

CARTA DE RISCO A MOVIMENTOS DE MASSA E INUNDAÇÃO DO MUNICÍPIO DE PORTO ALEGRE – RS: UMA ABORDAGEM PRELIMINAR A PARTIR DE DADOS DE SUSCETIBILIDADE E DE VULNERABILIDADE

Débora Lamberty ¹; José Luiz Kepel Filho ²; Fábio de Lima Noronha ³

Resumo – Gerar produtos cartográficos para a gestão de riscos a desastres naturais é o desafio da sociedade brasileira frente à Política Nacional de Proteção e Defesa Civil e ao Plano Nacional de Gestão de Risco e Resposta a Desastres Naturais. O objetivo deste trabalho é gerar uma carta de risco a movimentos de massa e inundação do município de Porto Alegre, a partir de dados de suscetibilidade e de vulnerabilidade. A carta de risco foi obtida por meio da soma das cartas de suscetibilidades a movimentos de massa e à inundação e da carta de vulnerabilidade em matriz 3 x 4. Foram definidas quatro classes de risco para cada processo: movimentos de massa e inundação. Para a validação do modelo utilizaram-se dados do projeto “Ação Emergencial para Delimitação de Áreas em Alto e Muito Alto Risco a Enchentes, Inundações e Movimentos de Massa do município de Porto Alegre”. O mapa final se mostra satisfatório e representa a realidade do município de Porto Alegre. As vantagens deste método estão na utilização de dados públicos, baixo custo operacional, rapidez e possibilidade de replicação do método de maneira automatizada. A principal limitação está na escala dos dados de entrada e na necessidade de melhorar a escala dos dados de saída. O modelo pode ser aplicado na gestão territorial para fins informativos e consultivos auxiliando nas tomadas de decisão e servindo de base para projetos de maior detalhamento.

Palavras-Chave – Vulnerabilidade, suscetibilidade, áreas de risco.

Abstract – Generation of natural disaster and risk management cartographic products are the Brazilian society’s challenges in terms of Nacional Protection and Civil Defense Politics, and Natural Disaster Risk Management national planning. The goal of this paper is to generate the map of landslide and flooding risk, from Porto Alegre city, using susceptibilty and vulnerability data. The Risk map was obtained by summing of susceptibilty and vulnerability maps, in a 3 x 4 matrix. Four classes of risk were defined for each process mapped: landslides and flooding. In order to validate the model, data from Emergency Action for Delimitation of areas with high and very high risk to flooding and landslides in Porto Alegre city project, were used. The final map is satisfactory and represents the reality from Porto Alegre city. This method advantages are the use of public data, low costs of operation, quickness and the possibility of automatic replication. The main limitation is the entrance data scale, and the need for improvement of the final products scale. The model can be used in land management for informative and advisory purposes, assisting in decision-making and to provide the basis for more detailed projects.

Keywords – Vulnerability, susceptibilty, risk areas.

¹ Geól., Serviço Geológico do Brasil – CPRM, Superintendência Regional de Porto Alegre, (51) 3406-7378, debora.lamberty@cprm.gov.br

² Geól., Serviço Geológico do Brasil – CPRM, Superintendência Regional de Porto Alegre (51) 3406-7388, jose.kepel@cprm.gov.br

³ Geól., Serviço Geológico do Brasil – CPRM, Superintendência Regional de Porto Alegre (51) 3406-7377, fabio.noronha@cprm.gov.br

1. INTRODUÇÃO

Em decorrência de inúmeros eventos climáticos extremos que ocorreram no Brasil nos últimos anos, como em Santa Catarina em 2008, Alagoas e Pernambuco em 2010, na região serrana do Rio de Janeiro em 2011 e 2012, em Minas Gerais e Espírito Santo em 2012, Rio Grande do Sul e Santa Catarina em 2014, e da publicação da Lei 12.608 de 10 de abril de 2012 com a instituição da Política Nacional de Proteção e Defesa Civil e do Plano Nacional de Gestão de Risco e Resposta a Desastres Naturais, diversas iniciativas foram tomadas para minimizar os impactos dos desastres naturais na sociedade brasileira. A integração de instituições do Governo, em todas as instâncias - federal, estadual e municipal, com universidades e outras empresas tem gerado diferentes produtos para a gestão de risco a desastres naturais como cartas geotécnicas, de suscetibilidade, de vulnerabilidade e de risco.

Neste cenário, o presente trabalho tem por objetivo gerar uma carta de risco do município de Porto Alegre, capital do estado do Rio Grande do Sul, a partir de cartas de vulnerabilidade e suscetibilidade. Para regradar o desenvolvimento do trabalho foram utilizados os conceitos de suscetibilidade, vulnerabilidade e risco sintetizados na tabela 1.

Tabela 1. Conceitos considerados neste trabalho.

<i>Suscetibilidade</i>	Propensão dos terrenos ao desenvolvimento de um fenômeno ou processo do meio físico. (IPT; CPRM, 2014)
<i>Vulnerabilidade</i>	Característica de uma pessoa ou grupo e sua atual situação que influencia na capacidade de prever, lidar, resistir e se recuperar do impacto de um perigo natural (um evento ou processo natural extremo). (Wisner et al., 2003, p.11)
<i>Risco</i>	Relação entre a possibilidade de ocorrência de um evento, representado pela suscetibilidade, e as consequências sociais e/ou econômicas sobre um elemento, grupo ou comunidade. (Cerri e Amaral, 1998, p.301)

O município de Porto Alegre não tem um notável histórico de desastres naturais, a não ser a cheia de 1941 que não se repetiu em virtude de diversas medidas estruturais tomadas pela administração pública. Entretanto, na geomorfologia do município, destacam-se colinas a morros altos e planícies fluviais e fluvio-lacustres, que apresentam suscetibilidade para movimentos de massa e inundações, respectivamente. A população de Porto Alegre, conforme dados do Censo de 2010, é de 1.409.351 habitantes ocupando uma área de aproximadamente 497 km² (IBGE, 2015), sendo este o mais importante município do Rio Grande do Sul e a capital do estado.

Para a aplicação deste método, considerou-se o risco como uma função da suscetibilidade a movimentos de massa e à inundação de uma determinada área ocupada e da vulnerabilidade socioeconômica da população que habita esta região. As cartas de suscetibilidade e vulnerabilidade do município de Porto Alegre e seus respectivos métodos são apresentados a seguir.

2. SUSCETIBILIDADE DO MUNICÍPIO DE PORTO ALEGRE

O mapeamento de suscetibilidade é uma importante ferramenta na identificação, gestão e manejo de áreas predispostas a eventos de escorregamento de massa e inundações, alvos deste estudo. Este tipo de mapeamento define áreas propensas a diversos tipos de eventos, com base em parâmetros físicos e estatísticos, sem levar em conta a variável temporal e de recorrência. A suscetibilidade está diretamente relacionada ao perigo natural de uma área, ou seja, indica a possibilidade de ocorrência de um evento.

2.1. Método

Para a elaboração da carta de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa, corridas, enxurradas e inundações do município de Porto Alegre, foi aplicado o método proposto pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT, em parceria com o Serviço Geológico do Brasil – CPRM. (IPT;CPRM, 2014). Este método consiste principalmente em um levantamento estatístico e morfométrico, de variáveis derivadas de modelo digital de elevação - MDE e fotointerpretação.

Realizou-se um levantamento bibliográfico e de banco de dados em formato SIG e a elaboração dos mapas temáticos a partir desses dados compilados, tais como MDE, mapa de relevo, mapa de declividade, mapa de curvatura de terreno, fotointerpretação de feições lineares. A partir dos mapas temáticos, foram realizadas modelagens estatísticas e morfométricas em plataforma SIG, com vista a elaborar pré-mapas de suscetibilidade, que posteriormente foram validados em campo e revisados e consolidados com as informações relevantes obtidas em campo. Estes mapas são classificados em três graus de suscetibilidade: baixo, médio e alto, e indicam a menor ou maior propensão à deflagração de eventos de movimentos de massa e inundação.

2.2. Resultados

O modelo de suscetibilidade, empregado no mapeamento do município de Porto Alegre, se mostrou bastante eficiente na classificação dos graus de suscetibilidade, conforme validação em campo.

Cada classe do modelo foi comparada aos mapas temáticos e ficou evidenciado que os graus mais altos de suscetibilidade a movimentos de massa estão em áreas de maior declividade, com vertentes côncavas e retilíneas, e em relevos de altas amplitudes como morros altos e morros baixos. Para as inundações, foi definido que as classes mais suscetíveis se encontravam em áreas de muito baixas declividades, e que estão em trechos de planícies fluviais e fluvio-lacustres, com altura de inundação de até 2m. A carta de suscetibilidade a movimentos de massa e inundação de Porto Alegre é apresentada na figura 1 e é produto do Projeto Cartas de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundações (CPRM, 2015).

3. VULNERABILIDADE DO MUNICÍPIO DE PORTO ALEGRE

A avaliação da vulnerabilidade é um esforço fundamental dentro de diferentes comunidades científicas, como a redução do risco de desastres, gestão de emergências e adaptação às mudanças climáticas. A este respeito, há um consenso emergente de que eventos extremos e desastres naturais não necessariamente causam impactos extremos e danos graves, mas sim que a vulnerabilidade de uma sociedade, comunidade ou sistema (infraestrutura, sistema social-ecológico etc.) exposto para o perigo determinado se traduz em desastre. Obter um mapa de vulnerabilidade se torna essencial para avaliar o grau de risco que determinada comunidade está exposta.

3.1. Método

Para a geração da carta de vulnerabilidade de Porto Alegre foram utilizados dados estatísticos censitários referentes ao Censo 2010. A análise foi feita utilizando os dados dos setores censitários, que conforme IBGE (2011) é “a menor unidade de análise territorial, formada por área contínua, integralmente contida em área urbana ou rural, com dimensão adequada à operação de pesquisas”. Foram analisadas seis variáveis, conforme proposto por Reis et al (2014): número de moradores, média de moradores por habitação, densidade demográfica, percentual de dependentes, percentual de analfabetos e renda. A tabela 2 sintetiza os dados censitários que foram utilizados como indicadores de vulnerabilidade socioeconômica.

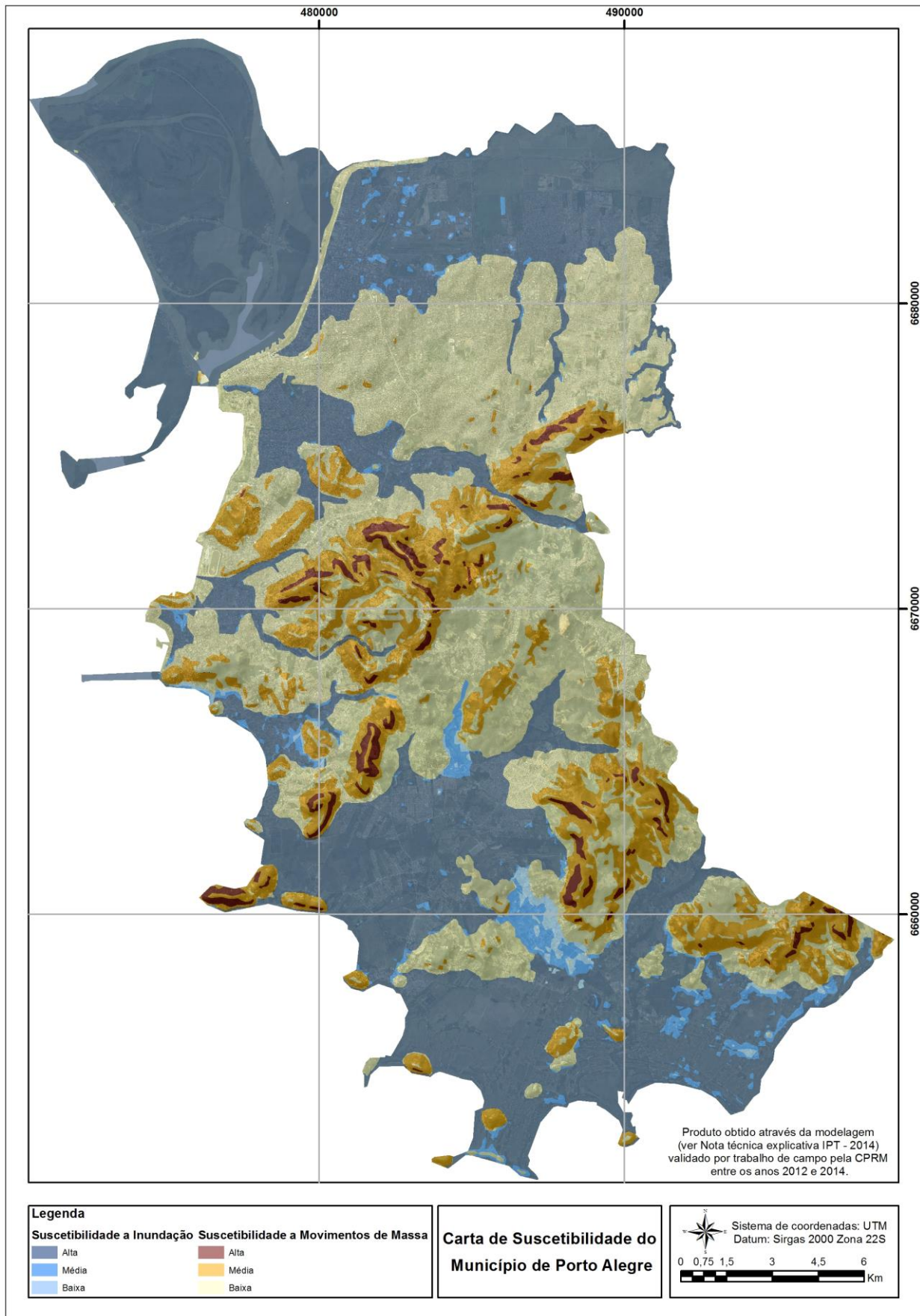


Figura 1. Carta de Suscetibilidade a Movimentos de Massa e Inundações de Porto Alegre.

Além dessas seis variáveis censitárias, foi utilizado o índice de desenvolvimento humano municipal – IDHM (PNUD, 2013), que a partir de três dimensões do desenvolvimento humano – longevidade, educação e renda - é utilizado como a capacidade de suporte do município em caso de um evento extremo.

Tabela 2. Variáveis censitárias e variáveis de vulnerabilidade

Variáveis censitárias	Variáveis de vulnerabilidade
Número de moradores por setor	Número de moradores no setor – Nm
Média de moradores por domicílio	Média de moradores por domicílio - Mm
Densidade demográfica (hab/km ²)	Densidade demográfica (hab/km ²) - Dd
Percentual da população acima de 60 anos	Percentual de dependência de idosos e jovens – Pd
Percentual da população abaixo de 14 anos	
Percentual de pessoas analfabetas acima de 12 anos	Percentual de analfabetos acima de 12 anos – Pa
Percentual de responsáveis sem rendimento	Renda do responsável de até 1 salário mínimo - R
Percentual de responsáveis com rendimento de até 1 salário mínimo	

Extraído de Reis et al., 2014

Desta maneira, o índice de vulnerabilidade – IV – é obtido por meio da expressão:

$$IV = \frac{Nm+Mm+Dd+Pd+Pa+R}{IDHM}$$

Os valores de IV, obtidos por meio da fórmula supracitada, são normalizados e variam de 0 a 1, sendo 0 a menor vulnerabilidade e 1 a maior vulnerabilidade. Para as áreas classificadas pelo IBGE como aglomerados subnormais, ou seja, aquelas caracterizadas por um conjunto de, no mínimo, 51 unidades habitacionais carentes, em sua maioria, de serviços públicos essenciais, como coleta de lixo, rede de esgoto, rede de água, ocupando terreno de propriedade alheia e estando dispostas de forma desordenada e/ou densa (IBGE, 2013), foi atribuído um valor de IV igual a 1, isto é, máxima vulnerabilidade, uma vez que se entende a criticidade e ausência de resiliência destes setores. Trinta setores censitários não continham nenhum tipo de informações e foram excluídos das modelagens.

Foram definidas quatro classes de vulnerabilidade a partir do escalonamento dos índices de vulnerabilidade. As quebras foram definidas por desvio quartílico, assim como proposto por Goerl et al (2012).

3.2. Resultados

Para a carta de vulnerabilidade foram definidas quatro classes: baixa, média, alta e muito alta. Da área total do município 5,9% corresponde a regiões de muito alta vulnerabilidade, 4,6% de alta vulnerabilidade, 9,2% de média vulnerabilidade e de 80,3% corresponde às áreas de vulnerabilidade baixa. A carta de vulnerabilidade gerada e posteriormente aplicada na geração da carta de risco é apresentada na figura 2.

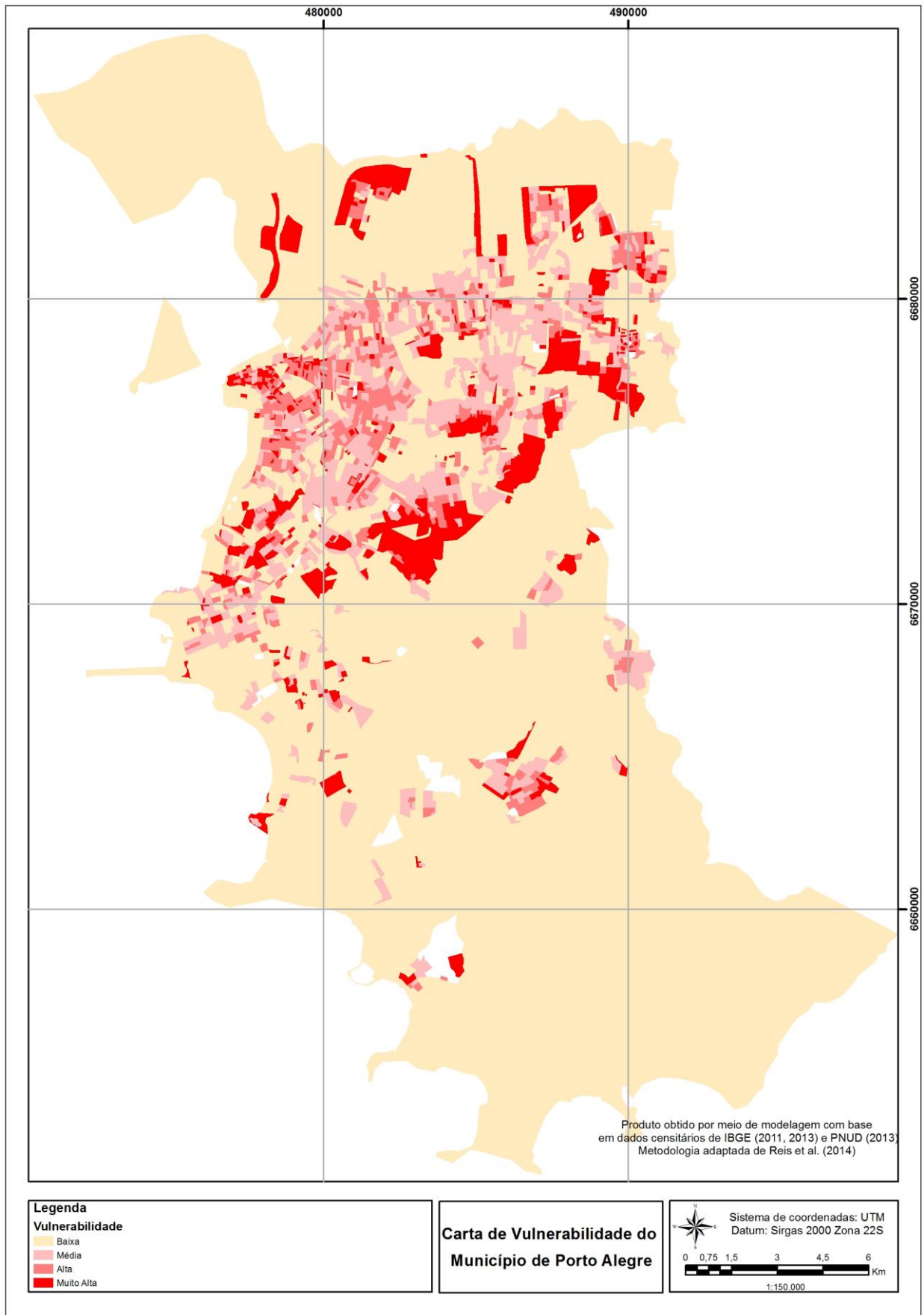


Figura 2. Carta de Vulnerabilidade Socioeconômica de Porto Alegre.

4. CARTA DE RISCO DO MUNICÍPIO DE PORTO ALEGRE

Estimar as áreas de risco de um município é essencial para a gestão do território, reconhecimento de áreas que merecem atenção da administração pública e para o conhecimento e preparação da população para caso de eventos climáticos extremos. Um método para a obtenção de mapas de risco ainda é muito discutido no Brasil, entretanto entende-se que o risco é uma situação de perigo, perda ou dano, ao homem e a suas propriedades, em razão da possibilidade de ocorrência de um processo, induzido ou não (Cerri e Amaral, 1998, p.301).

4.1 Método

Para a elaboração da carta de risco do município de Porto Alegre foi executada uma sobreposição de dois temas, a suscetibilidade e a vulnerabilidade. Ambos os temas foram classificados, utilizando-se um valor pré-estabelecido em cada uma das metodologias já definidas neste trabalho, e então somadas em uma matriz 3 x 4. Posteriormente, cada combinação de classes foi separada, visando uma melhor distribuição destas variáveis dentro da carta de risco, resultando em quatro classes distintas (baixo, médio, alto e muito alto grau de risco), figura 3. Este processo foi executado para movimentos de massa e inundação, e então sobreposto no mapa final. Por fim, as áreas não ocupadas foram extraídas do mapa final, com o objetivo de atender a premissa de que apenas áreas ocupadas apresentam risco. A escala dos dados é de 1:25.000, uma vez que os dados de suscetibilidade são gerados nesta escala.

Para avaliar a confiabilidade do mapa gerado, foram utilizados os dados disponíveis em CPRM (2013) referente aos setores de alto e muito alto risco a movimentos de massa e inundações de Porto Alegre oriundos do projeto Ação Emergencial para Delimitação de Áreas em Alto e Muito Alto Risco a Enchentes, Inundações e Movimentos de Massa. Para isto, foram comparadas as áreas delimitadas como de alto e muito alto risco por meio dos dois métodos.

4.2 Resultados

Foi identificado, com este mapeamento, que para a área ocupada total do município, que é de 224,24 km², 6,3% da área apresenta Risco Muito Alto, 32,9% apresenta Risco Alto, 32,9% Risco Médio e 27,9% Risco Baixo.

Para validação desta carta utilizou-se o trabalho de setorização de riscos, executado em escala de detalhe, para o município de Porto Alegre (CPRM, 2013). Estes setores foram cruzados com as classes de risco geradas pelo modelo, o qual se mostrou bastante assertivo. Foi evidenciado que em torno de 75% da área de alto e muito alto risco a movimentos de massa e 99% da área de alto e muito alto risco à inundação, mapeadas pelos setores, apresentavam também classes de alto e muito alto risco do modelo (Tabelas 2 e 3).

Tabela 2. Resultados de Correlação de Risco a Movimentos de Massa

Grau de Risco	Muito Alto	Alto	Médio	Baixo	Muito Alto + Alto
Área Setorizada - As	0,10 km ² 7,94%	1,16 km ² 92,06%	0 0	0 0	1,26 km ²
Área Modelada - Am	0,22 km ² 17,46%	0,73 km ² 57,94%	0,30 km ² 23,81%	0,01 km ² 0,79%	0,95 km ²
Razão Am/As	2,200	0,624			0,754

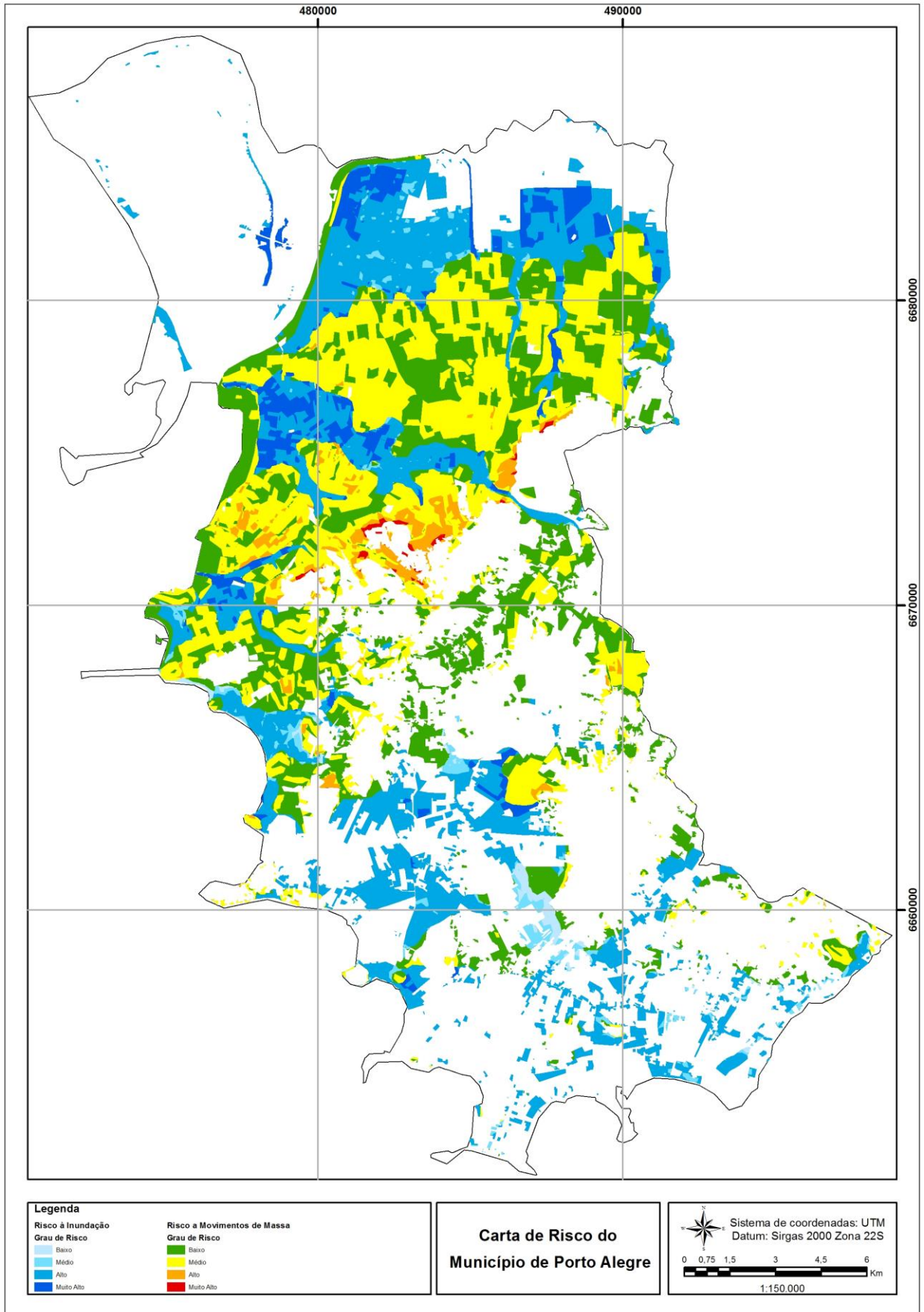


Figura 3. Carta de Risco a Movimentos de Massa e Inundações de Porto Alegre.

Tabela 3. Resultados de Correlação de Risco a Inundações

Grau de Risco	Muito Alto	Alto	Médio	Muito Alto + Alto
Área Setorizada - As	0,06 km ² 3,39 %	1,71 km ² 96,61%	0 0	1,77 km ²
Área Modelada - Am	0,68 km ² 38,42 %	1,07 km ² 60,45 %	0,02 km ² 1,13 %	1,75 km ²
Razão Am/As	11,333	0,626		0,989

5. CONCLUSÃO

A abordagem preliminar de mapeamento de risco aqui apresentado revela-se interessante para aplicação em gestão territorial em escala regional para fins informativos e consultivos, conforme proposto por Fell et al (2008). A grande vantagem deste método está na utilização de informações disponíveis de domínio público, no baixo custo operacional, no baixo dispêndio de tempo, uma vez que o método é computadorizado, e na facilidade de replicar o método.

Entretanto, reconhecem-se algumas limitações deste método e que devem ser consideradas no momento da interpretação dos dados. A escala do mapa é adequada para fins informativos, entretanto os dados disponíveis são de uma escala incompatível para nível de projeto, uma melhora na qualidade e na escala dos dados de entrada pode contribuir para uma melhora no mapa de saída, e assim um uso mais preciso para o produto gerado. É essencial destacar, também, que o produto gerado não considera as intervenções antrópicas, nem as obras que minimizam os riscos, nem o risco induzido, uma vez que a suscetibilidade só considera as características naturais do terreno. Os dados da intervenção humana devem ser adicionados ao mapa de risco e considerados na análise do grau de risco de uma região.

Em suma, esta carta de risco foi produzida a partir de dados de suscetibilidade, que representa a probabilidade espacial de ocorrer determinado evento em uma área (Meneses, 2011), e de dados de vulnerabilidade socioeconômica, refletindo a resiliência de uma comunidade. Embora de caráter preliminar, este produto pode auxiliar na gestão territorial municipal, indicando, dentro de um panorama, as áreas críticas que merecem mais detalhamento e atenção da administração pública.

BIBLIOGRAFIA

CERRI, L.E.S.; AMARAL, C.P. (1998) *Riscos Geológicos*. In: Oliveira, A.M.S., Brito, S.N.A. (eds) Geologia de Engenharia. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 587p.

CPRM. (2013). *Ação emergencial para delimitação de áreas em alto e muito alto risco a enchentes, inundações e movimentos de massa: Porto Alegre, Rio Grande do Sul*. Brasília: Ministério de Minas e Energia.

CPRM. (2015). *Cartas de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundações: Porto Alegre, Rio Grande do Sul*. Brasília: Ministério de Minas e Energia. Disponível em < http://www.cprm.gov.br/publique/media/PortoAlegre_120215.pdf> Acesso em 10 de março de 2015.

CPRM, IPT. (2014). *Cartas de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações: 1:25.000 (livro eletrônico): nota técnica explicativa / coordenação Omar Yazbek Bitar*. -- São Paulo : IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo ; Brasília, DF : CPRM – Serviço Geológico do Brasil.

- FELL, R., COROMINAS, J., BONNARD, C., CASCINI, L., LEROI, E., SAVAGE, W.Z. (2008). *Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning*. Engineering Geology, v. 102, p. 85-98.
- GOERL, R.F., KOBAYAMA, M., PELLERIN, J.R.M. (2012). *Proposta metodológica para mapeamento de áreas de risco a inundação: Estudo de caso do município de Rio Negrinho – SC*. Boletim de Geografia, Universidade Estadual de Maringá, vol.30, n.1, p.81-100.
- IBGE. (2011). *Base de informação do Censo Demográfico 2010: Resultados do universo por setor censitário. Documentação do Arquivo*. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 201p.
- IBGE. (2013). *Censo Demográfico 2010 – Aglomerados Subnormais – Informações Territoriais*. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 251p.
- IBGE. (2015). *Cidades@ Porto Alegre*. Disponível em < <http://cod.ibge.gov.br/232N9> > Acesso: 24 de março de 2015.
- MENESES, B.M.C.S. (2011). *Susceptibilidade e Risco de Movimentos de Vertente no Concelho de Tarouca*. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geografia e Ordenamento do Território, Universidade de Lisboa, Portugal, 115p.
- PNUD. (2013). *O Índice de Desenvolvimento Humano Municipal Brasileiro*. Série Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil 2013. PNUD, IPEA e FJP. 97p.
- REIS, J.T., SILVA, J.S., MICHEL, G.P., KOBAYAMA, M. (2014). *Mapeamento de vulnerabilidade a desastres hidrológicos nos municípios de Alto Feliz e São Vedelino/RS como forma de contribuição a Engenharia de Sedimentos*. XI ENES – ABRH, 17p.
- WISNER, B., BLAICKIE, P., CANNON, T., DAVIS I. (2003). *At Risk: natural hazards, people's vulnerability and disasters*. 2ed, Routledge, New York.