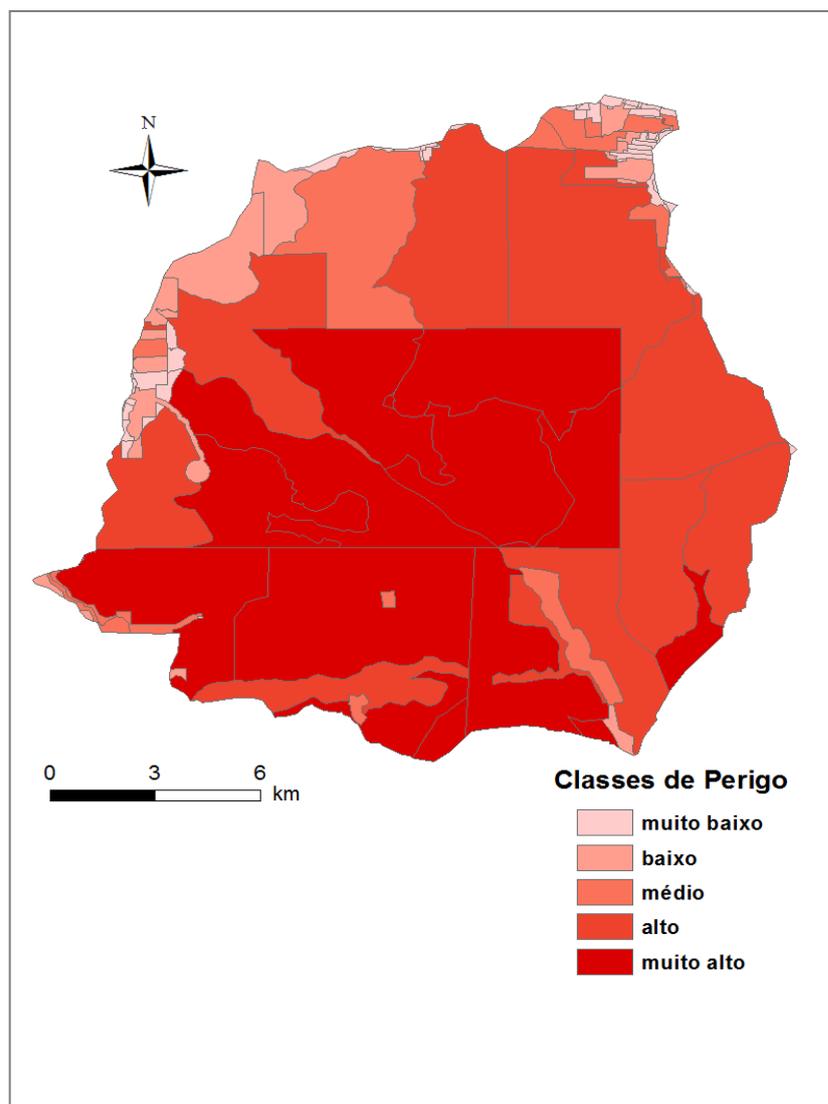


Figura 20 - Classes de perigo por setor censitário

5.2. Mapeamento da vulnerabilidade

O Índice de Vulnerabilidade foi construído a partir da compilação das seis variáveis censitárias, que representam as características demográficas, sociais e econômicas. As Figuras 21 a 26 apresentam a distribuição espacial dessas variáveis.

Nota-se pela Figura 21 que praticamente a metade da área da bacia possui população por setor entre 311 a 576 habitantes e que ocorre uma distribuição espacial heterogênea nesta variável. Com relação à média de moradores por residência também há uma distribuição heterogênea, sendo que há poucos setores com mais de 3,37 moradores por residência (Figura 22). Tem-se na Figura 23 que quase a totalidade da bacia possui densidade demográfica entre 15,08 e 49,19 e que a região nordeste apresenta os maiores valores.

Pela Figura 24, percebe-se que a porcentagem de analfabetos acima de 12 anos de idade é maior no centro da bacia, com valor entre 9,09% a 15,15% e que há poucos setores onde esta taxa é maior que 15,15%. Com relação à porcentagem da população com responsáveis com até um salário mínimo (Figura 25) há uma distribuição heterogênea, sendo que nos municípios de Alto Feliz e São Vendelino praticamente todos os setores possuem taxa entre 22,95% a 56,25%. Tem-se pela Figura 26 que a taxa de população dependente é maior na região nordeste e sudoeste da bacia.

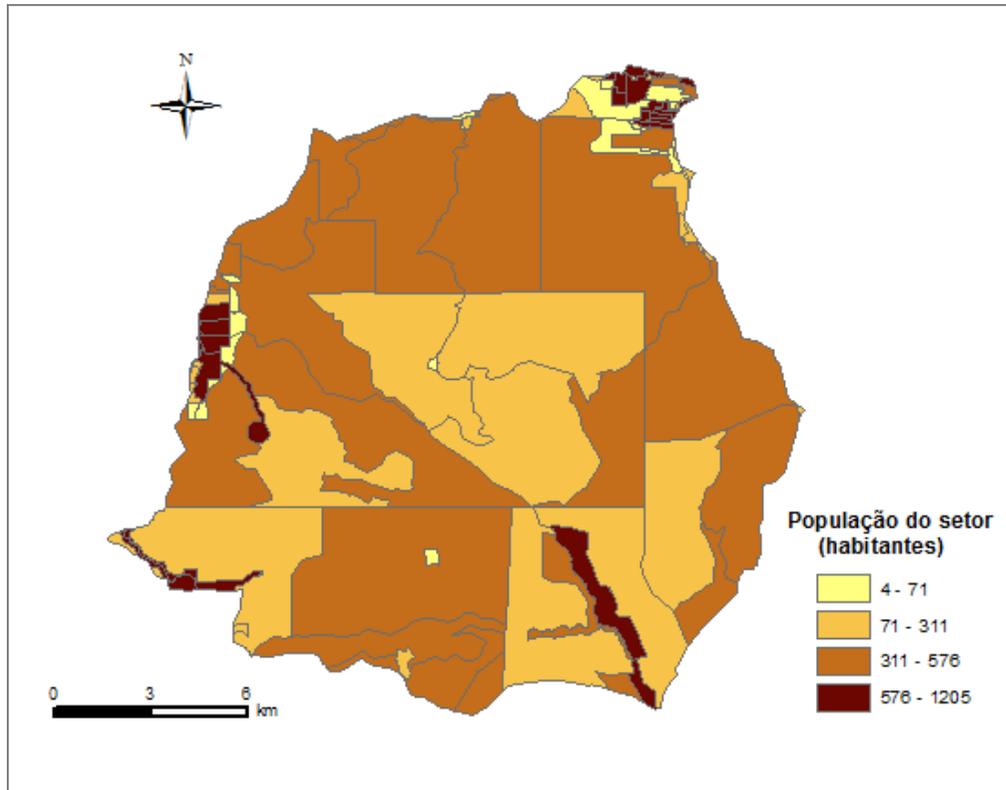


Figura 21 - Distribuição da população por setor censitário

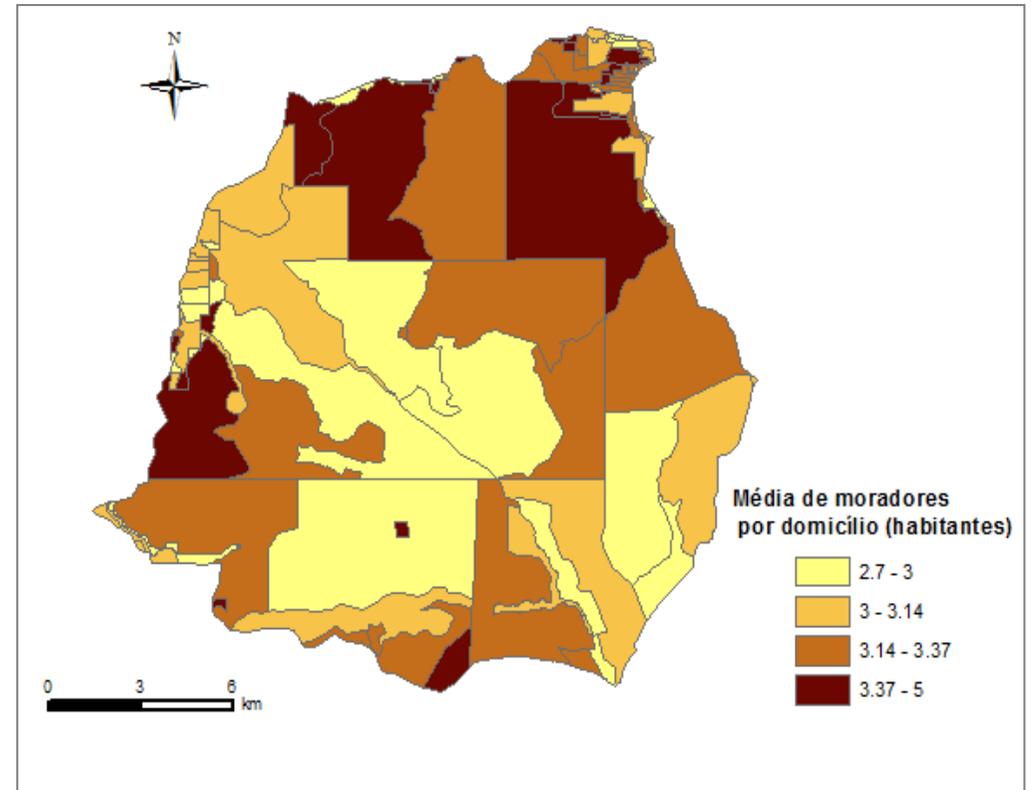


Figura 22 - Média de moradores por residência em cada setor

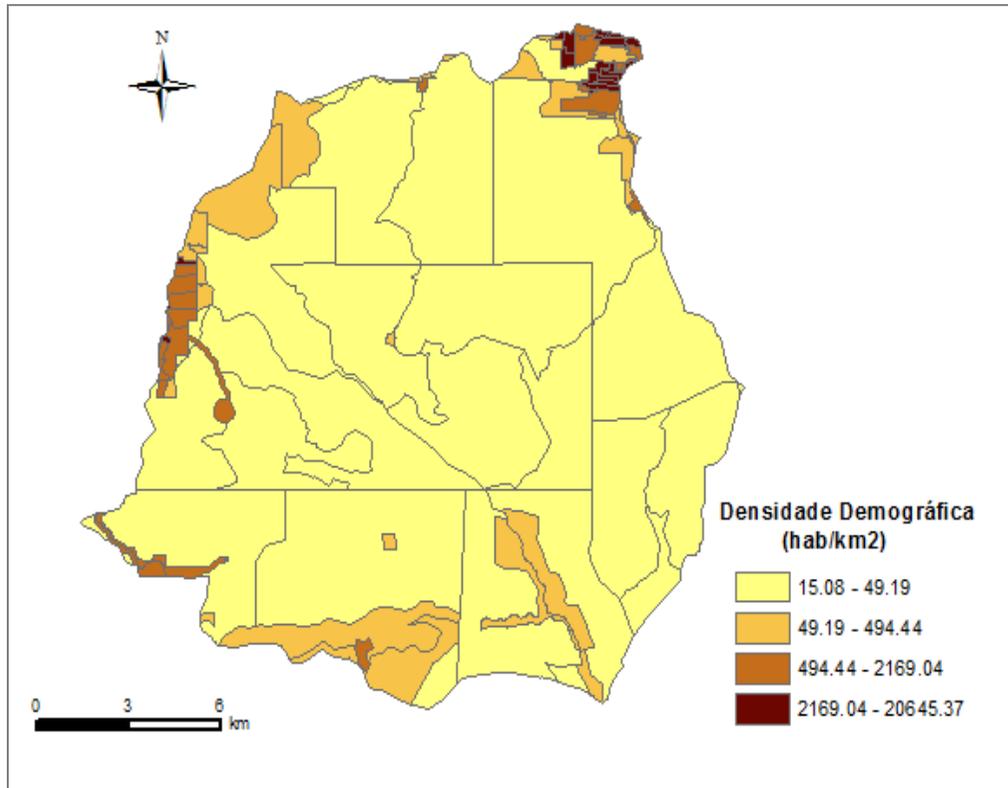


Figura 23 - Densidade Demográfica por setor censitário

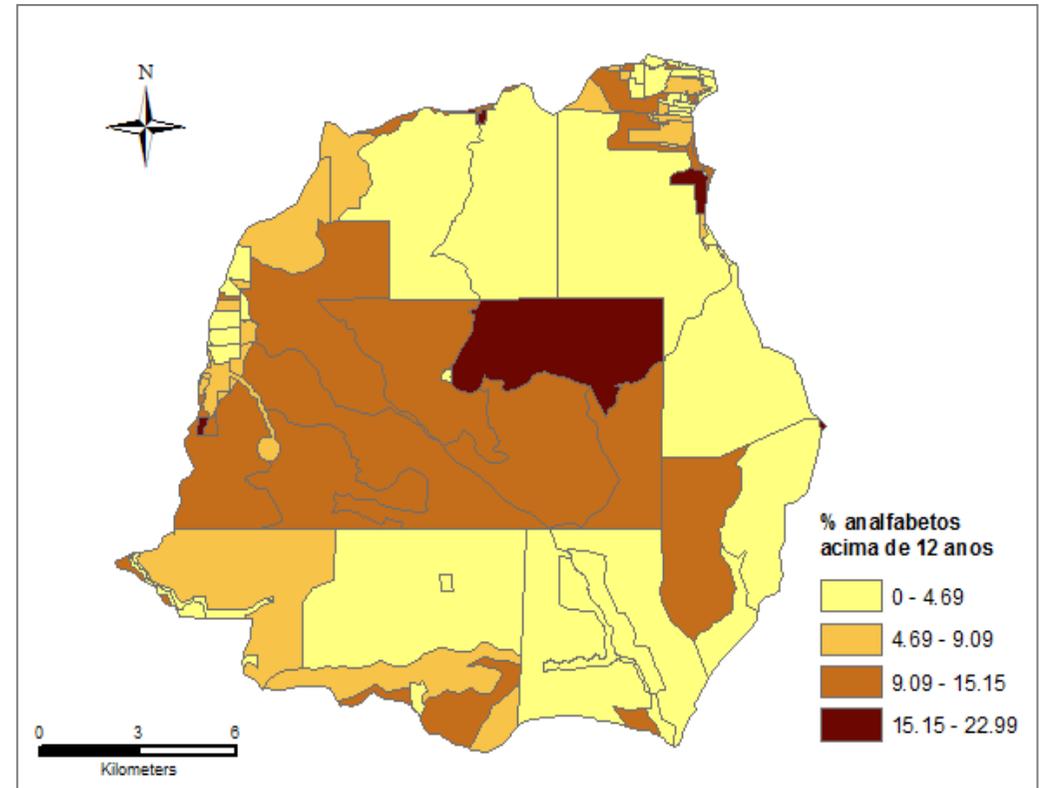


Figura 24 - Porcentagem de analfabetos acima de 12 anos por setor

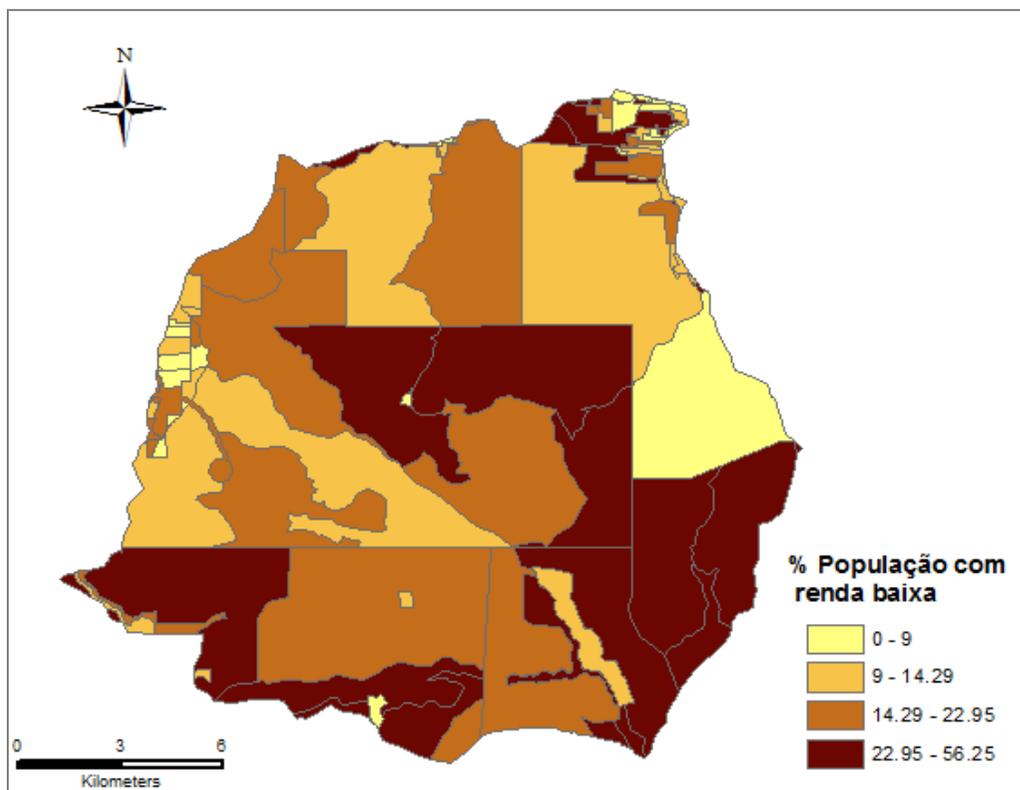


Figura 25 - Porcentagem de responsáveis com até um salário mínimo de renda mensal

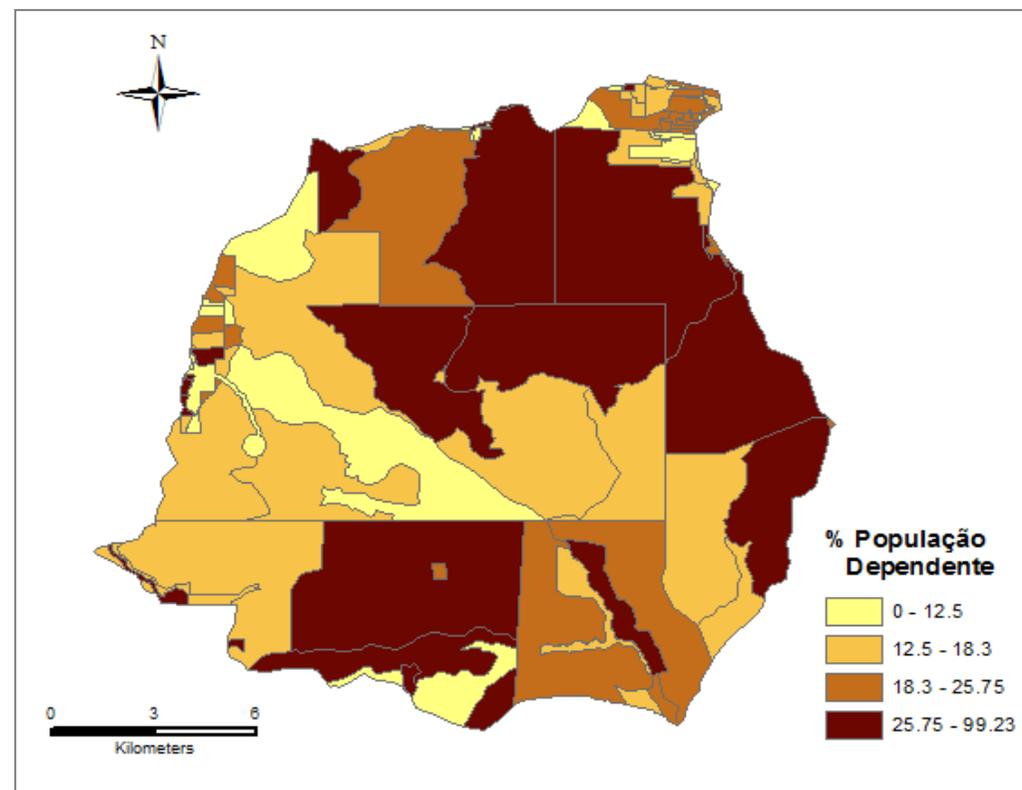


Figura 26 - Porcentagem da população acima de 65 anos e abaixo de 12 anos

O Apêndice I mostra os valores das variáveis censitárias escalonadas, destacados os valores máximos e mínimos de cada variável e o valor do Índice de Vulnerabilidade para cada setor censitário. Realizando a divisão em quartis, os valores de vulnerabilidade foram agrupados da seguinte maneira:

- 0,62 a 1,61: vulnerabilidade baixa;
- 1,61 a 1,96: vulnerabilidade média;
- 1,96 a 2,30: vulnerabilidade alta;
- 2,30 a 5,29: vulnerabilidade muito alta.

Na Figura 27 está representado o mapa de vulnerabilidade da Bacia do arroio Forromeco, percebe-se que não há uma distribuição homogênea entre as regiões da bacia. A divisão foi realizada em quatro partes com o mesmo número de ocorrências, porém como os setores censitários possuem áreas distintas, a maior parte da área da bacia seria classificada como de vulnerabilidade média a alta.

O setor com menor Índice de Vulnerabilidade se encontra no município de Carlos Barbosa, que apresenta taxa de analfabetos acima de 12 anos e porcentagem de responsáveis com renda de até um salário mínimo nulos. O setor com maior Índice de Vulnerabilidade se encontra no município de Farroupilha, tem-se a média de moradores por domicílio e densidade demográfica máximas e variável “Moradores no Setor” alta (valor escalonado de 0,97). Com relação aos municípios de Alto Feliz e São Vendelino, seriam classificados como tendo vulnerabilidade alta e média, respectivamente.

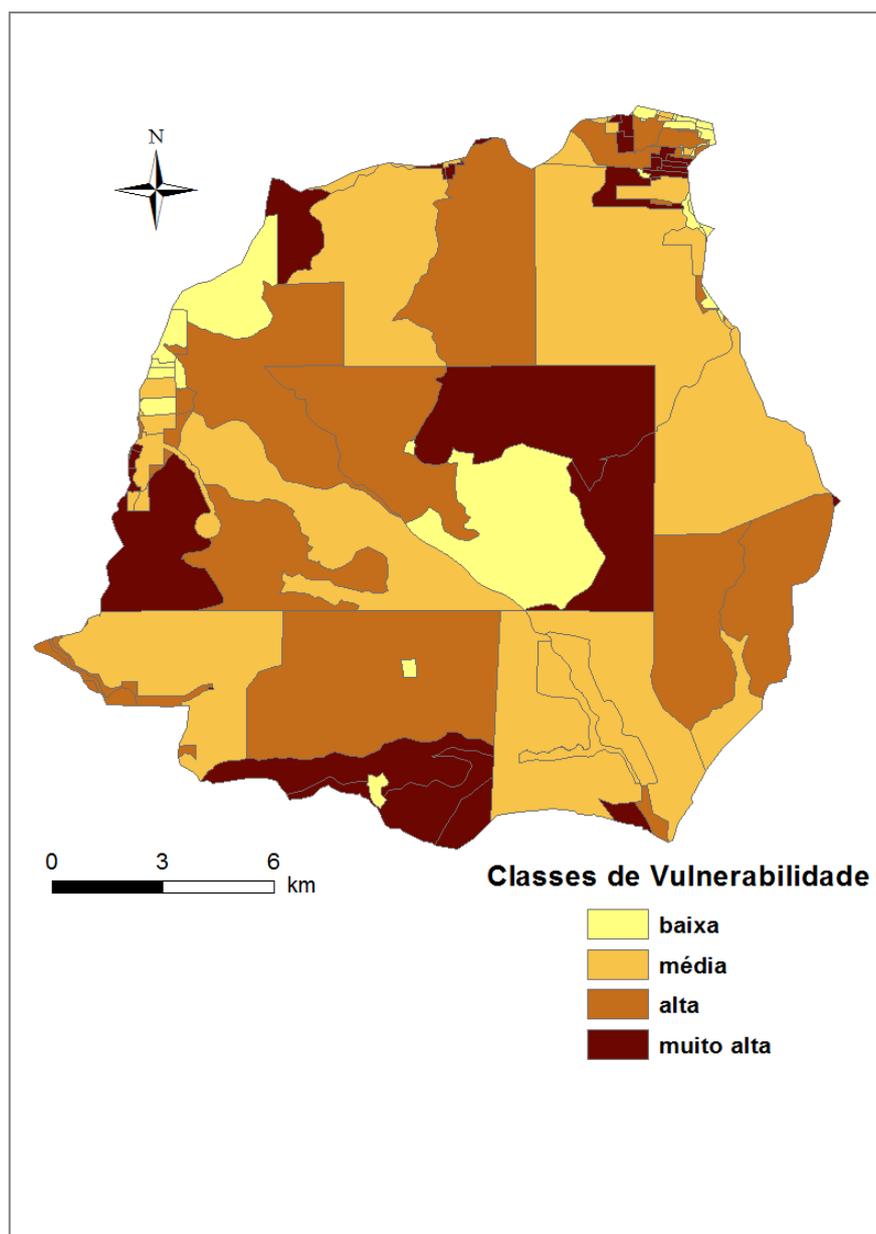


Figura 27 - Mapa de vulnerabilidade da Bacia do arroio Forromeco

5.3. Mapeamento das áreas de risco

Para gerar o mapa de áreas de risco é necessário escalonar o índice de vulnerabilidade para cada setor censitário, podendo assim classificar cada setor censitário com relação a essas duas variáveis. Os valores do Índice de Vulnerabilidade foram

escalonados a partir da equação (26) para que seus valores fiquem entre 0 a 1, tendo assim mesma amplitude que o Índice de Perigo.

- 0 a 0,212: vulnerabilidade baixa;
- 0,212 a 0,286: vulnerabilidade média;
- 0,286 a 0,359: vulnerabilidade alta;
- 0,359 a 1: vulnerabilidade muito alta.

O Apêndice II apresenta os valores das áreas instáveis e estáveis para cada setor, o Índice de Perigo e de Vulnerabilidade, e o Índice de Risco calculado pelo produto entre os dois.

A divisão dos valores do Índice de Risco para enquadrar nas classes de Risco foi feita de acordo com a Tabela 8 e utilizando os valores mais altos de cada classe para realizar a multiplicação entre as classes de perigo e vulnerabilidade, sendo que o perigo, em alguns casos de decisão obteve importância maior, já que seu coeficiente de variação é maior que o da vulnerabilidade. A Tabela 11 apresenta os valores dos índices de perigo, vulnerabilidade e risco para cada classe.

Tabela 11 - Valores dos índices de risco para a multiplicação dos índices de perigo e vulnerabilidade

| Perigo | Valor do índice de perigo | Vulnerabilidade | Valor do índice de vulnerabilidade | Risco | Valor do índice de risco |
|---------------|----------------------------------|------------------------|---|--------------|---------------------------------|
| muito baixo | 0 | qualquer | qualquer | muito baixo | 0 |
| baixo | até 0,017 | baixa | até 0,212 | baixo | 0,0036 |
| baixo | até 0,017 | média | 0,212 a 0,286 | baixo | 0,0048 |
| baixo | até 0,017 | alta | 0,286 a 0,359 | médio | 0,0061 |
| baixo | até 0,017 | muito alta | 0,359 a 1 | médio | 0,017 |
| médio | 0,017 a 0,065 | baixa | até 0,212 | médio | 0,014 |
| médio | 0,017 a 0,065 | média | 0,212 a 0,286 | médio | 0,0186 |
| médio | 0,017 a 0,065 | alta | 0,286 a 0,359 | médio | 0,023 |
| médio | 0,017 a 0,065 | muito alta | 0,359 a 1 | alto | 0,065 |
| alto | 0,065 a 0,186 | baixa | até 0,212 | médio | 0,039 |
| alto | 0,065 a 0,186 | média | 0,212 a 0,286 | alto | 0,053 |
| alto | 0,065 a 0,186 | alta | 0,286 a 0,359 | alto | 0,066 |
| alto | 0,065 a 0,186 | muito alta | 0,359 a 1 | muito alto | 0,186 |
| muito alto | 0,186 a 0,329 | baixa | até 0,212 | alto | 0,069 |
| muito alto | 0,186 a 0,329 | média | 0,212 a 0,286 | alto | 0,094 |
| muito alto | 0,186 a 0,329 | alta | 0,286 a 0,359 | muito alto | 0,118 |
| muito alto | 0,186 a 0,329 | muito alta | 0,359 a 1 | muito alto | 0,329 |

As classes de Risco foram definidas conforme os itens abaixo, na Figura 28 é mostrado o mapa das áreas de risco.

- 0: Muito Baixo;
- 0 a 0,0048: Baixo;
- 0,0048 a 0,039: Médio;
- 0,039 a 0,094: Alto;
- 0,094 a 0,186: Muito Alto.

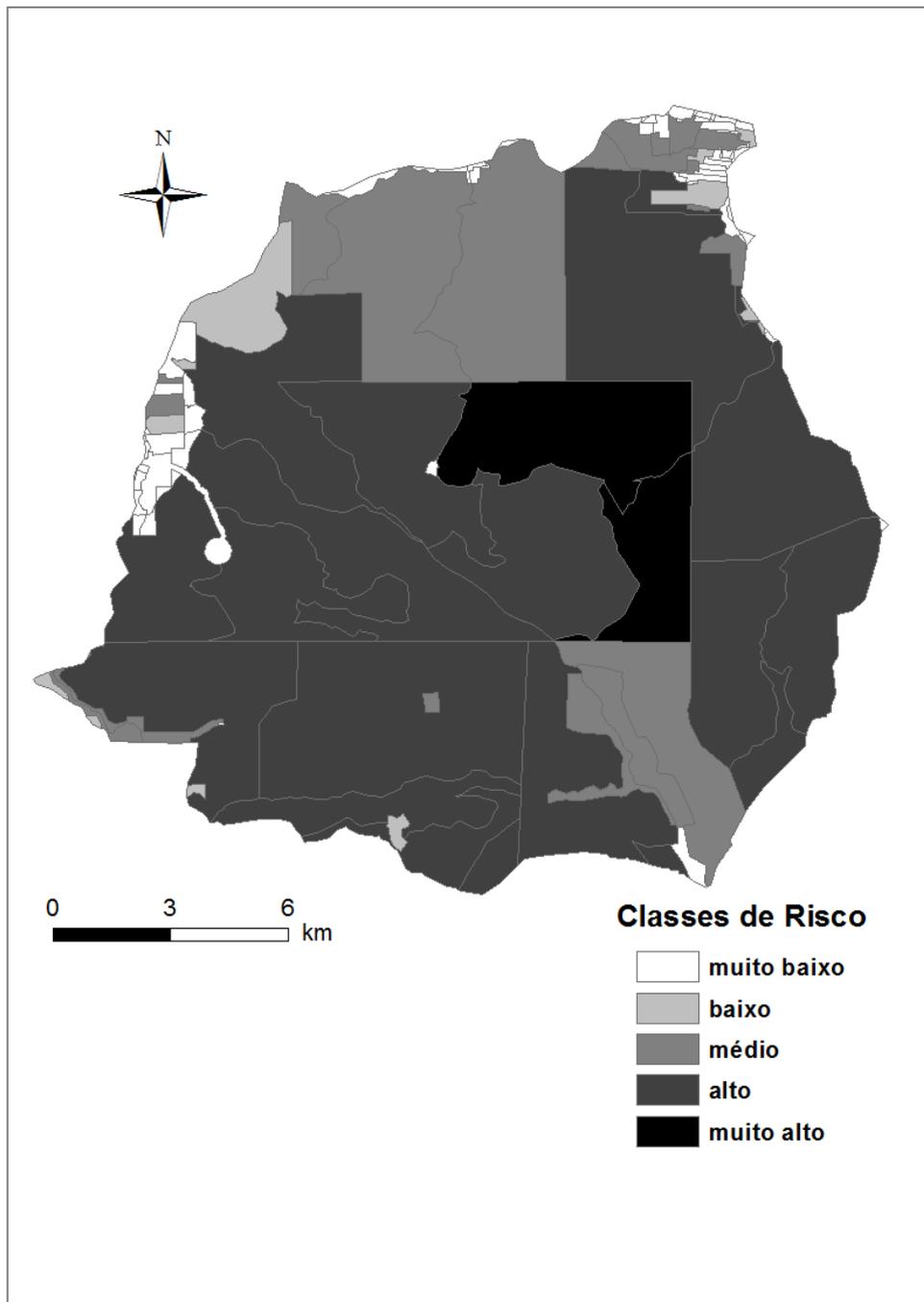


Figura 28 - Mapa das áreas de Risco da Bacia do arroio Forromeco

Analisando a Figura 28 percebe-se que a bacia tem maioria da área classificada como risco alto, na região central da bacia se encontram 2 setores com classe de Risco muito alto, no norte e extremo noroeste se concentram áreas com risco muito baixo, baixo e médio

Na Figura 29 estão distribuídas as classes de risco na bacia, em porcentagem. Analisando o gráfico, conclui-se que a Bacia do Arroio Forromeco possui risco alto, pois possui 68% do total da área da bacia. Áreas de risco médio também são significativas, com 18,84%, áreas de risco baixo e muito baixo somam 5% e de risco muito alto são 8%.

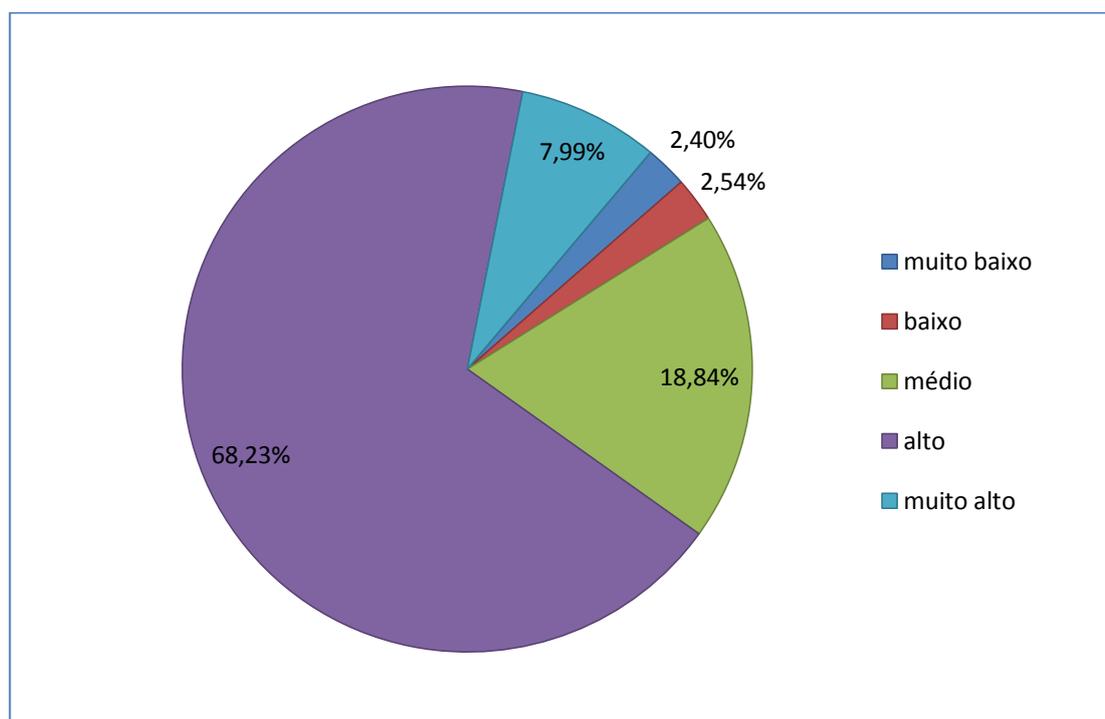


Figura 29 - Porcentagem das classes de risco na Bacia

Na Tabela 12 estão listados os municípios e a área de cada classe de risco dentro da bacia do Arroio Forromeco, em porcentagem. A Figura 30 representa esta porcentagem.

Tabela 12 - Porcentagem das classes de risco por município

| | % muito baixo | % baixo | % médio | % alto | % muito alto |
|-----------------------|---------------|---------|---------|--------|--------------|
| Alto Feliz | 0,20 | 0,00 | 0,00 | 99,80 | 0,00 |
| São Vendelino | 0,00 | 0,00 | 55,39 | 44,61 | 0,00 |
| Barão | 0,02 | 1,41 | 3,01 | 95,57 | 0,00 |
| Bom Princípio | 47,61 | 0,00 | 0,00 | 52,39 | 0,00 |
| Carlos Barbosa | 3,15 | 4,89 | 0,55 | 69,71 | 21,71 |
| Farroupilha | 3,71 | 1,75 | 46,50 | 48,04 | 0,00 |

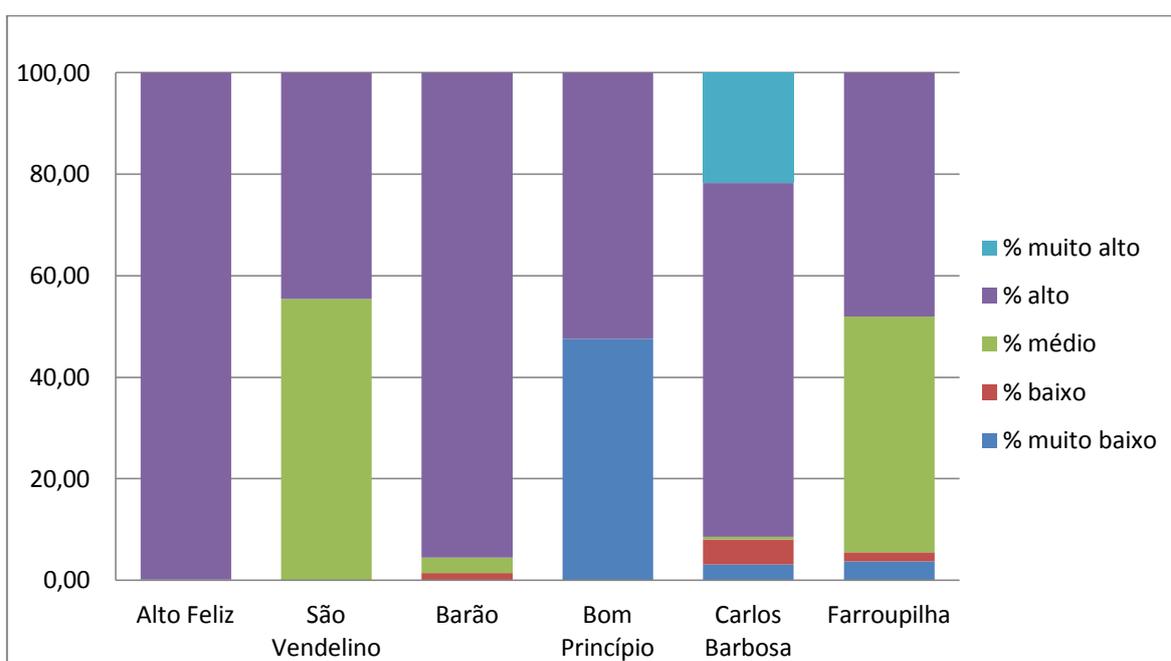


Figura 30 - Porcentagem das classes de risco por município

O município de Alto Feliz possui em quase toda área que está na bacia risco alto (99,80%), assim como o município de Barão (95,57%), que também possui poucas áreas de risco médio (3,01%) e baixo (1,41%). O município de São Vendelino está dividido entre áreas de risco médio, com 55,39% e alto, com 44,61%. Bom Princípio também se divide entre risco muito baixo (47,61%) e risco alto (52,39%). Carlos Barbosa possui todas as

classes de risco, mas lideram as classes altas (69,71%) e muito altas (21,71%). Farroupilha possui 46,50% da área como risco médio e 48,04% como risco alto.

Logo, os municípios que possuem os maiores riscos de escorregamento de encosta são Alto Feliz e Barão, pois tem quase a totalidade da área como risco alto e Carlos Barbosa, que possui 90% da área com risco alto e muito alto. O município de Bom Princípio possui o menor risco, pois a área se divide entre risco muito baixo e alto.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O presente trabalho teve como objetivo o mapeamento das áreas de risco de escorregamentos translacionais na Bacia do Arroio Forromeco. Para isso foram realizadas análises de perigo, vulnerabilidade e risco. O mapeamento das áreas de risco de escorregamentos de encosta é uma importante medida preventiva destes desastres, além de ser de baixo custo e útil para o gerenciamento da expansão territorial e para tomada de decisões pelos gestores.

Para a análise de perigo foi utilizado o modelo SHALSTAB, que considera dados topográficos, pedológicos e hidrológicos para descrever os processos envolvidos na estabilidade de encostas. Os dados topográficos são extremamente importantes para o bom funcionamento do modelo, pois a partir do MDT da bacia que foram gerados os mapas de área de contribuição e declividade. O enquadramento de alguns escorregamentos ocorridos na bacia em áreas consideradas estáveis pelo modelo pode ter sido causado em função da não representatividade das curvas de nível. Logo são necessários dados topográficos que criem um MDT com qualidade e resolução espacial que definam bem a realidade do local.

Os dados geotécnicos foram retirados de Silveira (2008), tese de doutorado na mesma área do presente trabalho. Estes dados representam a resistência ao cisalhamento do solo, por isso uma pequena variação nos seus valores provoca uma grande variação nas áreas estáveis e instáveis da bacia. O parâmetro profundidade foi utilizado para calibrar o modelo. Para futuros trabalhos é recomendado que se utilizasse dados de mais de um ponto da bacia para que representem melhor a distribuição espacial das características do solo da bacia.

Construiu-se também um índice de vulnerabilidade a partir de dados coletados do Censo 2000 e 2010, para isto foram utilizadas seis variáveis que representam os aspectos

demográficos, educacionais, de renda e dependência. No mapa de vulnerabilidade por setor censitário a distribuição geográfica das classes de vulnerabilidade na bacia resultou em uma distribuição heterogênea. O setor com menor Índice de Vulnerabilidade se encontra no município de Carlos Barbosa, e o setor com maior Índice de Vulnerabilidade se encontra no município de Farroupilha. O mapa final de perigo resultou em uma divisão geográfica, onde no centro da bacia concentraram-se áreas de perigo muito alto e no extremo noroeste e norte se concentraram áreas de perigo muito baixo a baixo.

Após a construção dos mapas de perigo e vulnerabilidade determinou-se o risco pela relação entre eles. Em alguns casos, na formação do índice de risco, a vulnerabilidade teve importância menor que o perigo, pois o coeficiente de variação do perigo é maior que o de vulnerabilidade. Conclui-se que a Bacia do Arroio Forromeco possui risco alto, e os municípios com maiores riscos de escorregamento de encosta são Alto Feliz, Barão e Carlos Barbosa e com menor risco de escorregamento é o município de Bom Princípio.

A escolha da vulnerabilidade social para representar a suscetibilidade do local, não considerando a exposição ao perigo como fator de vulnerabilidade, pode ser considerado um problema na escolha da metodologia. Em áreas rurais, geralmente onde os setores censitários são maiores, não se verifica a coincidência espacial entre o perigo e a vulnerabilidade. Além disso, mesmo que o SHALSTAB tenha desempenhado bom papel, quando as áreas de perigo foram transformadas para cada setor censitário, a qualidade espacial destas áreas pode ter sido prejudicada.

O SHALSTAB é um modelo aplicado para detectar o local da área de ruptura dos escorregamentos, para expandir e melhorar o mapeamento das áreas de risco é recomendado que os locais de transporte e deposição também sejam modelados.

Os resultados obtidos foram satisfatórios, porém há dificuldades com relação ao refinamento dos dados topográficos. Os escorregamentos são fenômenos de alta complexidade, o modelo SHALSTAB pode falhar e as variáveis utilizadas para estimar a vulnerabilidade podem não representar todas as questões relevantes neste tipo de desastre.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALCANTARA-AYALA, I. Geomorphology, natural hazards, vulnerability and prevention of natural disaster in developing countries. **Geomorphology**, v. 47, p. 107-124, 2002.

ALEXANDER, D. The study of natural disasters, 1977-1997: some reflections on a changing field of knowledge. **Disaster**, v. 21, n. 4, p. 284-304, 1997.

ARONICA, G. T. *et al.* Assessment and mapping of debris-flow risk in a small catchment in eastern Sicily through integrated numerical simulations and GIS. **Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C**, v. 49, n. 0, p. 52-63, 2012.

AUGUSTO FILHO, O. **Carta de Risco de Escorregamentos Quantificada em Ambiente de SIG como Subsídio para Planos de Seguro em Áreas Urbanas: um ensaio em Caraguatatuba (SP)**. 195p. Tese de Doutorado (Pós-Graduação em Geociências). Instituto de Geociências e Ciências Exatas/Unesp, Rio Claro, 2001.

AZAMBUJA, E. *et al.* Avaliação dos fluxos de detritos em Alto Feliz no Rio Grande do Sul. In: CONFERÊNCIA BRASILEIRA SOBRE ESTABILIDADE DE ENCOSTAS (COBRAE), 3, 2001. p. 17-24

BENSON, C.; CLAY E. J. Disasters, Vulnerability and the Global Economy. In: KREIMER, A.; ARNOLD, M. **Building Safer Cities: The Future Disaster Risk (Disaster Risk Management Series)**. 3. ed. Washington, D.C, 2003. p. 3-32.

BEVEN, K.J.; KIRKBY, M.J. **A physically based, variable contributing area model of basin hydrology**. Bulletin of Hydrological Sciences, v. 24. p. 43-69, 1979.

BRESSANI, L. A. *et al.* Análise de uma Ruptura de Talude Íngreme em Solo Coluvionar de São Vendelino, RS. In: CONFERÊNCIA BRASILEIRA DE ESTABILIDADE DE ENCOSTAS (COBRAE) 5. **Anais**, Nov. 2009, São Paulo, vol. 1, p. 149-157.

CASTRO, C. M. de ; PEIXOTO, M. de O. ; PIRES, G. A. do R. **Riscos ambientais e geografia:conceituações, abordagens e escalas**. Anu. Inst. Geocienc. [online]. 2005, vol.28, n.2, pp. 11-30. ISSN 0101-9759.

COPPOLA, D. P. **Introduction to international disaster management**. Oxford: Elsevier, 2007. 573 p.

CRID - REGIONAL DISASTER INFORMATION CENTER LATIN AMERICA AND THE CARIBBEAN. **Disaster Controlled Vocabulary**. San José: CRID, 2001, 223 p.

CRUZ, O. **A Serra do Mar e o Litoral na Área de Caraguatatuba - Contribuição à Geomorfologia Tropical Litorânea**. São Paulo: IGEO/USP, 1974.

CUTTER, S. L.; MITCHELL, J. T.; SCOTT, M. S.. Revealing the Vulnerability of People and Places: A Case Study of Georgetown County, South Carolina. **Annals of the Association of American Geographers**, n. 90, v. 4, 2000. p. 713-737.

DIAS, F. P.; HERRMANN, M. L. P. Susceptibilidade a Deslizamentos: Estudo de Caso no Bairro Saco Grande, Florianópolis – SC, Caminhos de Geografia 3(6), 2002, p. 63-64.

DIETRICH, W. E.; MONTGOMERY, D. R. **SHALSTAB: a digital terrain model for mapping shallow landslide potential**. NCASI (National Council of the Paper Industry for Air and Stream Improvement) Technical Report, 1998, 29p.

DIETRICH, W. E.; BELLUGI, D. G.; SKLAR, L. S.; STOCK, J. D.; HEIMSTAD, A. J.; ROERING, J. J. **Geomorphic Transport Laws for Predicting Landscape Form and Dynamics**. Geophysical Monograph 135, American Geophysical Union, 2003.

DWYER, A.; ZOPPOU, C.; NIELSEN, O.; DAY, S.; ROBERTS, S. **Quantifying Social Vulnerability: A methodology for identifying those at risk to natural hazards**. Geoscience Australia Record 2004/14, 2004. 101 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. Rio de Janeiro, 2006. 306p

EM-DAT. **The International Disaster Database**. Disponível em: <http://www.emdat.be/database>. Acesso em agosto de 2014.

FERNANDES, N. F.; AMARAL, C. P. do. Movimentos de Massa: Uma Abordagem Geológico-Geomorfológica. In: GUERRA, A.J.T. e CUNHA, S.B. da (Orgs.) **Geomorfologia e Meio Ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996. p.123-194.

FERNANDES, N. F. et al. Condicionantes geomorfológicos dos deslizamentos nas encostas: avaliação de metodologias e aplicação de modelo de previsão de áreas susceptíveis. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Porto Alegre, v. 2, n. 1, out. 2001. p. 51-71.

GOERL, R. F.; KOBİYAMA, M.; PELLEIN, J. R. G. M. Proposta metodológica para mapeamento de áreas de risco a inundação: Estudo de caso do município de Rio Negrinho - SC. *Bol. Geogr., Maringá*, v. 30, n°1, 2012. p.81-100.

HASENACK, H.; WEBER, E.(org.) Base cartográfica digital da Serra Gaúcha - escala 1:50.000. Porto Alegre: UFRGS Centro de Ecologia. 2007. 1 CD-ROM. (Série Geoprocessamento n.2). **ISBN 978-85-7727-073-6**.

HILL, A. A.; CUTTER, S. L. Methods for Determining Disaster Proneness. In: CUTTER, S. L. (ed). **American Hazardscapes: The Regionalization of Hazards and Disasters**. Washington, D.C.: National Academy of Sciences, 2001. p. 13-36.

ISDR - INTERNATIONAL STRATEGY FOR DISASTER REDUCTION. **Visions of Risk: A Review of International Indicators of Disaster Risk and its Management**. London: Inter-Agency Task force on Disaster Reduction – Working Group 3, 2004. 73 p.

KOBİYAMA, M. et al. **Risk Analysis – a basis for disaster risk management**. GTZ, Eschborn, 2004. 76p.

MICHEL, G. P.; KOBAYAMA, M.; GOERL, R. F. **Análise comparativa entre os modelos Shalstab e Sinmap na identificação de áreas susceptíveis a escorregamentos translacionais.** In: X ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE SEDIMENTOS. Foz do Iguaçu: Enes, Anais, 21p., 2012. Disponível em: [≤
www.labhidro.ufsc.br/Artigos/ENES161.pdf](http://www.labhidro.ufsc.br/Artigos/ENES161.pdf)>. Acesso em: outubro de 2014.

MOLLERI, G.; RUDORFF, F. **Prevenção de desastres naturais: Conceitos básicos.** Curitiba: Organic Trading, 2006. 109 p.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Facing Hazards and Disasters: Understanding Human Dimensions.** Committee on Disaster Research in the Social Sciences: Future Challenges and Opportunities, Washington, D. C.: The National Academies Press, 2006. 409 p.

O'LOUGHLIN, E. M. **Prediction of surface saturation zones in natural catchments by topographic analysis.** Water Resources Research. v. 22, 1986. p. 794-804.

PINE, J. C. **Natural Hazard Analysis: Reducing the impact of disasters.** Florida: Taylor & Francis Group, 2008. 314 p.

SELBY, M. **Hillslope Materials and Processes.** Oxford University Press, Oxford, 1993. 289p.

SCHUMM, S. A. Erroneous perceptions of fluvial hazards. **Geomorphology**, n. 10, 1994. p. 128-138.

SILVEIRA, R. M. **Comportamento geotécnico de um solo coluvionar de São Vendelino (RS)**. Tese de doutorado (Pós-graduação em Engenharia Civil). Escola de Engenharia/UFRGS, Porto Alegre, 2008.

SMITH, K. **Environmental Hazards: Assessing Risk and Reducing Disaster**. ed. 2. London: Routledge, 1996. 389 p.

SOUZA, C. R. de G. et al. **Desastres naturais: conhecer para prevenir**. ed. 1. São Paulo: Instituto Geológico, 2009. 196 p.

TOBIN, G. A.; MONTZ, B. E. **Natural hazards: explanation and integration**. New York: The Guilford Press, 1997. 388 p.

UNDP – United Nations Development Program. **Reducing disaster risk: a challenge for development**. New York: UNDP, 2004. 130p.

VANACÔR, R.N. **Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento aplicados ao mapeamento das áreas susceptíveis a movimentos de massa na região nordeste do Estado do Rio Grande do Sul**. Dissertação em Mestrado. Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS, 2006.

VIEIRA, S. F. **Análise e mapeamento das áreas suscetíveis a movimentos de massa no setor central da Serra da Esperança, na divisa entre os municípios de Guarapuava e**

Prudentópolis - PR. 193p. Dissertação (Mestrado). Centro de Filosofia e Ciências Humanas. Programa de Pós-Graduação em Geografia. Universidade Federal de Santa Catarina Florianópolis, SC, 2008.

Apêndice I – Variáveis censitárias escalonadas e índice de vulnerabilidade para cada setor.

| Município | Código do setor | Moradores no setor | Média de moradores por domicílio | Densidade Demográfica | Taxa de analfabetismo acima de 12 anos | % Responsáveis com renda baixa | % População dependente | Índice de vulnerabilidade |
|----------------|-----------------|--------------------|----------------------------------|-----------------------|--|--------------------------------|------------------------|---------------------------|
| ALTO FELIZ | 430057005000002 | 0,33 | 0,15 | 0,001 | 0,11 | 0,45 | 0,47 | 2,06 |
| ALTO FELIZ | 430057005000005 | 0,48 | 0,10 | 0,002 | 0,03 | 0,47 | 0,15 | 1,68 |
| ALTO FELIZ | 430057005000007 | 0,13 | 0,10 | 0,000 | 0,54 | 0,58 | 0,14 | 2,04 |
| ALTO FELIZ | 430057005000008 | 0,19 | 0,15 | 0,000 | 0,85 | 0,64 | 0,23 | 2,82 |
| SÃO VENDELINO | 431975205000001 | 0,65 | 0,11 | 0,014 | 0,06 | 0,23 | 0,37 | 1,90 |
| SÃO VENDELINO | 431975205000002 | 0,47 | 0,14 | 0,013 | 0,04 | 0,63 | 0,13 | 1,89 |
| SÃO VENDELINO | 431975205000003 | 0,23 | 0,17 | 0,001 | 0,17 | 0,50 | 0,24 | 1,72 |
| SÃO VENDELINO | 431975205000004 | 0,26 | 0,28 | 0,000 | 0,17 | 0,27 | 0,20 | 1,80 |
| BARÃO | 430165105000001 | 0,69 | 0,15 | 0,024 | 0,20 | 0,20 | 0,29 | 2,10 |
| BARÃO | 430165105000002 | 1,00 | 0,11 | 0,027 | 0,07 | 0,27 | 0,16 | 2,19 |
| BARÃO | 430165105000003 | 0,12 | 0,61 | 0,005 | 0,17 | 0,25 | 0,49 | 2,22 |
| BARÃO | 430165105000004 | 0,06 | 0,61 | 0,042 | 0,52 | 0,41 | 0,60 | 2,99 |
| BARÃO | 430165105000005 | 0,21 | 0,20 | 0,000 | 0,34 | 0,58 | 0,14 | 1,96 |
| BARÃO | 430165105000006 | 0,16 | 0,15 | 0,000 | 0,53 | 0,71 | 0,16 | 2,29 |
| BARÃO | 430165125000001 | 0,12 | 0,25 | 0,024 | 0,03 | 0,05 | 0,26 | 0,98 |
| BARÃO | 430165125000002 | 0,29 | 0,15 | 0,002 | 0,32 | 0,58 | 0,51 | 2,47 |
| BARÃO | 430165125000003 | 0,34 | 0,25 | 0,003 | 0,66 | 0,54 | 0,10 | 2,54 |
| BARÃO | 430165127000002 | 0,37 | 0,61 | 0,002 | 0,23 | 0,35 | 0,46 | 2,71 |
| BARÃO | 430165130000001 | 0,03 | 0,61 | 0,010 | 0,00 | 0,25 | 0,19 | 1,46 |
| BARÃO | 430165130000002 | 0,31 | 0,61 | 0,000 | 0,14 | 0,34 | 0,29 | 2,26 |
| BOM PRINCÍPIO | 430235205000016 | 0,48 | 0,11 | 0,022 | 0,13 | 0,56 | 0,24 | 2,06 |
| BOM PRINCÍPIO | 430235205000019 | 0,34 | 0,26 | 0,001 | 0,51 | 0,65 | 0,13 | 2,52 |
| CARLOS BARBOSA | 430480405000004 | 0,83 | 0,05 | 0,398 | 0,06 | 0,08 | 0,14 | 1,96 |
| CARLOS BARBOSA | 430480405000013 | 0,65 | 0,17 | 0,054 | 0,12 | 0,07 | 0,30 | 1,73 |
| CARLOS BARBOSA | 430480405000014 | 0,41 | 0,19 | 0,023 | 0,10 | 0,18 | 0,26 | 1,47 |
| CARLOS BARBOSA | 430480405000015 | 0,67 | 0,19 | 0,073 | 0,08 | 0,16 | 0,21 | 1,73 |
| CARLOS BARBOSA | 430480405000016 | 0,63 | 0,13 | 0,092 | 0,01 | 0,09 | 0,18 | 1,43 |
| CARLOS BARBOSA | 430480405000017 | 0,56 | 0,13 | 0,082 | 0,08 | 0,15 | 0,38 | 1,74 |
| CARLOS BARBOSA | 430480405000018 | 0,67 | 0,19 | 0,165 | 0,13 | 0,11 | 0,32 | 1,99 |
| CARLOS BARBOSA | 430480405000019 | 0,10 | 0,13 | 0,047 | 0,64 | 0,26 | 1,00 | 2,73 |
| CARLOS BARBOSA | 430480405000020 | 0,18 | 1,00 | 0,087 | 0,22 | 0,17 | 0,58 | 2,80 |
| CARLOS BARBOSA | 430480405000021 | 0,12 | 0,11 | 0,030 | 0,35 | 0,16 | 0,30 | 2,23 |
| CARLOS BARBOSA | 430480405000022 | 0,12 | 0,29 | 0,181 | 0,39 | 0,38 | 0,63 | 2,50 |
| CARLOS BARBOSA | 430480405000027 | 0,04 | 0,11 | 0,004 | 0,26 | 0,14 | 0,20 | 2,13 |
| CARLOS BARBOSA | 430480405000028 | 0,00 | 1,00 | 0,000 | 0,34 | 0,18 | 0,15 | 2,03 |
| CARLOS BARBOSA | 430480405000029 | 0,00 | 0,05 | 0,001 | 0,26 | 0,16 | 0,15 | 2,10 |
| CARLOS BARBOSA | 430480405000032 | 0,30 | 0,19 | 0,002 | 0,34 | 0,26 | 0,12 | 1,53 |
| CARLOS BARBOSA | 430480405000033 | 0,13 | 0,29 | 0,000 | 0,59 | 0,40 | 0,16 | 1,97 |
| CARLOS BARBOSA | 430480405000034 | 0,40 | 1,00 | 0,000 | 0,43 | 0,21 | 0,15 | 2,75 |
| CARLOS BARBOSA | 430480405000036 | 0,04 | 0,13 | 0,001 | 0,22 | 0,18 | 0,15 | 2,15 |
| CARLOS BARBOSA | 430480405000037 | 0,01 | 1,00 | 0,005 | 0,41 | 0,00 | 0,05 | 1,86 |
| CARLOS BARBOSA | 430480405000038 | 0,06 | 0,19 | 0,029 | 0,74 | 0,32 | 0,14 | 1,85 |
| CARLOS BARBOSA | 430480405000041 | 0,53 | 0,19 | 0,094 | 0,35 | 0,36 | 0,12 | 2,06 |
| CARLOS BARBOSA | 430480405000042 | 0,59 | 0,19 | 0,024 | 0,35 | 0,28 | 0,11 | 1,94 |
| CARLOS BARBOSA | 430480405000043 | 0,30 | 0,19 | 0,001 | 0,61 | 0,39 | 0,17 | 2,07 |
| CARLOS BARBOSA | 430480405000044 | 0,33 | 0,13 | 0,001 | 0,52 | 0,21 | 0,12 | 1,65 |
| CARLOS BARBOSA | 430480405000045 | 0,20 | 0,19 | 0,054 | 0,33 | 0,11 | 0,12 | 1,27 |
| CARLOS BARBOSA | 430480405000046 | 0,04 | 0,29 | 0,015 | 0,08 | 0,40 | 0,12 | 1,19 |
| CARLOS BARBOSA | 430480405000047 | 0,32 | 0,19 | 0,164 | 0,42 | 0,09 | 0,10 | 1,61 |
| CARLOS BARBOSA | 430480420000001 | 0,02 | 0,29 | 0,012 | 0,00 | 0,00 | 0,18 | 0,62 |
| CARLOS BARBOSA | 430480420000002 | 0,19 | 0,29 | 0,000 | 0,99 | 0,71 | 0,69 | 3,61 |
| CARLOS BARBOSA | 430480420000003 | 0,21 | 0,13 | 0,000 | 0,42 | 0,49 | 0,58 | 2,30 |
| CARLOS BARBOSA | 430480420000004 | 0,26 | 0,29 | 0,001 | 0,56 | 0,89 | 0,18 | 2,75 |
| CARLOS BARBOSA | 430480420000005 | 0,18 | 0,13 | 0,000 | 0,49 | 0,31 | 0,16 | 1,61 |
| FARROUPILHA | 430790605000003 | 0,46 | 0,02 | 0,186 | 0,06 | 0,09 | 0,25 | 1,37 |
| FARROUPILHA | 430790605000004 | 0,55 | 0,02 | 0,302 | 0,01 | 0,05 | 0,18 | 1,42 |
| FARROUPILHA | 430790605000005 | 0,75 | 0,02 | 0,301 | 0,11 | 0,05 | 0,24 | 1,90 |
| FARROUPILHA | 430790605000013 | 0,30 | 0,15 | 0,216 | 0,06 | 0,12 | 0,20 | 1,34 |

| Município | Código do setor | Moradores no setor | Média de moradores por domicílio | Densidade Demográfica | Taxa de analfabetismo acima de 12 anos | % Responsáveis com renda baixa | % População dependente | Índice de vulnerabilidade |
|-------------|-----------------|--------------------|----------------------------------|-----------------------|--|--------------------------------|------------------------|---------------------------|
| FARROUPILHA | 430790605000014 | 0,43 | 0,02 | 0,151 | 0,07 | 0,15 | 0,22 | 1,32 |
| FARROUPILHA | 430790605000015 | 0,94 | 0,15 | 0,104 | 0,11 | 0,15 | 0,14 | 2,04 |
| FARROUPILHA | 430790605000016 | 0,48 | 0,15 | 0,072 | 0,03 | 0,10 | 0,17 | 1,29 |
| FARROUPILHA | 430790605000031 | 0,56 | 0,09 | 0,125 | 0,16 | 0,13 | 0,24 | 1,68 |
| FARROUPILHA | 430790605000032 | 0,51 | 0,15 | 0,211 | 0,06 | 0,07 | 0,22 | 1,56 |
| FARROUPILHA | 430790605000033 | 0,47 | 0,15 | 0,090 | 0,08 | 0,18 | 0,18 | 1,48 |
| FARROUPILHA | 430790605000034 | 0,57 | 0,23 | 0,227 | 0,15 | 0,15 | 0,21 | 1,99 |
| FARROUPILHA | 430790605000035 | 0,54 | 0,23 | 0,460 | 0,13 | 0,06 | 0,25 | 2,14 |
| FARROUPILHA | 430790605000036 | 0,84 | 0,23 | 0,507 | 0,13 | 0,09 | 0,22 | 2,59 |
| FARROUPILHA | 430790605000037 | 0,78 | 0,23 | 0,515 | 0,12 | 0,28 | 0,23 | 2,78 |
| FARROUPILHA | 430790605000038 | 0,83 | 0,23 | 0,467 | 0,15 | 0,16 | 0,22 | 2,66 |
| FARROUPILHA | 430790605000040 | 0,85 | 0,33 | 0,504 | 0,24 | 0,27 | 0,25 | 3,13 |
| FARROUPILHA | 430790605000041 | 0,93 | 1,00 | 0,428 | 0,14 | 0,17 | 0,26 | 3,78 |
| FARROUPILHA | 430790605000042 | 0,97 | 0,23 | 0,281 | 0,13 | 0,17 | 0,18 | 2,53 |
| FARROUPILHA | 430790605000043 | 0,89 | 0,23 | 0,264 | 0,17 | 0,26 | 0,18 | 2,56 |
| FARROUPILHA | 430790605000044 | 0,97 | 1,00 | 1,000 | 0,42 | 0,43 | 0,29 | 5,29 |
| FARROUPILHA | 430790605000066 | 0,02 | 0,33 | 0,003 | 0,40 | 0,53 | 0,21 | 1,92 |
| FARROUPILHA | 430790605000067 | 0,20 | 0,23 | 0,004 | 0,40 | 0,55 | 0,07 | 1,87 |
| FARROUPILHA | 430790605000073 | 0,04 | 0,13 | 0,040 | 0,22 | 0,18 | 0,10 | 1,40 |
| FARROUPILHA | 430790605000074 | 0,19 | 0,02 | 0,303 | 0,43 | 0,46 | 0,11 | 1,96 |
| FARROUPILHA | 430790605000077 | 0,02 | 0,02 | 0,117 | 0,36 | 0,40 | 0,13 | 1,33 |
| FARROUPILHA | 430790605000078 | 0,01 | 0,02 | 0,087 | 0,00 | 0,51 | 0,00 | 0,80 |
| FARROUPILHA | 430790605000093 | 0,08 | 0,15 | 0,048 | 0,54 | 0,25 | 0,12 | 1,54 |
| FARROUPILHA | 430790605000094 | 0,42 | 0,02 | 0,209 | 0,28 | 0,29 | 0,09 | 1,69 |
| FARROUPILHA | 430790605000103 | 0,04 | 0,00 | 0,228 | 0,81 | 0,44 | 0,09 | 2,08 |
| FARROUPILHA | 430790605000104 | 0,02 | 0,02 | 0,128 | 0,54 | 0,00 | 0,13 | 1,08 |
| FARROUPILHA | 430790605000105 | 0,02 | 0,02 | 0,238 | 0,82 | 0,30 | 0,09 | 1,91 |
| FARROUPILHA | 430790605000106 | 0,01 | 0,33 | 0,051 | 0,26 | 0,00 | 0,12 | 0,98 |
| FARROUPILHA | 430790605000107 | 0,03 | 0,23 | 0,046 | 0,44 | 0,41 | 0,23 | 1,78 |
| FARROUPILHA | 430790605000108 | 0,05 | 0,26 | 0,024 | 0,31 | 0,27 | 0,20 | 1,32 |
| FARROUPILHA | 430790605000109 | 0,07 | 0,13 | 0,014 | 0,35 | 0,18 | 0,20 | 1,45 |
| FARROUPILHA | 430790605000110 | 0,04 | 0,23 | 0,001 | 0,47 | 0,73 | 0,22 | 2,19 |
| FARROUPILHA | 430790605000111 | 0,00 | 1,00 | 0,004 | 0,33 | 0,27 | 0,15 | 1,90 |
| FARROUPILHA | 430790605000112 | 0,15 | 0,33 | 0,003 | 0,33 | 0,48 | 0,10 | 1,79 |
| FARROUPILHA | 430790605000139 | 0,86 | 0,23 | 0,291 | 0,37 | 0,22 | 0,10 | 2,67 |
| FARROUPILHA | 430790605000140 | 0,05 | 1,00 | 0,164 | 0,59 | 0,22 | 0,07 | 2,69 |
| FARROUPILHA | 430790605000141 | 0,04 | 1,00 | 0,041 | 0,33 | 0,24 | 0,12 | 2,28 |
| FARROUPILHA | 430790605000142 | 0,01 | 0,02 | 0,059 | 0,00 | 0,51 | 0,06 | 0,84 |
| FARROUPILHA | 430790605000143 | 0,06 | 0,15 | 0,005 | 0,73 | 0,34 | 0,17 | 1,88 |
| FARROUPILHA | 430790605000144 | 0,04 | 0,33 | 0,002 | 0,42 | 1,00 | 0,17 | 2,52 |
| FARROUPILHA | 430790605000145 | 0,02 | 0,15 | 0,032 | 0,26 | 0,00 | 0,12 | 0,76 |
| FARROUPILHA | 430790605000146 | 0,37 | 0,15 | 0,024 | 0,39 | 0,31 | 0,11 | 1,75 |
| FARROUPILHA | 430790605000147 | 0,03 | 0,23 | 0,003 | 0,50 | 0,16 | 0,14 | 1,37 |
| FARROUPILHA | 430790605000148 | 0,21 | 0,15 | 0,012 | 0,45 | 0,18 | 0,12 | 1,45 |
| FARROUPILHA | 430790615000001 | 0,22 | 0,02 | 0,055 | 0,06 | 0,18 | 0,26 | 1,03 |
| FARROUPILHA | 430790615000002 | 0,16 | 0,23 | 0,011 | 0,28 | 0,22 | 0,68 | 2,05 |
| FARROUPILHA | 430790615000003 | 0,30 | 0,33 | 0,000 | 0,33 | 0,22 | 0,35 | 1,98 |
| FARROUPILHA | 430790615000004 | 0,23 | 0,23 | 0,000 | 0,08 | 0,57 | 0,31 | 1,83 |
| FARROUPILHA | 430790615000005 | 0,38 | 0,23 | 0,000 | 0,20 | 0,09 | 0,37 | 1,64 |
| FARROUPILHA | 430790615000006 | 0,36 | 0,33 | 0,000 | 0,18 | 0,18 | 0,46 | 1,93 |
| FARROUPILHA | 430790620000001 | 0,02 | 0,02 | 0,019 | 0,66 | 0,10 | 0,70 | 1,96 |
| FARROUPILHA | 430790620000004 | 0,39 | 0,33 | 0,002 | 0,43 | 0,36 | 0,43 | 2,51 |
| FARROUPILHA | 430790620000005 | 0,47 | 0,23 | 0,001 | 0,18 | 0,30 | 0,35 | 1,99 |
| FARROUPILHA | 430790620000006 | 0,42 | 0,33 | 0,001 | 0,19 | 0,22 | 0,23 | 1,78 |
| FARROUPILHA | 430790620000007 | 0,38 | 1,00 | 0,002 | 0,30 | 0,39 | 0,35 | 3,13 |
| FARROUPILHA | 430790620000010 | 0,07 | 1,00 | 0,041 | 1,00 | 0,22 | 0,08 | 3,11 |
| FARROUPILHA | 430790620000011 | 0,05 | 1,00 | 0,020 | 0,94 | 0,31 | 0,10 | 3,12 |
| FARROUPILHA | 430790620000016 | 0,35 | 0,02 | 0,001 | 0,57 | 0,41 | 0,14 | 1,92 |

Apêndice II - Áreas instáveis e estáveis, índices de perigo, vulnerabilidade e risco.

| Município | Código do setor | Área Instável (km2) | Área Estável (km2) | Área Total (km2) | Índice de Perigo | Índice de Vulnerab. normalizado | Índice de risco |
|----------------|-----------------|---------------------|--------------------|------------------|------------------|---------------------------------|-----------------|
| ALTO FELIZ | 430057005000002 | 1,468 | 7,419 | 8,887 | 0,165 | 0,309 | 0,051 |
| ALTO FELIZ | 430057005000005 | 0,602 | 1,884 | 2,487 | 0,242 | 0,226 | 0,055 |
| ALTO FELIZ | 430057005000007 | 1,775 | 8,714 | 10,489 | 0,169 | 0,304 | 0,051 |
| ALTO FELIZ | 430057005000008 | 0,000 | 0,043 | 0,043 | 0,000 | 0,471 | 0,000 |
| SÃO VENDELINO | 431975205000001 | 0,120 | 2,705 | 2,825 | 0,043 | 0,274 | 0,012 |
| SÃO VENDELINO | 431975205000002 | 0,283 | 1,957 | 2,240 | 0,126 | 0,272 | 0,034 |
| SÃO VENDELINO | 431975205000003 | 1,364 | 8,148 | 9,511 | 0,143 | 0,236 | 0,034 |
| SÃO VENDELINO | 431975205000004 | 2,715 | 9,024 | 11,739 | 0,231 | 0,253 | 0,058 |
| BARÃO | 430165105000001 | 0,030 | 0,519 | 0,549 | 0,054 | 0,316 | 0,017 |
| BARÃO | 430165105000002 | 0,030 | 0,813 | 0,843 | 0,036 | 0,336 | 0,012 |
| BARÃO | 430165105000003 | 0,000 | 0,123 | 0,123 | 0,004 | 0,342 | 0,001 |
| BARÃO | 430165105000004 | 0,000 | 0,009 | 0,009 | 0,000 | 0,507 | 0,000 |
| BARÃO | 430165105000005 | 2,756 | 11,905 | 14,661 | 0,188 | 0,287 | 0,054 |
| BARÃO | 430165105000006 | 0,003 | 0,273 | 0,276 | 0,011 | 0,359 | 0,004 |
| BARÃO | 430165125000001 | 0,008 | 0,328 | 0,337 | 0,024 | 0,078 | 0,002 |
| BARÃO | 430165125000002 | 1,123 | 5,006 | 6,130 | 0,183 | 0,397 | 0,073 |
| BARÃO | 430165125000003 | 0,767 | 3,270 | 4,037 | 0,190 | 0,411 | 0,078 |
| BARÃO | 430165127000002 | 0,302 | 1,202 | 1,505 | 0,201 | 0,448 | 0,090 |
| BARÃO | 430165130000001 | 0,011 | 0,169 | 0,181 | 0,062 | 0,181 | 0,011 |
| BARÃO | 430165130000002 | 5,174 | 18,499 | 23,674 | 0,219 | 0,352 | 0,077 |
| BOM PRINCÍPIO | 430235205000016 | 0,001 | 0,509 | 0,509 | 0,002 | 0,309 | 0,000 |
| BOM PRINCÍPIO | 430235205000019 | 0,126 | 0,434 | 0,560 | 0,224 | 0,408 | 0,092 |
| CARLOS BARBOSA | 430480405000004 | 0,000 | 0,013 | 0,013 | 0,000 | 0,287 | 0,000 |
| CARLOS BARBOSA | 430480405000013 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,238 | 0,000 |
| CARLOS BARBOSA | 430480405000014 | 0,001 | 0,775 | 0,776 | 0,001 | 0,182 | 0,000 |
| CARLOS BARBOSA | 430480405000015 | 0,010 | 0,469 | 0,479 | 0,020 | 0,238 | 0,005 |
| CARLOS BARBOSA | 430480405000016 | 0,004 | 0,429 | 0,433 | 0,009 | 0,173 | 0,002 |
| CARLOS BARBOSA | 430480405000017 | 0,000 | 0,431 | 0,431 | 0,000 | 0,239 | 0,000 |
| CARLOS BARBOSA | 430480405000018 | 0,000 | 0,009 | 0,009 | 0,000 | 0,294 | 0,000 |
| CARLOS BARBOSA | 430480405000019 | 0,000 | 0,118 | 0,118 | 0,000 | 0,452 | 0,000 |
| CARLOS BARBOSA | 430480405000020 | 0,000 | 0,111 | 0,111 | 0,000 | 0,467 | 0,000 |
| CARLOS BARBOSA | 430480405000021 | 0,000 | 0,011 | 0,011 | 0,000 | 0,345 | 0,000 |
| CARLOS BARBOSA | 430480405000022 | 0,000 | 0,043 | 0,043 | 0,000 | 0,403 | 0,000 |
| CARLOS BARBOSA | 430480405000027 | 0,000 | 0,333 | 0,333 | 0,000 | 0,324 | 0,000 |
| CARLOS BARBOSA | 430480405000028 | 0,000 | 0,327 | 0,327 | 0,000 | 0,302 | 0,000 |
| CARLOS BARBOSA | 430480405000029 | 0,000 | 0,125 | 0,125 | 0,000 | 0,317 | 0,000 |
| CARLOS BARBOSA | 430480405000032 | 0,047 | 4,615 | 4,661 | 0,010 | 0,194 | 0,002 |
| CARLOS BARBOSA | 430480405000033 | 1,833 | 7,652 | 9,485 | 0,193 | 0,289 | 0,056 |
| CARLOS BARBOSA | 430480405000034 | 0,782 | 7,978 | 8,760 | 0,089 | 0,456 | 0,041 |
| CARLOS BARBOSA | 430480405000036 | 0,001 | 0,115 | 0,115 | 0,005 | 0,328 | 0,002 |
| CARLOS BARBOSA | 430480405000037 | 0,000 | 0,198 | 0,199 | 0,002 | 0,266 | 0,000 |
| CARLOS BARBOSA | 430480405000038 | 0,000 | 0,129 | 0,129 | 0,000 | 0,264 | 0,000 |
| CARLOS BARBOSA | 430480405000041 | 0,000 | 0,044 | 0,044 | 0,000 | 0,308 | 0,000 |
| CARLOS BARBOSA | 430480405000042 | 0,002 | 1,546 | 1,549 | 0,001 | 0,283 | 0,000 |
| CARLOS BARBOSA | 430480405000043 | 2,013 | 12,259 | 14,271 | 0,141 | 0,311 | 0,044 |
| CARLOS BARBOSA | 430480405000044 | 3,404 | 11,832 | 15,236 | 0,223 | 0,220 | 0,049 |
| CARLOS BARBOSA | 430480405000045 | 0,000 | 0,223 | 0,223 | 0,002 | 0,140 | 0,000 |
| CARLOS BARBOSA | 430480405000046 | 0,000 | 0,196 | 0,196 | 0,000 | 0,122 | 0,000 |
| CARLOS BARBOSA | 430480405000047 | 0,008 | 0,100 | 0,108 | 0,073 | 0,212 | 0,015 |
| CARLOS BARBOSA | 430480420000001 | 0,023 | 0,076 | 0,099 | 0,232 | 0,000 | 0,000 |
| CARLOS BARBOSA | 430480420000002 | 4,389 | 10,753 | 15,142 | 0,290 | 0,641 | 0,186 |
| CARLOS BARBOSA | 430480420000003 | 2,833 | 9,624 | 12,456 | 0,227 | 0,359 | 0,082 |
| CARLOS BARBOSA | 430480420000004 | 2,629 | 5,363 | 7,991 | 0,329 | 0,457 | 0,150 |
| CARLOS BARBOSA | 430480420000005 | 4,460 | 9,610 | 14,070 | 0,317 | 0,212 | 0,067 |
| FARROUPILHA | 430790605000003 | 0,000 | 0,062 | 0,062 | 0,000 | 0,161 | 0,000 |
| FARROUPILHA | 430790605000004 | 0,000 | 0,017 | 0,017 | 0,000 | 0,172 | 0,000 |
| FARROUPILHA | 430790605000005 | 0,000 | 0,054 | 0,054 | 0,000 | 0,274 | 0,000 |
| FARROUPILHA | 430790605000013 | 0,000 | 0,002 | 0,002 | 0,000 | 0,154 | 0,000 |

| Município | Código do setor | Área Instável (km2) | Área Estável (km2) | Área Total (km2) | Índice de Perigo | Índice de Vulnerab. normalizado | Índice de risco |
|-------------|-----------------|---------------------|--------------------|------------------|------------------|---------------------------------|-----------------|
| FARROUPILHA | 430790605000014 | 0,000 | 0,182 | 0,182 | 0,000 | 0,149 | 0,000 |
| FARROUPILHA | 430790605000015 | 0,010 | 0,563 | 0,572 | 0,017 | 0,305 | 0,005 |
| FARROUPILHA | 430790605000016 | 0,000 | 0,169 | 0,169 | 0,000 | 0,143 | 0,000 |
| FARROUPILHA | 430790605000031 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,226 | 0,000 |
| FARROUPILHA | 430790605000032 | 0,000 | 0,085 | 0,085 | 0,000 | 0,202 | 0,000 |
| FARROUPILHA | 430790605000033 | 0,003 | 0,132 | 0,135 | 0,022 | 0,184 | 0,004 |
| FARROUPILHA | 430790605000034 | 0,000 | 0,055 | 0,055 | 0,000 | 0,293 | 0,000 |
| FARROUPILHA | 430790605000035 | 0,000 | 0,075 | 0,075 | 0,000 | 0,327 | 0,000 |
| FARROUPILHA | 430790605000036 | 0,000 | 0,102 | 0,102 | 0,000 | 0,423 | 0,000 |
| FARROUPILHA | 430790605000037 | 0,000 | 0,093 | 0,093 | 0,000 | 0,464 | 0,000 |
| FARROUPILHA | 430790605000038 | 0,000 | 0,105 | 0,105 | 0,000 | 0,438 | 0,000 |
| FARROUPILHA | 430790605000040 | 0,001 | 0,108 | 0,109 | 0,011 | 0,538 | 0,006 |
| FARROUPILHA | 430790605000041 | 0,001 | 0,139 | 0,140 | 0,005 | 0,676 | 0,003 |
| FARROUPILHA | 430790605000042 | 0,006 | 0,216 | 0,223 | 0,028 | 0,409 | 0,012 |
| FARROUPILHA | 430790605000043 | 0,000 | 0,200 | 0,200 | 0,000 | 0,416 | 0,000 |
| FARROUPILHA | 430790605000044 | 0,000 | 0,055 | 0,055 | 0,000 | 1,000 | 0,000 |
| FARROUPILHA | 430790605000066 | 0,035 | 0,496 | 0,531 | 0,065 | 0,280 | 0,018 |
| FARROUPILHA | 430790605000067 | 0,023 | 0,663 | 0,685 | 0,034 | 0,267 | 0,009 |
| FARROUPILHA | 430790605000073 | 0,000 | 0,003 | 0,003 | 0,000 | 0,167 | 0,000 |
| FARROUPILHA | 430790605000074 | 0,000 | 0,041 | 0,041 | 0,000 | 0,286 | 0,000 |
| FARROUPILHA | 430790605000077 | 0,000 | 0,009 | 0,009 | 0,000 | 0,152 | 0,000 |
| FARROUPILHA | 430790605000078 | 0,000 | 0,012 | 0,012 | 0,000 | 0,039 | 0,000 |
| FARROUPILHA | 430790605000093 | 0,000 | 0,021 | 0,021 | 0,000 | 0,197 | 0,000 |
| FARROUPILHA | 430790605000094 | 0,000 | 0,019 | 0,019 | 0,000 | 0,230 | 0,000 |
| FARROUPILHA | 430790605000103 | 0,000 | 0,034 | 0,034 | 0,000 | 0,312 | 0,000 |
| FARROUPILHA | 430790605000104 | 0,002 | 0,011 | 0,013 | 0,141 | 0,098 | 0,014 |
| FARROUPILHA | 430790605000105 | 0,000 | 0,007 | 0,007 | 0,000 | 0,277 | 0,000 |
| FARROUPILHA | 430790605000106 | 0,000 | 0,018 | 0,018 | 0,000 | 0,077 | 0,000 |
| FARROUPILHA | 430790605000107 | 0,000 | 0,046 | 0,046 | 0,000 | 0,248 | 0,000 |
| FARROUPILHA | 430790605000108 | 0,000 | 0,010 | 0,010 | 0,000 | 0,150 | 0,000 |
| FARROUPILHA | 430790605000109 | 0,000 | 0,004 | 0,004 | 0,000 | 0,178 | 0,000 |
| FARROUPILHA | 430790605000110 | 0,083 | 1,360 | 1,443 | 0,058 | 0,337 | 0,019 |
| FARROUPILHA | 430790605000111 | 0,000 | 0,103 | 0,103 | 0,000 | 0,274 | 0,000 |
| FARROUPILHA | 430790605000112 | 0,000 | 0,058 | 0,058 | 0,000 | 0,251 | 0,000 |
| FARROUPILHA | 430790605000139 | 0,000 | 0,185 | 0,185 | 0,000 | 0,440 | 0,000 |
| FARROUPILHA | 430790605000140 | 0,000 | 0,019 | 0,019 | 0,000 | 0,444 | 0,000 |
| FARROUPILHA | 430790605000141 | 0,001 | 0,066 | 0,067 | 0,017 | 0,355 | 0,006 |
| FARROUPILHA | 430790605000142 | 0,000 | 0,016 | 0,016 | 0,000 | 0,047 | 0,000 |
| FARROUPILHA | 430790605000143 | 0,016 | 0,726 | 0,742 | 0,022 | 0,270 | 0,006 |
| FARROUPILHA | 430790605000144 | 0,119 | 1,013 | 1,133 | 0,105 | 0,408 | 0,043 |
| FARROUPILHA | 430790605000145 | 0,000 | 0,053 | 0,053 | 0,008 | 0,030 | 0,000 |
| FARROUPILHA | 430790605000146 | 0,011 | 0,960 | 0,972 | 0,012 | 0,241 | 0,003 |
| FARROUPILHA | 430790605000147 | 0,000 | 0,204 | 0,204 | 0,000 | 0,161 | 0,000 |
| FARROUPILHA | 430790605000148 | 0,000 | 0,114 | 0,114 | 0,000 | 0,177 | 0,000 |
| FARROUPILHA | 430790615000001 | 0,007 | 0,164 | 0,170 | 0,039 | 0,088 | 0,003 |
| FARROUPILHA | 430790615000002 | 0,024 | 0,154 | 0,178 | 0,133 | 0,305 | 0,041 |
| FARROUPILHA | 430790615000003 | 0,000 | 0,009 | 0,009 | 0,000 | 0,291 | 0,000 |
| FARROUPILHA | 430790615000004 | 0,000 | 0,039 | 0,039 | 0,000 | 0,258 | 0,000 |
| FARROUPILHA | 430790615000005 | 2,843 | 12,436 | 15,278 | 0,186 | 0,219 | 0,041 |
| FARROUPILHA | 430790615000006 | 3,585 | 18,886 | 22,471 | 0,160 | 0,282 | 0,045 |
| FARROUPILHA | 430790620000001 | 0,000 | 0,047 | 0,047 | 0,000 | 0,288 | 0,000 |
| FARROUPILHA | 430790620000004 | 0,000 | 0,048 | 0,048 | 0,000 | 0,404 | 0,000 |
| FARROUPILHA | 430790620000005 | 1,452 | 14,678 | 16,130 | 0,090 | 0,293 | 0,026 |
| FARROUPILHA | 430790620000006 | 0,525 | 13,871 | 14,396 | 0,036 | 0,250 | 0,009 |
| FARROUPILHA | 430790620000007 | 0,050 | 2,852 | 2,902 | 0,017 | 0,538 | 0,009 |
| FARROUPILHA | 430790620000010 | 0,000 | 0,112 | 0,112 | 0,000 | 0,533 | 0,000 |
| FARROUPILHA | 430790620000011 | 0,000 | 0,091 | 0,091 | 0,000 | 0,536 | 0,000 |
| FARROUPILHA | 430790620000016 | 0,000 | 0,441 | 0,441 | 0,000 | 0,280 | 0,000 |

