

IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS COM RISCO SÍSMICO EM MONTES CLAROS (MG) A PARTIR DE TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO

Maykon Fredson Freitas Ferreira

Universidade Estadual de Montes Claros/MG
orcid.org/0000-0002-9849-4007
E-mail: maykonfredson@gmail.com

Maria Ivete Soares de Almeida

Universidade Estadual de Montes Claros/MG
orcid.org/0000-0002-3257-7109
E-mail: ivetgeo@yahoo.com.br

Expedito José Ferreira

Universidade Estadual de Montes Claros/MG
orcid.org/0000-0002-9849-4007
E-mail: expedito.jferreira@gmail.com

DOI:10.35416/geoatos.v3i18.6966

Resumo

A cidade de Montes Claros - MG vem sendo atingida por eventos sísmicos consideráveis nos últimos oito anos, onde existe uma parcela da população com alta vulnerabilidade socioeconômica e baixa capacidade de reação diante de eventos naturais extremos. Diante dessa realidade, se observa a formação do risco sísmico, que pode ser identificado a partir da soma de dois fatores, o perigo natural e a vulnerabilidade da população. Pensando nisso, este trabalho dedicou esforços para identificar áreas com risco sísmico dentro do perímetro urbano de Montes Claros. Procurou-se identificar as vulnerabilidades socioeconômicas da população de cada setor censitário do IBGE 2010 e sobrepô-las às áreas de maior intensidade sísmica, utilizando técnicas de geoprocessamento. Os resultados mostraram que dentro de uma análise estatística os setores que possuem muito alto risco sísmico estão localizados em maior quantidade na região Noroeste da cidade, seguidos das regiões Nordeste e Sudeste com um total de 66 setores, correspondendo a 18,2 % do total de setores presentes no perímetro urbano da cidade. Espera-se que este trabalho possa auxiliar as instituições de gestão e defesa civil no tocante a prevenção de desastres naturais, tendo como ponto de partida a busca pela diminuição das vulnerabilidades da população.

Palavras chave: vulnerabilidade; intensidade sísmica; risco sísmico.

IDENTIFICATION OF AREAS WITH SEISMIC RISK IN MONTES CLAROS (MG) FROM GEOPROCESSING TECHNIQUES

Abstract

The city of Montes Claros – MG has been hit by considerable seismic events in the past eight years, where there is a portion of the population with high socioeconomic vulnerability and low capacity of reaction in front of extreme natural events. Given this reality, it has been observed the arising of the natural risk, which can be identified

as a summing of two factors: the natural danger and the population vulnerability. Thinking about that, this study endeavored to identify areas with seismic risk inside the urban perimeter of Montes Claros. It sought to identify the population's socioeconomic vulnerability in each census sector from IBGE 2010 and superimpose them on the areas with the most seismic intensity, employing geoprocessing techniques. The results have shown that within a statistical analysis the sectors that have very high seismic risk are mostly situated in the Northwest region of the city, followed by Northeast and Southeast with a total amount of 66 sectors, corresponding to 18.2% of total sectors which comprise the urban perimeter of the city. It is expected that this work can aid the management institutions and civil defense regarding natural disaster prevention, taking as a starting point the search for reduction of population vulnerability.

Keywords: vulnerability; seismic intensity; seismic risk.

IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS CON RIESGO SÍSMICO EN MONTES CLAROS (MG) DE TÉCNICAS DE GEOPROCESO

Resumen

La ciudad de Montes Claros se ha visto afectada por eventos sísmicos considerables en los últimos años, donde hay una parte de la población con alta vulnerabilidad socioeconómica y baja capacidad para responder a eventos naturales extremos. Ante esta realidad, es posible observar la formación de riesgo sísmico, que puede identificarse a partir de la suma de los factores, el peligro natural y la vulnerabilidad de la población. Como tal, este trabajo ha dedicado esfuerzos para identificar áreas de riesgo sísmico dentro del perímetro urbano de Montes Claros. Intentamos identificar las vulnerabilidades socioeconómicas de la población de cada sección del censo del IBGE 2010 y superponerlas en las áreas sísmicas más altas, utilizando técnicas de geoprociamiento. Los resultados mostraron que, dentro de un análisis estadístico, los sectores con riesgo sísmico muy alto se ubican en la región noroeste de la ciudad, seguidos por las regiones noreste y sureste con un total de 66 sectores, lo que corresponde al 18.2% total sectores presentes en el perímetro urbano de la ciudad. Se espera que este trabajo ayude a las instituciones de gestión y defensa civil en la prevención de desastres naturales, comenzando con la búsqueda de reducir las vulnerabilidades de la población.

Palabras clave: vulnerabilidad; intensidad sísmica; riesgo sísmico.

Introdução

Definir o conceito de risco não é uma tarefa fácil de ser realizada, pois sua concepção é dada conforme diversas linhas de pensamentos e áreas de atuações das variadas ciências. O risco geralmente vem acompanhado de outro termo que o qualifica, como por exemplo, risco ambiental, risco social, risco econômico, risco tecnológico, risco financeiro etc. Devido à polissemia dos termos a noção de risco foi se fragmentando, e cada campo do conhecimento foi se dedicando às suas perspectivas de entendimento e definindo seus próprios métodos de estudo (MARANDOLA JR.; HOGAN, 2003).

O presente estudo abordará o risco em uma perspectiva que vai ao encontro do apresentado por Rebelo (2010) onde o risco está relacionado à probabilidade da ocorrência de algum evento perigoso que, de alguma forma, cause prejuízos para o ser humano e a sociedade além da sua capacidade de controle.

Um evento natural se torna perigoso quando atinge diretamente uma população ou estruturas físicas, sendo capaz de gerar problemas e prejuízos. O terremoto é um evento natural perigoso, no entanto, se ocorrido em uma região desabitada não causará nenhuma espécie de danos às pessoas. Por outro lado, se ocorrer em uma cidade que possui estruturas ocupacionais com pouca resistência a sismos, pode causar um verdadeiro desastre.

O Brasil está localizado no interior continental estável da placa Sul Americana, portanto, a sismicidade neste país é considerada baixa. Os sismos de magnitude 5,0 ocorrem apenas uma vez a cada quatro anos e sismos com magnitude acima de 6,0 ocorrem uma vez a cada 50 anos (BERROCAL *et al.*, 1984; ASSUMPÇÃO *et al.*, 2014).

A distribuição dos sismos no território brasileiro é dispersa, se concentrando com maior intensidade em algumas regiões, como o Sudeste e Nordeste. Excetuando-se os sismos profundos do Acre, sismos acima de 6 na Escala Richter só foram catalogados duas vezes no Brasil. Ambos os terremotos ocorreram em 1955, um na Serra do Tombador, Mato Grosso, com magnitude 6,2 e o outro na costa do Espírito Santo com magnitude 6,1. Apenas 13 sismos igual ou acima de 5,0 Mb (magnitude das ondas de corpo) já foram registrados na litosfera continental brasileira. Entretanto, são vários os sismos de menor magnitude que provocaram alguns estragos em casas e assustaram populações distribuídas pelo país (BARROS *et al.*, 2009).

O norte de Minas Gerais é uma região que possui alta sismicidade para os padrões do território brasileiro, se destacando os eventos ocorridos nos municípios de Itacarambi e Montes Claros. Em 2007 ocorreu em Itacarambi um evento sísmico com grande destaque no cenário brasileiro, magnitude 4,9 na Escala Richter e intensidade VII na escala Mercalli Modificada. Neste episódio, uma casa que possuía baixa resistência, desabou sobre uma criança e provocou a primeira e única vítima fatal em decorrência direta de um terremoto no Brasil (CHIMPLIGANOND, 2013).

Em Montes Claros, o evento de maior destaque, em meio aos seus 170 eventos catalogados por estações sismográficas, ocorreu em 19/05/2012 com magnitude 4,2 e

intensidade VI (MM). Este evento assustou a população e causou alguns estragos em casas mais frágeis que estavam localizadas próximas ao epicentro do tremor (ASSUMPÇÃO, 2013).

Um evento natural perigoso pode gerar consequências desastrosas, mas isso depende diretamente do grau de vulnerabilidade da população e das estruturas físicas. A partir da análise do perigo e da vulnerabilidade é possível mensurar o risco que uma área possui, sendo ele baixo, moderado ou alto.

No âmbito internacional, uma das principais ações para a redução do risco de desastres naturais foi tomada pela Organização das Nações Unidas - ONU, após a Década Internacional de Redução de Desastres Naturais (1990 - 1999). Se refere ao *International Strategy for Disasters Reduction - ISDR* que tem por objetivo o fomento de estratégias para reduzir o risco de desastres no mundo, sendo que, a principal estratégia se refere à redução das vulnerabilidades das comunidades (UN – ISDR, 2004 *apud* TOMINAGA 2009).

Os geógrafos são os profissionais que se interessam fortemente em identificar os riscos às populações, especialmente àqueles de origem natural, e, para isso, estudam os perigos naturais em uma conotação que do inglês se descreve como *natural hazards*. *Hazard* refere-se à possibilidade de um fenômeno natural potencialmente danoso ocorrer num determinado local e num período de tempo específico (EINSTEIN, 1988).

A ciência geográfica não se limita apenas a compreender a extensão e o dano que os perigos podem causar a alguma população, mas também se dedica a probabilidade de ocorrência de fenômenos perigosos. Sendo assim, foi desenvolvida pelos geógrafos a avaliação do risco, ou seja, a avaliação do risco de ocorrer um perigo em determinado local (MARANDOLA JR.; HOGAN, 2005).

Para se avaliar o risco de ocorrência de perigos a algum lugar as vulnerabilidades físicas e humanas são fatores essenciais. Tominaga (2009) destaca que a vulnerabilidade física compreende a resistência de construções e proteções da infraestrutura e a vulnerabilidade humana compreende os aspectos econômicos, sociais, políticos, técnicos, culturais, educacionais e institucionais.

Nessa pauta, procura-se abordar três elementos ou componentes básicos: a exposição ao risco, à capacidade de reação e o grau de adaptação diante da materialização do risco. Esses últimos elementos são os principais fatores que compõem a vulnerabilidade, pois são eles que promovem a absorção do impacto do perigo e podem ser entendidos

como a capacidade de resposta (MARANDOLA JR.; HOGAN, 2006). Essa capacidade de resposta da população a algum perigo está vinculada a uma diversidade de fatores sociais, econômicos, tecnológicos, culturais, ambientais e políticos (MENDONÇA, 2004).

Em uma abordagem sociológica a vulnerabilidade não é somente consequências da exposição aos perigos, mas sim, os resultados das desigualdades sociais que já estão postas antes mesmo da ocorrência do fenômeno perigoso e que estão relacionados com fatores de pobreza, a idade, o gênero ou a classe social (KUHLLICKE *et al.*, 2011). As populações vulneráveis são aquelas submetidas ao risco, não simplesmente por estarem expostas aos perigos, mas também, por causa da marginalidade em que vivem (CUTTER, 2006).

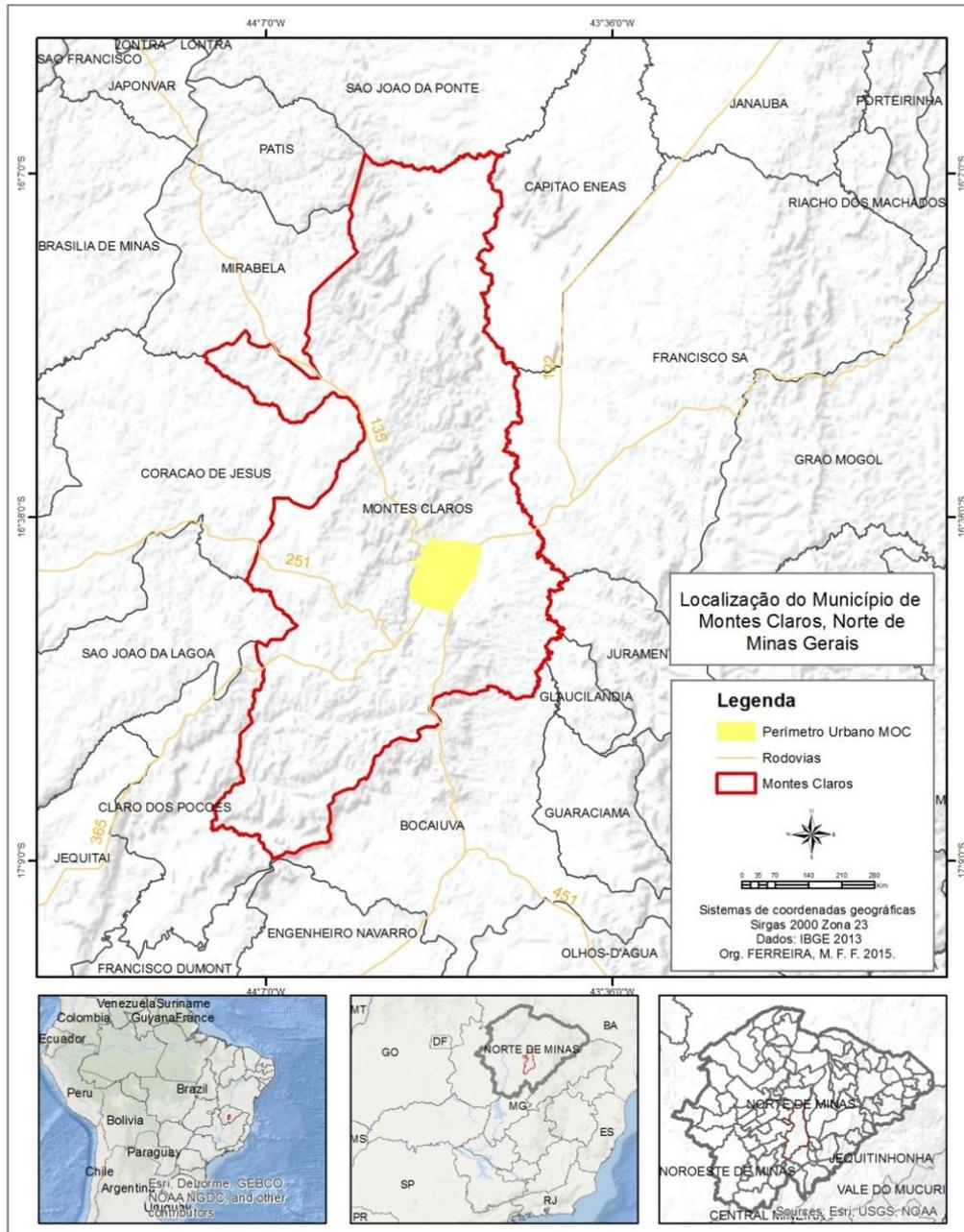
A partir da concepção geográfica, onde são dedicados esforços para identificar populações em situação de risco, este trabalho procura apontar quais áreas dentro do perímetro urbano de Montes Claros estão sob o risco de serem atingidas pelos efeitos danosos dos tremores de terra. Para isso, procurou-se identificar, a partir de técnicas de geoprocessamento, as vulnerabilidades socioeconômicas da população de cada setor censitário do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE do ano 2010 que estão dentro do perímetro urbano da cidade e sobrepô-las as áreas de maior intensidade sísmica.

Os resultados deste trabalho auxiliarão as instituições governamentais de monitoramento e também as instituições de gestão quanto às ações preventivas. A prefeitura, a defesa civil e a comunidade em geral poderão utilizar os dados para tomar decisões que permitam o bem estar da população, evitando perdas físicas, e, até mesmo humanas, decorrente de sismos.

Caracterização da área de estudo

A área de estudo do presente trabalho contempla todo o perímetro urbano de Montes Claros – MG, com coordenadas centrais 16°, 43', 43" de latitude sul e 43°, 51', 32" de longitude oeste, conforme está representado pela Figura 1. Está situado na região norte do Estado de Minas Gerais, ocupando uma área total de 101.1 km².

Figura 01: Mapa de localização da área de estudo



Fonte: Organização dos autores.

De acordo com Leite e Pereira (2008), Montes Claros cumpre a função de pólo regional no norte de Minas Gerais. A destacada posição desta cidade como atrativo populacional e comercial se iniciou com a chegada da ferrovia Centro Atlântica em 1926, mas a consolidação de fato ocorreu a partir de 1965 com a atuação efetiva da Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE). A partir de então, havia

maior disponibilidade de energia elétrica e as indústrias começaram a se instalar na cidade. Isso culminou em um aumento considerável da população e expansão da malha urbana.

Em 2010, o município de Montes Claros possuía uma população de 361.915 habitantes, em uma área de 3.568,94 Km², com densidade demográfica de 101,4 hab/km² (IBGE, 2010). Isso coloca o município na sexta posição em termos de número de habitantes no Estado. No Quadro 1 é possível observar a evolução da população total em Montes Claros de 1991 a 2010, sendo que em 2010 a área urbana abrigava uma população de 344.427 habitantes, correspondente a 95,17 % do total, e a zona rural abrigava 17.448 habitantes, equivalentes a 4,83 % da população total do município. Além da população local, a cidade de Montes Claros recebe diariamente um contingente expressivo de pessoas de outras localidades a procura de serviços de saúde, educação e comércio.

Quadro 01: População total, por gênero, rural/urbana em Montes Claros

| População | População (1991) | % (1991) | População (2000) | % (2000) | População (2010) | % (2010) |
|-----------------|------------------|----------|------------------|----------|------------------|----------|
| População Total | 250.062 | 100.00 | 306.947 | 100.00 | 361.915 | 100.00 |
| Homens | 121.256 | 48.49 | 148.459 | 48.37 | 174.249 | 48.15 |
| Mulheres | 128.806 | 51,51 | 158.488 | 51.63 | 187.666 | 51.85 |
| Urbana | 227.759 | 91.08 | 289.183 | 94.21 | 344.427 | 95.17 |
| Rural | 22.303 | 8.92 | 17.764 | 5.79 | 17.488 | 4.83 |

Fonte: Atlas de Desenvolvimento Humano do Brasil (2015)
Organização dos autores.

De acordo com o Atlas de Desenvolvimento Humano no Brasil (2015) o Índice de Desenvolvimento Humano do município de Montes Claros (IDHM) em 2010 foi de 0,770. Este valor situa-o no índice considerado alto, que é entre 0,700 e 0,799. Houve uma evolução de 16,46 % em relação ao ano 2.000, que possuía o IDHM de 0,661. Já a renda per capita média foi de R\$ 650,62, constituindo um crescimento de 98,51 % nas duas últimas décadas e a porcentagem de pessoas pobres foi de 11,99.

Leite (2006) destaca que em Montes Claros existe um dos principais entroncamentos rodoviários do país, sendo uma importante ligação entre o Sudeste e o Nordeste do Brasil. As principais rodovias que cortam a cidade são: BR 135, que faz ligação a Belo Horizonte; a BR 365, que liga a Uberlândia; a BR 251 que vai ao encontro da BR 116 (Rio - Bahia); a MG 308, que conecta Montes Claros ao município de Juramento e a MG 654, que leva ao Noroeste de Minas Gerais.

Materiais e métodos

A área, objeto deste estudo, contempla o perímetro urbano de Montes Claros, onde o trabalho foi baseado em procedimentos que objetivaram a identificação das intensidades sísmicas e da vulnerabilidade socioeconômica da população, a fim de mapear as áreas com risco de ocorrência de danos de origem sísmica. Inicialmente foi efetuada uma revisão bibliográfica sobre os temas de interesse para a pesquisa, destacando-se, entre outros, os princípios básicos dos riscos, vulnerabilidades e perigos.

Realizou-se buscas de informações norteadas pela percepção dos moradores da cidade quanto aos maiores efeitos causados pelos tremores, se baseando na Escala Mercalli Modificada para identificação das áreas com valores de intensidade sísmica (Quadro 2). Concomitante a isso, foram indicadas, a partir da análise dos setores censitários, o grau de vulnerabilidade socioeconômica que possuem a população da cidade. O mapeamento do risco sísmico foi realizado no *ArcGis 10.2.1* sobrepondo as áreas de intensidade sísmica e áreas de vulnerabilidade socioeconômica.

Quadro 02: Escala de intensidade Mercalli Modificada

| Intensidade de Mercalli Modificada | Descrição do nível de intensidade |
|------------------------------------|---|
| I (Imperceptível) | Não sentido, Exceto em condições extremamente favoráveis. Leves efeitos de período longo de terremotos grandes e distantes. Registrado apenas pelos sismógrafos. |
| II (Muito fraco) | Sentido apenas por algumas pessoas, especialmente em prédios altos. Objetos leves podem balançar. |
| III (Fraco) | Sentido por algumas pessoas em casa, especialmente em prédios altos. Alguns objetos pendurados oscilam. Vibração parecida com a da passagem de um caminhão leve. Duração estimada. Pode não ser reconhecido como um abalo sísmico. |
| IV (Moderado) | Sentido em casa por muitas pessoas, e na rua por poucas pessoas durante o dia. A noite algumas pessoas despertam. Pratos, janelas e portas vibram, e as paredes podem ranger. Os carros e motos parados balançam visivelmente. A vibração é semelhante a provocada pela passagem de veículos pesados ou a sensação de uma pancada de uma bola pesada nas paredes. |
| V (Forte) | Sentido por praticamente todas as pessoas; muitos despertam. As pessoas conseguem identificar a direção do movimento. Líquido em recipiente e perturbado. Objetos pequenos e instáveis são deslocados. Portas oscilam, fecham, abrem. Os movimentos de pêndulos podem parar. |
| VI (Forte) | Sentido por todas as pessoas; muitos se amedrontam e saem as ruas. Pessoas andam sem firmeza. Algumas mobílias pesadas podem se movimentar. Loucas e alguns vidros de |

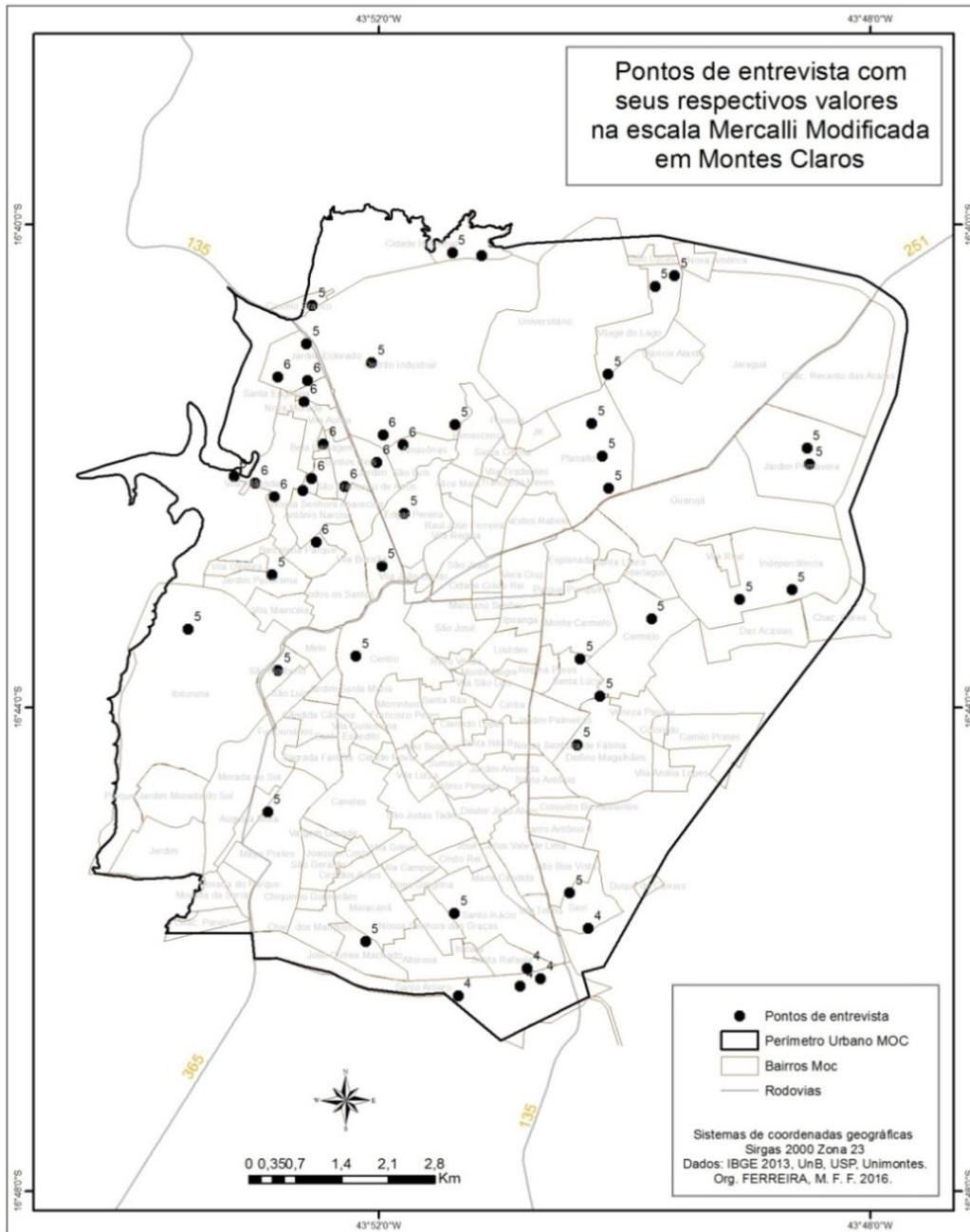
| | |
|-----------------------|--|
| | janelas são quebrados. Objetos e livros caem de prateleiras. Observação de danos moderados em estruturas civis de má qualidade. Pequenos sinos tocam em igrejas e escolas. |
| VII (Muito forte) | Efeitos sentidos por pessoas que estão dirigindo automóveis. Difícil manter-se de pé. Moveis são quebrados. Danos pequenos em edifícios bem construídos, danos moderados em casas bem construídas, e danos consideráveis em estruturas mal construídas. Algumas chaminés sofrem colapso. Queda de reboco, ladrilhos e tijolos mal assentados. Ondas em piscinas. Pequenos escorregamentos de barrancos arenosos. As águas dos açudes ficam turvas com a movimentação do lodo. Grandes sinos tocam. |
| VIII (Muito forte) | Danos em construções normais, com colapso parcial. Algum dano em construções reforçadas. Queda de estuque e alguns muros de alvenaria. Queda de chaminés, monumentos, torres e caixas d'água. Galhos quebram-se das árvores. Trincas no chão. Afeta a condução dos automóveis. A mobília pesada sofre movimentações e pode virar. Mudanças nos fluxos ou nas temperaturas das fontes e poços. |
| IX (Catastrófico) | Pânico generalizado. Construções comuns bastante danificadas, as vezes colapso total. Danos em construções reforçadas e em grandes edifícios, com colapso parcial. Alguns edifícios são deslocados para fora de suas fundações. Tubulação subterrânea quebrada. Rachaduras visíveis no solo. |
| X (Catastrófico) | Maioria das construções destruídas até nas fundações. Danos sérios a barragens e diques. Grandes escorregamentos de terra. Água jogada nas margens de rios e canais. Trilhos levemente entortados. |
| XI (Catastrófico) | Poucas estruturas de alvenaria não colapsam totalmente. Pontes são destruídas e os trilhos dos trens são completamente entortados. As tubulações subterrâneas são completamente destruídas. |
| XII (Catastrófico) | Destruição quase total. A paisagem é modificada com a topografia sendo distorcida. Grandes blocos de rocha são deslocados. Objetos são jogados ao ar. Essa intensidade nunca foi observada no período histórico. |

Fonte: Adaptado de Lopes e Nunes (2011).
Organização dos autores.

Para a identificação da intensidade sísmica no perímetro urbano de Montes Claros foi necessário conhecer os efeitos que os tremores causaram em todas as regiões. Para isso, foram realizadas entrevistas estruturadas, com perguntas direcionadas, e utilizando os índices da escala de Mercalli Modificada como base. Cada ponto de entrevista foi georreferenciado e designado os valores referentes às intensidades sísmicas.

As entrevistas se iniciaram pela região onde haviam relatos de maiores danos, até atingir os limites do perímetro urbano, conforme está representado na Figura 2. Através dos pontos de entrevista e seus valores de intensidade com base nos efeitos dos tremores, foi realizada a interpolação dos pontos e determinada às zonas de intensidade sísmica na cidade de Montes Claros.

Figura 02: Mapa de localização dos pontos de entrevista na área de pesquisa



Fonte: Organização dos autores.

O método utilizado para a interpolação dos pontos de entrevista foi à ponderação do inverso das distâncias (IDW) presente no pacote de ferramentas do ArcGIS 10.2.1. Esse método parte do pressuposto de que os pontos com valores iguais são mais parecidos e, portanto, criam zonas a partir da proximidade dos pontos de valores iguais. “O IDW usará os valores amostrados a sua volta, que terão um maior peso do que os valores mais
Revista Geografia em Atos, Departamento de Geografia, Faculdade de Ciências e Tecnologia, UNESP, Presidente Prudente, n. 18, v. 03, p. 157-180, mês maio-ago. Ano 2020.
ISSN: 1984-1647

distantes, ou seja, cada ponto possui uma influência no novo ponto, que diminui na medida em que a distância aumenta, daí seu nome” (JAKOB; YOUNG, 2006 p. 8).

Para a identificação dos índices de vulnerabilidade socioeconômica em Montes Claros foram utilizados os dados do censo IBGE 2010, a partir dos setores censitários, que são as menores unidades de análise estabelecida pelo IBGE. Através da utilização do programa ArcGIS 10.2.1 foram selecionados os 362 setores censitários distribuídos dentro do perímetro urbano de Montes Claros.

Em cada um dos 362 setores censitários foram trabalhadas oito variáveis do censo demográfico que representam as desvantagens socioeconômicas que são recorrentes em trabalhos semelhantes como Alves *et al.* (2010) e Almeida (2010). Para uma melhor organização, essas variáveis foram agrupadas em quatro fatores: educação, estrutura etária, gênero e renda (Quadro 3).

Quadro 03: Variáveis selecionadas para a determinação da vulnerabilidade socioeconômica

| Fatores de avaliação | Variáveis |
|----------------------|---|
| Educação | 1. Porcentagem de pessoas responsáveis por domicílio alfabetizados em relação ao total de responsáveis por domicílio do setor. 2. Porcentagem de pessoas alfabetizadas com cinco ou mais anos de idade em relação ao total de pessoas residentes no setor. |
| Estrutura etária | 3. Porcentagem de pessoas com até doze anos de idade em relação ao total de pessoas residentes no setor. 4. Porcentagem de pessoas com idade acima de sessenta anos em relação ao total de pessoas residentes no setor. |
| Gênero | 5. Porcentagem de mulheres em relação ao total de pessoas residentes no setor. 6. Porcentagem de pessoas responsáveis por domicílio, do sexo feminino, em relação ao total de responsáveis por domicílio do setor. |
| Renda | 7. Porcentagem de responsáveis por domicílio com rendimento de até 1 salário mínimo, inclusive renda zero, no total de responsáveis do setor. 8. Rendimento nominal mensal das pessoas responsáveis por domicílio no setor. |

Fonte: Organização dos autores.

Utilizando o método estatístico Natural Breaks incluso no software ArcGIS 10.2.1, os setores censitários foram agrupados automaticamente em cinco classes para cada uma das variáveis. Para cada classe de valores agrupados foi determinado um índice de vulnerabilidade, que corresponde a "muito baixa vulnerabilidade", "baixa vulnerabilidade", "moderada vulnerabilidade", "alta vulnerabilidade" e "muito alta vulnerabilidade (Quadro 4).

Quadro 04: Variáveis e valores correspondentes aos grupos de vulnerabilidade socioeconômico nos setores censitários

| Fator de avaliação | Variável | Agrupamento de valores (Natural Breaks) | Grupos de vulnerabilidade |
|--------------------|---|---|-----------------------------|
| Educação | V1: Porcentagem de pessoas responsáveis por domicílio alfabetizados em relação ao total de responsáveis por domicílio do setor. | 0 % | Muito alta vulnerabilidade |
| | | 1 % - 81 % | Alta vulnerabilidade |
| | | 82 % - 88 % | Moderada vulnerabilidade |
| | | 89 % - 94 % | Baixa vulnerabilidade |
| | | 95 % - 100 % | Muito baixa vulnerabilidade |
| | V2: Porcentagem de pessoas alfabetizadas com 5 ou mais anos de idade em relação ao total de pessoas residentes no setor. | 0 % | Muito alta vulnerabilidade |
| | | 1 % - 81 % | Alta vulnerabilidade |
| | | 82 % - 87 % | Moderada vulnerabilidade |
| | | 88 % - 92 % | Baixa vulnerabilidade |
| | | 93 % - 100 % | Muito baixa vulnerabilidade |
| Estrutura etária | V3: Porcentagem de pessoas com até doze anos de idade em relação ao total de pessoas residentes no setor. | 27 % - 37 % | Muito alta vulnerabilidade |
| | | 22 % - 26 % | Alta vulnerabilidade |
| | | 18 % - 21 % | Moderada vulnerabilidade |
| | | 13 % - 17 % | Baixa vulnerabilidade |
| | | 0 % - 12 % | Muito baixa vulnerabilidade |
| | V4: Porcentagem de pessoas com idade acima de sessenta anos em relação ao total de pessoas residentes no setor. | 18 % - 28 % | Muito alta vulnerabilidade |
| | | 13 % - 17 % | Alta vulnerabilidade |
| | | 9 % - 12 % | Moderada vulnerabilidade |
| | | 6 % - 8 % | Baixa vulnerabilidade |
| | | 0 % - 5 % | Muito baixa vulnerabilidade |
| Gênero | V5: Porcentagem de mulheres em relação ao total de pessoas residentes no setor. | 56 % - 62 % | Muito alta vulnerabilidade |
| | | 53 % - 55 % | Alta vulnerabilidade |
| | | 51 % - 52 % | Moderada vulnerabilidade |
| | | 15 % - 50 % | Baixa vulnerabilidade |
| | | 0 % - 14 % | Muito baixa vulnerabilidade |
| | V6: Porcentagem de pessoas responsáveis por domicílio, do sexo feminino, em relação ao total de responsáveis por | 51 % - 100 % | Muito alta vulnerabilidade |
| | | 41 % - 50 % | Alta vulnerabilidade |
| | | 34 % - 40 % | Moderada vulnerabilidade |
| | | 23 % - 33 % | Baixa vulnerabilidade |
| | | 0 % - 22 % | Muito baixa vulnerabilidade |

| | domicílio do setor. | | |
|--------------|---|---------------------|-----------------------------|
| Renda | V7: Porcentagem de responsáveis por domicílio com rendimento de até 1 salário mínimo, inclusive renda zero, no total de responsáveis do setor | 64 % - 90 % | Muito alta vulnerabilidade |
| | | 52 % - 63 % | Alta vulnerabilidade |
| | | 39 % - 51 % | Moderada vulnerabilidade |
| | | 23 % - 38 % | Baixa vulnerabilidade |
| | | 0 % - 22 % | Muito baixa vulnerabilidade |
| | V8: Total do rendimento nominal mensal das pessoas responsáveis por domicílio (R\$) | 0 – 803,00 | Muito alta vulnerabilidade |
| | | 804,00 – 1.248,00 | Alta vulnerabilidade |
| | | 1.249,00 – 1.988,00 | Moderada vulnerabilidade |
| | | 1.989,00 – 3.515,00 | Baixa vulnerabilidade |
| | | 3.516,00 – 8.318,00 | Muito baixa vulnerabilidade |

Fonte: Organização dos autores.

O mapeamento das áreas com vulnerabilidade socioeconômica se deu a partir da edição da tabela de atributos do shapefile referente aos setores censitários. Foram criadas mais oito colunas, cada uma delas espelhando as colunas das variáveis, com a finalidade de substituir os agrupamentos das vulnerabilidades por pesos, sendo que, cada agrupamento receberam os pesos 1 para muito baixa vulnerabilidade, peso 2 para baixa vulnerabilidade, peso 3 para moderada vulnerabilidade, peso 4 para alta vulnerabilidade e peso 5 para muito alta vulnerabilidade. Feito isso, em outra coluna na tabela de atributos somaram-se os pesos e determinou-se a média desses valores que novamente foram agrupados em cinco classes pelo método Natural Breaks. Finalmente, com esse agrupamento de valores foram determinados os índices de vulnerabilidade socioeconômicos dentro do perímetro urbano de Montes Claros.

Cada um dos setores censitários recebeu um índice de vulnerabilidade e o seu grau de intensidade se deu a partir da conjunção de fatores sociais e econômicos que podem ser determinantes para a resiliência em caso de desastres. Com esses dados foi elaborado um mapa contemplando as áreas com vulnerabilidade socioeconômica da área urbana de Montes Claros.

Para a identificação do risco sísmico em áreas dentro do perímetro urbano na cidade de Montes Claros, empregaram-se os critérios metodológicos determinados por Almeida (2010), e partindo-se da ideia de que o risco ocorre em decorrência da coexistência

de áreas com grau de intensidade sísmica e uma população vulnerável a ocorrência de desastres.

Os procedimentos metodológicos para a identificação do risco sísmico neste trabalho passaram por alguns ajustes em relação ao trabalho de Almeida (2010). Houve adaptações quanto às variáveis utilizadas e a análise estatística para a identificação dos índices de vulnerabilidade socioeconômica, além disso, o objeto de análise relacionado à vulnerabilidade ambiental em Montes Claros se refere às zonas de intensidade sísmica no perímetro urbano da cidade e não as áreas com perigo a inundações.

O cruzamento entre os grupos de vulnerabilidade socioeconômica e áreas de intensidade sísmica proporcionou a formação dos índices de risco sísmico na cidade, como pode ser visto no Quadro 5.

Quadro 05: Índice de risco sísmico

| Índice de vulnerabilidade socioeconômica (IVS) | | | | Índice de intensidade sísmica (IIS) | |
|---|-----|---|---|--|-------------------------------|
| 1. Muito Baixa 2. Baixa 3. Moderada 4. Alta 5. Muito Alta | | | | 1. Intensidade de Mercalli IV 2. Intensidade de Mercalli V 3. Intensidade de Mercalli VI | |
| | | | | | |
| | IIS | 3 | 2 | 1 | Índice de risco sísmico (IRS) |
| 5 | | | | | Muito Alta |
| 4 | | | | | Alta |
| 3 | | | | | Moderada |
| 2 | | | | | Baixa |
| 1 | | | | | Muito baixa |

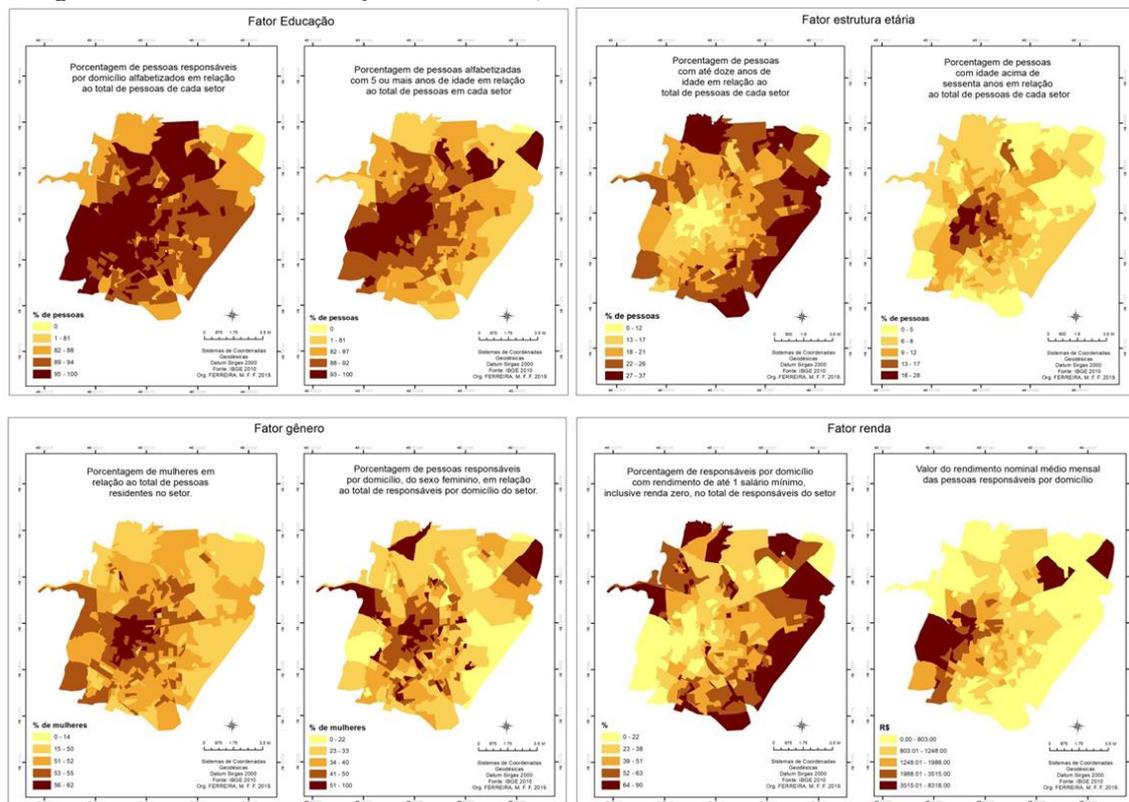
Fonte: Adaptado de Almeida (2010)
Organização dos autores.

Neste trabalho, o geoprocessamento, particularmente, os sistemas de informação geográfica (SIG) foram fundamentais, não somente em relação à produção cartográfica, mas, também pela sua capacidade de cruzamento de dados e informações para se criar modelos de vulnerabilidade socioeconômica, modelos de intensidade sísmica e índices de risco sísmico.

Resultados e discussões

A sobreposição dos mapas de vulnerabilidade socioeconômica e intensidade sísmica em Montes Claros possibilitou a identificação de áreas onde existe risco sísmico. Neste trabalho, os fatores adotados para a determinação do índice de vulnerabilidade socioeconômica foram educação, estrutura etária, gênero e renda, e para cada fator foram determinadas as variáveis de análise. De acordo com os seus valores, os setores censitários foram agrupados em cinco classes com seus respectivos índices de vulnerabilidades. Na Figura 3 estão representados e mapeados os fatores adotados para a determinação dos índices de vulnerabilidade socioeconômica.

Figura 03: Fatores adotados para determinação dos índices de vulnerabilidade socioeconômica



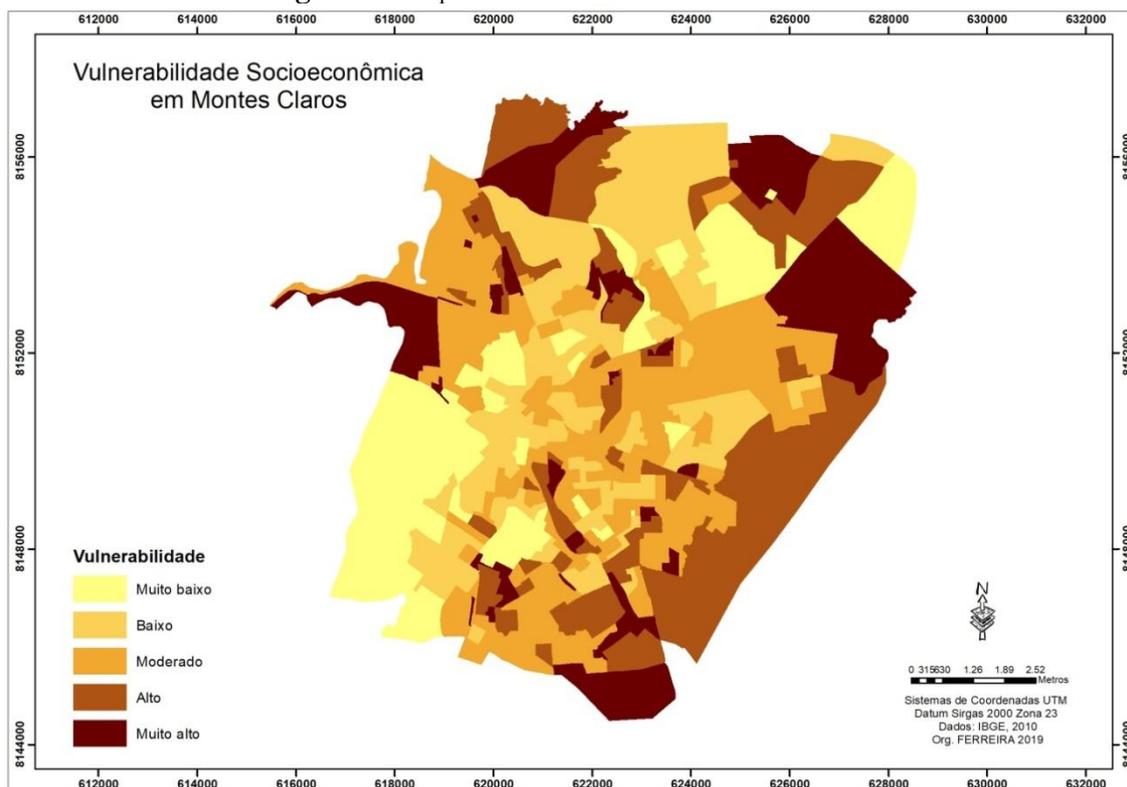
Fonte: Organização dos autores.

A coexistência das áreas dos fatores socioeconômicos, descrito na metodologia deste trabalho, resultou em um mapa de vulnerabilidade socioeconômico onde é possível visualizar a distribuição dos índices de vulnerabilidade pelas regiões do perímetro urbano da cidade (Figura 4). Observa-se que as regiões Sudoeste e Central possuem uma maior

concentração de setores com os mais baixos índices de vulnerabilidade, por outro lado, as regiões Noroeste, Nordeste e Sudeste possuem as maiores concentrações de setores com as mais altas vulnerabilidades.

Em síntese, cabe enfatizar, que o agrupamento de cinco índices de vulnerabilidade socioeconômica mostrou que existem 217.628 pessoas que vivem em setores menos vulneráveis (muito baixa vulnerabilidade, baixa vulnerabilidade e moderada vulnerabilidade) correspondendo a 64 % da população total que residem no perímetro urbano da cidade de Montes Claros. Em contrapartida, também mostrou que existem 120.753 pessoas que moram em setores com as maiores vulnerabilidades (alta vulnerabilidade e muito alta vulnerabilidade) o que corresponde a 36 % da população total que residem dentro do perímetro urbano de Montes Claros.

Figura 04: Mapa de vulnerabilidade socioeconômica



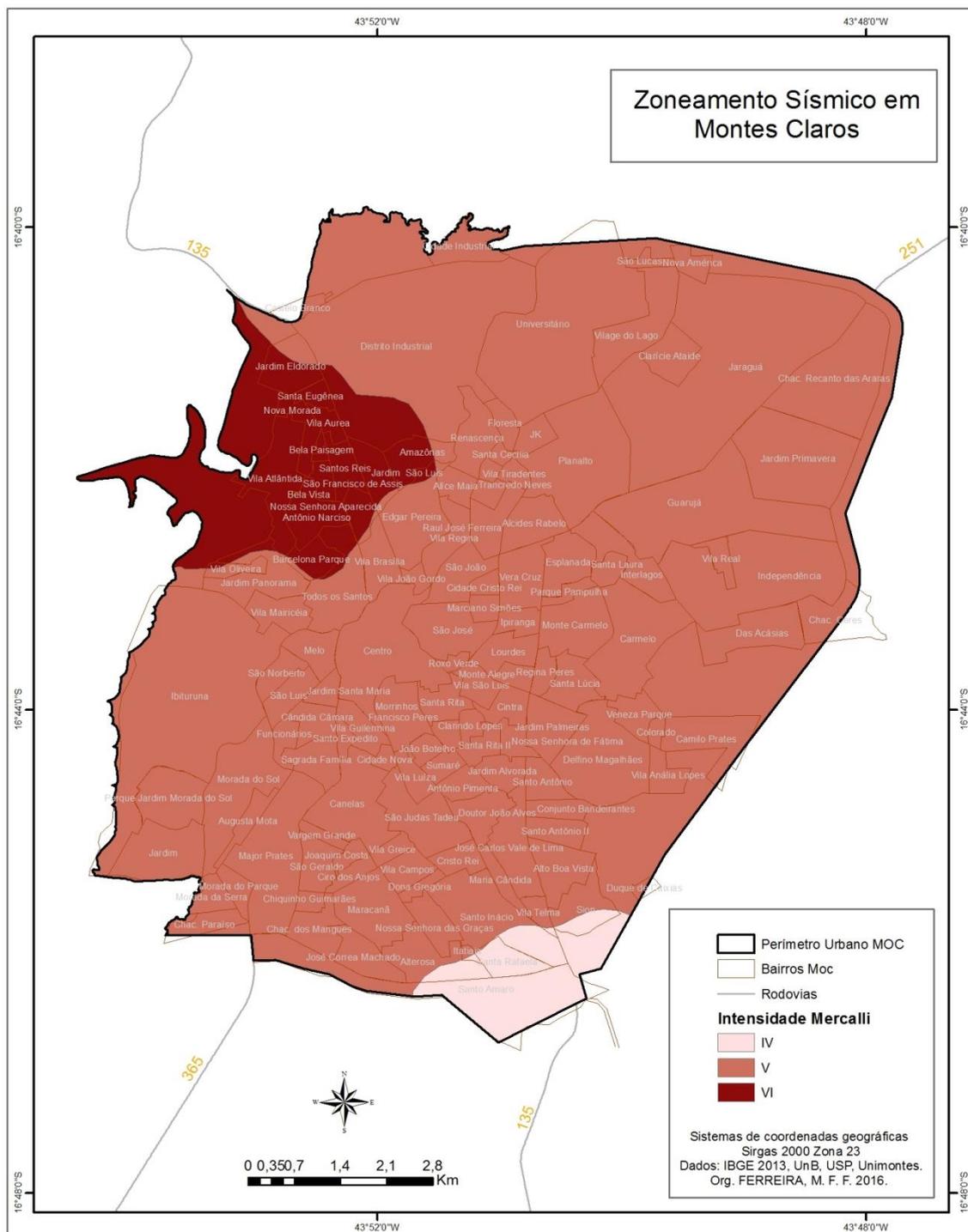
Fonte: Organização dos autores.

As zonas de intensidade sísmica encontradas no perímetro urbano de Montes Claros foram encontradas a partir do método estatístico de interpolação IDW dos pontos de entrevista e demonstraram que existem três zonas de intensidade sísmica, com valores

IV, V e VI na escala Mercalli Modificada. Salienta-se que as localizações das zonas de intensidade sísmica são aproximadas, dada as características metodológicas adotadas neste trabalho.

De acordo com a Figura 5, a zona de maior intensidade sísmica no perímetro urbano de Montes Claros, que corresponde ao valor VI na classificação de Mercalli está localizada na região Noroeste. Nesta área, de acordo com os relatos feitos pelos moradores, “durante os maiores sismos, objetos caíram das prateleiras, telhas e rebocos foram ao chão, paredes trincaram e até mesmo um muro desmoronou”. Os maiores danos foram relatados por moradores de residências aparentemente frágeis, no entanto, os tremores foram sentidos por todos os entrevistados, inclusive os que moram em residências aparentemente bem construídas.

Figura 05: Zonas de intensidade sísmica



Fonte: Organização dos autores.

A zona sísmica com intensidade V corresponde à maior parte do perímetro urbano da cidade e equivale a uma área de aproximadamente 89,0 km², abrangendo cento e

vinte e três bairros da cidade. Os entrevistados nessa área relataram que os tremores que causaram maior efeito foram sentidos por praticamente todos os moradores, sendo observadas janelas e portas vibrando, pequenos objetos se deslocaram do lugar, algumas trincas que apareceram em paredes de residências aparentemente frágeis e o som do tremor parecido com o som de um trovão. As residências aparentemente bem construídas não sofreram danos em sua estrutura, conforme os relatos dos seus moradores.

A zona sísmica com intensidade IV corresponde à menor intensidade encontrada no perímetro urbano de Montes Claros e equivale a uma área de aproximadamente 3,1 km², abrangendo oito bairros da cidade, nomeadamente, Santo Amaro, Alterosa, Itatiaia, Santa Rafaela, Santo Inácio, Vila Telma, Siom e Duque de Caxias. Os relatos dos moradores entrevistados mostraram que os efeitos dos maiores tremores foram sentidos por muitas pessoas, principalmente os ocorridos à noite. O tremor parecia com a passagem de um caminhão pesado pela rua ou de uma colisão de veículos. As residências não sofreram danos graves, a não ser pequenas trincas em casas aparentemente frágeis. No Quadro 6 estão descritas as principais informações sobre as zonas sísmicas encontradas no perímetro urbano de Montes Claros.

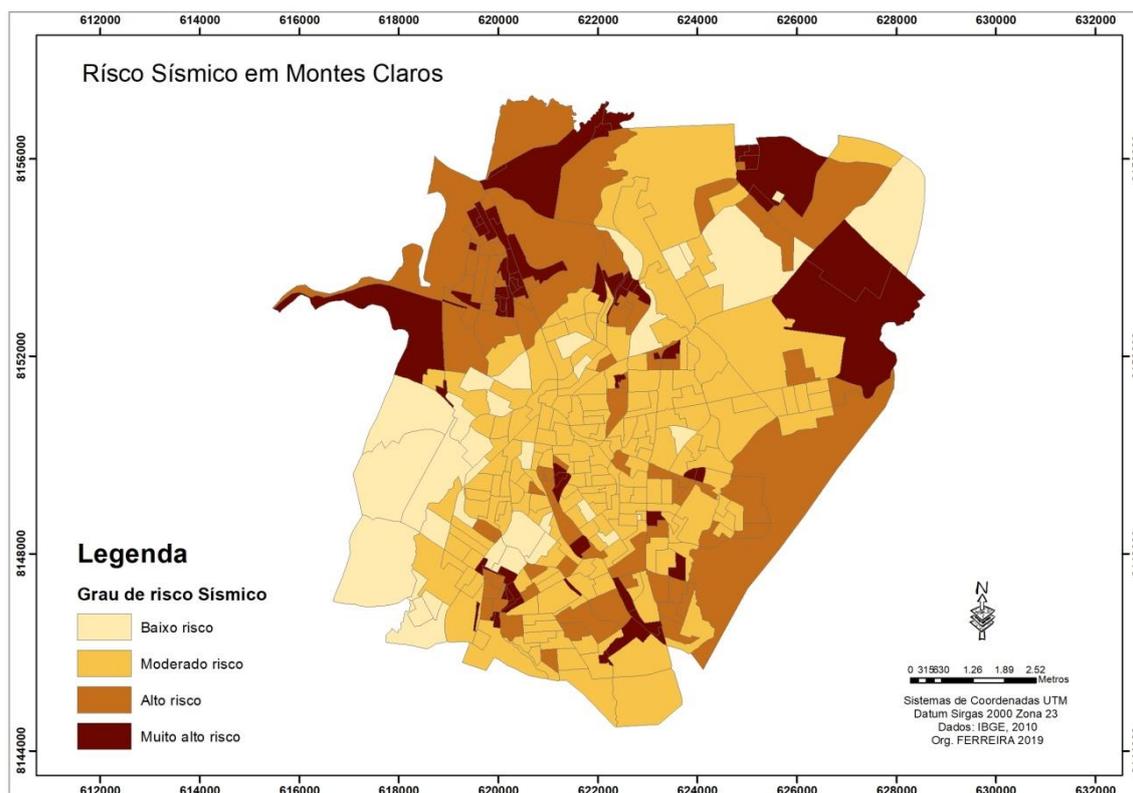
Quadro 06: Informações sobre as zonas sísmicas em Montes Claros.

| Zona sísmica | Nº de bairros | Área (km ²) | Maiores efeitos dos tremores |
|--------------|---------------|-------------------------|---|
| IV | 8 | 3,1 | Sentidos por muitas pessoas, principalmente os ocorridos à noite. O tremor parecia com a passagem de um caminhão pesado pela rua ou de uma colisão de veículos. As residências não sofreram danos graves, a não ser pequenas trincas em casas aparentemente frágeis. |
| V | 123 | 89,0 | Sentido por praticamente todos os moradores, janelas e portas vibraram, pequenos objetos se deslocaram do lugar, algumas trincas apareceram em paredes de residências aparentemente frágeis. Residências aparentemente bem construídas não sofreram danos em sua estrutura. |
| VI | 19 | 8,9 | Objetos caíram das prateleiras, telhas e rebocos foram ao chão, paredes trincaram e até mesmo um muro desmoronou. Tremores foram sentidos por todos os entrevistados, inclusive os que moram em residências aparentemente bem construídas. |

Fonte: Organização dos autores

Com o mapa de áreas de risco sísmico foi possível identificar, dentro do perímetro urbano de Montes Claros, as áreas que necessitam de maior atenção quanto à prevenção de estragos decorrentes de abalos sísmicos (Figura 6). Portanto, dentro de uma análise estatística, contabiliza-se que os setores que possuem baixo risco sísmico estão localizados principalmente nas regiões Sudoeste, Centro-norte e Centro-Sul da cidade, somando um total de 35 setores, e equivalem a 9,6 % do total de setores que se encontram no perímetro urbano da cidade. Os setores que possuem moderado risco sísmico, no total de 186, estão presentes principalmente nas regiões Norte, Centro, Leste e Sul da cidade, e correspondem a 51,3 % do total de setores presentes no perímetro urbano da cidade. Os setores que possuem alto risco sísmico estão localizados em maior quantidade nas regiões Noroeste, Nordeste e Sudeste da cidade, totalizando 75 setores, quantitativo que corresponde a 20,7 % do total de setores localizados dentro do perímetro urbano de Montes Claros. Por fim, os setores que possuem muito alto risco sísmico estão localizados com maior quantidade na região Noroeste da cidade, seguidos das regiões Nordeste e Sudeste com um total de 66 setores, correspondendo a 18,2 % do total de setores presentes no perímetro urbano da cidade.

Figura 06: Mapa de risco sísmico em Montes Claros



Fonte: Organização dos autores.

A população residente nos setores com os mais altos riscos, alta e muito alta, totalizam 133.087 habitantes, representando 39 % da população total da cidade. Por outro lado, a população residente nos setores com as mais baixas vulnerabilidades, baixa e moderada vulnerabilidade, totalizam 205.294 habitantes, valor que corresponde a 61 % da população total da cidade. Ressalta-se que esses valores são aproximados, haja vista que dentro dos setores não possuem dados absolutamente homogêneos quanto às vulnerabilidades.

Considerações finais

Em Montes Claros existem várias regiões que possuem alto risco sísmico, mas o destaque especial se faz a região Noroeste, onde se percebe maior intensidade dos tremores e setores com alta e muito alta vulnerabilidade. Caso venha a ocorrer um tremor com intensidade acima de VI na Escala Mercalli, essa região pode sofrer os maiores danos. As autoridades competentes devem trabalhar para a redução dos riscos de desastres

ocasionados por tremores de terra, e para isso, sabendo que nada pode ser feito em relação à ocorrência do evento natural, a alternativa viável é a redução da vulnerabilidade socioeconômica da população.

Portanto, a proposta metodológica desenvolvida neste trabalho se mostrou uma boa técnica para prevenção de desastres, apontando as áreas que mais necessitam de intervenção do Estado. Uma vez identificadas as áreas mais críticas é possível propor medidas mais eficazes que envolvam a defesa e a proteção da vida humana. Esta proposta metodológica pode ser aprimorada com a inclusão de outras variáveis que indiquem vulnerabilidades, e, também dados oficiais do Corpo de Bombeiros Militar e defesa civil relacionados aos efeitos causados pelos tremores na cidade.

Espera-se que este trabalho contribua para mostrar as áreas que possuem maior risco sísmico na cidade de Montes Claros e que as instituições de defesa civil possam atuar na prevenção de desastres, direcionando suas ações com inteligência e diminuindo os riscos à população.

Referências

ALMEIDA, L. Q. de. **Vulnerabilidades socioambientais de rios urbanos**. Bacia hidrográfica do rio Maranguapinho. Região Metropolitana de Fortaleza, Ceará. Pós-Graduação em Geografia. Instituto de Geociências e Ciências Exatas/Unesp, Rio Claro, Tese de Doutorado, 2010. 278p.

ALVES, H. P. *et al.* (2010). Dinâmicas de urbanização na hiperperiferia da metrópole de São Paulo: análise dos processos de expansão urbana e das situações de vulnerabilidade socioambiental em escala intraurbana. **Revista Brasileira de Estudos Populacionais**. Rio de Janeiro, v. 7, n. 1, pp. 141-159.

ASSUMPÇÃO, M, 2013. **Estudo dos tremores de terra de Montes Claros**. Relatório técnico de 11 de março de 2013. Centro de Sismologia da Universidade de São Paulo, Observatório Sismológico da UnB, 14 p.

ASSUMPÇÃO, M. et al., 2014. Intraplate seismicity in Brazil, In: **Intraplate Earthquakes**, chap. 3, ed. Talwani, P., Cambridge Univ. Press.

ATLAS DO DESENVOLVIMENTO HUMANO NO BRASIL. Rio de Janeiro: **PNUD, IPEA**, Fundação João Pinheiro, 2015.

BARROS, L. V., ASSUMPÇÃO, M., QUINTERO, R. & CAIXETA, D. The intraplate Porto dos Gaúchos seismic zone in the Amazon craton – Brazil, **Tectonophysics**, 469, 37–47. 2009.

BERROCAL, J., ASSUMPCÃO, M., ANTEZANA, R., Dias Neto, C., ORTEGA, R., FRANÇA, H. & VELOSO, J. A., 1984. **Sismicidade do Brasil**, IAG/USP and Comissão Nacional de Energia Nuclear, 320 p.

CHIMPLIGANOND, C. N. **Estudos sobre a sismicidade de Caraíbas-Itacarambi, Minas Gerais: causas e características**. 2013. 100 p. Tese de Doutorado – Instituto de Geociências da Universidade de Brasília. Brasília. 2013.

CUTTER, S. L. Moral Hazard, Social Catastrophe: The changing face of vulnerability along the hurricane coasts, **The Annals of the American Academy of Political and Social Science**, 604(1), 102-112. 2006.

EINSTEIN, H. H. Landslides risk assessment procedure. **Anais...** 5th International Symposium on Landslides, Lausanne, v. 2, p. 1075-1090, 1988.

JAKOB, A. A. E.; YOUNG, A. F. O uso de métodos de interpolação espacial de dados nas análises sociodemográficas. In: Encontro Nacional De Estudos Populacionais, 15., 2006, Caxambu. **Anais...** Caxambu: ABEP, 2006.

KUHLICKE, C.; SCLOBIG, A.; TAPSELL, S.; STEINFÜHRER, A. de; MARCHI, B. Contextualizing Social Vulnerability: Findings from case studies across Europe, **Natural Hazards**, 58(2), 789-810. 2011.

LEITE, M. E. **Geoprocessamento aplicado ao estudo do espaço urbano: o caso de Montes Claros**. 177 p. Dissertação de Mestrado em Geografia - Instituto de Geografia/UFU. Uberlândia, 2006.

LEITE, M. E.; PEREIRA, A. M. **Metamorfose do espaço intra-urbano de Montes Claros**. Montes Claros: Unimontes, 2008. 209p.

MARANDOLA JR., E.; HOGAN, D. J. Risco e perigo: o estudo geográfico dos natural hazards. Texto enviado para o Encontro Transdisciplinar Sobre Espaço e População, da Associação Brasileira de Estudos Populacionais – ABEP. **Anais...** Campinas, 13 a 15 de novembro de 2003. 13p.

MARANDOLA JR., E.; HOGAN, D. J. Vulnerabilidade e riscos: entre geografia e demografia. **Revista Brasileira de Estudos de População**, São Paulo, v.22, n.1, p.29- 53, 2005.

MARANDOLA JR., E.; HOGAN, D. J. As dimensões da vulnerabilidade. **São Paulo em Perspectiva**, São Paulo: Fundação SEADE, v.20, n.1, p.33-43, jan./mar. 2006.

MENDONÇA, F. A. Riscos, vulnerabilidade e abordagem socioambiental urbana: uma reflexão a partir da RMC e de Curitiba. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, Curitiba: Ed. da UFPR, n.10, p.139-148, jul./dez. 2004.

REBELO, F. **Geografia física e riscos naturais**. Coimbra: Imprensa da Universidade de Coimbra, 2010.

Revista Geografia em Atos, Departamento de Geografia, Faculdade de Ciências e Tecnologia, UNESP, Presidente Prudente, n. 18, v. 03, p. 157-180, mês maio-ago. Ano 2020.

ISSN: 1984-1647

TOMINAGA, L. K. Análise e Mapeamento de Risco. In: TOMINAGA, L.K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. (Org.) **Desastres Naturais: conhecer para prevenir**. 1ª ed. São Paulo: Instituto Geológico, 2009, v. 01, p. 147-160.

Sobre os autores

Maykon Fredson Freitas Ferreira

Mestre em Geografia pela Universidade Estadual de Montes Claros/UNIMONTES (2014-2016), pós Graduação em Meio Ambiente e Desenvolvimento Regional - Unimontes, graduado em Geografia pela Universidade Estadual de Montes Claros - Unimontes. Hoje é integrante do Núcleo de Estudos Sismológicos da Unimontes - NES/Unimontes na função de Analista de Sismograma, pesquisa a sismicidade em Montes Claros e norte de Minas Gerais e tem experiência em análises ambientais, dinâmica de uso da terra a partir de sensoriamento remoto, produção cartográfica sistemática e temática.

Maria Ivete Soares de Almeida

Possui graduação em Geografia pela Universidade Estadual de Montes Claros (1983), mestrado em Geografia pela Universidade Federal de Goiás (2000), doutorado em Geografia pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Atualmente é professora titular da Universidade Estadual de Montes Claros. Tem experiência na área de Geografia, com ênfase em Geografia Física, atuando principalmente nos seguintes temas: problemas ambientais, qualidade de vida, meio ambiente, degradação, Hidrografia, conservação, Montes Claros-MG, cidade média e conjunto habitacional, espaço urbano. Exerceu, no período de dezembro de 2002 a dezembro de 2010, o cargo de Pró-Reitora de Ensino da Universidade Estadual de Montes Claros - Unimontes. Exerceu o cargo de Vice-Reitora no período de dezembro de 2010 a dezembro de 2014.

Expedito José Ferreira

Engenheiro Agrônomo pela Universidade Federal de Viçosa – UFV (1975). Possui mestrado em Engenharia Agrícola na Universidade Federal de Viçosa (1988), também na UFV, concluiu o Doutorado em Engenharia Agrícola.

Como citar esse artigo

FERREIRA, Maykon Fredson Freitas; ALMEIDA, Maria Ivete Soares de; FERREIRA, Expedito José. Identificação de áreas com risco sísmico em Montes Claros (MG) a partir de técnicas de geoprocessamento. **Revista Geografia em Atos (GeoAtos online)**, vol.03, n.18, p. 157-180, 2020.DOI:10.35416/geoatos.v3i18.6966

Recebido em: 2019-11-07

Enviado para correções em: 2020-05-25

Aceito em: 2020-06-11