

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
CENTRO DE ENGENHARIAS
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM GEOPROCESSAMENTO



AVALIAÇÃO DAS ÁREAS DE RISCO A DESASTRES AMBIENTAIS
SUSCETÍVEIS A INUNDAÇÃO EM PELOTAS-RS.

Lucas Henrique de Souza

Pelotas, 2015

Lucas Henrique de Souza

AVALIAÇÃO DAS ÁREAS DE RISCO A DESASTRES AMBIENTAIS SUSCETÍVEIS A INUNDAÇÃO EM PELOTAS -RS.

Trabalho acadêmico apresentado ao Curso Superior de Tecnologia em Geoprocessamento, da Universidade Federal de Pelotas, como requisito para a obtenção do título de Tecnólogo em Geoprocessamento.

Orientadora: Prof.^a Msc. Sônia Souza Franco Bretanha

Coorientador: Prof. Msc. Dr. Maurizio Silveira Quadro

Pelotas, 2015

*Reconheço a Suprema Inteligência Amorosa
que cria e recria no eterno agora em dinâmica perfeição
Reconheço a Suprema Inteligência Amorosa
que sustenta e governa toda a existência
Reconheço, amo e agradeço.
Reconheço, amo e agradeço.
Reconheço, amo e agradeço.
A Suprema Inteligência Amorosa
que cria e recria no eterno agora em dinâmica perfeição,
que sustenta e governa toda a existência,
se revela como todos os seres e forças da Criação
e se expressa como o ser natural que Eu Sou.*

*O Ser Eu Sou comanda o meu pensar,
comanda o meu sentir, comanda o meu agir.
E a Suprema Inteligência Amorosa governa o meu existir.*

*Aqui onde estou é Realidade Natural, é Ordem Natural.
Aqui onde estou é Realidade Natural, é Ordem Natural.*

*Muito agradecido à Suprema Inteligência Amorosa
que se revela como todos os seres e forças da Criação
e que se expressa como o Ser natural que Eu Sou. Muito Agradecido
Muito agradecido a Suprema Inteligência Amorosa
que se revela como todos os seres e forças da Criação
e que se expressa como o Ser natural que Eu Sou. Muito Agradecido
Muito agradecido a Suprema Inteligência Amorosa
que se revela como todos os seres e forças da Criação
e que se expressa como o Ser natural que Eu Sou. Muito Agradecido
Muito agradecido a Suprema Inteligência Amorosa
que se revela como todos os seres e forças da Criação
e que se expressa como o Ser natural que Eu Sou. Muito Agradecido*

AVALIAÇÃO DAS ÁREAS DE RISCO A DESASTRES AMBIENTAIS SUSCETÍVEIS A INUNDAÇÃO ATRAVÉS DE SIG EM PELOTAS – RS.

Lucas Henrique de Souza

Resumo

Dentro dos principais problemas ambientais que assolam a sociedade atualmente, o mais recorrente é o aumento da potencialidade dos desastres naturais ou de origem antrópica que as mudanças climáticas estão conduzindo nas últimas décadas. Sejam eventos extremos como terremotos e tsunamis, ou eventos locais como enxurradas e inundações, é de suma importância monitorar, alertar e balizar o efeito e prejuízo que estas catástrofes podem causar, sendo prioridade dos órgãos fiscalizadores a responsabilidade pela organização social, capacitação dos agentes administradores e formadores de políticas públicas para um melhor posicionamento, planejamento e preparo. O estudo prévio deste tipo de fenômeno em escala local se torna rico em detalhes e variáveis distinguíveis no caráter de vulnerabilidade, seja esta dos condicionamentos geofísicos locais ou atributos socioeconômicos.

A região sul do Brasil é muito afetada por desastres hidroclimatológicos, seja em excesso ou em deficit. No caso do município de Pelotas, há um recorrente problema com inundações e alagamentos, devido a expansão territorial sem acompanhamento em obras sanitárias e fluviais bem como a geomorfologia local, por se tratar de uma região plana com abundância de corpos hídricos.

O presente estudo tem como objetivo a análise de risco e detalhamento das áreas onde já ocorreram desastres como inundações e enchentes anteriormente apresentadas em cada área, modelando num ambiente virtual de Sistema de Informação Geográfica – SIG – suas variáveis que categorizam vulnerabilidade e ameaça, sendo atribuídos pesos e ponderações em cada segmento para que através das técnicas de geoprocessamento sejam somados e criado um mapa de risco. O resultado se dá na hierarquização destas áreas para incentivo das políticas prioritárias de conscientização e mitigação.

Palavras-chave: Desastres naturais; Vulnerabilidade, Geoprocessamento

1.Introdução

Nas últimas décadas, o retorno das forças da natureza vem sendo de maior impacto sobre o modo de vida cotidiano, fazendo com que o ser humano busque maneiras de se prevenir destes eventos, associado muitas vezes à elevação global de temperatura. A real causa de um desastre é a ocorrência de um evento climático extremo sobre um condicionamento de vulnerabilidade física ou socioeconômica de determinada região, o que dificulta tanto a prevenção como a mitigação do mesmo.

Assim como em cada região existe um ecossistema único, conhecer suas características regionais e condições climáticas é o primeiro passo para poder presumir como deve ser feita a prevenção. O levantamento histórico dos casos já observados é de suma importância, tanto quanto a conscientização socioambiental para reduzir o número de assentamentos precários, o que aumenta a chance de perdas. Segundo Saito (2011), a definição de risco é o resultado de dois fatores distintos: a ameaça (inundação, alagamento, movimento de massas, etc) e a vulnerabilidade, que é abrangente a diversos fatores físico-socio-economicos. Apesar de a palavra ser polissêmica, ou seja, de vários sentidos, a palavra risco abrange vários contextos dentro de um mesmo sistema de estruturas, seja econômica, social ou na saúde pública sempre na conotação de perda, dano ou prejuízo.

A Defesa Civil atribui a seguinte conceituação para os termos risco e desastre, sendo parte da Política Nacional da Defesa Civil (2007). Desastre é o resultado de eventos, naturais ou provocados pelo homem sobre um ecossistema vulnerável, causando danos humanos, materiais e ambientais e consequentes prejuízos econômicos e sociais, assim como a intensidade de um desastre depende da interação entre a magnitude do evento adverso e a vulnerabilidade do sistema e é quantificada em função de danos e prejuízo. Já risco é a medida de danos ou prejuízos potenciais, expressa em termos de probabilidade estatística de ocorrência e de intensidade ou grandeza das consequências sociais e econômicas sobre um dado elemento, grupo ou comunidade.

Conforme a expansão dos centros urbanos é realizado de maneira não projetada ou planejada, aumenta-se a incidência de habitações com níveis mínimos de drenagem urbana, obras sanitárias e educação ambiental, o que potencializa a chance de perdas de vidas ou prejuízo material o que consequentemente aumenta a possibilidade de ocorrer dano social. Nos últimos anos, o governo federal criou planos e departamentos com o único objetivo de previsão, preparação, prevenção, mitigação e resposta aos desastres, como o Centro de Monitoramento e Alertas de

Desastres Naturais (CEMADEN) e o Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres (CENAD), em conjunto com outros órgãos como a Defesa Civil, com objetivo de mapear, descrever e classificar áreas suscetíveis ou que já foram atingidas. A maioria dos órgãos envolvidos com desastres naturais observa que os danos causados por estes fenômenos poderiam ser prevenidos, reduzidos ou minimizados se tanto os tomadores de decisão como a própria população fosse mais instruída em meios técnicos científicos. Principalmente em cidades pequenas e rurais, estes mesmos tomadores de decisão, planejadores e administradores desconhecem o potencial que as geotecnologias promovem para a gestão destes casos.

A evolução dos meios técnicos e científicos de planejamento já estabelece uma conexão entre o planejamento e estudo de seus acontecimentos através de diversas ciências e geotecnologias, que são ferramentas para uma melhor compreensão do espaço-tempo local. Através de softwares de SIG para o processamento de dados e modelos matemáticos, aerofotografias e imagens de sensores orbitais e aparelhagem GPS, os eventos podem ser rapidamente mapeados, identificados e prevenidos.

O município de Pelotas já passou por diversas ocorrências de inundações e enchentes bruscas, com as maiores inundações ocorrendo nos anos de 1941, 1956, 1977, 1984 e recentemente nos anos de 2004 e 2009, tendo a maioria destes eventos coincidido com o fenômeno climático El Niño. Apesar de o município atualmente contar com um sistema de drenagem e proteção contra enchentes, instalado com intenção de proteger o município das enchentes do Canal São Gonçalo, as inundações ainda são recorrentes, o que pode ser revisado e melhor planejado. Mesmo não havendo risco de morte, devido à possibilidade de risco a contaminação de águas poluídas entre outros agravantes dos quais são derivados dos desastres.

2. Objetivos

2.1 Objetivo Geral

Como parte do plano de ação emergencial do Serviço Geológico do Brasil, iniciado em 2011, em conjunto com a Defesa Civil de Pelotas, este trabalho visa a visita, classificação, avaliação e a análise de risco das áreas já pré estabelecidas pela Defesa Civil Nacional, onde ocorreram

incidentes de inundações assim como áreas de alta vulnerabilidade e propensão a novas ocorrências, para estabelecer uma avaliação concreta para novas metas e decisões, com intuito de prevenir e reduzir possíveis danos a população, seja em qualidade de vida ou dano material.

2.2 Objetivo Específico

- Avaliação *in loco* das áreas de risco.
- Definição de graus de vulnerabilidade: física, social e ambiental
- Criar, através de ferramenta SIG, uma matriz de peso e nota entre ameaça e vulnerabilidade determinando o risco através da álgebra de mapas.

3. Revisão bibliográfica

3.1 Área de Estudo

Pelotas está localizada próximo as coordenadas 31°46'95"S e 52°20'33"W na confluência das rodovias BR 116, BR 392 e BR 471, que juntas fazem a ligação aos países do Mercosul e capitais do Brasil estando à distância de 252 quilômetros de Porto Alegre, capital do estado, 60 quilômetros do porto de Rio Grande, o maior da região sul, 150 quilômetros de Jaguarão e 250 quilômetros de Chuí, cidades fronteiriças com o Uruguai. Tem importante manancial hídrico formado pelo Arroio Pelotas, Canal São Gonçalo e Lagoa dos Patos, a maior laguna de água doce do mundo, ambos com enorme potencial econômico e turístico, sendo navegável por toda sua extensão pelo canal até a Lagoa Mirim, cujas as bacias contribuintes recebem por volta de 70% do volume de águas fluviais do Rio Grande do Sul. A cidade também conta com o Porto de Pelotas, com o Aeroporto Internacional e Terminal Rodoviário, como mostra a Figura 1.



Figura 1 – Município de Pelotas (Prefeitura Municipal de Pelotas, 2014)

A cidade teve o primeiro referencial histórico na data de junho de 1758, sendo terras as margens da Lagoa dos Patos, doadas pelo Conde de Bobadela, Gomes Freire de Andrade e em 1780 foi fundada a margem do Arroio Pelotas a primeira Charqueada com a vinda do português José Pinto Martins, dando origem a povoação que daria início a cidade. A Freguesia de São Francisco de Paula, fundada em 07 de Julho de 1812 por iniciativa do padre Pedro Pereira de Mesquita, foi elevada à categoria de Vila em 07 de abril de 1832. Três anos depois o Presidente da Província, Antônio Rodrigues Fernandes Braga, outorgou à Vila os foros de cidade, com o nome de Pelotas, sugestão dada pelo Deputado Francisco Xavier Pereira (Prefeitura Municipal de Pelotas, 2014).

Estando aproximadamente 8 graus do Trópico de Capricórnio, localiza-se na zona temperada, que por consequência, é sensível a variação do comprimento do dia, tendo no verão o máximo de 14,2 horas e no inverno 10. A altitude média do município é de 13,24 metros na região mais alta e 7 metros na região plana. O clima de Pelotas, segundo a classificação de Flipper Geigéria é temperado do tipo Cfa, que é caracterizado por ter uma temperatura média do mês mais frio ser inferior a 18 °C e superior a -3°C e a do mês mais quente ser superior a 22 °C. A precipitação

média anual é de 1.266,9 mm, com chuvas regularmente distribuídas durante o todo o ano, com fevereiro sendo o mês mais chuvoso. A umidade relativa do ar é bastante elevada, com média anual de cerca de 80%. É o município mais populoso na zona sul do estado, e a terceira cidade mais populosa do estado. São aproximadamente 350.000 habitantes (Prefeitura Municipal de Pelotas, 2014).

3.2 Risco, Desastre e Vulnerabilidade

Primeiramente devemos dissolver o conceito dos termos aqui empregados, para poder depois unir todas suas variáveis intrínsecas para melhor compreender sua importância individual. Cada termo, como risco, desastre e vulnerabilidade, leva em considerações inúmeras vertentes de pensamento. Acima de tudo, o consenso é de que o significado seja algo que prejudique ou gere prejuízo para algo ou outrem.

Conforme a Política Nacional da Defesa Civil (2007) destaca, há uma interação importante entre o desenvolvimento sustentável, a redução de desastres, a proteção ambiental e o bem-estar social. Ainda segundo o plano, o conceito de desastre é o resultado de eventos adversos, naturais ou provocados pelo homem, sobre um ecossistema vulnerável, causando danos humanos, materiais e ambientais e consequentes prejuízos econômicos e sociais assim como a intensidade de um desastre depende da interação entre a magnitude do evento adverso e a vulnerabilidade do sistema e é quantificada em função de danos e prejuízos.

Para Saito (2011), a definição de desastre é o impacto resultante de um fenômeno natural extremo ou intenso sobre um sistema social, e que causa sérios danos e prejuízos que excedam a capacidade dos afetados em conviver com o impacto. E ainda podem ser classificados quanto sua natureza, intensidade e evolução. A natureza de um desastre pode ser biológica (epidemias, pragas de insetos, ataques de animais, etc), geofísica (terremotos, vulcões, movimento de massas secas, etc), e de origem hidrometeorológica, como os desastres climatológicos (secas, temperaturas extremas, incêndios, etc), os hidrológicos (inundações, cheias, movimentos de massa com água, etc) e meteorológico (tempestades e chuvas torrenciais). Já a intensidade de um desastre, descrita por Castro (1999), segue conforme o grau de dano e prejuízo o mesmo pode causar e a relação

tempo/custo de recuperação do mesmo. É dividido em 4 níveis conforme a Tabela 1.

A classificação segundo a evolução do desastre é de acordo com sua velocidade de manifestação, sendo evento súbito ou de evolução aguda (ex: terremotos), evento gradual ou de evolução crônica (ex: estiagem) e por somatização de eventos parciais (ex: acidentes de trânsito).

Ainda conforme Castro (1999), no Manual de Planejamento em Defesa Civil, os conceitos dos termos risco, ameaça e vulnerabilidade são elaborados da seguinte maneira:

- **Risco:** Medida de danos e prejuízos, expressa em termos de probabilidade estatística de ocorrência, intensidade ou grandeza das consequências possíveis. Relação existente entre probabilidade estatística de que uma ameaça de evento adverso ou de acidente determinado se concretize com uma magnitude definida;
- **Ameaça:** Estimativa de ocorrência e magnitude de um evento adverso ou acidente determinado, expressa em termos de probabilidade estatística de concretização do evento e provável magnitude de sua manifestação.
- **Vulnerabilidade:** Condição intrínseca ao corpo ou sistema receptor que, em interação com a magnitude do evento ou acidente, define os efeitos adversos, medidos em termos de intensidade dos danos previstos. Relação existente entre a intensidade do dano (ID) e a magnitude da ameaça (MA), caso ela se concretize como evento adverso.

Tabela 1: Classificação relativa a intensidade do desastre, conforme Castro (1999).

Nível	Intensidade	Situação
I	Desastre de pequeno porte onde impactos causados são pouco importantes e os prejuízos pouco vultosos. (PREJUÍZO ≤ 5% PIB Municipal)	Facilmente superável com os recursos do município
II	De média intensidade, onde os impactos são de alguma importância e os prejuízos são significativos, embora não sejam vultosos. (5% < PREJUÍZO ≤ 10% PIB)	Superável pelo município, desde que envolva uma mobilização e administração especial.
III	De grande intensidade, com danos importantes e prejuízos vultosos. (10% < PREJUÍZO ≤ 30% PIB)	A situação de normalidade pode ser restabelecida com recursos locais, desde que complementados com recursos estaduais e federais . (Situação de Emergência – SE)
IV	Com impactos muito significativos e prejuízos muito vultosos. (PREJUÍZO > 30% PIB)	Não é superável pelo município, sem que receba ajuda externa. Eventualmente necessita de ajuda internacional. (Estado de Calamidade Pública)

O conceito de vulnerabilidade é um pouco mais amplo, havendo diversas linhas de pensamento assim como muitas possibilidades de se definir as variáveis. Villagran de Leon *apud* Saito (2011) criou uma matriz de três eixos contendo no primeiro os segmentos sociais (habitação, comunicações, educação, saúde, energia, indústria, comércio, finanças, transporte, infraestruturas públicas, ambiente, turismo, etc); no segundo propõe a diferenciação em cada setor, sendo ela realizada em termos de seis componentes: físico, funcional, econômico, condição humana/gênero, administrativo e ambiental; no terceiro e último diz respeito a escala de reflexão/influência. Este conceito é demonstrado na Figura 2.

Para Merrow *apud* Saito (2011), os mais vulneráveis são os mais velhos, seguido dos impossibilitados física e mentalmente, arrendatários, famílias chefiadas por mulheres, famílias grandes e grandes concentrações de crianças e jovens. Estes ambientes urbanos onde não há suficiência de planejamento e condições precárias de habitações influenciam e potencializam a vulnerabilidade, aumentando o grau de risco da área. Osmita e Royle *apud* Saito (2011) destacam que o aumento desta vulnerabilidade em meios urbanos se dá não somente pelo crescimento populacional sem precedentes, como a infreável especulação imobiliária, da pobreza crônica, da precariedade do acesso à terra urbana, da má administração e do investimento inadequado em infraestrutura urbana. Todos estes agravantes aumentam a potencialidade de uma ameaça ocorrer assim como também o dano gerado diretamente as populações.

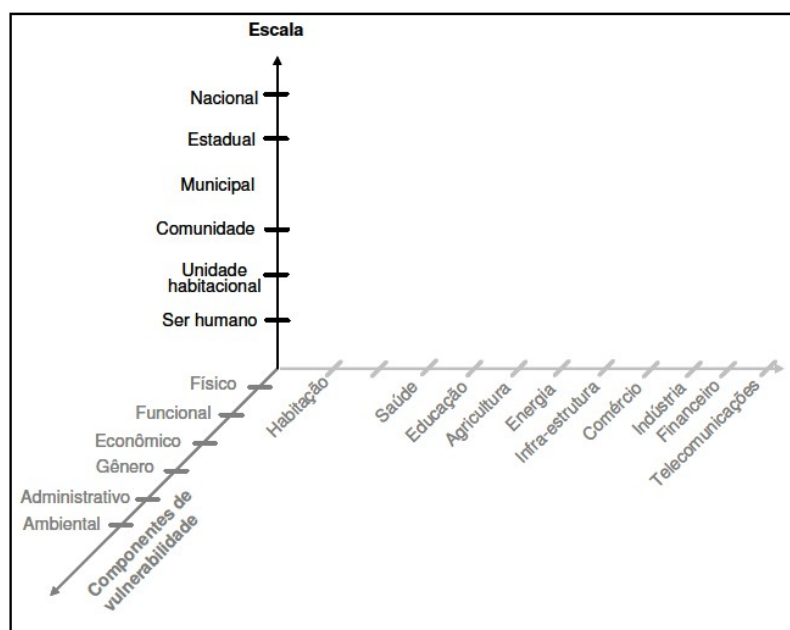


Figura 2 – Eixo temático referente a vulnerabilidade, elaborado por Villagran de Leon *apud* Saito (2011)

3.3 Histórico de inundações

Há uma diferenciação conceitual nos termos inundação, enchente e alagamento. Segundo Tucci *apud* Hassman (2013), inundações ocorrem naturalmente conforme o comportamento do rio, mas também é intensificado com o processo de urbanização sendo considerado então dois tipos de inundação, as inundações de áreas ribeirinhas e as inundações devido a urbanização. Estas inundações ribeirinhas são geralmente processos de ocorrência natural tendo uma maior incidência em bacias de médio a grande porte, onde sua seção de escoamento é pequeno e boa parte de sua área de captação é de declividade relativamente baixa.

As inundações geradas pela urbanização estão diretamente relacionadas ao sistema de microdrenagem, geralmente em bacias pequenas, ocorrendo conforme o meio rural é impermeabilizado devido a expansão da cidade que aumenta a vazão e diminui o escoamento. A falta de planejamento da expansão urbana é um forte agravante para as inundações.

Para Kobiyama *et al* (2006), o que é popularmente conhecido como enchente, é a inundação de um rio “através do aumento do nível dos rios além de sua vazão normal, ocorrendo o transbordamento de suas águas para as margens adjacentes”. Se não há o transbordamento, tem-se uma enchente. A Figura 3 demonstra a explicação.

Sobre os eventos adversos que já ocorreram no município de Pelotas, Hassman (2013) descreveu e caracterizou as principais enchentes e inundações ocorridas no município de que se tem registro, sendo totalizado 12 ocorrências onde houve inundações urbanas e 9 deles houve influencia do fenômeno El Niño. Destaca-se as fortes incidências com ano / precipitação acumulada: abr/1941 – 350,42 mm; fev/1990 – 295,4 mm; ago/1998 – 234,8 mm; mai/2004 – 292,6; jan/2009 – 208,6 mm. Dentro do sistema de proteção de cheias da cidade, há um conjunto de projetos individuais interligados em subsistemas. Estas estações individuais são nomeadas de Subsistema Santa Barbara (Projeto Santa Barbara e Cura – Fragata), Zona Leste (Projeto Cura – Areal e Projeto Baronesa), Zona Sul (Projeto do Arroio Pepino e Subsistema Laranjal (Silva, 2007).

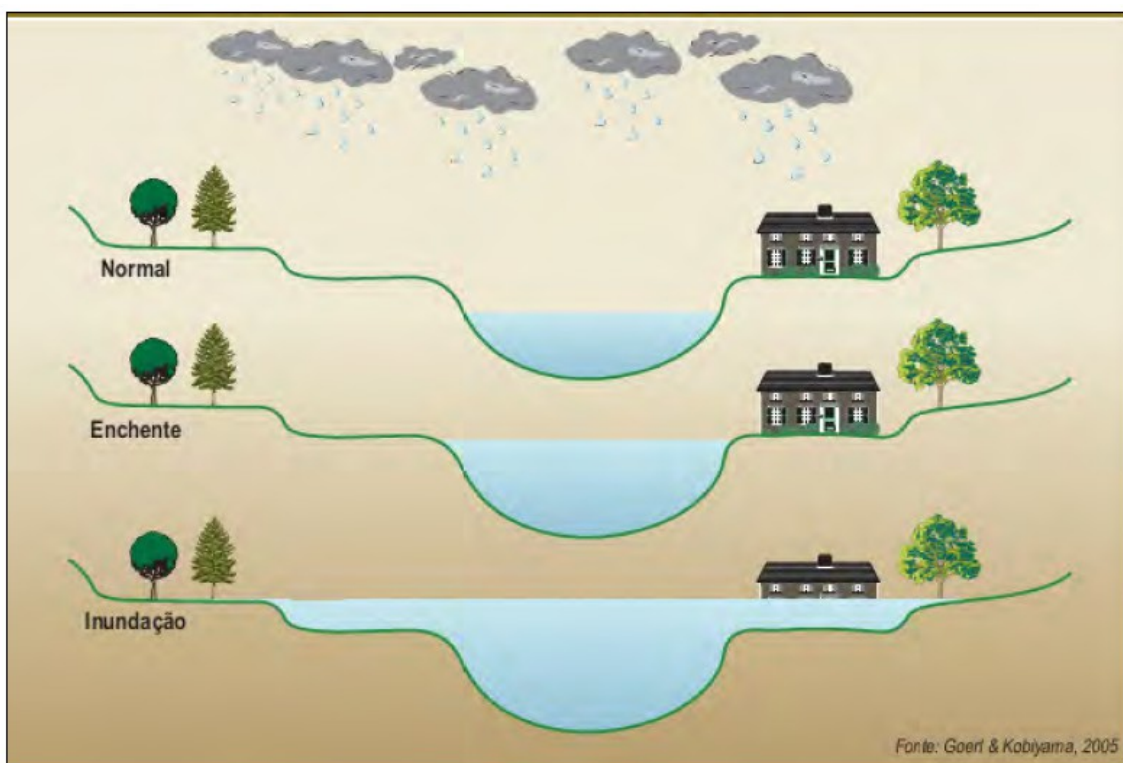


Figura 3: Diferença entre enchente e inundação, segundo Kobiyama et al(2006)

O Departamento de Gestão Territorial (DEGET) do Serviço Geológico do Brasil (CPRM) ligado ao Ministério de Minas e Energia do Governo Federal, realizou o cadastramento das áreas através de um programa de diagnóstico e mapeamento onde há potencial de risco alto e muito alto a desastre, em conjunto com outros órgãos como o Centro de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN) e Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres (CENAD), tendo início no ano de 2011 com duração de 4 anos.

A Ação Emergencial para Delimitação de Áreas em Alto e Muito Alto Risco a Enchentes e Movimentos de Massa, realizada em 2013, selecionou áreas onde já foram identificadas situações de risco, ainda que sem registro de acidentes. Nestas áreas são observadas as condições das habitações e construções e seu entorno, situação topográfica, declividade do terreno, escoamento das águas pluviais e de águas servidas. Na Figura 4 é apresentada uma imagem indicando a localização aproximada das mesmas.



Figura 4: Localização das áreas contempladas pela ação da CPRM (2013)

4. Metodologia

4.1 Banco de Dados

Na avaliação do potencial de risco de um possível desastre, as seguintes metodologias foram tomadas como base para se valer dos meios de prevenção de risco e desenvolvimento harmônico. Conforme descreve Furlan *et al* (2011), as variáveis teóricas de análise da vulnerabilidade pelos dados socioeconômicos são produto interno bruto *per capita*, densidade populacional, população urbana e rural, incidência de pobreza, razão de dependência, razão de sexo, faixas etárias mais vulneráveis (menores de 10 anos e maiores de 65 anos de idade), dados de infraestrutura como tipologia das construções e número de estabelecimentos de saúde e dados ambientais como o número de ocorrências anteriores de eventos extremos em cada localidade.

Para o presente estudo, foi levado em consideração apenas a densidade populacional, a tipologia habitacional, e faixas etárias mais vulneráveis, como menores de 10 anos e maiores de 65. Os dados dos setores censitários foram obtidos através da sinopse censitária por setor do Censo

2010, do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). A tipologia das habitações foi observada nas saídas a campo, com observações *in loco* nestas áreas de risco. Estes dados são espacializados através de vetores e depois acrescentados de suas características geomorfológicas como hipsometria e declividade, distância do leito do rio e de corpos hídricos. Os dados altimétricos foram obtidos do satélite da missão Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM), em arquivo matricial, com resolução geométrica de 90 m.

A criação do banco de dados foi realizada num sistema de informação geográfica – SIG, no caso o software ArcGIS, da ESRI (2012). Para a conversão dos dados de vetores (geometria) para informações em raster (malha) foi utilizado o algoritmo em *Conversion Tools, Feature to Raster* e depois realizado a interpolação por krigagem para representar toda a área de estudo com o algoritmo dentro do conjunto *Spatial Analyst Tools, Interpolation Tools, Krigagem*. Já para a inserção das variáveis dentro do modelo, foi utilizado o algoritmo de reclassificação em *Data Management Tools, Raster Tools, Reclassify* substituindo os valores obtidos pelos pesos atribuídos.

4.2 Modelo Matemático

O modelo adotado, adaptado de Hora (2012), relata a relação de cada atributo com um peso específico sendo pré-determinado em cada caso. Dentro do agrupamento da ameaça foram utilizados os atributos de declividade (*0-2% nota 10, 2 – 5% nota 9, 5 – 10% nota 7, acima nota 0*), hipsometria (*0 a 100% de risco*), distância dos corpos hídricos (*50 m, 100 m, 150 m e entre 200 m e 1000 m*) e ocorrência de inundações em chuvas anteriores (*nunca, cíclico, chuva forte, sempre*), sendo o peso individual de 20%, 20%, 30% e 30% respectivamente, como descrito na Equação 1.

$$AMEAÇA = (Dec * 0,2 + H * 0,2 + CA * 0,3 + Dist * 0,3) \quad (1)$$

Onde:

Dec = Declividade

H = Hipsometria

CA = Chuvas Anteriores

Dist = Distanciamento do corpo hídrico

No agrupamento vulnerabilidade, os atributos observados foram a densidade tipológica das habitações em porcentagem (classe e peso de vulnerabilidade: *tipo 1 – Barraco p10; tipo 2 – Casa Madeira p8; tipo 3 – Casa Material Simples p6; tipo 4 – Casa Madeira 2 pisos p4; Tipo 5 – Casa Alvenaria p2; Tipo 6 – Casa Alvenaria 2 pisos p1; Tipo 7 - Apto p0*), densidade populacional (*0 a 100% de risco*), e faixas etárias mais vulneráveis como as menores de 10 anos e as maiores de 65,

com peso individual de 25% cada. A Equação 2 mostra a relação dos pesos as variáveis.

$$Vulnerabilidade = \left(\frac{\sum Th * Pi}{\sum P} \right) * 0,25 + (Fe_{10} * 0,25) + (Fe_{65} * 0,25) + (Dpop * 0,25) \quad (2)$$

Onde:

Th = Tipologia de Habitação;

Pi = Peso da tipologia (10 a 0)

Fe10; Fe65 = Faixa etária vulnerável menor que 10 e maior que 65

Dpop = Densidade populacional

E por fim, a Equação 3 é usada para a determinação do Risco, sendo este classificado em Baixo, Médio, Alto e Muito Alto. Foi determinado 60% de importância para a ameaça e 40% para a vulnerabilidade devido este segundo ser um agravante do risco e mesmo não sendo em um lugar vulnerável, a ameaça é eminente. Na Figura 5 é esboçado as variáveis e seus pesos individuais.

$$RISCO = \frac{AMEAÇA * 6 + VULNERABILIDADE * 4}{10} \quad (3)$$

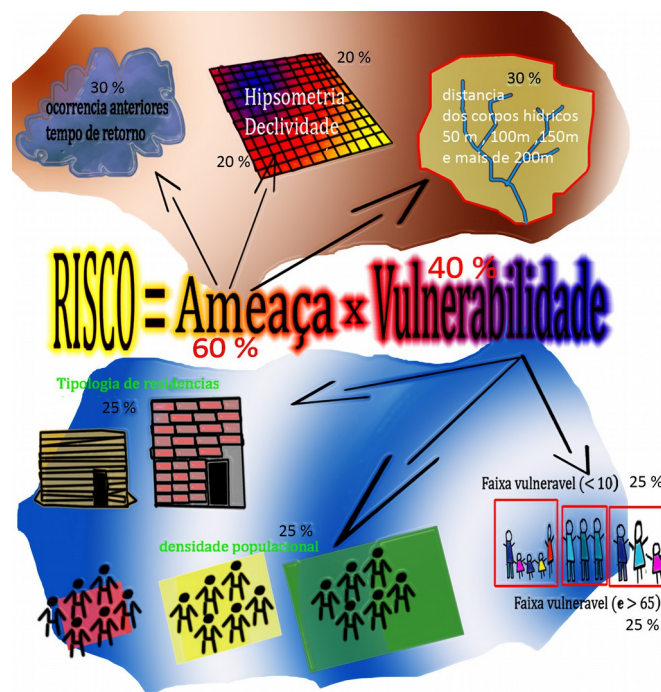


Figura 5 – Esboço das variáveis envolvidas na Avaliação de Risco (modificada de Hora, 2012)

5. Resultados e Discussões

5.1 –Regiões Administrativas Centro e Fragata

A descrição do local é dita como uma ocupação urbana em planície de inundação do Arroio Santa Bárbara e do Canal São Gonçalo. Terrenos planos de cotas baixas naturalmente sujeitos a inundações sazonais, suas edificações são mistas, com grau de vulnerabilidade médio a baixo. Vias predominantes pavimentadas, com sistema de drenagem pluvial deficiente. Foram construídos canais de drenagem e estações de bombeamento para facilitar o escoamento de águas em grandes cheias, porém quando são eventos extremos o sistema não é eficiente. Na figura 6 é representado toda a área assim como detalhes estruturais nos focos de alagamento.



Figura 6 – Área 1: Regiões Administrativas Centro e Fragata (CPRM,2013)

A Avenida Saldanha Marinho, que foi um braço do arroio Santa Barbara, hoje é um dos locais de maior incidência de alagamentos, devido sua posição onde era o antigo leito do rio e parte de baixa ao lado das lombadas da planície costeira.

Nos Mapas 1, 2 e 3 estão expressos os dados socioeconômicos de densidade de população, faixas etárias vulneráveis menor que 10 anos e maiores que 65 anos respectivamente, relativos aos índices de vulnerabilidade dos setores censitários desta região, segundo IBGE (2010).

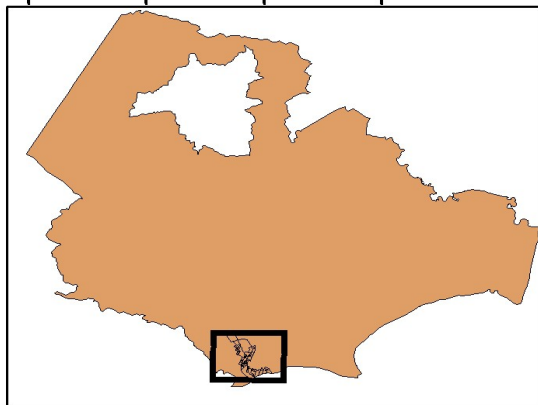
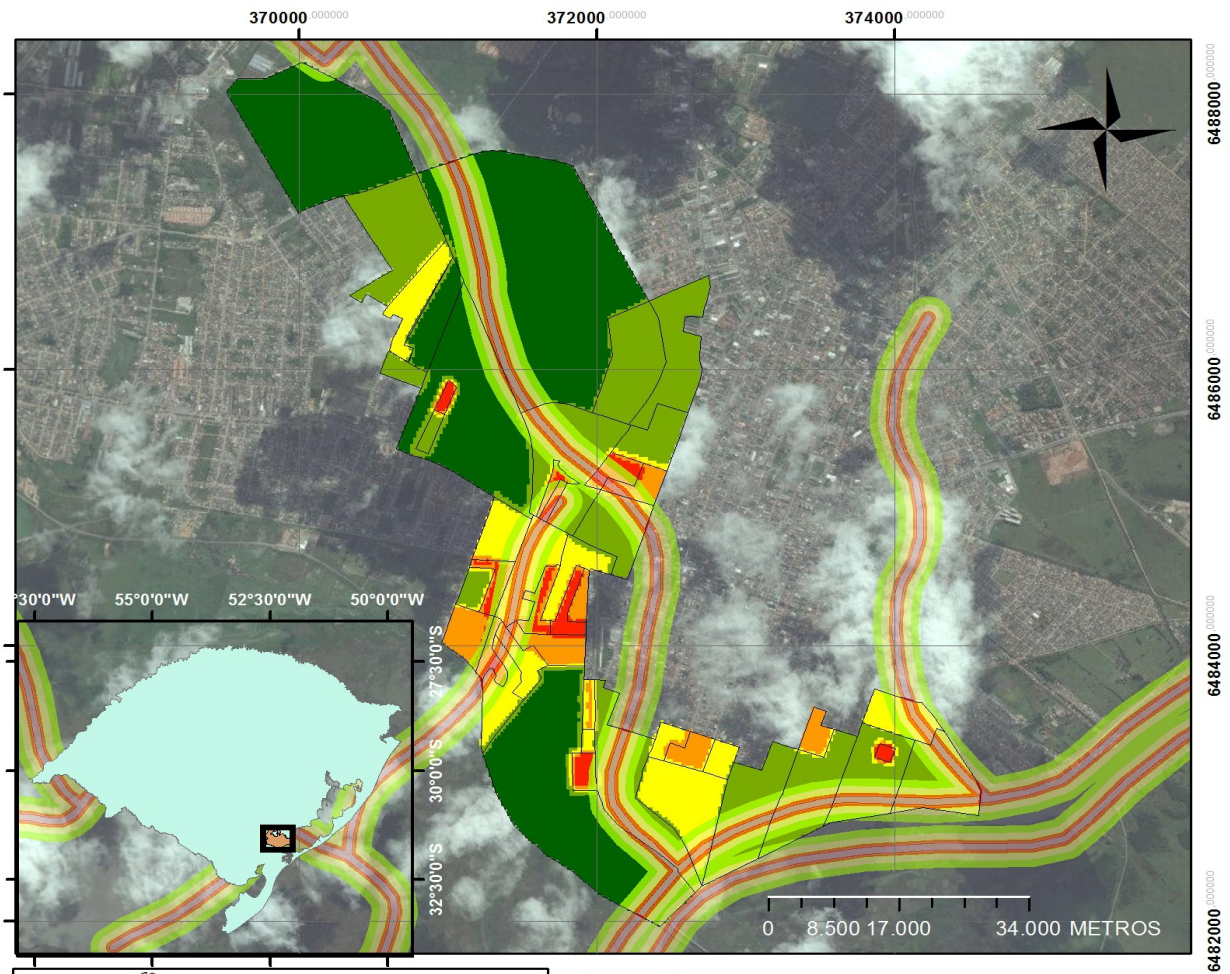
Apesar de ser a região administrativa mais populosa, é a que mais apresenta adequações por ser mais próximo ao centro da cidade, onde há concentração de prédios e obras sanitárias. Os setores que margeiam o canal São Gonçalo são onde se mais apresentam um número maior de crianças, assim como uma densidade populacional maior.

As regiões próximas ao dique do canal, assim como as próximas as doquinhas, são regiões mais humildes, onde as casas de madeira apresentam-se em maior número e as vezes casas improvisadas de materiais de reaproveitamento. Muitas habitações não possuem nem ponto de energia elétrica convencional, sendo geralmente usos indevidos de instalações clandestinas, popularmente chamados de “benjamim”.

Os Mapas 4 e 5 representam as características físicas do terreno, como hipsometria e curvas de nível. Por esta área se encontrar próximo a planície costeira, e das áreas de banhados, sua amplitude altimétrica não é muito grande.

Após a modelagem, o resultado obtido ficou apresentado como no Mapa 6, sendo seus valores divididos em 4 classes. Os locais aonde se apresentaram como áreas de risco muito alto foram os mais próximos aos leitos de rio assim como onde houve mais casas vulneráveis, como do tipo 1 e 2, e aonde apresentavam alto índice de densidade populacional. Faltou uma coleta melhor de dados sobre a precipitação das chuvas, além do tempo de retorno das mesmas, foi utilizado apenas os locais onde já se apresentaram as inundações.

Regiões Administrativas Centro e Fragata



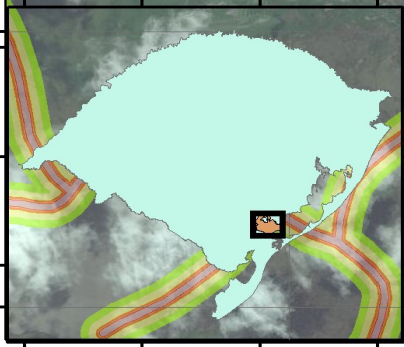
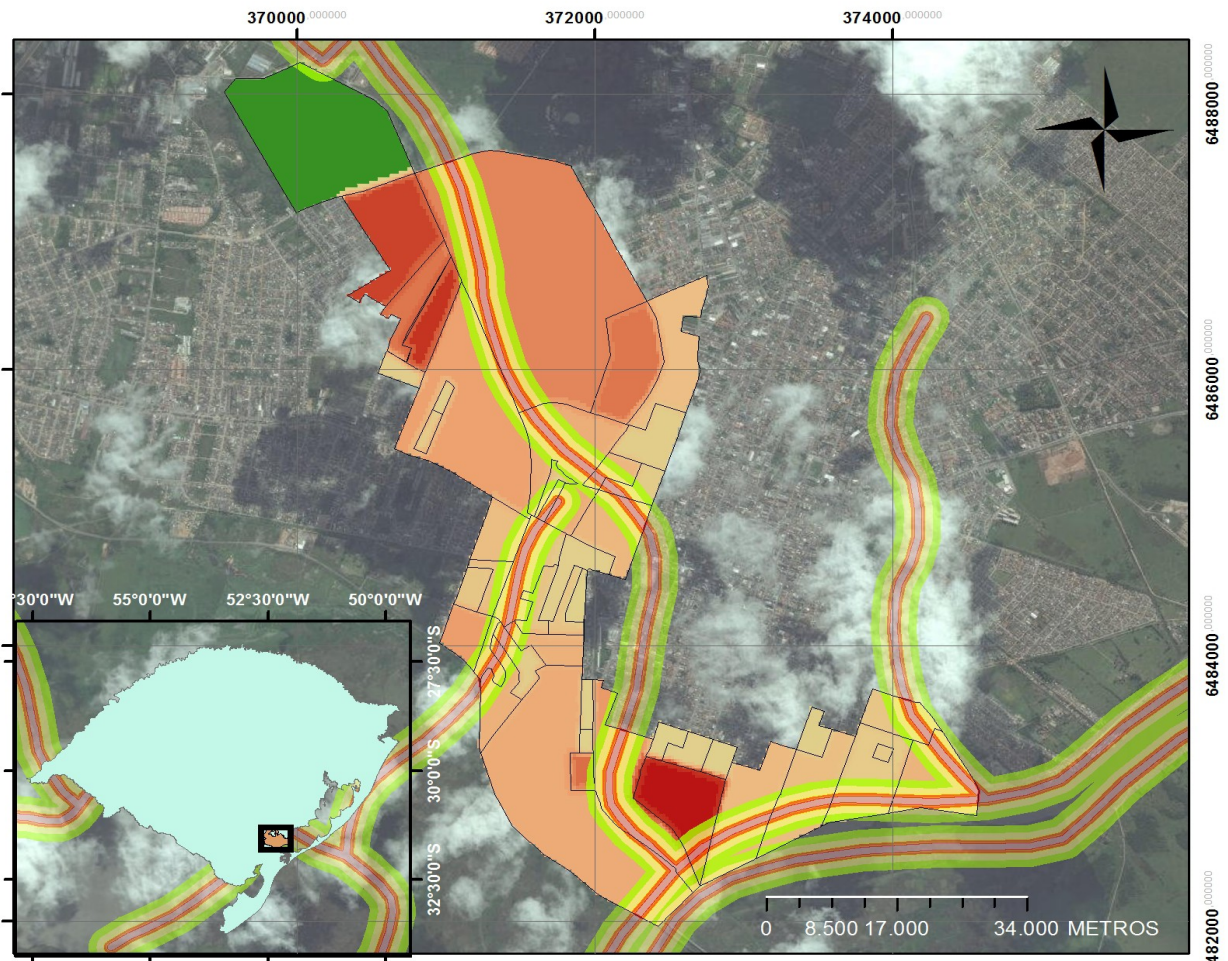
Legenda

- AREA 01 - SETORES CENSITÁRIOS
- DENSIDADE POPULACIONAL[hab/km²]**
- VALOR APROXIMADO**
- 49- 1.152
- 1.152 - 3.909
- 3.909 - 6.666
- 6.666 - 9.424
- 9.424 - 28.173
- DISTANCIA DOS CORPOS HIDRICOS**
- 30m
- 50m
- 100m
- 150m

Coordinate System: SIRGAS 2000 UTM Zone 22S
 Projection: Transverse Mercator
 Datum: SIRGAS 2000
 False Easting: 500.000,0000
 False Northing: 10.000.000,0000
 Central Meridian: -51,0000
 Scale Factor: 0,9996
 Latitude Of Origin: 0,0000
 Units: Meter

Mapa 1 – Densidade Populacional aproximada [hab/km²] (IBGE,2010)

Regiões Administrativas Centro e Fragata



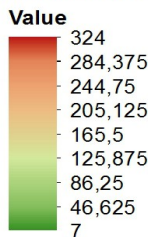
0 8.500 17.000 34.000 METROS

INTERPOLAÇÃO KRIGAGEM - FAIXA ETARIA MAIS VULNERÁVEL

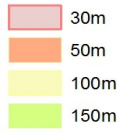
Legenda

AREA 01 - SETORES CENSITÁRIOS

MENORES QUE 10 ANOS



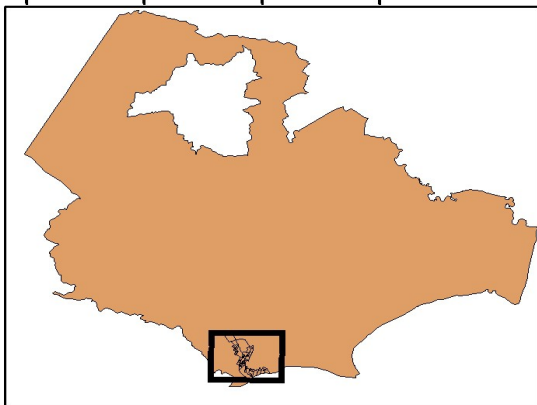
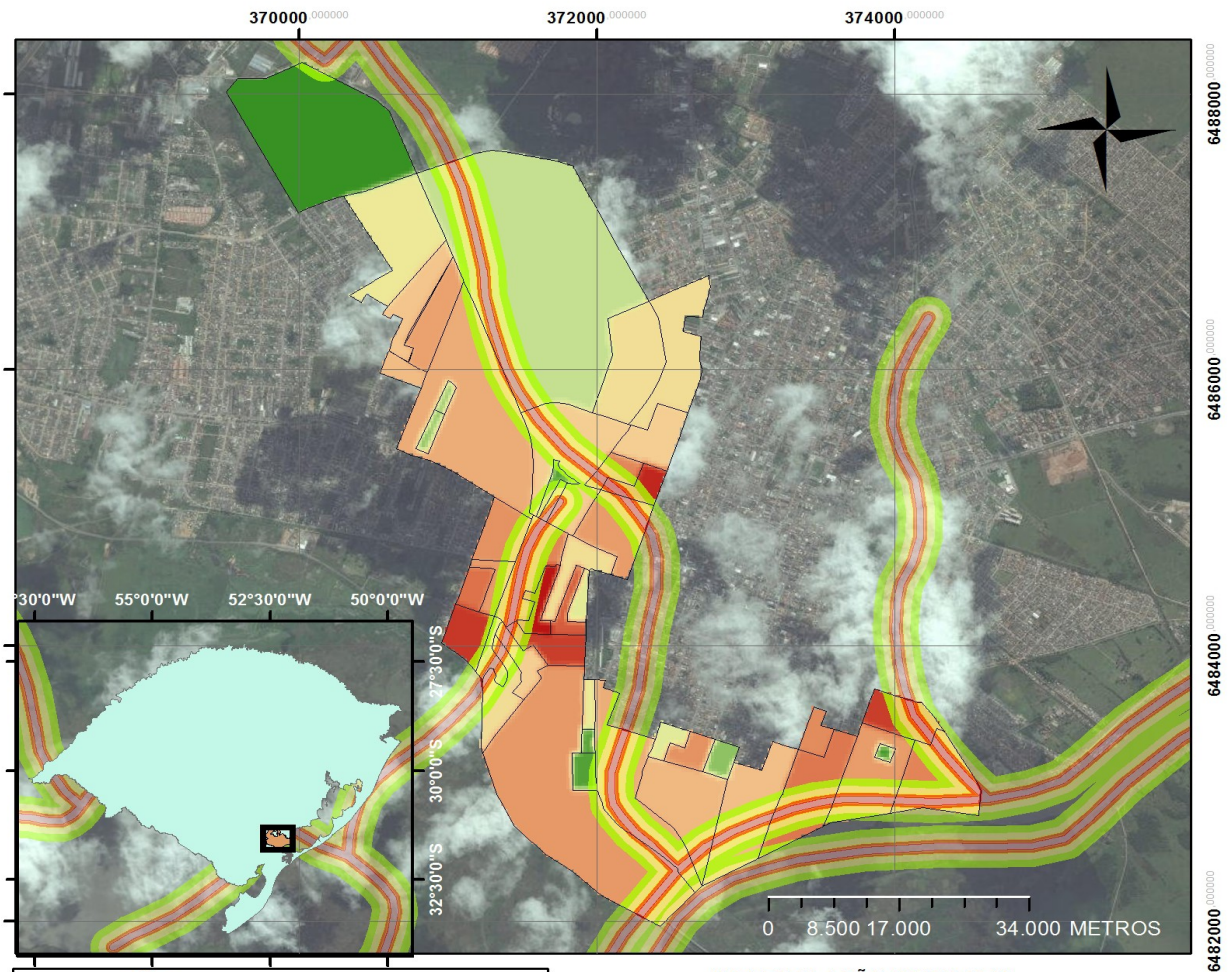
DISTANCIA DOS CORPOS HIDRICOS



Coordinate System: SIRGAS 2000 UTM Zone 22S
 Projection: Transverse Mercator
 Datum: SIRGAS 2000
 False Easting: 500.000,0000
 False Northing: 10.000.000,0000
 Central Meridian: -51,0000
 Scale Factor: 0,9996
 Latitude Of Origin: 0,0000
 Units: Meter

Mapa 2 – Faixa etária mais vulnerável: menores que 10 anos (IBGE, 2010)

Regiões Administrativas Centro e Fragata



Coordinate System: SIRGAS 2000 UTM Zone 22S
 Projection: Transverse Mercator
 Datum: SIRGAS 2000
 False Easting: 500.000,0000
 False Northing: 10.000.000,0000
 Central Meridian: -51,0000
 Scale Factor: 0,9996
 Latitude Of Origin: 0,0000
 Units: Meter

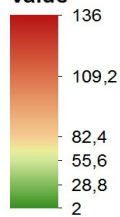
INTERPOLAÇÃO KRIGAGEM - FAIXA ETÁRIA MAIS VULNERÁVEL

Legenda

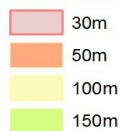
□ AREA 01 - SETORES CENSITÁRIOS

MAIORES QUE 65 ANOS

Value

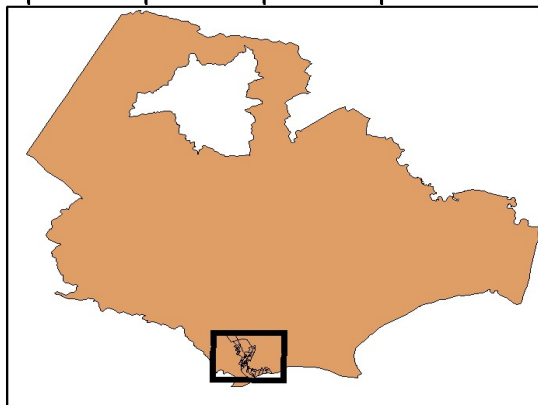
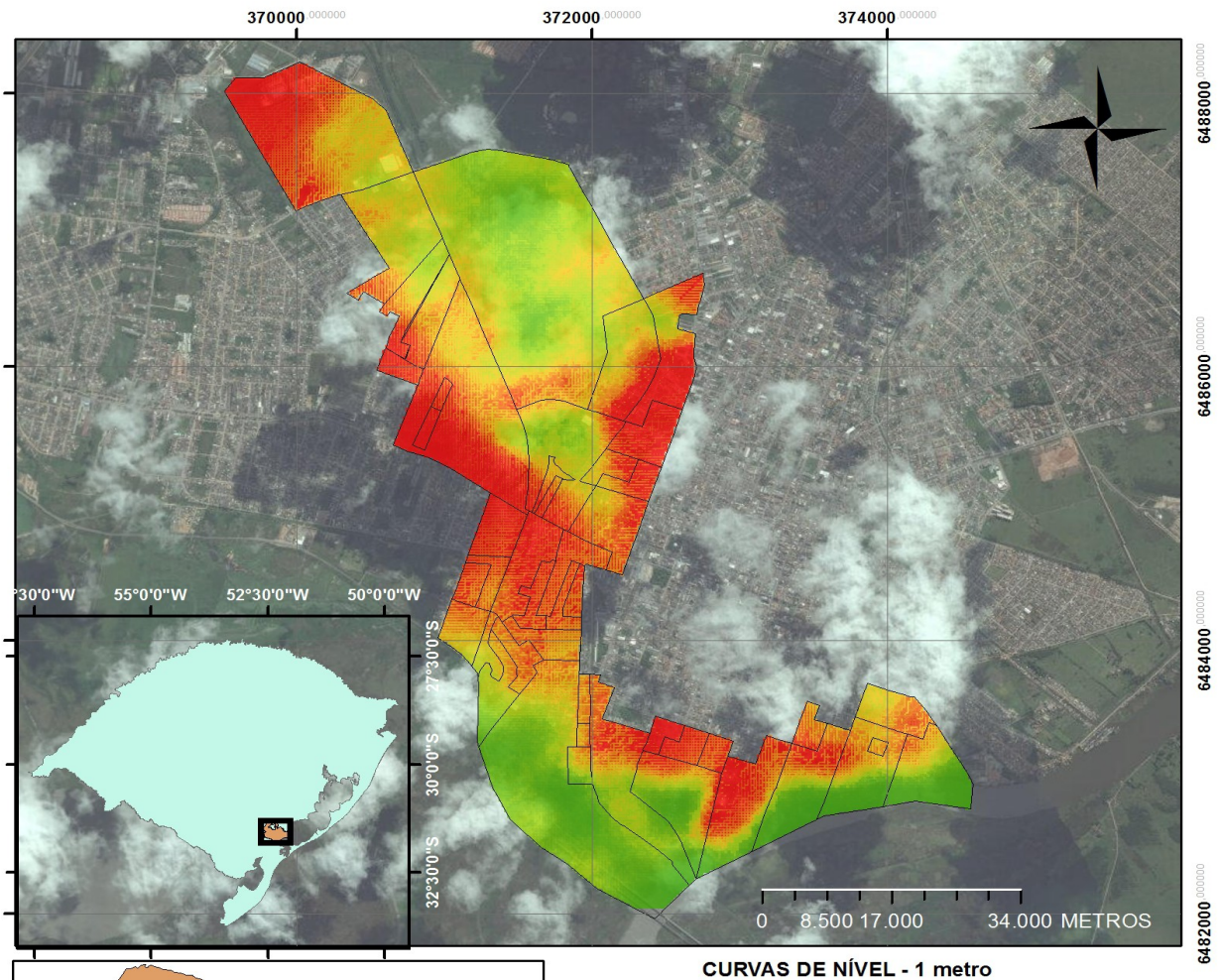


DISTANCIA DOS CORPOS HIDRICOS



Mapa 3 – Faixa etária mais vulnerável: maiores que 65 anos (IBGE,2010)

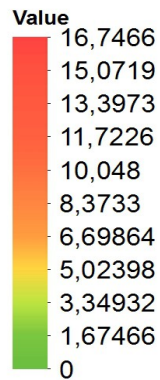
Regiões Administrativas Centro e Fragata



Legenda

□ AREA 01 - SETORES CENSITÁRIOS

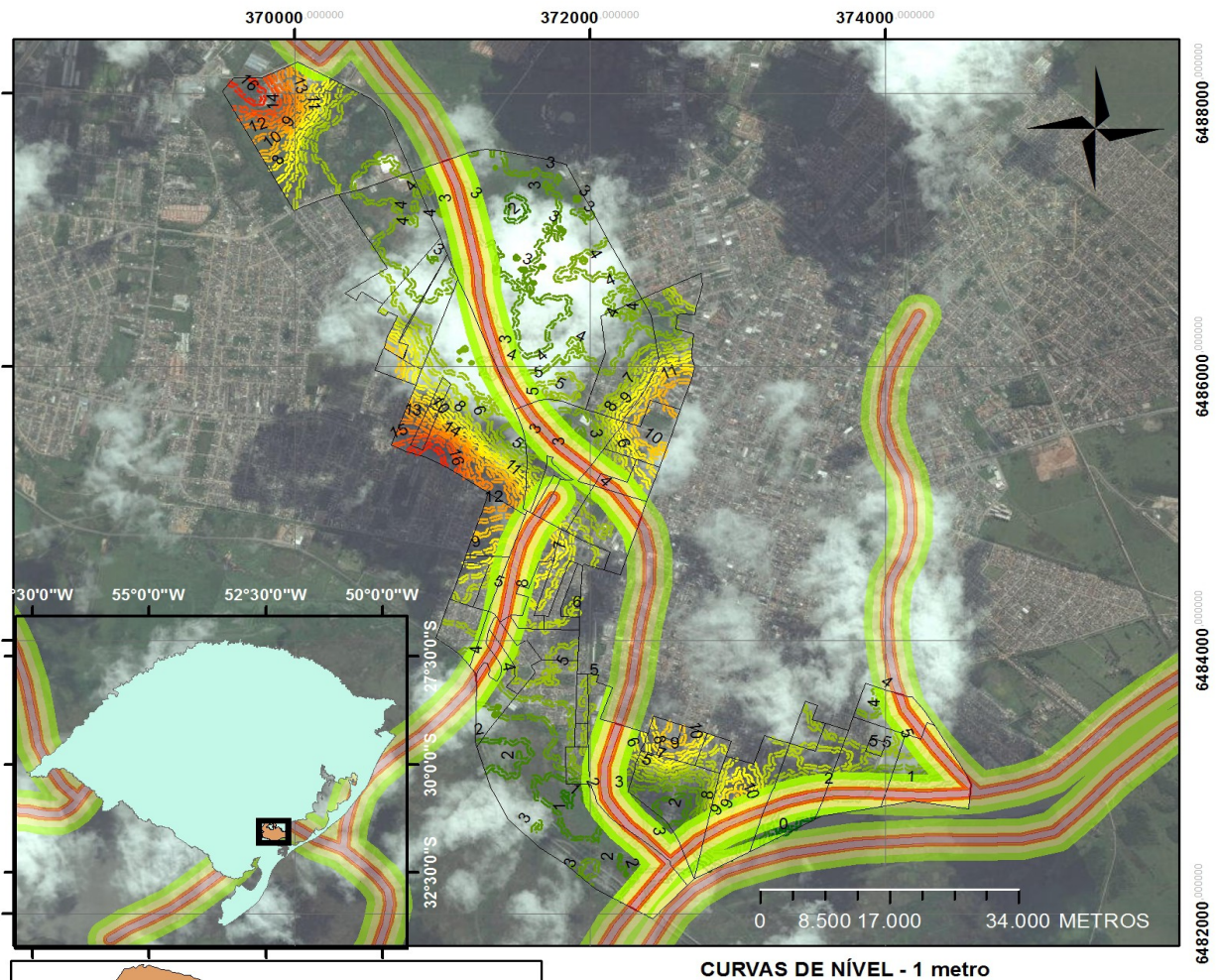
ALTIMETRIA (METROS) - SRTM



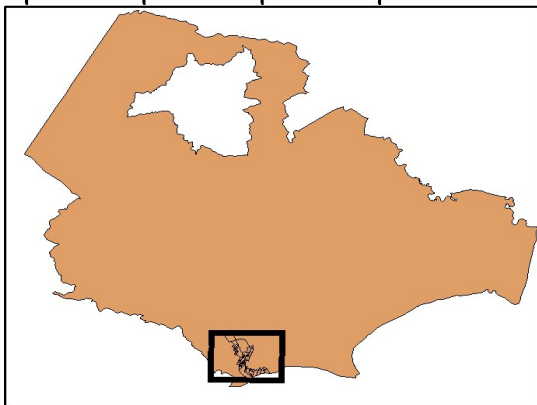
Coordinate System: SIRGAS 2000 UTM Zone 22S
 Projection: Transverse Mercator
 Datum: SIRGAS 2000
 False Easting: 500.000,0000
 False Northing: 10.000.000,0000
 Central Meridian: -51,0000
 Scale Factor: 0,9996
 Latitude Of Origin: 0,0000
 Units: Meter

Mapa 4 – Hipsometria da área.

Regiões Administrativas Centro e Fragata



CURVAS DE NÍVEL - 1 metro



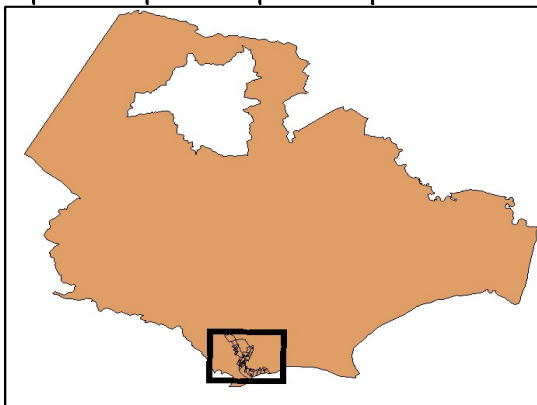
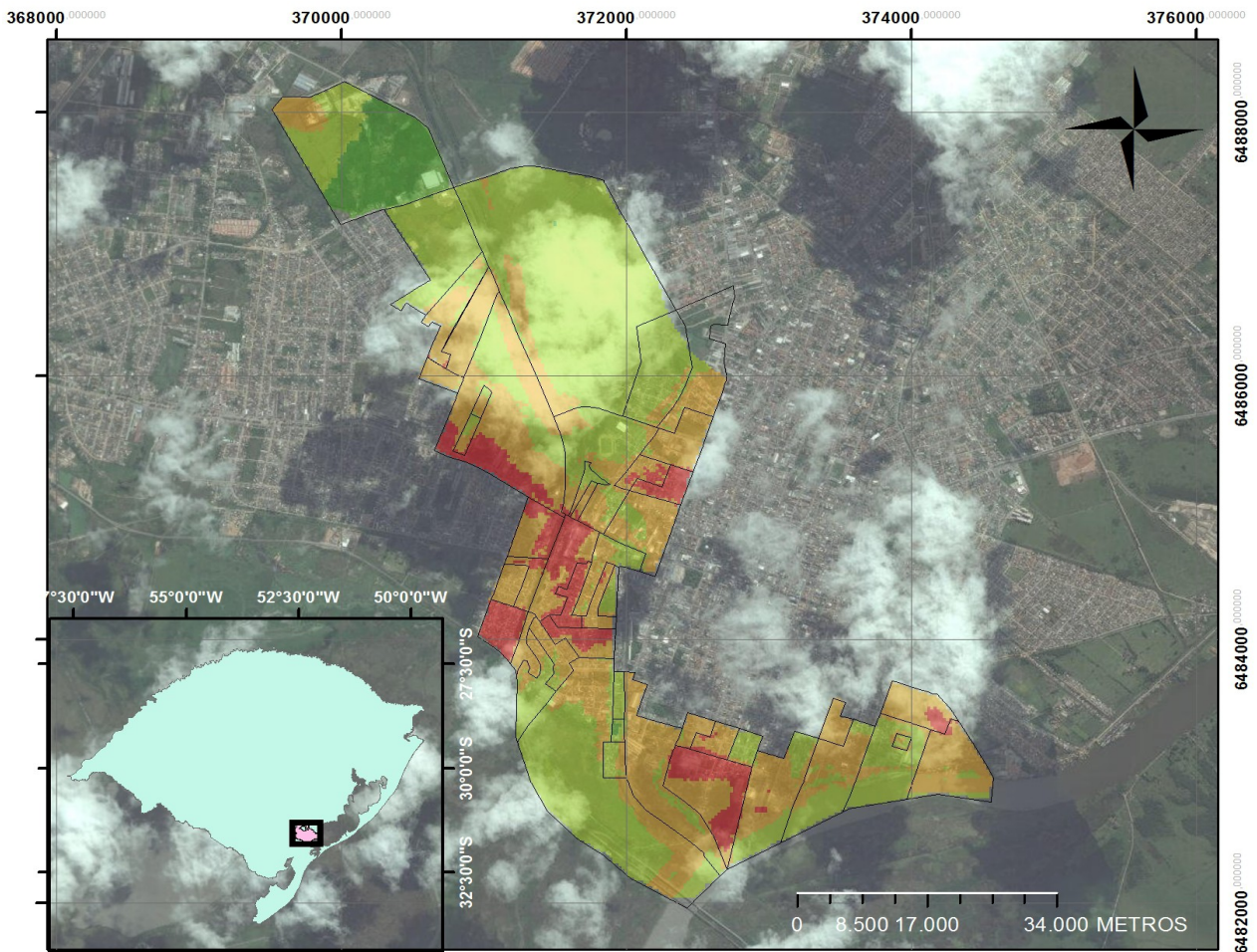
Legenda

 AREA 01 - SETORES CENSITÁRIOS	CURVA DE NIVEL
 30m	DISTANCIA DOS CORPOS HIDRICOS
 50m	 0
 100m	 1
 150m	 2
	 3
	 4
	 5
	 6
	 7
	 8
	 9
	 10
	 11
	 12
	 13
	 14
	 15
	 16

Coordinate System: SIRGAS 2000 UTM Zone 22S
 Projection: Transverse Mercator
 Datum: SIRGAS 2000
 False Easting: 500.000,0000
 False Northing: 10.000.000,0000
 Central Meridian: -51,0000
 Scale Factor: 0,9996
 Latitude Of Origin: 0,0000
 Units: Meter

Mapa 5 – Curvas de nível com equidistância de 1 metro

Regiões Administrativas Centro e Fragata



Coordinate System: SIRGAS 2000 UTM Zone 22S
 Projection: Transverse Mercator
 Datum: SIRGAS 2000
 False Easting: 500.000,0000
 False Northing: 10.000.000,0000
 Central Meridian: -51,0000
 Scale Factor: 0,9996
 Latitude Of Origin: 0,0000
 Units: Meter

Mapa 6 – Classificação de Risco da Área 1 – Centro e Fragata

6. Considerações Finais

Os resultados obtidos foram eficazes para se avaliar o risco deste setor, porém a falta de tempo de se avaliar os outros locais fez que inviabilizasse a complementação do trabalho, pois em cada setor há uma necessidade específica.

O modelo trabalhado precisa ser adequado as características de inundação e tempo de retorno. Os locais aonde se apresentaram como risco muito alto são setores de baixa altitude, alta densidade populacional, e residências precárias e vulneráveis. As vias principais que se comportam como divisor de águas, são áreas das quais propiciam a inundação pois mesmo sendo cotas altas, elas são planas em sua extensão.

Já nos setores da região próximo ao canal São Gonçalo, obtiveram-se resultados entre alto e muito alto, sendo as regiões aonde existe a maior concentração de casas de material simples e de madeira de 2 andares nas regiões ribeirinhas, aonde muitos dos habitantes são de origem pobre e dependem de trabalho informal, como reciclagem ou pesca, também foram observados risco alto e muito alto.

Os locais com classe de médio e baixo risco foi devido tanto a menor concentração de casas em situação de vulnerabilidade menor, como maior distanciamento dos corpos hídricos.

Para as outras áreas da ação, é necessário que haja uma caracterização das variáveis conforme a região, havendo distinção das zonas rurais e urbanas, pois para cada tipo de região há um condicionamento diferente.

Referências Bibliográficas

CASTRO, A. L. C. **MANUAL DE PLANEJAMENTO EM DEFESA CIVIL: VOLUME I.** Ministério da Integração Nacional. Secretária de Defesa Civil. IMPRENSA NACIONAL. BRASÍLIA, DF, 1999.

FURLAN *et al.* **VULNERABILIDADE SOCIOECONÔMICA À OCORRÊNCIA DE EVENTOS EXTREMOS: PROPOSTA METODOLÓGICA.** Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Curitiba. PR. Brasil.2011. INPE.

HANSMANN, H. Z. **DESCRIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS PRINCIPAIS ENCHENTES E ALAGAMENTOS DE PELOTAS-RS.** 2013. 63f.Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

HORA, S.B. **MAPEAMENTO E AVALIAÇÃO DO RISCO A INUNDAÇÃO DO RIO CACHOEIRA EM TRECHO DA ÁREA URBANA DO MUNICÍPIO DE ITABUNA/BA.** Sociedade & Natureza, Uberlândia, 21 (2):pag57-75, ago. 2009

KOBIYAMA *et al.* **PREVENÇÃO DE DESASTRES NATURAIS CONCEITOS BÁSICOS.** Florianópolis: Ed. Organic Trading,2006.109p.

POLÍTICA NACIONAL DA DEFESA CÍVIL Secretaria de Nacional de Defesa Civil. Ministério da Integração Nacional. Brasília. 2007.

PREFEITURA MUNICIPAL DE PELOTAS. 2014 – Disponível em: <http://www.pelotas.rs.gov.br/cidade/historia.php>. Acessado em: 20/05/2015.

SAITO, S. M. **DESASTRES NATURAIS e GEOTECNOLOGIAS: Vulnerabilidade.** Caderno Didático nº06 – GEODESASTRES SUL – Universidade Federal de Santa Maria – 2011.

Shuttle Radar Topographic Mission. Arquivo“.tif” disponível em SRTM Tile Grabber <http://dwtkns.com/srtm/> acesso em 20/05/2015

SILVA, C. S. **INUNDAÇÕES EM PELOTAS/RS: O USO DE GEOPROCESSAMENTO NO PLANEJAMENTO PAISAGÍSTICO E AMBIENTAO.** 2007. 196 p. Dissertação (Mestrado programa de pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

SILVA, D. R. A. **AÇÃO EMERGENCIAL PARA DELIMITAÇÃO DAS ÁREAS EM ALTO E MUITO ALTO RISCO A ENCHENTES, INUNDAÇÕES E MOVIMENTOS DE MASSA.** CPRM Serviço Geológico do Brasil. Departamento de Gestão Territorial. PELOTAS. 2013