

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MONTES CLAROS  
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA - PPGeo**

**MAYKON FREDSON FREITAS FERREIRA**

**ANÁLISE ESPACIAL DAS OCORRÊNCIAS SÍSMICAS E DA  
VULNERABILIDADE SOCIOAMBIENTAL A SISMOS EM  
MONTES CLAROS - MG**

**Montes Claros - MG  
2016**

**MAYKON FREDSON FREITAS FERREIRA**

**ANÁLISE ESPACIAL DAS OCORRÊNCIAS SÍSMICAS E DA  
VULNERABILIDADE SOCIOAMBIENTAL A SISMOS EM MONTES  
CLAROS - MG**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Estadual de Montes Claros como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Geografia.

Área de concentração: Dinâmica e Análise Espacial

Linha de Pesquisa: Território, Cultura e Meio Ambiente

Orientador: **Prof. Dr. Exedito José Ferreira**

**Montes Claros - MG  
2016**

F383a Ferreira, Maykon Fredson Freitas.  
Análise espacial das ocorrências sísmicas e da vulnerabilidade socioambiental a sismos em Montes Claros - MG [manuscrito] / Maykon Fredson Freitas Ferreira. – Montes Claros, 2016.  
130 f. : il.

Bibliografia: f. 115-123.  
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Montes Claros -Unimontes, Programa de Pós-Graduação em Geografia/PPGEO, 2016.

Orientador: Prof. Dr. Expedito José Ferreira.

1. Sismicidade – Montes Claros (MG). 2. Epicentro. 3. Magnitude. 4. Vulnerabilidade. 5. Intensidade sísmica. I. Ferreira, Expedito José. II. Universidade Estadual de Montes Claros. III. Título.

**MAYKON FREDSON FREITAS FERREIRA**

**ANÁLISE ESPACIAL DAS OCORRÊNCIAS SÍSMICAS E DA  
VULNERABILIDADE SOCIOAMBIENTAL A SISMOS EM MONTES  
CLAROS - MG**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Estadual de Montes Claros como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Geografia

Área de concentração: Dinâmica e Análise Espacial

Linha de Pesquisa: Território, Cultura e Meio Ambiente

Data de Aprovação: \_\_\_\_\_

Banca:

---

Orientador: Prof. Dr. Exedito José Ferreira  
Universidade Estadual de Montes Claros

---

Prof. Dr. Lucas Vieira Barros  
Universidade de Brasília

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Anete Marília Pereira  
Universidade Estadual de Montes Claros

*Dedico este trabalho a minha amada esposa Lilian Damares que me incentivou e me acompanhou durante toda essa importante etapa da minha vida.*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, que em todo momento me deu saúde e força para prosseguir.

A minha esposa, Lilian Damares, por ter me incentivado e me encorajado nos momentos de dificuldade e por estar sempre ao meu lado lutando por um futuro melhor.

A meus pais, Valdir e Marlene, que sempre me apoiaram e contribuíram para minha formação, mesmo com todas as dificuldades. Meu eterno agradecimento.

A meu irmão, Wandileison, e cunhada, Michelle, pelo companheirismo, confiança e por ter acreditado em mim.

A minha cunhada, Liliane, meu sogro, Dilson e minha sogra, Milica, pelo incentivo e apoio.

Ao professor Dr. Expedito José Ferreira pela exímia orientação e contribuição para minha formação acadêmica e profissional. Agradeço por ser um exemplo de ser humano e pelos sábios conselhos.

A toda a equipe do Centro de Estudos de Convivência com o Semiárido CECS, pelo companheirismo, incentivo e amizade.

A toda equipe do Laboratório de Geoprocessamento da Unimontes, especialmente ao prof. Marcos Esdras, prof. Manoel Reinaldo e André pelas discussões que tanto contribuíram para a elaboração deste trabalho.

Aos meus colegas do mestrado pelos momentos de alegria e aprendizado.

Aos meus professores do mestrado pelos ricos ensinamentos.

A toda equipe do Observatório Sismológico de Brasília – SIS/UnB pelas orientações e ensinamentos no campo da sismologia.

Enfim, a todos que de alguma forma participaram comigo desta trajetória.

## RESUMO

Em Montes Claros, cidade localizada no Norte de Minas Gerais, tem-se observado que nos últimos anos vem ocorrendo uma considerável atividade sísmica, fenômeno geológico que já provocou alguns pequenos estragos em residências frágeis e vem assustando a população. Neste contexto, é importante compreender a sismicidade local e gerar informações concretas sobre as características sísmicas de Montes Claros, uma vez que, ainda existe uma carência de trabalhos técnicos e científicos sobre o assunto. É importante, também, a realização de estudos voltados para a identificação das áreas de vulnerabilidade socioambiental a sismos na cidade. Assim, este trabalho objetiva analisar a sismicidade de Montes Claros, caracterizando as ocorrências sísmicas em termos de localização, magnitude e frequência. Buscou-se, também, em complemento, identificar as áreas com maior e menor presença de vulnerabilidade socioambiental dentro do perímetro urbano da cidade, a partir da sobreposição de mapas de vulnerabilidade social e vulnerabilidade ambiental a sismos. Para cumprir esses objetivos buscaram-se dados de eventos sísmicos que ocorreram nesta cidade a partir de registros instrumentais de estações regionais e locais, e foram feitos mapas, quadros e gráficos para compreensão detalhada da sismicidade. Além disso, foi elaborado um mapa de áreas de vulnerabilidade socioambiental a sismos da cidade, utilizando a técnica de sobreposição de áreas de vulnerabilidades social e ambiental. Os resultados mostraram que os eventos sísmicos em Montes Claros vêm ocorrendo desde o ano de 1995, havendo, no entanto, uma intensificação dos tremores, tanto em relação à frequência, quanto em magnitudes a partir do ano 2012. Observou-se uma concentração epicentral na região Noroeste da cidade onde está localizado o bairro Vila Atlântida e adjacências. Observou-se, também, que os tremores ocorridos no ano de 2014 se afastaram alguns quilômetros da área urbana da cidade, em direção Noroeste. Os resultados mostraram que as áreas com maior índice de vulnerabilidade socioambiental estão localizadas notadamente na região Noroeste e as áreas com menor índice estão localizadas na região Sudoeste da cidade. Conclui-se que a sismicidade em Montes Claros se destaca pela sua frequência e moderada magnitude, o que é agravado pela proximidade ao centro urbano. Além disso, existem vários setores com alto índice de vulnerabilidade socioambiental e os efeitos dos tremores podem ser expressivos para a população que residem nessas áreas.

**Palavras-chave:** Sismicidade. Epicentro. Magnitude. Vulnerabilidade. Intensidade sísmica.

## ABSTRACT

In Montes Claros, a city located in north of the state of Minas Gerais, it has been observed in the past few years that is happening a considerable seismic activity, geological phenomenon that already caused some minor damage in fragile houses and it is scaring the population. In this context, it is important to understand the local seismicity and to generate solid information about the seismic characteristics of Montes Claros, once there's still a lack of technical and scientific paper on the subject. It is also important to carry out studies aimed at identifying the social and environmental areas of vulnerability to earthquakes in the city. Therefore, this paper aims to analyze the seismicity of Montes Claros, featuring seismic occurrences in terms of location, magnitude and frequency. It sought to also, in addition, identify the areas with higher and lower presence of social and environmental vulnerability within the urban perimeter of the city from the overlap of social vulnerability maps and environmental vulnerability to earthquakes. In order to achieve this objectives seismic event data that occurred in this city were sought, from instrumental registers of regional and local stations, and were made maps, charts and graphs for detailed comprehension of seismicity. Beyond that, it was elaborated a map of social and environmental vulnerability to earthquakes areas of the city. The results showed that the seismic events in Montes Claros have occurred since 1995, with, however, an intensification of tremors, both in terms of frequency and in magnitude since 2012. There was an epicentral concentration in Northwest area of the city where is located the Vila Atlântida neighborhood and surrounding areas. It was also noted that the tremors occurred in 2014 moved away a few kilometers from the urban area of the city in north-west direction. The results showed that areas with higher social and environmental vulnerability index are located notably in the northwest region and the areas with lower index are located on the south west of the city. It is concluded that the seismicity in Montes Claros stands out for its frequency and moderate magnitude, which is aggravated by the proximity to the urban center. In addition, there are several sectors with high social and environmental vulnerability index and the effects of tremors may be significant for the population living in these areas.

**Key-words:** Seismicity. Epicenter. Magnitude. Vulnerability. Seismic intensity.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Ilustração 1:	Figura de localização dos principais terremotos ocorridos no mundo no período de 1900 a 2013.....	19
Ilustração 2:	Figura de representação do movimento das ondas Longitudinais (P) e Transversais (S).....	20
Ilustração 3:	Figura de representação do movimento de propagação das ondas superficiais.....	21
Ilustração 4:	Figura de representação da trajetória das ondas P e S pelo interior da Terra.....	22
Ilustração 5:	Figura de representação da estrutura interna da Terra.....	24
Ilustração 6:	Mapa de intensidade do terremoto de magnitude 7,5 na Escala Richter em Nova Madrid (USA), em 1811.....	27
Ilustração 7:	Figura de representação do método de localização de terremotos pelo tempo de chegada de ondas sísmicas.....	32
Ilustração 8:	Figura de localização do “Círculo de Fogo do Pacífico”.....	35
Ilustração 9:	Mapa de localização e intensidade do terremoto ocorrido no Haiti em 2010.....	37
Ilustração 10:	Mapa de distribuição dos sismos com magnitudes iguais ou acima de 3 no período de 1767 a 2012.....	42
Ilustração 11:	Mapa com as curvas isossistas para o terremoto de Caraíbas/Itacarambi de 4,9 Mb.....	45
Ilustração 12:	Figura do sismograma do tremor ocorrido em Montes Claros no dia 19/05/2012 da estação sismográfica de Patos de Minas.....	46
Ilustração 13:	Figura de localização das estações que pertencem a RSBR.....	50
Ilustração 14:	Mapa de localização das estações da rede sismográfica local provisória de Montes Claros.....	52
Ilustração 15:	Mapa de aceleração sísmica horizontal do Brasil.....	63
Ilustração 16:	Mapa de localização do município de Montes Claros.....	65
Ilustração 17:	Grupos de vulnerabilidade socioambiental.....	73
Ilustração 18:	Mapa de localização dos setores censitário IBGE 2010 no perímetro urbano de Montes Claros.....	74
Ilustração 19:	Mapa de localização dos pontos de entrevista no perímetro urbano de	

	Montes Claros.....	78
Ilustração 20:	Gráfico de progressão dos sismos durante os anos 1995 a maio de 2012.....	82
Ilustração 21:	Mapa da sismicidade em Montes Claros de 1995 a maio de 2012.....	83
Ilustração 22:	Gráfico de porcentagem das magnitudes dos tremores que ocorreram no período de 28/05/2012 a 2015.....	84
Ilustração 23:	Gráfico da progressão do número de sismos no decorrer de 28/05/2012 a 2015.....	85
Ilustração 24:	Mapa de espacialização dos sismos em Montes Claros a partir de 28/05/2012.....	86
Ilustração 25:	Mapa de vulnerabilidade social em Montes Claros, fator educação.....	92
Ilustração 26:	Mapa de vulnerabilidade social em Montes Claros, fator estrutura etária.....	94
Ilustração 27:	Mapa de vulnerabilidade social em Montes Claros, fator gênero.....	96
Ilustração 28:	Mapa de vulnerabilidade social em Montes Claros, fator renda.....	98
Ilustração 29:	Mapa da vulnerabilidade social em setores censitários de Montes Claros.....	101
Ilustração 30:	Mapa do zoneamento de intensidade sísmica em Montes Claros.....	107
Ilustração 31:	Mapa de vulnerabilidade socioambiental em Montes Claros.....	110
Ilustração 32:	Fotografia do sismômetro.....	123
Ilustração 33:	Fotografia do digitalizador EAM.....	123
Ilustração 34:	Fotografia do painel solar.....	124
Ilustração 35:	Fotografia da antena de GPS.....	124
Ilustração 36:	Fotografia do controlador de carga.....	125
Ilustração 37:	Fotografia da bateria estacionária.....	125
Ilustração 38:	Fotografia do abrigo da estação sismográfica.....	126
Ilustração 39:	Fotografia da área interna do abrigo.....	126

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1:	Escala de intensidade Mercalli Modificada.....	25
Quadro 2:	Escala Richter e seus respectivos efeitos.....	28
Quadro 3:	Terremotos ocorridos no mundo no período de 1990 a 2014 que mais causaram vítimas fatais.....	38
Quadro 4:	Principais sismos intraplaca ocorridos no mundo.....	40
Quadro 5:	Informações de localização das estações sismográficas da rede local de Montes Claros.....	53
Quadro 6:	População total, por gênero, rural/urbana em Montes Claros.....	66
Quadro 7:	Variáveis selecionadas para a determinação da vulnerabilidade social.....	75
Quadro 8:	Grupos e pesos determinados para identificação da vulnerabilidade social, baseado na lógica de Fibonacci.....	76
Quadro 9:	Pesos estatísticos, por setor, para determinação da vulnerabilidade social.....	77
Quadro 10:	Sismos ocorridos em Montes Claros registrados pela Rede Sismográfica Brasileira (RSBR) de 1995 a maio de 2012.....	80
Quadro 11:	Variáveis e valores correspondentes aos grupos de vulnerabilidade social nos setores.....	89
Quadro 12:	Medidas descritivas dos índices de vulnerabilidade social geral.....	100
Quadro 13:	Dados quantitativos dos índices de vulnerabilidade social.....	105
Quadro 14:	Informações sobre as zonas sísmicas em Montes Claros .....	109
Quadro 15:	Sismos ocorridos em Montes Claros a partir de 28/05/2012, registrados por estações sismográficas locais.....	127

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BRASIS:	Rede Sismográfica Integrada do Brasil
BSB:	Boletim Sísmico Brasileiro
ESRI:	Environmental Systems Research Institute
EUA	Estados Unidos da América
GPS	Global Positioning System
IAG/USP:	Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas
IBGE:	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDHM:	Índice de Desenvolvimento Humano Municipal
IPT:	Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo
ON:	Observatório Nacional
RGEOTEC:	Rede de Estudos Geotectônicos Petrobrás – Universidades
RSBR:	Rede Sismográfica Brasileira
RSCN:	Rede Sismográfica do Centro e Norte do Brasil
RSIS:	Rede Sismográfica do Sul e Sudeste do Brasil
RSISNE:	Rede Sismográfica do Nordeste do Brasil
RSPMC:	Rede Sismográfica Provisória de Montes Claros
SAAS:	South American Array System
SIG:	Sistema de Informação Geográfica
SIS/UnB:	Observatório Sismológico da Universidade de Brasília
SUDENE:	Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste
UFRN:	Universidade Federal do Rio Grande do Norte
UnB:	Universidade de Brasília
UNESCO:	Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e Cultura
UNIMONTES:	Universidade Estadual de Montes Claros
USGS	United States Geological Survey
USP:	Universidade de São Paulo

## SUMÁRIO

<b>RESUMO.....</b>	<b>v</b>
<b>LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....</b>	<b>vii</b>
<b>LISTA DE QUADROS.....</b>	<b>ix</b>
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>13</b>
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>16</b>
<b>2.1 Evolução da sismologia como ciência.....</b>	<b>16</b>
<b>2.2 A origem dos terremotos.....</b>	<b>18</b>
<b>2.3 As ondas sísmicas.....</b>	<b>20</b>
<b>2.4 Estrutura interna da Terra.....</b>	<b>22</b>
<b>2.5 Medindo os terremotos.....</b>	<b>24</b>
<b>2.6 Localização epicentral dos terremotos.....</b>	<b>31</b>
<b>2.7 É possível prever terremotos?.....</b>	<b>32</b>
<b>2.8 Sismicidade global.....</b>	<b>34</b>
<b>2.9 Sismos intraplaca e sismicidade no Brasil.....</b>	<b>39</b>
<b>2.10 Sismos em Montes Claros.....</b>	<b>46</b>
<b>2.11 A Rede Sismográfica Brasileira (RSBR) e a Rede Sismográfica Local de         Montes Claros (RSLMC).....</b>	<b>49</b>
<b>2.12 Risco e vulnerabilidade ao perigo natural.....</b>	<b>54</b>
<b>2.13 O risco sísmico.....</b>	<b>60</b>
<b>3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....</b>	<b>64</b>
<b>4 MATERIAS E MÉTODOS.....</b>	<b>69</b>
<b>4.1 Caracterização da sismicidade em Montes Claros.....</b>	<b>70</b>
<b>4.2 Identificação da vulnerabilidade socioambiental a sismos em Montes Claros.....</b>	<b>71</b>
4.2.1 Determinação do Índice de Vulnerabilidade Social.....	74
4.2.2 Determinação do índice de vulnerabilidade ambiental a sismos em Montes Claros (Zonas de intensidade sísmica).....	77

<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>80</b>
5.1	A sismicidade em Montes Claros .....	80
5.2	Vulnerabilidade socioambiental em Montes Claros .....	88
5.2.1	Índice de vulnerabilidade social .....	88
5.2.2	Vulnerabilidade ambiental a sismos em Montes Claros .....	105
5.2.3	Vulnerabilidade socioambiental a sismos em Montes Claros .....	109
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>112</b>
<b>7</b>	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>114</b>
	<b>APÊNDICE A .....</b>	<b>123</b>
	<b>APÊNDICE B.....</b>	<b>127</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O termo sismicidade remete-se à análise das ocorrências sísmicas no espaço e no tempo, podendo ser considerada como a geografia da atividade sísmica, pois expressa a distribuição dos terremotos em uma região ou até mesmo no planeta inteiro. Porém, não se restringe somente a análises de distribuições de sismos, mas, também englobam as causas e efeitos desse fenômeno natural a uma região qualquer (KEAREY; BROOKS e HILL, 2009).

Nas últimas décadas, as pesquisas dedicadas à análise da sismicidade avançaram nitidamente, e, através disso, foi possível saber quais regiões possuem alta sismicidade, como também, quais regiões possuem baixa sismicidade no mundo. Normalmente, em bordas de placas tectônicas onde existe contato entre as placas, percebe-se uma grande frequência de terremotos com magnitudes elevadas, ao passo que em locais afastados das bordas, tanto a frequência quanto as magnitudes são menores. No entanto, existem algumas regiões intraplaca no mundo que ocorrem terremotos com considerável frequência e elevada magnitude. Por exemplo, em New Madrid – EUA já ocorreram terremotos violentos que ultrapassaram a magnitude 8,0 e o mesmo já ocorreu em Kutch – Índia. Esses terremotos foram gerados por rompimentos de rochas que foram submetidas a forças geotectônicas e não suportaram o seu limite de resistência, geralmente em áreas de fraqueza.

Pelo senso comum, o Brasil é tido como um país assísmico, ou seja, não existem terremotos em seu território, no entanto, o histórico da sismicidade brasileira mostra outra realidade. Mesmo que a sismicidade seja menor que em bordas de placas, ocorrem terremotos em várias regiões do país. As maiores magnitudes já observadas superaram 6,0 na escala Richter (ASSUMPÇÃO, 2011).

Nesse sentido, Montes Claros, cidade localizada no Norte de Minas Gerais, objeto de estudo deste trabalho, é um exemplo de localidade dentro do território brasileiro na qual ocorre um grande número de tremores de terra, principalmente nos últimos cinco anos. O maior sismo registrado nessa região alcançou a magnitude 4,0, na escala Richter, em 19 de maio de 2012, assustando muitos moradores e causando grande preocupação, sobretudo, devido às consequências geradas pela alta intensidade e também pelas incertezas quanto à possibilidade de haver sismos equivalentes ou, até mesmo, maiores. Segundo Assumpção (2013), este

tremor gerou fortes vibrações e provocou trincas e pequenos danos em casas frágeis na região epicentral, causando intensidades entre V e VI na escala Mercalli Modificada (MM).

Diante da ocorrência desses eventos, as principais instituições brasileiras que atuam na área de sismologia, nomeadamente, o Observatório Sismológico da Universidade de Brasília – SIS/UnB e o Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas – IAG/USP, desenvolveram pesquisas em Montes Claros, com o objetivo de compreender a origem dos tremores e repassar informações confiáveis às autoridades locais. Para tanto, no período de maio a junho de 2012, foi instalada uma rede de estações sismográficas provisória em Montes Claros, com a finalidade de obter dados sísmicos locais, e, assim, conseguir maior precisão em termos de localização e magnitude dos tremores.

Os registros de tremores gerados pelas estações sismográficas provisórias foram determinantes para a compreensão da causa dos tremores. A análise dos dados sísmicos possibilitou aos pesquisadores do SIS-UnB e do IAG-USP a inferirem que a origem dos tremores está relacionada à ocorrência de uma falha geológica com orientação NNW-SSE, localizada a Noroeste da cidade, com extensão entre 1 e 2 km, e sua movimentação se dá por compressão da crosta na direção E-W, conforme se acha descrito no relatório técnico divulgado em março de 2013. Já os focos dos tremores estão entre 1 e 2 km de profundidade, abaixo da camada de calcário.

Neste contexto, é importante compreender a sismicidade dessa região e gerar informações concretas sobre as características sísmicas de Montes Claros, uma vez que, ainda existe uma carência de trabalhos técnicos e científicos sobre o assunto. Um maior número de trabalhos pode auxiliar as autoridades competentes em relação às medidas de prevenção e reduzir prováveis perdas, caso haja tremores com intensidades consideráveis.

Além desse conhecimento, é importante, também, a realização de estudos voltados para a identificação das áreas de vulnerabilidade socioambiental na cidade àquelas com sobreposição de vulnerabilidade social da população e vulnerabilidade ambiental que compreende as zonas de intensidade sísmica. Por intermédio desses estudos, as medidas de prevenção a desastres podem ser mais eficientes, sendo direcionadas para áreas mais críticas em termos de vulnerabilidade.



Diante deste cenário, o principal objetivo deste trabalho é analisar as ocorrências sísmicas em Montes Claros, Norte do Estado de Minas Gerais, com enfoque voltado para a espacialização dos tremores, observando também as magnitudes e a frequência destes eventos. De forma mais específica, este trabalho buscou elaborar um mapa de vulnerabilidade socioambiental a sismos na cidade, classificando, com o auxílio do Sistema de Informação Geográfica - SIG, os índices de vulnerabilidade socioambiental a sismos nos setores censitários de Montes Claros.

Assim sendo, a análise do espaço geográfico por meio das áreas com sismicidade ativa e vulnerabilidade socioambiental a sismos é de singular relevância para a compreensão dos impactos que um eventual tremor com magnitude elevada pode causar na cidade de Montes Claros. Além disso, saber a distribuição espacial dos dados sísmicos é importante para indicar áreas de maior perigo sísmico e caracterizar a vulnerabilidade da área, alertando as autoridades para tomar decisões corretas quanto ao risco sísmico.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Evolução da sismologia como ciência

De forma geral, a sismologia é a ciência que estuda as causas e os efeitos dos terremotos e analisa o comportamento das ondas sísmicas que se propagam pelo interior da terra, oriundas do rompimento de blocos rochosos (KEAREY; BROOKS; HILL, 2009). O avanço científico dessa ciência contribuiu para compreender melhor a estrutura interna terra, em termos de composição mineralógica e propriedades físicas (PACCA e MCREATH, 2000).

A sismologia é uma ciência fundamental para a compreensão de diversos temas desconhecidos. Não era possível saber o que existia e como se comportava o interior do planeta Terra, nem calcular com precisão a profundidade dos terremotos, e determinar magnitudes. Contudo, atualmente, todos esses questionamentos são respondidos e se observa um crescente número de pesquisadores que se interessam por essa ciência. De acordo com Molina e Ribeiro (2015), o surgimento da sismologia como ciência é relativamente recente, e, esta, se desenvolveu paralelamente ao desenvolvimento da geologia.

O primeiro terremoto a ser analisado cientificamente foi o terremoto que ocorreu em Lisboa no ano de 1755. Este terremoto foi seguido por um tsunami e vários incêndios que destruíram grande parte da cidade de Lisboa. Milhares de pessoas morreram e grandes monumentos, igrejas, casas e infraestrutura em geral foram arrasadas. O livro *Tremeu a Europa e o Brasil Também*, escrito por José Alberto Vivas Veloso, publicado em 2015, conta com detalhes toda a história desse evento. O autor descreveu como a cidade de Lisboa estava após o terremoto, dizendo:

A visão de Lisboa era estarrecedora, pois a cidade parecia ter sido pisoteada pelo andar errático de um gigante enfurecido. Destruição maciça, fumaça preta e fogo crepitando. Mortos em profusão e feridos agonizantes. Gente espantada e desamparada. Militares dispersos e funcionários do alto escalão em fuga. Até o secretário da Marinha, Diogo de Mendonça Corte Real, desapareceu de Lisboa e dele ninguém sabia o paradeiro. O descontrole crescia e o caos imperava em uma cidade quase riscada do mapa. Em algum momento sugeriu-se ao rei trasladar sua Corte para a cidade do Porto, mas ele não aceitou e acabou se envolvendo pessoalmente na ajuda de seus súditos (VELOSO, 2015 p. 61).

A partir de então, de acordo com Veloso (2015), muitos pensadores da época, principalmente os europeus, começaram a questionar o problema, desmistificando os pensamentos religiosos e tentando compreender racionalmente as causas dos terremotos. O próprio Marquês de Pombal defendia que a causa do terremoto foi por fatores naturais e não da vontade divina, como estava sendo pregado pela maioria das pessoas religiosas naquele período. Nessa época, o governo português concedeu todas as licenças para a publicação do livro de Pedegache, que buscava explicar o terremoto por causas naturais. Pedegache descreveu os três principais terremotos já ocorridos em Portugal e tratou dos primeiros estudos sobre recorrência sísmica, dizendo que o intervalo entre sismos seria de aproximadamente 220 anos.

Veloso (2015) continua dizendo que coube ao Marquês de Pombal a reconstrução da cidade de Lisboa, e, graças a ele, surgiram as primeiras construções resistentes a sismos no mundo. A maior novidade foi a "Gaiola Pombalina", isso compreendia em "uma estrutura com elementos de madeira, dispostos no sentido vertical, horizontal e inclinado e ligados entre si, através de cruces de Santo André - cruz em forma de X que serve para apoiar vigamentos" (VELOSO, 2015, p. 76). Através disso, os portugueses estabeleceram o primeiro código sísmico conhecido no mundo.

Para Molina e Ribeiro (2015), outro avanço no campo da sismologia como ciência ocorreu no ano de 1880, com a construção dos primeiros sismógrafos realmente eficazes, criados pelos cientistas ingleses Gray, Milne e Ewing. A primeira associação de um sismograma a um terremoto distante ocorreu em 1889, em Potsdam, na Alemanha, de um terremoto sucedido no Japão.

Assim, como outras ciências que trabalham com experimentos, a sismologia utiliza instrumentos para a geração de dados, e, dessa forma, estudam os terremotos. Conforme Press *et al.* (2006), os dados adquiridos a partir de estações sismográficas permitem aos pesquisadores analisar as ondas sísmicas que se originam de terremotos e localizá-los, determinar seus tamanhos, quantidades de ocorrências e entender as suas relações com as falhas geológicas.

O desenvolvimento das bases científicas da sismologia contribuiu fortemente para maior compreensão do caráter dinâmico da terra. No entender de Kearey, Brooks e Hill (2009) a

sismologia fornece informações sobre as principais camadas internas da terra e as ondas sísmicas que atravessam essas camadas fornecem importantes informações sobre suas estruturas físicas e composição.

Décadas mais tarde, após estes avanços no campo da sismologia, o Brasil começa a dar seus primeiros passos nessa área do conhecimento. De acordo com o OBSIS (2016), as primeiras estações sismográficas foram instaladas no Parque Nacional de Brasília - DF no final da década de 1960, atendendo a uma recomendação da Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e Cultura – UNESCO sobre o monitoramento dos sismos da região andina. Em 1968, a Universidade de Brasília criou um Núcleo de Sismologia denominado SAAS (South American Array System) e na década de 1980 foi criado o Observatório Sismológico de Brasília – SIS/UnB. A partir de então, o estudo da sismologia foi crescendo e outras instituições também começaram a pesquisar a sismicidade no Brasil.

## **2.2 A origem dos terremotos**

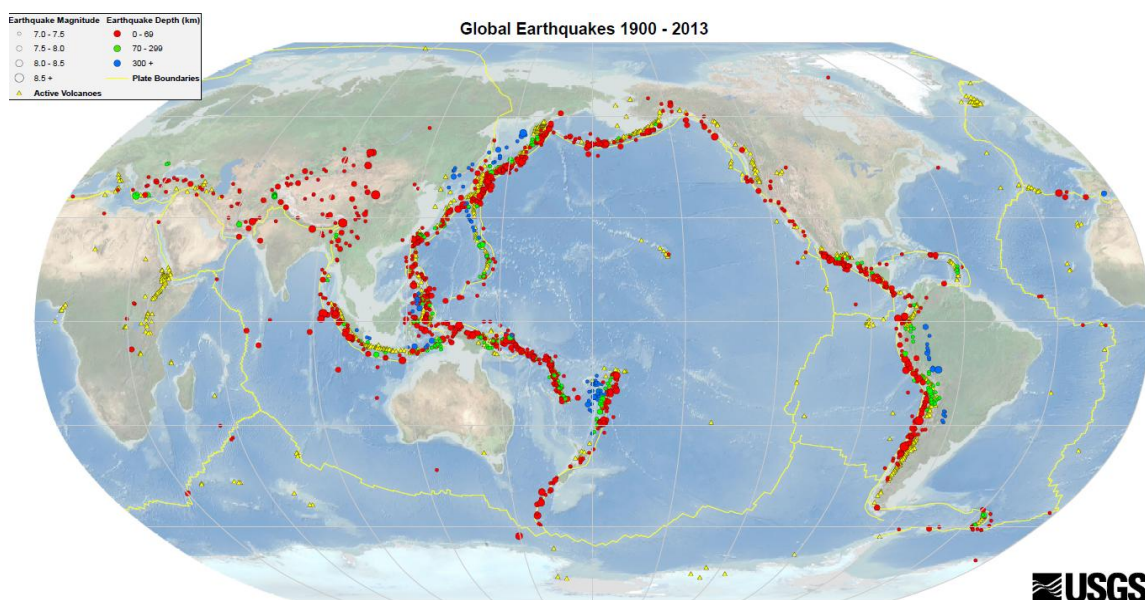
A chamada teoria da Tectônica de Placas, explicada nos trabalhos de Makdonald (1998), Tassinari (2000), Press *et al.* (2006), Lowrie (2007), e outros mais, mostra que a litosfera está dividida em placas rígidas que estão se movimentando sobre a astenosfera. O movimento das placas tectônicas e as forças existentes nos seus limites de contato são as responsáveis pela maioria dos terremotos. Portanto, o terremoto ocorre quando uma rocha está sob tensões além dos seus limites de resistência, possibilitando o rompimento ao longo de uma falha nova ou falha preexistente. Os deslizamentos de blocos rochosos geram as ondas sísmicas, que, dependendo da sua intensidade podem causar muitos estragos (PRESS *et al.*, 2006).

Conforme Barros (2010 p. 1) “um sismo resulta da ação de forças que atuam sobre uma dada estrutura geológica localizada na parte rígida da terra” e é fundamental para a compreensão de suas características, a obtenção de um grande número de dados sismológicos, geofísicos e geológicos (GANGOPADHYAY e TALWANI, 2005). Assumpção e Dias Neto (2000) também explicam que principalmente perto das bordas das placas litosféricas, as tensões vão se acumulando em vários pontos em alguns centímetros por ano. Quando essas tensões atingem o limite de resistência das rochas ocorrem às rupturas. Os repentinos movimentos entre os blocos que foram rompidos geram as vibrações que se propagam em todas as

direções. Sykes (1978) já dizia que cerca de 90 % da atividade sísmica global está concentrada nas regiões de bordas de placas litosféricas.

A Ilustração 1 mostra a localização dos principais terremotos, com magnitude acima de 7,0, espalhados pelo mundo desde 1900. É possível observar que a grande maioria deles está concentrada em bordas de placas tectônicas.

Ilustração 1: Figura de localização dos principais terremotos ocorridos no mundo no período de 1900 a 2013.



Fonte: USGS (2015).

Conforme Press *et al.* (2006) a busca por explicações sobre as tensões em bordas de placas e dos inúmeros sismos ocorridos nessas regiões, fez com que o geólogo Henry Fielding Reid propusesse a teoria do Rebote Elástico. Essa teoria diz que o movimento das placas empurra os blocos rochosos em direções opostas e as deformações das rochas se acumulam por décadas, séculos e até milênios. Em algum ponto a resistência das rochas é excedida e há o rompimento. Após isso, a rocha se reacomoda ao seu estado indeformado e as tensões se acumulam novamente.

Quando o material rochoso se movimenta, parte da energia deste movimento é liberada na forma de ondas sísmicas. Essas ondas são na realidade vibrações que se propagam em todas as direções. O ponto onde ocorre a liberação da energia sísmica é definido como foco ou

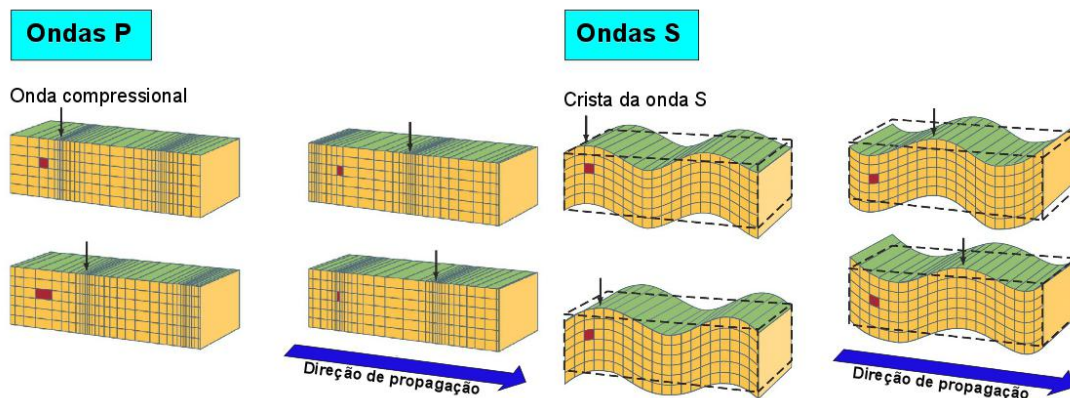
hipocentro e o local indicado pela linha de correspondência na superfície do terreno é conhecido como epicentro (CLARK JR, 1988).

### 2.3 As ondas sísmicas

A partir da ruptura de blocos rochosos, há dois tipos de ondas que se propagam pela terra, são as chamadas ondas sísmicas de corpo (Longitudinais e Transversais) e ondas sísmicas de superfície (Rayleigh e Love).

Assumpção e Dias Neto (2000, p. 46) mencionam que “nas ondas longitudinais (ondas P), as partículas do meio vibram paralelamente à direção de propagação e nas transversais (ondas S), as vibrações das partículas são perpendiculares à direção de propagação da onda”. Press *et al.* (2006) dizem que as ondas P são compressionais, porque elas se propagam pelos materiais sólidos, líquidos e gasosos em sucessivas compressões e expansões. Assim, as ondas P têm a capacidade de empurrar e puxar as partículas da matéria na direção do caminho de sua propagação. Quanto às ondas S, Press *et al.* (2006) afirmam que elas se propagam somente em meio sólido, com velocidade menor que a onda P, e são chamadas de ondas de cisalhamento, porque deslocam o material em ângulos perpendiculares à sua trajetória de propagação (Ilustração 2).

Ilustração 2: Figura de representação do movimento das ondas Longitudinais (P) e Transversais (S).



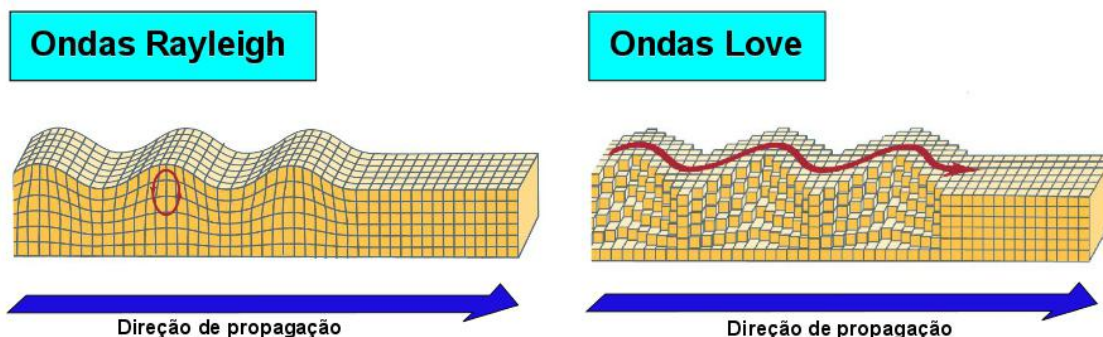
Fonte: Albuquerque (2014) adaptado de Press *et al.* (2006).

Assumpção e Dias Neto (2000, p. 46) ao verificarem a velocidade de propagação das ondas sísmicas e o meio por onde elas passam salientam que:

As velocidades de propagação das ondas P e S dependem essencialmente do meio por onde elas passam [...]. Em geral, quanto maior a densidade de uma rocha, maior a velocidade das ondas sísmicas. É justamente essa propriedade que permite utilizar as ondas sísmicas para obter informações sobre a estrutura e a composição em grandes profundidades. Por exemplo, analisando-se as vibrações provocadas por explosões artificiais controladas em uma bacia sedimentar, podemos deduzir as velocidades sísmicas nas várias camadas sedimentares da bacia e obter informações sobre eventuais estruturas geológicas importantes. (ASSUMPÇÃO e DIAS NETO, 2000, p. 46)

Além das ondas internas P e S existem também as ondas superficiais, chamadas de ondas “Love” e “Rayleigh”. “As ondas superficiais Love correspondem a superposições de ondas S com vibrações horizontais concentradas nas camadas mais externas da terra. As ondas superficiais Rayleigh são uma combinação de vibrações P e S contidas no plano vertical” (ASSUMPÇÃO e DIAS NETO, 2000 p. 47). Veja na Ilustração 3 a representação das ondas sísmicas superficiais.

Ilustração 3: Figura de representação do movimento de propagação das ondas superficiais



Fonte: Albuquerque (2014) adaptado de Press *et al.* (2006).

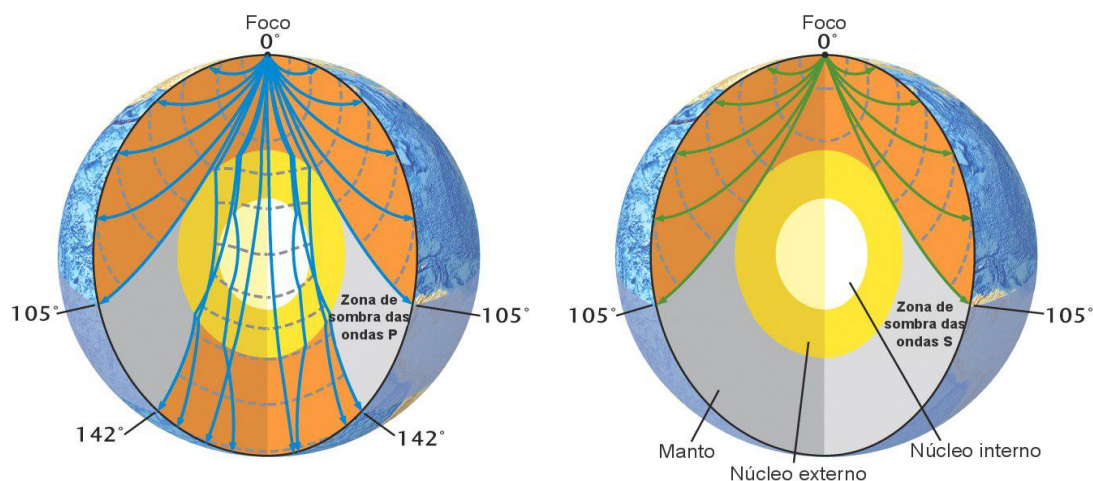
O estudo das ondas sísmicas foi importante para a compreensão de estruturas internas da Terra, que até pouco tempo era de difícil compreensão, e fornecem elementos fundamentais para o conhecimento da natureza dos terremotos. “As ondas sísmicas permitem-nos localizar os terremotos e determinar a natureza do falhamento e fornecem-nos a mais importante ferramenta para analisarmos o interior da Terra” (PRESS *et al.*, 2006 p. 474).

## 2.4 Estrutura interna da Terra

Devido à falta de tecnologia para enfrentar altas pressões e altas temperaturas é impossível para o homem chegar a grandes profundidades do interior da terra. Contudo, Pacca e McReath (2000) salientam que o interior da Terra pode ser estudado de maneira indireta, através da análise das ondas sísmicas registradas na superfície, permitindo assim, compreender as características das camadas internas da terra, atravessadas pelas ondas. As especulações sobre a composição do interior da Terra já eram feitas desde o século XIX, por exemplo, através de observações de erupções vulcânicas e de terremotos nos Andes, realizadas por Charles Darwin. Já neste período, foi deduzido que a Terra era envolvida por uma fina camada superficial e abaixo existia uma massa fundida (PACCA e MCREATH, 2000).

A compreensão da estrutura interna da Terra se baseia na análise das ondas sísmicas que como qualquer outro fenômeno ondulatório, a direção de propagação muda ao passar de um meio com velocidade  $V_1$  para outro com velocidade diferente  $V_2$ , como mostra a Ilustração 4. As ondas sísmicas sofrem o efeito da refração e reflexão e também obedecem à lei de Snell (ASSUMPCÃO e DIAS NETO, 2000).

Ilustração 4: Figura de representação da trajetória das ondas P e S pelo interior da Terra



Fonte: Albuquerque (2014) adaptado de Press *et al.* (2006).

Dessa forma, foram observadas as ondas sísmicas de milhares de terremotos durante décadas e pôde-se deduzir a estrutura principal do interior da terra, juntamente com as principais discontinuidades. As discontinuidades mais relevantes são as de Moho e Gutenberg e as



camadas foram classificadas como crosta, manto, núcleo externo e núcleo interno, assim também, foram deduzidas as propriedades de cada uma delas (SHEARER, 2009).

Em 1909 foi detectada a primeira descontinuidade do interior da Terra, a descontinuidade de Moho, dada esse nome em homenagem ao seu descobridor o sismólogo iugoslavo Andrija Mohorovicic. Foi observado o tempo de chegada das ondas sísmicas de vários observatórios de um grande terremoto ocorrido na Croácia, e verificou-se que a velocidade era ligeiramente maior em estações com distância superior a 200 Km. O sismólogo explicou essa diferença de velocidade a partir de suposições de que haveria uma brusca variação da composição elástica do material terrestre a cerca de 50 Km de profundidade (PACCA e MCREATH, 2000).

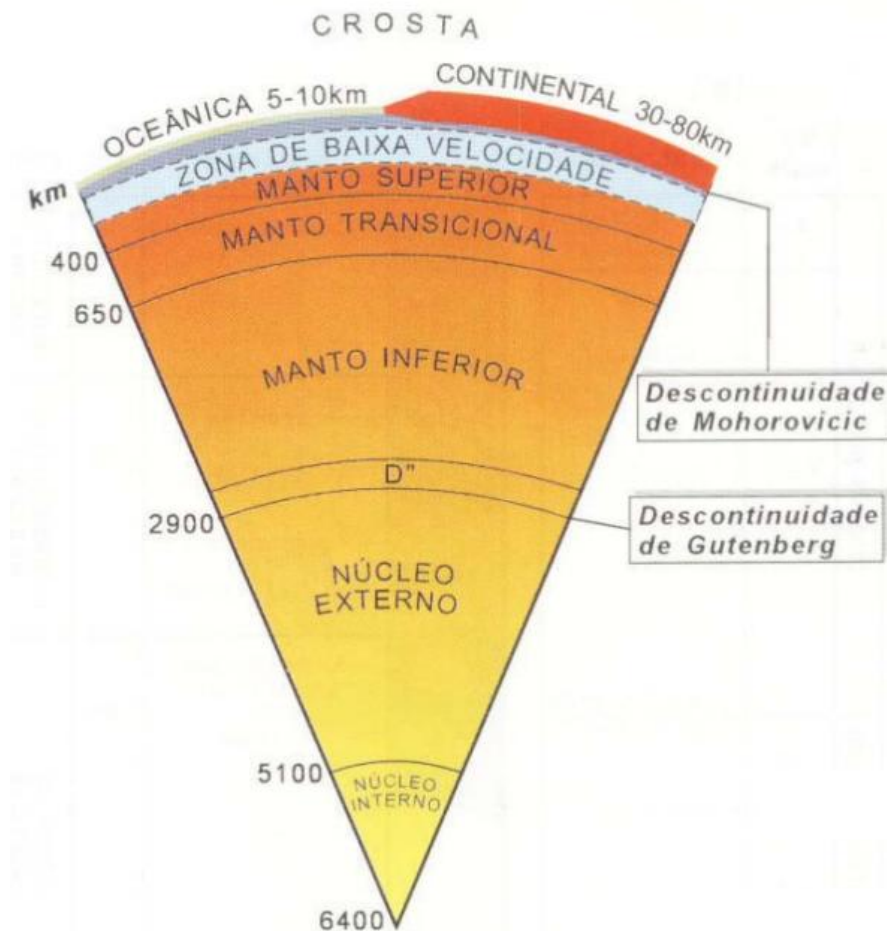
Ainda, segundo Pacca e McReath (2000), foram observadas as ondas sísmicas que chegavam em estações sismográficas cada vez mais distantes do epicentro do terremoto e foi verificado uma zona de sombra entre 103° e 144° do foco sísmico. Nessa zona, foi interpretado que existia uma composição diferente daquelas do manto, portanto, foi denominado que seria o núcleo. Pacca e McReath (2000) salientam, ainda, que essa interface entre o manto e o núcleo foi denominada de descontinuidade de Gutenberg, situada a 2.900 Km de profundidade.

As observações realizadas sobre as ondas sísmicas que passavam pelo núcleo, mostraram que sua composição é líquida, devido a não propagação de ondas S (SHEARER, 2009). Anos mais tarde, a sismóloga dinamarquesa Inga Lehman concluiu que o núcleo era dividido em duas zonas com composição distinta, o externo líquido e o interno sólido. As velocidades de propagação das ondas P se alteravam novamente a profundidades maiores que 5.100 Km e nessa camada a onda S também se propagava pelo meio (PACCA e MCREATH, 2000).

A primeira camada, a crosta, possui uma espessura variando de 30 a 80 km nos continentes e de 7 a 10 km nos oceanos, com velocidades de propagação da onda P variando de 6 km/s na crosta superior e 7 km/s na crosta inferior, a sua composição é predominantemente de granito. Abaixo da crosta, se encontra o manto, com profundidade que vai até 2.900 km e velocidade da onda P variando de 8,0 km/s até 13,5 km/s, onde a sua composição é ultramáfica (peridotito). Em profundidades maiores que 2.900 km se encontra o núcleo, que é dividido em núcleo externo e interno. Cook *et al.* (2010) afirmam que no núcleo externo não se observa propagação de ondas S, mostrando que deve estar em estado líquido, e a velocidade da onda P

é bem menor, se elevando quando chega ao núcleo interno que é predominantemente de ferro, como mostra a Ilustração 5.

Ilustração 5: Figura de representação da estrutura interna da Terra



Fonte: Adaptado de Pacca e McReath (2000).

## 2.5 Medindo os terremotos

O tamanho de um terremoto pode ser medido de duas formas, a partir de seus efeitos em um determinado lugar, que representa a intensidade, ou, através de medidas de energia liberada, em escalas logarítmicas, que mostram a magnitude. Em relação ao primeiro, é possível medir a intensidade de um terremoto a partir dos danos causados em estruturas e a percepção das pessoas em relação ao evento (SHEARER, 2009). Nessa perspectiva, Assumpção e Dias Neto (2000, p. 50) afirmam que “a intensidade sísmica é uma classificação dos efeitos que as ondas sísmicas provocam em determinado lugar”. Estes autores salientam que a medida da intensidade sísmica não é uma mensuração direta, feita por instrumentos, e sim uma descrição

de como os efeitos foram sentidos pelas pessoas em objetos e construções, como barulho e queda de objetos, trincas e rachaduras em casas, etc.

A escala mais utilizada no ocidente para medir a intensidade dos tremores é a criada pelo cientista italiano Giuseppe Mercalli, em 1902, que conforme Lopes e Nunes (2011) é a forma mais antiga de medição de terremotos. Esta escala foi revisada em 1956 por Charles Richter e passou a se chamar Mercalli Modificada (Quadro 1). A escala atribui valores de acordo com a intensidade do terremoto, em algarismos romanos, que vai de I a XII, e representa a crescente quantidade de danos no local, variando por tremores sentidos por poucas pessoas até terremotos que causam destruição total (SHEARER, 2009).

Quadro 1: 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.

Continua...

Quadro 1: Escala de intensidade Mercalli Modificada

Continuação.

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 ate 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).

Lopes e Nunes (2011) destacam que esta escala é bastante subjetiva e, seus resultados dependem muito das perguntas feitas pelo entrevistador e da qualidade das anotações ao observar o local. Os autores dizem que um dos desafios encontrados no momento da entrevista é a tentativa de remoção dos efeitos das emoções nas pessoas, com perguntas simples e diretas. Para tanto, é necessário ouvir testemunhas e estudar relatos de jornais antigos, uma vez que, estipulado os setores de intensidade dos terremotos, é possível localizar a provável área do foco e as diferentes intensidades ao redor.

Muitos estudos de intensidade sísmica já foram feitos pelo mundo e, dentre eles, os mais emblemáticos foram realizados em Nova Madrid, Estados Unidos, que foi atingida por terremotos intensos em 1811 e 1812. Esses terremotos estão entre os maiores sismos intraplaca ocorridos no mundo, conforme destaca Johnston e Kanter (1990), e apresentam um risco significativo para a região central dos Estados Unidos, dado o tempo de recorrência desse evento ser estipulado em 500 anos em média (TUTTLE *et al.*, 2002). Atualmente observa-se que alguns destes estudos buscam estipular novos valores de intensidades, como Hough *et al.* (2000) que trabalharam com correções dos valores originais através de revisões de relatórios de danos, e também, Tuttle *et al.* (2002) que analisaram as características de liquefação da área atingida, bem como, Newman *et al.* (1999) que trabalharam com análise de medições de GPS geodésico. A Ilustração 6 elaborada por Press *et al.* (2006) mostra um mapa de intensidade do terremoto de magnitude 7,5 que ocorreu em Nova Madrid, Estados Unidos da América, em 1811.

Ilustração 6: Mapa de intensidade do terremoto de magnitude 7,5 na Escala Richter em Nova Madrid (USA), em 1811.



Fonte: PRESS *et al.* (2006)

A outra forma de medir a força dos terremotos se encontra na escala Richter, elaborada pelo sismólogo Charles Richter, formulada para comparar o tamanho relativo dos sismos baseando-se na amplitude das ondas P, registradas pelas estações sismográficas. Para determinar o tamanho de um terremoto, Charles Richter desenvolveu um procedimento baseado na mensuração da magnitude utilizada na astronomia, na qual era possível medir o

brilho das estrelas, e a partir de algumas adaptações passou a medir a magnitude de terremotos a partir de números. Na escala de Magnitude Richter, foi utilizado o logaritmo da maior amplitude de onda como a medida do terremoto (PRESS *et al.*, 2006). No Quadro 2 é representada a magnitude e seus respectivos efeitos de destruição.

Quadro 2: Escala Richter e seus respectivos efeitos

ESCALA DE RICHTER	
MAGNITUDE	EFEITOS
< 2	Em regra geral, não é sentido perto do epicentro, mas é registrado por instrumentos de alta sensibilidade.
2.0 – 2.9	Difícilmente é percebido na proximidade do epicentro. Não afeta as construções.
3.0 – 3.9	Sentido por algumas pessoas
4.0 – 4.9	Sentido pela maioria. Afeta as construções próximas do epicentro. Pequenos estragos.
5.0 – 5.9	Forte. Moderadamente destruidor. Deslocações de mobiliário.
6.0 – 6.9	Destruidor em regiões populosas. Derrube de paredes.
7.0 – 7.9	Desastroso. Danos severos. Destruição de edifícios.
> 8	Catastrófico. Destrói as comunidades perto do epicentro.

Fonte: Adaptado de Lopes (2012)

Existem várias fórmulas para se calcular a magnitude de um terremoto e as mais usadas, conforme o VI Curso de Extensão Universitária em Sismologia Instrumental (2004), são magnitude local ( $M_L$ ), magnitude de ondas de corpo ( $M_b$ ), magnitude de ondas de superfície ( $M_s$ ), magnitude do momento sísmico ( $M_w$ ), magnitude de duração ( $m_D$ ) e magnitude regional ( $m_R$ ).

**A. Magnitude Local ( $M_L$ ):** introduzida por Charles Richter em 1935 e desenvolvida para quantificação dos terremotos do Sul da Califórnia. Esta escala usa a amplitude máxima do sismograma obtido a partir do sismógrafo Wood-Anderson (W-A) e é definida pela equação:

$$M_L = \log A_{\text{máx}}^s - \log A_0(\Delta) \quad (\text{eq. 1})$$

Onde:

$A_{\text{máx}}^s$  = amplitude máxima do sismograma W-A (em mm);

-  $\log A_0(\Delta)$  = função de correção para decaimento da amplitude (é função da distância epicentral  $\Delta$  (Km). Escala aplicada exclusivamente nos sismos rasos que ocorrem na Califórnia, com distâncias epicentrais menores que 600 Km.

**B. Magnitude de ondas de corpo ( $m_b$ ):** criada por Gutenberg e Richter (1956) não possui valores confiáveis para distâncias epicentrais inferiores a 20 graus. Um grau de distância epicentral equivale a 111 Km na superfície da terra e é definida pela expressão:

$$m_b = \log(A_{\text{máx}}^c/T) + Q(\Delta, h) + s \quad (\text{eq. 2})$$

Onde:

$A_{\text{máx}}^c$  = amplitude máxima do deslocamento do chão a partir de medidas no sismograma de período curto das ondas de volume P, PP, S ou PS etc.

T = período da amplitude máxima (em segundos);

Q = fator de correção que depende da distância epicentral ( $\Delta$ ) e da profundidade do foco sísmico (h);

S = correção associada à estação de registro.

**C. Magnitude de ondas de superfície ( $M_s$ ):** conforme Assumpção e Dias Neto (2000) é a mais utilizada para terremotos distantes e com profundidades menores que 50 Km.

$$M_s = \text{Log} \left( \frac{A}{T} \right) + 1,66 \log(\Delta) + 3,3 \quad (\text{eq. 3})$$

Onde:

A = amplitude da onda superficial Rayleigh ( $\mu\text{m}$ ) registrada entre 20° e 100° de distância;

T = período da onda superficial (deve estar entre 18 e 22 s);

$\Delta$  = distância epicentral, em graus; é o ângulo no centro da terra entre o epicentro e a estação ( $1^\circ = 111 \text{ Km}$ );

**D. Magnitude do momento sísmico ( $M_w$ ):** Definida por Hanks e Kanamori (1979), esta escala de magnitude é baseada no momento sísmico e corrige a saturação que ocorre com o crescimento sísmico que as outras escalas criadas antes da década de 1970 possuem. Nesta escala os grandes terremotos podem ser registrados com mais precisão, pois está relacionada às características físicas do hipocentro.

$$M_w = \frac{2}{3} \log_{10} M_0 - 6 \quad (\text{Eq. 4})$$

$M_0$  = momento sísmico utilizado para estimar a energia liberada durante o terremoto.

$$M_0 = \mu D S$$

$\mu$  = módulo de elasticidade transversal dos materiais na falha;

$D$  = deslocamento médio observado na falha;

$S$  = área de ruptura ao longo da falha geológica onde o terremoto ocorreu.

Assumpção e Dias Neto (2000) ressaltam que o maior terremoto já registrado por essa escala ocorreu no sul do Chile em 1960 com uma ruptura de mais de 1000 Km de comprimento, dando uma magnitude de 9,7  $M_w$ .

**E. Magnitude de duração ( $m_D$ ):** escala baseada na medida de duração do sinal sísmico ( $D$ ) em segundos.

$$m_D = c_1 \log D + c_2 \quad (\text{eq. 5})$$

Onde:  $c_1$  e  $c_2$  são constantes que precisam ser calibradas para cada local.

As fórmulas de primeira aproximação para a escala de duração do sinal, definidas por Assumpção *et al* (1989) válida para sismos na região de João Câmara - RN são:

$$m_D = \log D \text{ (seg.)} - 0.02 \text{ (quando } D \leq 30 \text{ seg.)}$$

$$m_D = 2.05 \log D \text{ (seg.)} - 1.61 \text{ (quando } D > 30 \text{ seg.)}$$



**F. Magnitude Regional ( $m_R$ ):** definida por Assumpção (1983) foi elaborada para as condições de atenuação das ondas sísmicas na litosfera brasileira e é indicado para sismos entre 200 e 1.500 km de distância.

$$m_r = \log V_{\text{máx}}(\mu\text{m}) + 2.3 \log \Delta(\text{Km}) - 2.28 \quad (\text{eq. 6})$$

Onde:

$V_{\text{máx}}=2\pi (A/T)^{\text{máx}}$ , velocidade máxima de partícula do chão para a onda P;

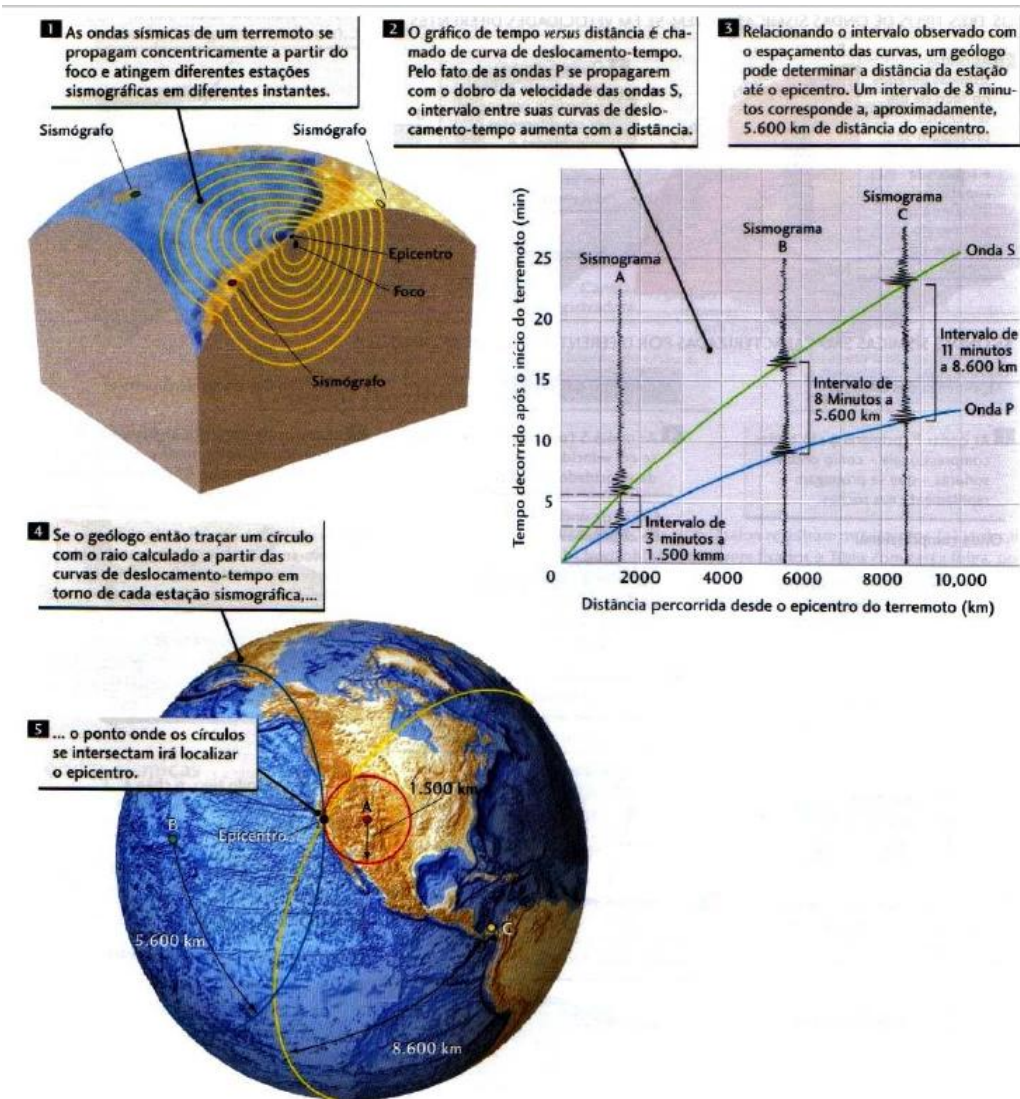
$\Delta$  = distância epicentral ( $200 \text{ Km} \leq \Delta \leq 1.500 \text{ Km}$ ).

## 2.6 Localização epicentral dos terremotos

O princípio básico para localizar o epicentro de um terremoto de acordo ao VI Curso de extensão Universitária em Sismologia Instrumental (2004) consiste em saber a velocidade de propagação das ondas sísmicas pelas estruturas da Terra, e o tempo necessário para elas viajarem diferentes distâncias. A velocidade de propagação da onda P é maior que a da onda S e, portanto, ao saber o tempo exato de chegada dessas ondas em diferentes estações sismográficas, é possível determinar a localização do terremoto. Quanto maior a diferença nos tempos de chegada dessas ondas, maior será a distância entre o epicentro e a estação.

Um valor típico para a velocidade da onda P é de 8 Km/s e as ondas S, mais lentas, são de 4,5 Km/s (HALLIDAY; RESNICK e WALKER, 2008). Portanto, sabendo essas velocidades da onda P e S e o tempo de chegada nos sismógrafos é possível saber a distância epicentral do evento. Supondo que a diferença de tempo entre as ondas seja igual há 180 segundos, a distância epicentral seria de 1.851 km, se as ondas se propagarem em linha reta. Veja na Ilustração 7 o método de localização de terremotos a partir do tempo de chegada das ondas P e S.

Ilustração 7: Figura de representação do método de localização de terremotos pelo tempo de chegada de ondas sísmicas



Fonte: Adaptado de PRESS *et al.* (2006)

Conhecendo-se a distância epicentral de um terremoto em no mínimo três estações, é traçado um círculo com o raio calculado em torno de cada estação e a interseção dos círculos será a localização do sismo.

## 2.7 É possível prever terremotos?

A previsão de terremotos não é algo fácil de realizar, “apesar de intensas pesquisas por várias décadas, ainda não foi possível desenvolver um método prático e seguro para se fazer previsões de terremotos” (ASSUMPÇÃO e DIAS NETO, 2000 p. 60). Mesmo assim, haveria duas maneiras de se prever terremotos, mesmo que na prática seja inviável pelo alto custo e

grande quantidade de medidas em alta profundidade. Seriam as “medidas diretas das tensões crustais e observações de alguns fenômenos que indicam a iminência de uma ruptura na crosta” (ASSUMPÇÃO e DIAS NETO, 2000 p. 60). Quando está prestes a ocorrer um terremoto, estes autores mencionam que há pequenas mudanças nas propriedades das rochas, como diminuição na velocidade de propagação das ondas P e S, queda na resistividade elétrica, mudanças no número de microtremores, entre outros. Entretanto, existem fatores complicadores para a tentativa de prever terremotos, citados pelos referidos autores, como a variação do comportamento das rochas, conforme o regime de tensões, profundidade, temperatura e composição mineralógica. Portanto, o mesmo método utilizado na América do Norte, talvez, não seria possível na América do sul.

As grandes dificuldades que se encontram na previsão de terremotos se baseiam na profundidade das rupturas, geralmente a dezenas de quilômetros, inacessíveis às medidas de nível de tensão e propriedades mecânicas das rochas com precisão (ASSUMPÇÃO, 2011). A única previsão de terremoto possível até hoje é a de longo prazo (JORDAN *et al.*, 2011). Quando se trata de previsão de terremoto em longo prazo é mostrado o histórico de terremotos em certa cidade e a partir de dados estatísticos mostra-se a probabilidade de ocorrer um forte terremoto em tempo determinado (ASSUMPÇÃO, 2011).

Países mais preparados para terremotos que investem em longo prazo diminuem as perdas financeiras e a quantidade de vítimas é menor. Nessa perspectiva, Assumpção (2011, pag. 83) descreve que “terremotos de magnitude alta na Califórnia matam poucas dezenas de pessoas ao passo que terremotos apenas moderados em países pobres podem causar verdadeiras tragédias”. O exemplo mais recente que demonstra essa realidade foi o terremoto ocorrido no Haiti em 12 de janeiro de 2010, magnitude 7,0 na escala Richter e matou mais de 300 mil pessoas e somaram-se incontáveis perdas financeiras (ASSUMPÇÃO, 2011). Outro terremoto, de magnitude 8,8 atingiu o Chile em 27 de fevereiro de 2010, com potência quinhentas vezes maior que o ocorrido no Haiti, e causou somente quinhentas mortes, número extremamente menor de vítimas devido à melhor qualidade das construções chilenas (ASSUMPÇÃO, 2011). Os estudos de Ruegget *et al.* (2008) apud Assumpção (2011) já mostravam que aquela parte sul do Chile havia atingido uma deformação suficiente para um grande terremoto de magnitude 8,0 a 8,5. Mas, mesmo antes das pesquisas, as casas dos chilenos já vinham sendo melhoradas em todo o país.

Diante da enorme dificuldade de previsão de terremotos de forma precisa, o mais recomendado é se prevenir e tentar reduzir os efeitos dos abalos. Para isso, Barros *et al.* (2009) afirmam que é preciso inferir as máximas intensidades e acelerações possíveis nos locais de ocorrência causados pelos maiores terremotos da fonte sismogênica. Nesse sentido, Assumpção e Dias Neto (2000, p. 61) afirmam que “em regiões sísmicas, com muitas falhas geológicas ativas, a melhor estratégia tem sido identificar as zonas de maior atividade sísmica e mapear as áreas com maior probabilidade de que o chão tenha fortes vibrações”.

Reiter (1991) ressalta que mesmo não sendo possível prever de forma confiável os terremotos, o seu poder de destruição pode ser reduzido consideravelmente. Para isso, deve-se usar o conhecimento geológico de locais onde ocorrem terremotos e projetar as construções e estruturas para suportar as vibrações.

Assumpção (2011) salienta que uma solução imediata em caso de terremotos para regiões mais distantes do epicentro é a emissão de alarmes, logo após um abalo. Esse sistema de alerta indica no momento da onda P se o terremoto é perigoso, e, assim, as pessoas que estão a dezenas ou centenas de quilômetros do epicentro têm alguns segundos para se protegerem da chegada da onda S.

## **2.8 Sismicidade global**

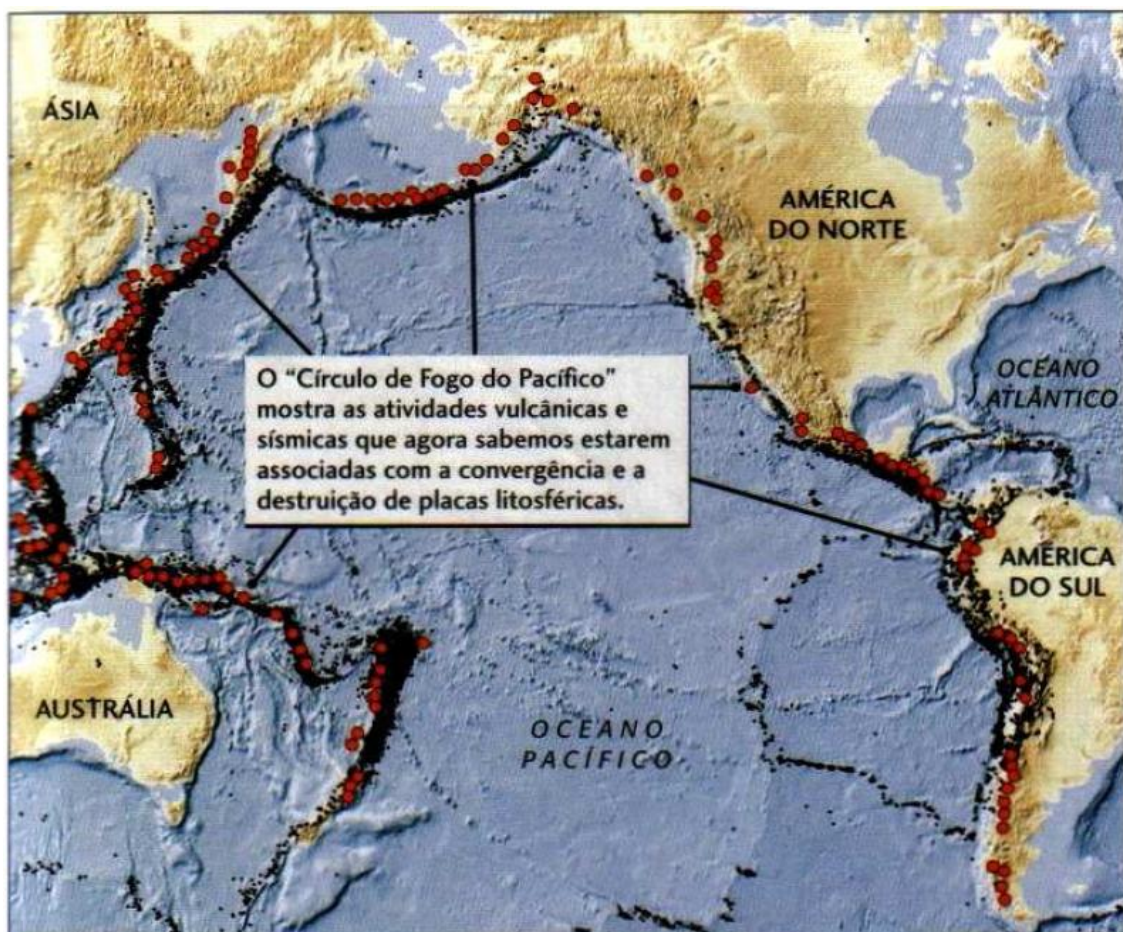
Nos limites de placas, em zonas amplamente deformadas, onde as placas convergem, afastam-se e deslizam uma em relação à outra, é onde ocorrem a maioria dos terremotos no mundo (PRESS *et al.*, 2006). Assumpção (2011, pag. 79) descreve que “terremotos destrutivos ocorrem poucas vezes por ano, mas centenas de “pequenos terremotos”, ou sismos, ocorrem diariamente em todo o mundo”. A grande maioria dos terremotos é imperceptível por ter magnitudes muito pequenas, porque o epicentro está no mar ou por ocorrer em regiões desabitadas (ASSUMPCÃO, 2011).

A relação entre frequências e magnitudes de terremotos no mundo mostra que os grandes terremotos ocorrem de forma mais reduzida que os pequenos. Através do trabalho de Press *et*

al. (2006) nota-se que sismos superiores a magnitude 2 ocorrem 1 milhão de vezes por ano e a cada unidade de magnitude essa quantidade decresce segundo um fator de 10.

A maior frequência de terremotos no mundo se observa na estrutura marginal do oceano pacífico (Ilustração 8), chamada de “Cinturão de Fogo do Pacífico”, cerca de 75% da energia liberada por terremotos ocorrem ao longo dessa estrutura (ASSUMPCÃO e DIAS NETO, 2000)

Ilustração 8: Figura de localização do “Círculo de Fogo do Pacífico”



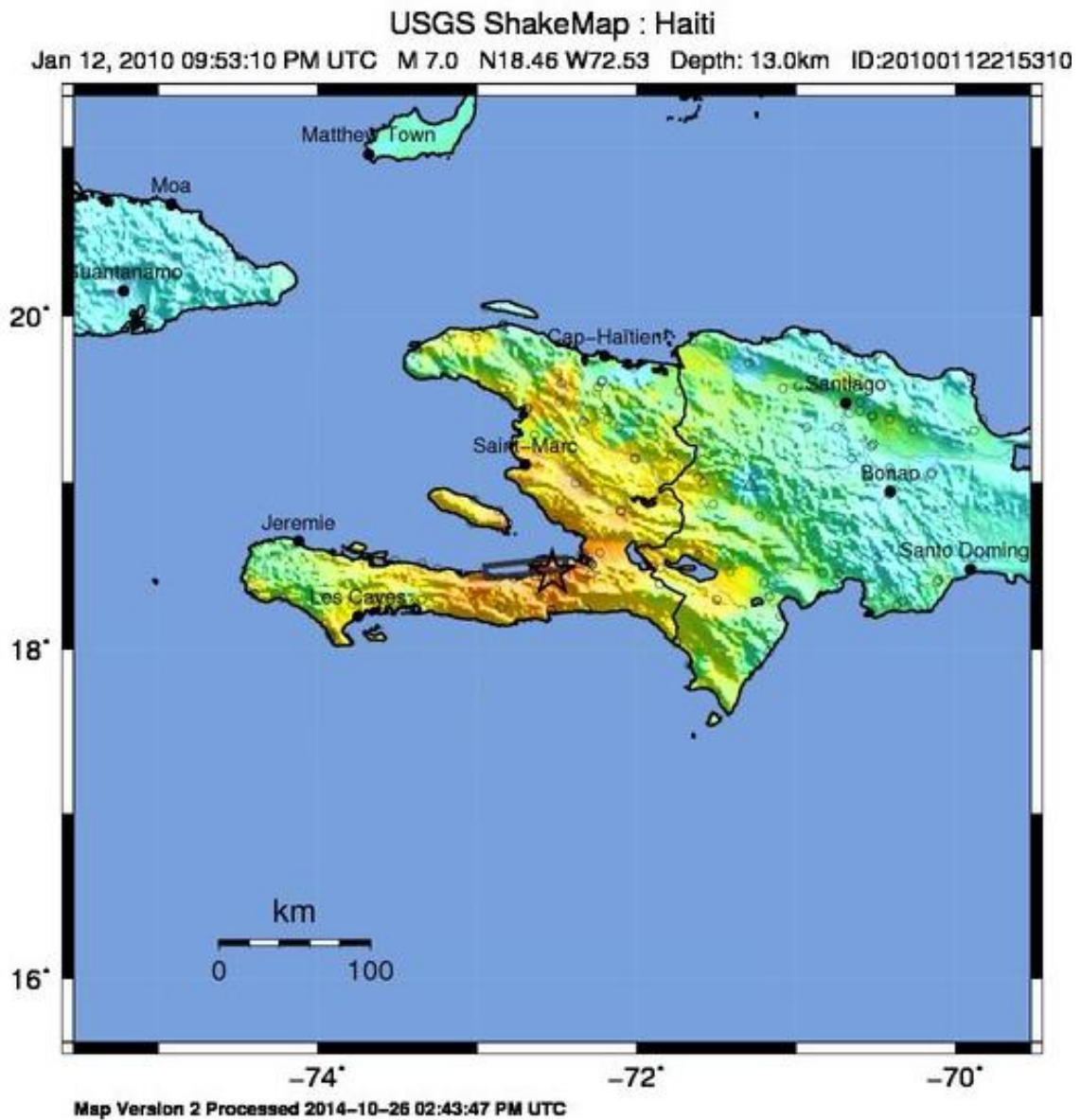
Fonte: PRESS *et al.* (2006)

Em bordas de placas tectônicas, terremotos destrutivos são comuns e são gerados por deslizamentos repentinos do contato entre as placas, como ocorreu no sul do Chile, entre a placa de Nazca e Sul Americana em 27/02/2010 (ASSUMPCÃO, 2011). Neste terremoto uma área com extensão de 450 Km ao longo da costa, estendeu-se por 170 Km abaixo do

continente, deslizando por 2,5 minutos e atingindo uma magnitude de 8,8 na escala Richter (USGS, 2015a).

O Haiti também sofreu com um terremoto no dia 12/01/2010 com magnitude 7,0 na escala Richter, com foco a 13 km de profundidade. Apesar da magnitude não estar entre as maiores já ocorridas no mundo, causou muitos estragos e mortes. Segundo estimativas oficiais, neste dia morreram 316.000 pessoas e 300.000 ficaram feridas, com 1,3 milhão de desabrigados em consequência de 97.294 casas destruídas, na região da capital Porto Príncipe e ao sul do País (USGS, 2015b). Na Ilustração 9 se encontra a localização do terremoto e a representação da intensidade na escala de Mercalli Modificada deste terremoto.

Ilustração 9: Mapa de localização e intensidade do terremoto ocorrido no Haiti em 2010



PERCEIVED SHAKING	Not felt	Weak	Light	Moderate	Strong	Very strong	Severe	Violent	Extreme
POTENTIAL DAMAGE	none	none	none	Very light	Light	Moderate	Mod./Heavy	Heavy	Very Heavy
PEAK ACC.(%g)	<0.05	0.3	2.8	6.2	12	22	40	75	>139
PEAK VEL.(cm/s)	<0.02	0.1	1.4	4.7	9.6	20	41	86	>178
INSTRUMENTAL INTENSITY	I	II-III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X+

A estrela representa a localização do epicentro e as cores representam os valores de intensidade na escala Mercalli Modificada MM.

Fonte: Adaptado de USGS, (2015c).

No Japão em 2011 ocorreu um terremoto ao longo do contato entre as placas do Pacífico e da Eurásia, na costa Norte do país. Uma área de 500 Km de extensão por 180 Km de largura deslizou por três minutos com deslocamento de 10m em média. A magnitude do evento

chegou a 9,0 na escala Richter, o quinto maior terremoto dos últimos cem anos em todo o mundo, gerando um tsunami maior do que se imaginava ser possível (USGS, 2015d).

O poder de destruição de um terremoto está relacionado à sua localização. Press *et al.* (2006) afirmam que um terremoto de magnitude 8 na escala Richter em áreas desabitadas provavelmente não vai causar perdas humanas e econômicas, por outro lado, um terremoto de magnitude 6 na escala Richter localizado muito próximo de uma cidade, pode causar muitas perdas. O Quadro 3 mostra os terremotos ocorridos no mundo que causaram mais vítimas fatais no período de 1990 a 2014.

Quadro 3: Terremotos ocorridos no mundo no período de 1990 a 2014 que mais causaram vítimas fatais.

Localidade	Magnitude	Vítimas fatais	Data
<b>Haiti</b>	7,0	316.000	12/01/2010
<b>Costa oeste de Sumatra, Indonésia</b>	9,1	227.898	26/12/2014
<b>China</b>	7,9	87.587	12/05/2008
<b>Paquistão</b>	7,6	80.361	10/08/2005
<b>Irã</b>	7,4	50.000	20/06/1990
<b>Irã</b>	6,6	31.000	26/12/2003
<b>Japão</b>	9	20.896	11/03/2011
<b>Índia</b>	7,7	20.023	26/01/2001
<b>Peru</b>	7,6	17.118	17/08/1999
<b>Índia</b>	6,2	9.748	29/09/1993
<b>Indonésia</b>	6,3	5.749	26/05/2006
<b>Japão</b>	6,9	5.530	16/01/1995
<b>Afganistão, Tadjiquistão</b>	6,6	4.000	30/05/1998
<b>Indonésia</b>	7,8	2.519	12/12/1992
<b>Índia</b>	6,8	2.000	19/10/1991

Fonte: Adaptado de USGS (2015e)

Muitos desastres que ocorrem no mundo devem-se mais às dificuldades econômicas que os países pobres enfrentam, impedindo-os de se preparar para terremotos fortes. Mas, mesmo em países bem preparados, se observa prejuízos em face de eventos extremos (ASSUMPÇÃO, 2011).



## 2.9 Sismos intraplaca e sismicidade no Brasil

Apesar da grande maioria dos terremotos ocorrerem nos limites de placas tectônicas, também é possível haver sismos no interior das placas (PRESS *et al.*, 2006). Assumpção e Dias Neto (2000) ressaltam que esses sismos são provocados em decorrência da transmissão das tensões geradas nas bordas das placas para o interior. São de baixas a moderadas magnitudes, quando comparados a sismos de bordas de placas. Contudo, grandes terremotos já ocorreram no interior de placas, como o sucedido em Nova Madrid, Estados Unidos, já citado anteriormente, com magnitude ( $M_s$ ) 8,2 no ano de 1811 e 8,0 em 1812. Outro terremoto intraplaca forte e arrasador, segundo Press *et al.* (2006) ocorreu no Estado de Gujarat, oeste da Índia, em 2001. Nesse evento, foi estimado que quase 20 mil pessoas morreram e seu epicentro foi a 100 Km do limite da placa Indiana e Eurasiana.

Os sismos intraplaca em interiores continentais estáveis, de acordo com Barros *et al.* (2009), são considerados perigosos, devido a baixa atenuação das ondas sísmicas e a dificuldade de mapear e dimensionar as suas fontes. Foram desenvolvidos modelos para tentar explicar as causas e as características destes sismos, buscando principalmente correlacionar a sismicidade com esforços e feições geológicas presente, um trabalho minucioso e de difícil observação. Por exemplo, os trabalhos de Sykes (1978) e Talwani e Rajendran (1991) mostraram que os terremotos intraplaca são causados por rupturas em zonas de fraqueza que estão sob tensões de compressão, geralmente paralela à direção de movimento da placa continental. São caracterizados por apresentarem a profundidade focal rasa e por apresentarem uma grande quantidade de sismos secundários (RAJENDRAN E RAJENDRAN, 1999).

Johnston *et al.* (1994), também alertaram sobre o perigo da ocorrência de sismos em regiões intraplaca, pois apesar de serem áreas caracterizadas por baixas taxas de deformação, existe potencial de sismos violentos e catastróficos. Devido ao longo tempo de recorrência podem ocorrer em locais sem histórico de sismicidade recente, e, isso pode surpreender a população local, muitas vezes, despreparada para suportar tal evento. O Quadro 4 mostra os principais terremotos de regiões intraplaca no mundo.

Quadro 4: Principais sismos intraplaca ocorridos no mundo

Ano	Latitude (°)	Longitude (°)	Magnitude $M_s$	Localidade
<b>1811</b>	36,5 N	89,6 W	8,5	Nova Madrid, MO, E.U.A
<b>1812</b>	36,5 N	89,6 W	8,8	Nova Madrid, MO, E.U.A
<b>1819</b>	23,6 N	69,6 E	8,0	Kutch, Índia
<b>1886</b>	32,9 N	80,0 W	7,7	Charleston, SC, E.U.A
<b>1909</b>	39,0 N	8,8 W	6,6	Costa de Portugal
<b>1918</b>	23,5 N	117,0 E	7,3	Nanai, costa SE da China
<b>1929</b>	44,7 N	56,0 W	7,1	Costa leste do Canadá
<b>1932</b>	28,5 S	32,8 E	6,8	África do Sul
<b>1933</b>	73,2 N	70,0 W	7,3	Baía de Baffin, Canadá
<b>1935</b>	31,5 N	15,3 E	7,0	Golfo de Sidra, Líbia, África
<b>1968</b>	31,6 S	117,0 E	6,8	Meckering, Austrália
<b>1988</b>	19,8 S	133,9 E	6,8	TenantCreek, Austrália

Fonte: Adaptado de Assumpção e Dias Neto (2000).

O interior da placa Sul Americana pode ser caracterizada como uma zona de sismicidade muito baixa, típica de interior continental estável (CHIMPLIGANOND, 2013). Os sismos dessa região possuem valores de magnitudes bem inferiores de outras regiões intraplaca, como na Austrália, Leste dos Estados Unidos e Índia, onde já foram registrados terremotos com magnitudes superiores a 7,0 na escala Richter (SCHULTE e MOONEY, 2005)

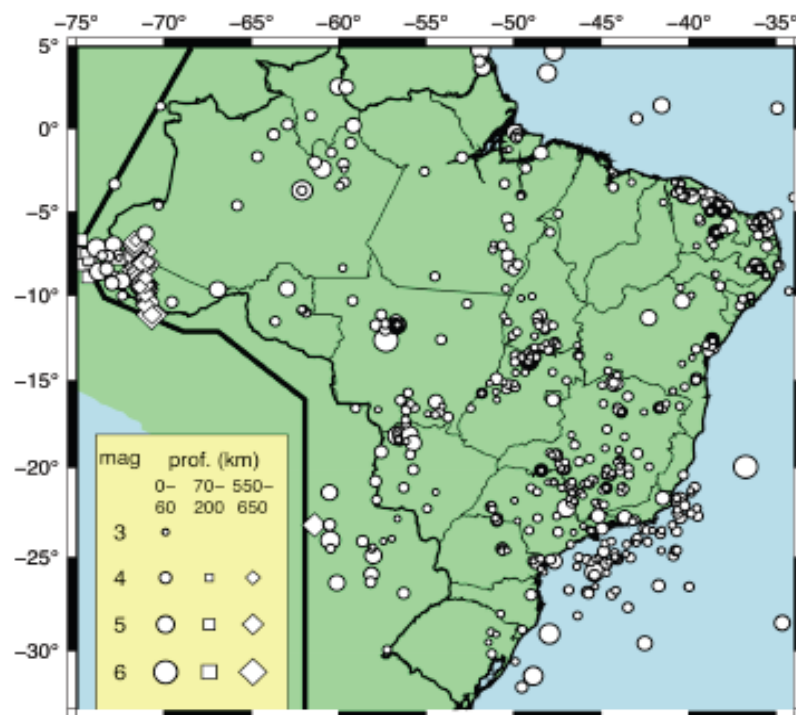
O Brasil está Localizado no interior continental estável da placa Sul Americana, portanto, a sismicidade neste país é considerada baixa. Os sismos de magnitude 5,0 ocorrem apenas uma vez a cada quatro anos e sua profundidade é considerada rasa, majoritariamente inferiores a 10 quilômetros (BERROCAL *et al.*, 1984; ASSUMPÇÃO *et al.*, 2014). Acredita-se, também, que ocorra dois tremores com magnitude acima de 6 em um século.

O maior evento sísmico registrado no Brasil teve seu epicentro localizado na Serra do Tombador, Mato Grosso, com magnitude 6,2 (BARROS *et al.*, 2009). Este tremor foi sentido à 01:00 h da madrugada e pessoas em Cuiabá a 350 km do epicentro foram acordadas e saíram assustadas para as ruas (ASSUMPÇÃO, 2011). Também próximo a essa área, cerca de 100 Km, existe a zona sísmica de Porto dos Gaúchos, onde os principais sismos chegaram a magnitude 5,0 em 1998 e 5,0 em 2005. Ambas as regiões estão localizadas na bacia fanerozoica dos Parecis, uma das zonas sísmicas mais importantes do Brasil (BARROS *et al.*, 2009).

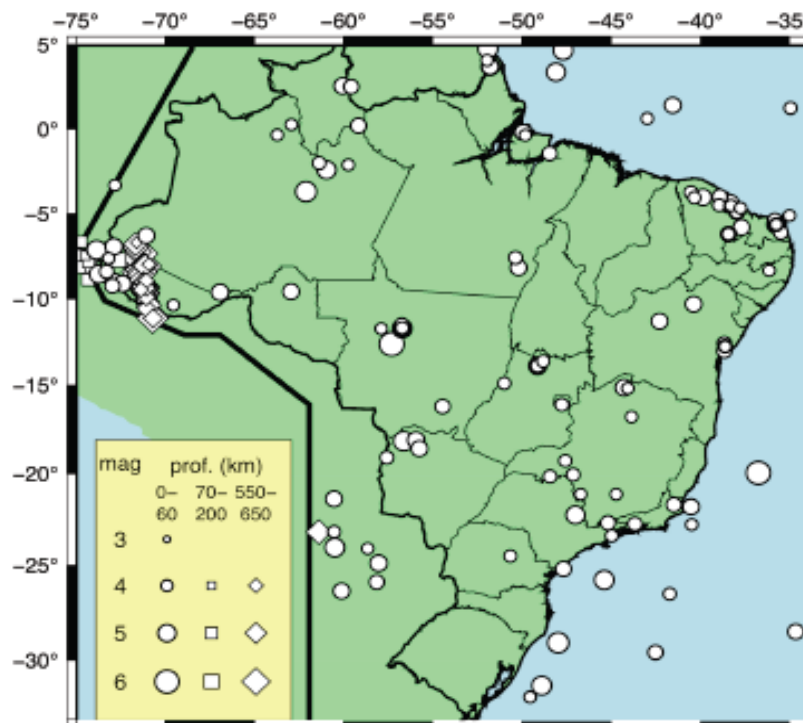
No Brasil já aconteceram muitos tremores que não foram sentidos ou catalogados, por terem ocorrido em regiões desabitadas ou por ser pequeno o suficiente para não serem registrados pelas estações sismográficas (ASSUMPÇÃO, 2011). O catálogo de sismos do Brasil é formado, em grande parte, por documentos antigos e evidentemente o maior número de relatos é registrado nas regiões mais povoadas. Exatamente por isso, que os principais registros de sismos no Brasil se concentram nas regiões Sudeste e Nordeste (ASSUMPÇÃO e DIAS NETO, 2000).

A Ilustração 10 mostra a distribuição dos sismos no território brasileiro e é possível observar que excetuando-se os sismos profundos do Acre, sismos acima de 6 só foram catalogados duas vezes no Brasil. Ambos os terremotos ocorreram em 1955, um na Serra do Tombador com magnitude 6,2 e o outro na costa do Espírito Santo com magnitude 6,1 (BARROS *et al.*, 2009). Apenas 13 sismos igual ou acima de 5,0  $M_b$  já foram registrados na litosfera continental brasileira (BARROS *et al.*, 2009). Entretanto, são vários os sismos de menor magnitude que provocaram alguns estragos em casas e assustaram populações distribuídas pelo país.

Ilustração 10: Mapa de distribuição dos sismos com magnitudes iguais ou acima de 3 no período de 1767 a 2012



**BOLETIM SISMICO BRASILEIRO**  
(1767 a 2012, magnitudes > 3.0)



**BOLETIM SISMICO BRASILEIRO**  
(1767 a 2012, magnitudes > 4.0)

Fonte: Assumpção (2013)

Observando a Ilustração 10 é notável que existam áreas com alta concentração de sismos e outras com nenhuma ocorrência. Os locais aparentemente assísmicos, principalmente na região Norte e Centro-Oeste, podem estar inclusive relacionados ao processo de baixa ocupação do território brasileiro e a tardia instalação de estações sismográficas, que resultou nos baixos registros históricos e instrumentais.

O que se observa é que no Nordeste, principalmente os Estados do Ceará e Rio Grande do Norte, são regiões com áreas sísmicas expressivas (FERREIRA, *et al.*, 1998; ASSUMPÇÃO, 1998). Essa região é considerada como a de maior atividade sísmica intraplaca do país (BERROCAL *et al.*, 1984). Após os levantamentos sismológicos realizados por Ferreira *et al.* (1998) os maiores exemplos de atividade sísmica ocorridos na região Nordeste são encontrados em Caruaru no Lineamento Pernambuco, em João Câmara a leste da Zona de Cisalhamento de João Câmara-Picuí, em Pereira e Palhano na Zona de Cisalhamento de Jaguaribe e em Groairas a leste da Zona de Cisalhamento de Sobral.

A sismicidade no Nordeste, de acordo com Ferreira *et al.* (1998), ocorre devido a tensões transcorrentes na crosta superior com orientação variando de SE-NW para E-W, aproximadamente paralelo a linha da costa. Os autores dizem que estas tensões podem ter várias origens, dentre elas, a movimentação da placa Sul Americana e forças locais causadas pela estrutura crustal da região.

Em João Câmara- RN, aconteceu a mais espetacular atividade sísmica no Brasil entre 1986 a 1990, com 15 sismos acima de 4,0  $M_b$  e dois sismos de 5,0  $M_b$  (TAKEYA, 1989). Após pesquisas com estações sismográficas foi identificada uma falha de aproximadamente 40 km de comprimento, orientada N 40° E com mergulho de 60° - 70° para NW (FERREIRA *et al.*, 1998).

Outra zona sísmica marcante no território brasileiro é a faixa sísmica Goiás/Tocantins, de orientação NE, paralela, mas não coincidente com o Lineamento Transbrasiliiano. Para Assumpção e Dias Neto (2000, p. 57) é possível que os sismos nesta região tenham ocorrido devido a dois fatores, “concentração de tensões e existência de uma zona de fraqueza, ambos talvez relacionados às estruturas que deram origem ao antigo lineamento”. Um sismo importante nessa zona sísmica correspondeu ao ocorrido em Aruanã - Goiás, em 12/07/1993,

com magnitude de 4,1  $M_R$  e intensidade V (MM) (BARROS, 2009). Recentemente, em 08/10/2008 aconteceu o maior sismo nessa faixa, provavelmente associado ao Lineamento Transbrasiliano (BARROS, *et al.*, 2010) teve magnitude 5,0 e foi percebido com intensidade máxima VI.

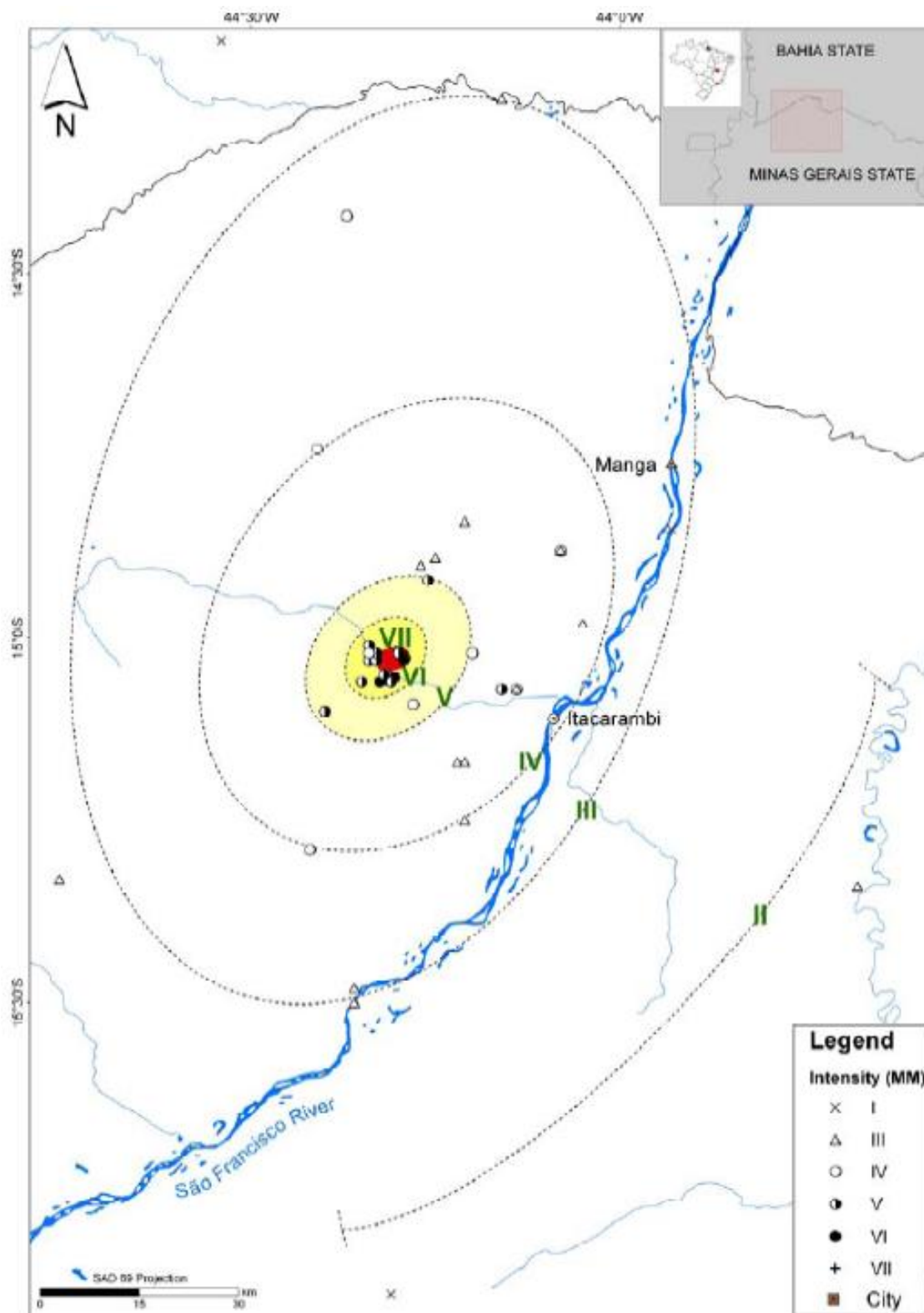
Na região Norte do Brasil, são dois os sismos que mais se destacam e estão presentes na bacia Intra-Cratônica do Amazonas. Conforme Barros *et al.* (2009) em 13/12/1963 ocorreu um sismo de 5,1  $M_b$  em Manaus e em 05/08/1983, em Codajás/AM, ocorreu um sismo de 5,5  $M_b$ . O regime de falha que provocou o sismo de Codajás é inversa com eixo P orientado na direção NNE-SSW (ASSUMPCÃO, *et al.*, 1983).

A plataforma continental do Sudeste do Brasil, e regiões próximas a costa, também possuem alta concentração sísmica. A alta densidade populacional contribuiu para os registros de sismos históricos, contados através de jornais e livros. A partir da década de 1970 e 1980 foi instalada uma grande quantidade de estações nas áreas dos reservatórios da bacia do Paraná, permitindo que eventos sísmicos fossem catalogados (ASSUMPCÃO *et al.*, 2004). Estes sismos podem estar relacionados às estruturas da margem continental, que são geradas ou reativadas devido à fragmentação da crosta continental durante a formação do oceano Atlântico (ASSUMPCÃO e DIAS NETO, 2000). O maior sismo do Sudeste brasileiro ocorreu em 1922, em Mogi Guaçu, com magnitude 5,1  $M_b$  (BERROCAL, *et al.*, 1984).

O evento sísmico de maior destaque do Sudeste brasileiro ocorreu na comunidade de Caraíbas, município de Itacarambi, no norte de Minas Gerais, que causou a primeira vítima fatal no território brasileiro. Este sismo foi localizado com grande precisão e por isso é um evento útil para a determinação de um modelo de velocidade mais preciso, sendo registrado por estações locais, regionais e telessísmicas.

Esse tremor teve magnitude 4,9 e intensidade VII (MM) e foi sentido num raio de 80 quilômetros (Ilustração 11). Após o sismo os moradores da comunidade de Caraíbas foram transferidos para a cidade de Itacarambi (CHIMPLIGANOND, 2013). Os sismos de Caraíbas ocorreram no interior do Cráton do São Francisco em um local sem histórico de sismicidade, com hipocentros rasos, estimados em até 02 quilômetros.

Ilustração 11: Mapa com as curvas isossistas para o terremoto de Caraíbas/Itacarambi de 4,9 Mb



Fonte: Chimpliganond *et al.* (2009).

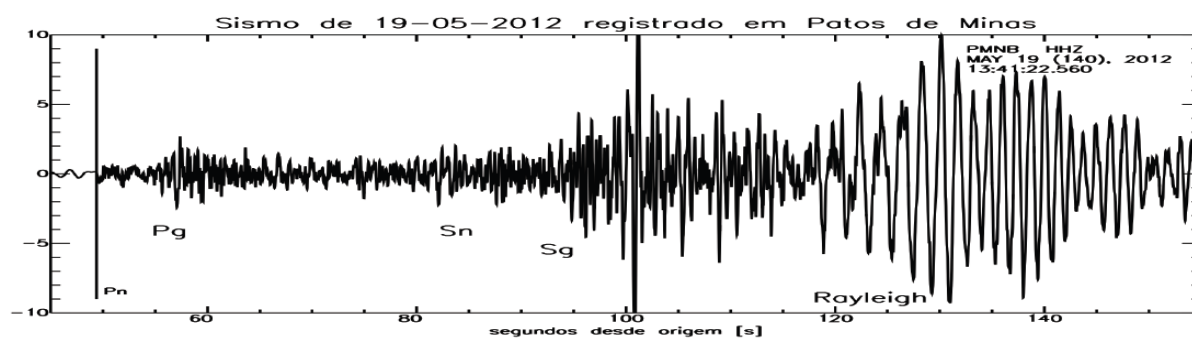
A grande maioria dos sismólogos acredita que onde já existe uma atividade sísmica relevante, durante as últimas décadas e séculos, são áreas que possuem maior probabilidade de ocorrer um terremoto grande no futuro, mesmo que seja muito raro. Entretanto, alguns pesquisadores afirmam o contrário, e acreditam que nas áreas onde não existe muita atividade sísmica pode ocorrer um grande terremoto, devido à grande tensão geológica acumulada e ainda não liberada (ASSUMPÇÃO, 2011).

## 2.10 Sismos em Montes Claros

A atividade sísmica em Montes Claros começou a ser catalogada a partir de 1995, contudo, a principal atividade sísmica detectada nesta cidade, iniciou-se em março de 2011, quando ocorreu um evento de magnitude 3,3.

Em 19/05/2012, um tremor de magnitude 4,0 e intensidade V (MM), assustou a população de Montes Claros e provocou trincas e pequenos danos em casas frágeis na região epicentral (ASSUMPÇÃO, 2013). A Ilustração 12 mostra o registro desse evento na estação sismográfica de Patos de Minas/MG.

Ilustração 12: Figura do sismograma do tremor ocorrido em Montes Claros no dia 19/05/2012 da estação sismográfica de Patos de Minas.



Fonte: Assumpção (2013)

Diante dos tremores ocorridos em Montes Claros, as Universidades de Brasília (UnB) e de São Paulo (USP) desenvolveram pesquisas de forma conjunta nessa região, e foi instalada uma rede de estações sismográficas provisória no entorno da cidade, para conhecer e identificar as causas e origens dessas ocorrências. Com base nos registros sísmicos no período de junho a dezembro de 2012, identificaram-se duas áreas de atividade sísmica em Montes Claros, uma mais ativa localizada no bairro Vila Atlântida e adjacências e outra menos ativa,



localizada cerca de um quilômetro a Sudeste da pedreira Sobritas. Conforme Agurto-Detzel *et al.* (2014) a sismicidade de Montes Claros é originada em aproximadamente 1 Km de profundidade, em uma falha reversa orientada a N-NW com mergulho para E. A magnitude do principal evento foi de 4,0  $m_b$  e os tremores secundários atingiram até 3,6  $m_b$ .

O relatório técnico feito por Assumpção (2013) diz que a magnitude do evento principal de 2012 foi estimada de duas maneiras. A primeira foi estimada pelo cálculo de magnitude Richter  $M_b$ , a partir do registro das estações de outros países distantes a mais de 2.000 Km do foco, e o seu valor médio foi de 4.1. A outra maneira de estimar o sismo se baseou no cálculo de magnitude regional  $M_R$  formulada por Assumpção (1983), utilizando-se estações brasileiras mais próximas e considerando, também, as características de atenuação sísmica da crosta brasileira e o valor médio neste cálculo foi de 3.9. Adotou-se, portanto, a média dessas magnitudes e chegou-se na magnitude 4.0 do maior sismo de 2012 em Montes Claros.

O mecanismo focal composto e por inversão de formas de onda feito por Agurto-Detzel *et al.* (2014) mostrou que as tensões compressivas na área têm orientação E-W e atuam em toda a porção norte de Minas Gerais. A velocidade de propagação da onda primária em Montes Claros em 4,5 km/s para a camada superior de rochas carbonáticas e 5,23 e 5,69 km/s para as camadas do embasamento cristalino fraturados e compactos mais baixos, respectivamente.

Assumpção (2013) ressalta que o sismo de magnitude 4.0 foi registrado por estações regionais localizadas a mais de 100 km de distância, pois, neste momento ainda não estava instalada a rede sismográfica local. Contudo a precisão da sua localização foi obtida usando como referência o sismo de 12/09/2012, momento em que já estava instalada a rede sismográfica local, fazendo correlações das formas de onda de ambos os eventos. Assumpção (2013) salienta, ainda, que embora a falha geológica esteja relativamente bem determinada, dentro de uma margem de erro de  $\pm 20^\circ$ , a localização do conjunto dos tremores e também a profundidade possui uma margem de erro de  $\pm 500m$ . Segundo este autor, quando há um tremor de magnitude 4 existe uma probabilidade entre 15% e 22% de que ocorra outro tremor maior nos próximos doze meses e nestes casos os tremores ocorrem nas semanas seguintes caindo a chance de forma exponencial com o passar do tempo. Ele se baseou numa análise estatística de todos os tremores ocorridos no Brasil. Entretanto, ressalta-se que cada caso é particular e pode não seguir este mesmo padrão.

Em 06/04/2014 ocorreram dois eventos de magnitude 3,3, sentidos com intensidade V na escala de Mercalli Modificada (BARROS *et al.*, 2014). Barros *et al.* (2014) afirmam que a atividade sísmica em 2014 ocorreu na mesma falha que causou os eventos de 2012 definida por Agurto-Detzel *et al.* (2014). Contudo, ressaltam que as localizações desses eventos migraram para regiões a Noroeste dos anteriores, se afastando do perímetro urbano da cidade. Segundo Barros *et al.* (2014) os mecanismos focais por inversão de formas de ondas, indicaram que o regime de esforço e os parâmetros da falha são mais ou menos concordantes com aqueles definidos por Agurto-Detzel *et al.* (2014).

O trabalho de Barros *et al.* (2014) apresentou os resultados das análises dos dados sísmicos de janeiro a abril de 2014 e concluiu preliminarmente que a sismicidade de abril de 2014 resultou da ativação de um novo segmento da falha sismogênica de Montes Claros, onde ainda não havia registrado sismos. Essa nova sequência de sismos foi localizada a NW da sequência de 2012. Os autores destacam que essa nova configuração sísmica indica que a falha geológica ativa pode ter uma dimensão maior do que a determinada por Agurto-Detzel *et al.* (2014), se estendendo a mais ou menos dois quilômetros a Noroeste.

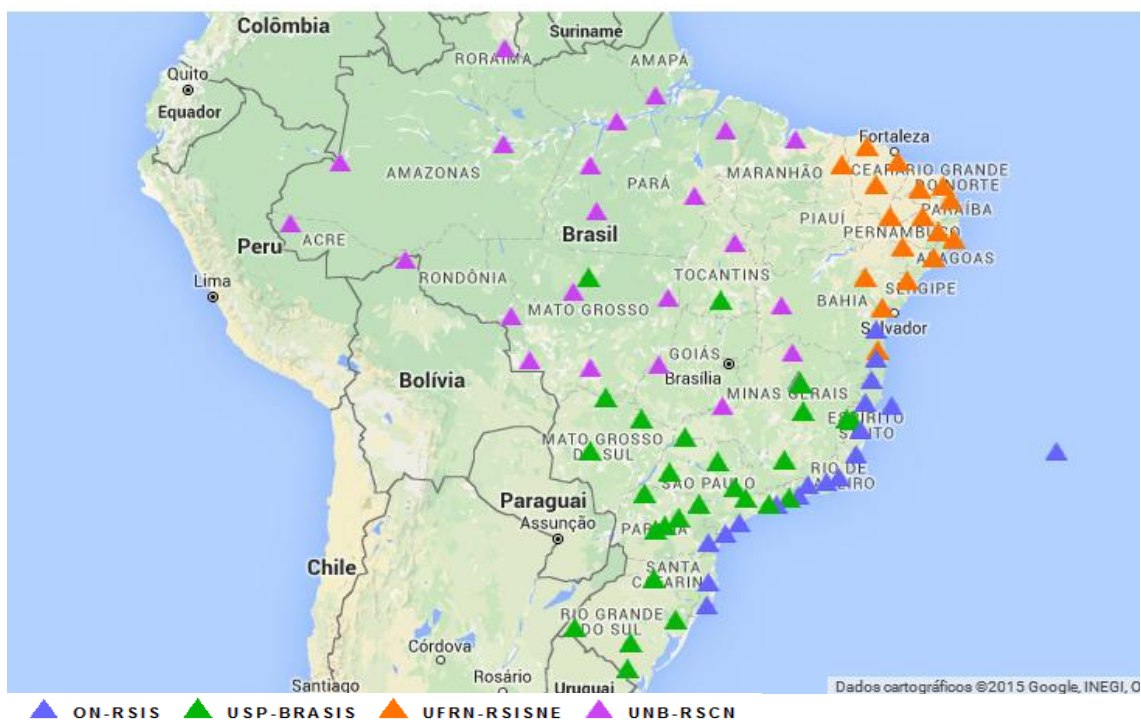
Barros *et al.* (2014) mencionam que em Montes Claros nos meses de fevereiro, março e abril de 2014 foram registrados pelas estações MC01 e MC03, que funcionaram simultaneamente, 52 eventos, sendo que desses eventos, 30 foram naturais (tectônicos) e 22 artificiais (detonações em pedreiras da região). Ressaltou-se, também, que foi difícil a diferenciação de sismos naturais e artificiais, pois as formas de ondas de ambos são parecidas, além de que, os epicentros são próximos. Contudo, foi observado que os horários das explosões são fechados, variando em minutos e grande parte delas efetuadas vespertinamente. Ainda, de acordo com Barros *et al.* (2014), os sismos, se distanciando do perímetro urbano da cidade, causarão menor efeito negativo aos seus moradores. Contudo, esse distanciamento significa que a falha possui maior dimensão e poderia ter potencial para gerar sismos um pouco mais intensos ao de maior magnitude já observada na cidade.

## **2.11 A Rede Sismográfica Brasileira (RSBR) e a Rede Sismográfica Local de Montes Claros (RSLMC)**

As estações da rede sismográfica brasileira são as principais fornecedoras de informações sobre as ocorrências sísmicas no território nacional. Apesar das primeiras estações sismográficas serem instaladas recentemente, na década de 1970, elas já produziram um banco de dados sísmicos robusto, com informações importantes sobre a sismicidade brasileira.

Conforme se apresenta na página eletrônica da RSBR, a rede foi um projeto concebido no âmbito da Rede de Estudos Geotectônicos Petrobrás – Universidades (RGEOTEC), com financiamento de implantação proveniente da cláusula de investimento em pesquisa e desenvolvimento dos contratos de concessão, nos termos do regulamento técnico ANP 05/2005. A finalidade da RSBR é monitorar a sismicidade nacional e investigar a estrutura interna da terra, sendo necessário, para isso, a implantação e manutenção de estações sismográficas permanentes no Brasil. A Ilustração 13 mostra a localização das estações da RSBR.

Ilustração 13: Figura de localização das estações que pertencem a RSBR.



Os triângulos azuis representam as estações do Observatório Nacional (ON-RSIS), os triângulos verdes as estações do centro de sismologia da Universidade de São Paulo (USP-BRASIL), os triângulos alaranjados as estações da Universidade Federal do Rio Grande de Norte (UFRN-RSISNE) e os triângulos roxos são as estações da Universidade de Brasília (UNB-RSCN).

Fonte: Rede Sismográfica Brasileira, disponível em <<http://www.rsbr.gov.br/>>

Atualmente a RSBR é constituída por 81 estações sismográficas distribuídas por todo o Brasil e as instituições responsáveis pelo funcionamento da rede são a Rede Sismográfica do Sul e Sudeste do Brasil – RSIS, sob coordenação do Observatório Nacional – ON, a Rede Sismográfica do Nordeste do Brasil – RSISNE sob coordenação da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), a Rede Sismográfica Integrada do Brasil – BRASIL, sob a coordenação do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo (IAG-USP) e da Rede Sismográfica do Centro e Norte do Brasil – RSCN, sob coordenação da Universidade de Brasília (UnB).

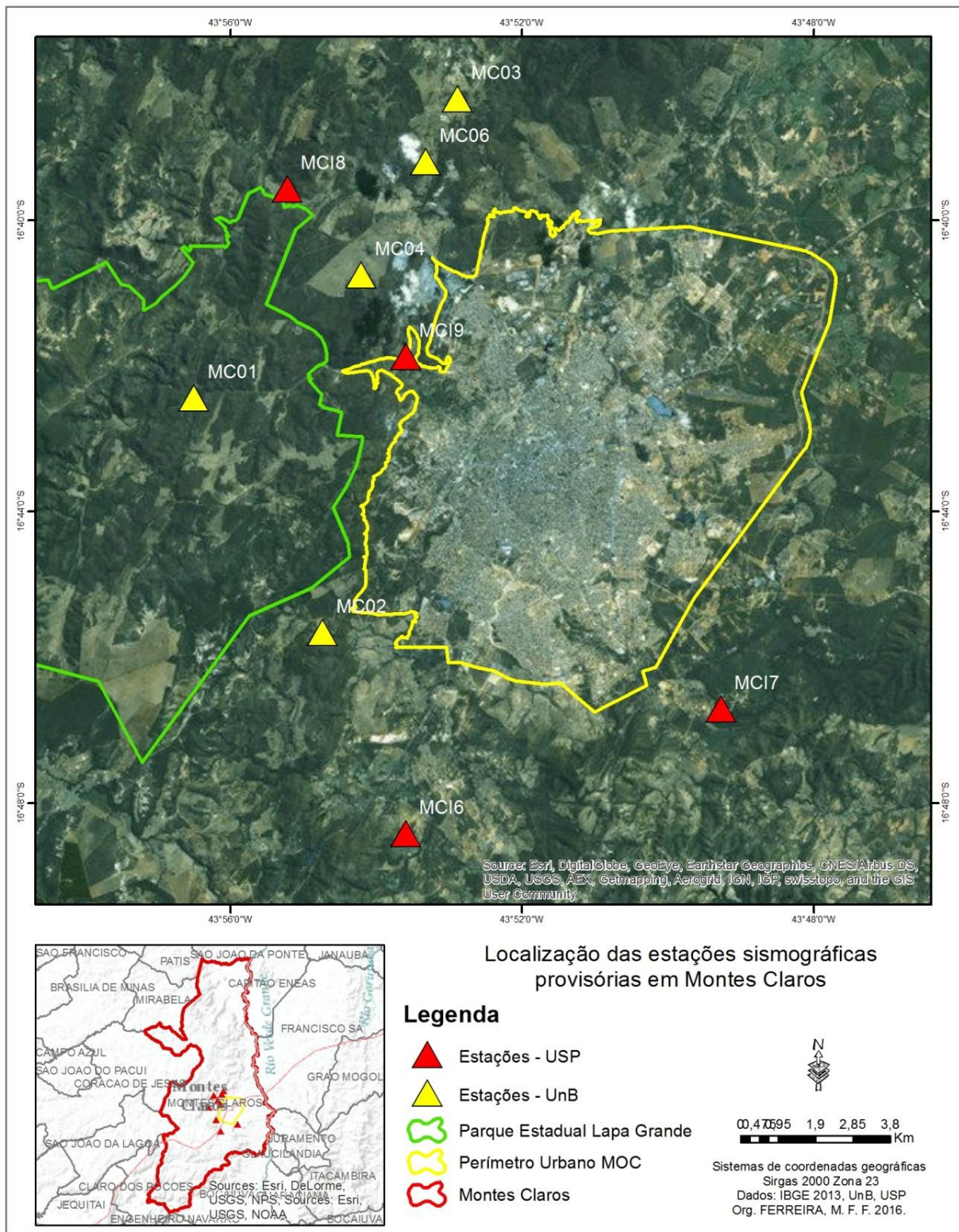
Os dados paramétricos dos eventos sísmicos distribuídos pelo Brasil gerados pela RSBR são encontrados no Boletim Sísmico Brasileiro (BSB), que, por sua vez, é formado por um conjunto de dados que envolvem coordenadas, hora de origem e magnitude dos terremotos. Berrocal *et al* (1984) através de uma compilação de dados históricos e instrumentais, iniciaram o trabalho de catalogação de sismos do BSB, no qual reuniram informações desde a

época colonial. A Revista Brasileira de Geofísica deu continuidade a esse trabalho até 1995 catalogando e atualizando dados sísmicos. Atualmente, o BSB é feito pela cooperação de instituições vinculadas à RSBR.

Além das estações permanentes da RSBR, também são instaladas pelo Brasil redes de estações provisórias em locais com atividade sísmica considerável. Essas estações são instaladas para se retirar informações detalhadas sobre as causas dos eventos e precisar as suas localizações epicentrais. Geralmente são instaladas em pontos estratégicos, com boa resposta sísmica, em locais com o mínimo de interferência externa.

A Rede Sismográfica Provisória de Montes Claros (RSPMC) foi instalada na semana seguinte ao sismo do dia 19/05/2012, pela Universidade de Brasília (UnB) e pela Universidade de São Paulo (USP), com a participação da Universidade Estadual de Montes Claros (Unimontes). A finalidade dessa rede de estações foi gerar dados sísmicos que possibilitassem a compreensão da origem dos tremores de terra em Montes Claros. Conforme Assumpção (2013), a rede sismográfica provisória de Montes Claros foi composta por cinco estações instaladas pela UnB, sendo a maior parte com equipamentos Guralp de banda larga e quatro estações instaladas pela USP, com equipamentos Nanometrics de banda larga (Ilustração 14).

Ilustração 14: Mapa de localização das estações da rede sismográfica local provisória de Montes Claros



Org. FERREIRA, M. F. F. 2016

Essas estações operaram com baterias e painéis solares e duas delas, MC01 e MCI7, mesmo com algumas limitações, transmitiam os dados em tempo real, a partir de conexão via internet (ASSUMPÇÃO, 2013). As figuras no Apêndice A mostram as imagens de todos os equipamentos que compõem uma estação sismográfica e o Quadro 5 mostra a relação das estações sismográficas da rede local de Montes Claros com suas respectivas informações de localização.

Quadro 5: Informações de localização das estações sismográficas da rede local de Montes Claros

Estações sismográficas	Latitude UTM	Longitude UTM	Elevação (m)	Universidade	Localidade
<b>MC01</b>	-16,70746°	-43,94168°	739	UnB	Parque Estadual Lapa Grande
<b>MC02</b>	-16,76099°	-43,91232°	840	UnB	Propriedade do Sr. Alberto
<b>MC03</b>	-16,622760°	-43,867210°	798	UnB	Propriedade da Indústria avicultura SOMAI
<b>MC04</b>	-16,67932°	-43,90344°	738	UnB	Propriedade do Sr. Marcelo Pires
<b>MC05</b> (Obs. estação transferida para MC06)	-16,75511°	-44,01048°	871	UnB	Propriedade do Sr. Nivaldo
<b>MC06</b>	-16,65354°	-43,88863°	756	UnB	Propriedade da Indústria avicultura SOMAI
<b>MCI6</b>	-16.8070	-43.8933	736	USP	Propriedade do Sr. Guilherme Guimarães
<b>MCI7</b>	-16.7785	-43.8213	714	USP	55° Batalhão de Infantaria do Exército Brasileiro
<b>MCI8</b>	-16.6597	-43.9203	696	USP	-
<b>MCI9</b>	-16.6980	-43.8933	670	USP	Fazenda Montes Claros

Fonte: OBSIS (2012)  
Org. FERREIRA, M. F. F. (2016)

## 2.12 Risco e vulnerabilidade ao perigo natural

A análise do conceito de risco não pode ser considerada uma tarefa fácil de ser realizada, e as dificuldades já se iniciam quanto à diversidade de terminologias empregada por diversos autores. Para melhor compreensão, o risco geralmente vem acompanhado de outro termo que o qualifica, como por exemplo, risco ambiental, risco social, risco tecnológico, risco natural, risco financeiro e etc. Marandola Jr. e Hogan (2003) salientam que devido à polissemia dos termos a noção de risco foi se fragmentando, e cada campo do conhecimento foi se dedicando as suas perspectivas de entendimento e definindo seus próprios métodos de estudo.

De forma geral, Aneas de Castro (2000 p. 02) entende que quanto ao risco “El concepto incluye la probabilidad de ocurrencia de un acontecimiento natural o antrópico y la valoración por parte del hombre en cuanto a sus efectos nocivos (vulnerabilidad)”<sup>1</sup>. Dessa forma, o risco corresponde ao grau de perda previsto diante de um fenômeno natural determinado e em função tanto do perigo natural quanto da vulnerabilidade. O risco também é entendido como uma construção social, uma percepção humana em relação à probabilidade de ocorrências de um evento com potencial de causar perigo, e as consequências surgem em função da vulnerabilidade do indivíduo ou de uma sociedade (ALMEIDA, 2011).

Os riscos podem ser percebidos de diversas formas, com abordagens que se materializam em variados segmentos da sociedade. Para Castro, Peixoto e Pires do Rio (2005) o risco refere-se à probabilidade de ocorrências de algum processo no tempo e no espaço, que não são constantes e nem determinados e também se refere à maneira como estes processos afetam a vida humana, que pode ser direta ou indiretamente. Ainda segundo os autores, os riscos tendem a se manifestar com mais frequência nas áreas urbanas devido às inadequadas formas de ocupação do solo urbano e aos maiores processos produtivos, tecnológicos e sociais que potencializam as situações de perdas.

Almeida (2011) também chama a atenção para a generalização dos riscos e perigos decorrentes da grande concentração de pessoas vivendo nas cidades. Para a autora esses riscos e perigos aumentam com a concentração populacional e o crescimento demográfico nas

---

<sup>1</sup> O conceito inclui a probabilidade de ocorrência de um acontecimento natural ou antrópico e a avaliação pelo homem em seus efeitos nocivos (vulnerabilidade). (Tradução livre).



idades, que se transformam em ambientes instáveis e vulneráveis, já que, nos últimos anos, se observa maior frequência de fenômenos ambientais extremos.

O risco pode ser classificado em três categorias que pode ou não estar relacionados. Segundo Castro, Peixoto e Pires do Rio (2005) existem os riscos naturais que se refere aos perigos de origem natural ou induzidos pelo homem, existem também os riscos tecnológicos que estão relacionados aos processos produtivos e da atividade agrícola, científica ou industrial, e, por fim, os riscos sociais, que é fruto da atividade humana como os econômicos e os relacionados à saúde.

No entender de Veyret (2007) o risco pode ser percebido por um indivíduo, grupo social ou uma comunidade que convive com o problema. Para a referida autora, o risco só existe se for percebido por uma população que sofre os efeitos de algum perigo. O risco se traduz em uma ameaça para aquele que está exposto e o indivíduo exposto reconhece este perigo. Amaro (2005) relaciona algumas situações em que o risco está presente como a probabilidade, suscetibilidade, vulnerabilidade, acaso ou chance de ocorrer algum tipo de crise, ameaça, perigo, problema ou desastre.

Nos estudos geográficos, um conceito de risco bem aceito é apresentado por Rebelo (2010) em que 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. Ainda segundo Rebelo (2010) não há como se dissociar o conceito de risco ao de vulnerabilidade, pois o ser humano sempre será afetado pelos processos naturais perigosos. Acerca da tradição da geografia em pesquisar os riscos, Marandola Jr. e Hogan (2005 p. 03) dizem que "Os estudos geográficos acerca do risco receberam tratamento especial dos pesquisadores preocupados com fenômenos naturais que, em situações extremas, causavam danos e expunham as populações ao perigo". O fenômeno natural só é considerado um perigo a partir do momento que causa dano às populações (Aneas de Castro, 2000).

Os geógrafos não se preocupavam apenas em entender a extensão e os danos dos perigos, mas também, saber a probabilidade do fenômeno perigoso ocorrer novamente. Portanto, foi desenvolvida pelos geógrafos a chamada avaliação do risco, que é a avaliação do risco de ocorrer um perigo em determinado local (MARANDOLA JR. e HOGAN, 2005). Conforme

os autores, a preocupação principal era de minimizar as incertezas e diminuir a ocorrência e a intensidade dos desastres através da mensuração das probabilidades de ocorrência de perigos.

Nota-se que o risco possui uma estreita relação com a vulnerabilidade. Portanto, também é necessário esclarecer a noção desse termo, uma vez que, apesar de intrínsecos, são conceitualmente diferentes. Conforme diz Deschamps (2004) a vulnerabilidade pode ser entendida como a probabilidade de um indivíduo ou uma sociedade ser atingida de forma negativa por algum evento natural ou ambiental. A vulnerabilidade também pode ser entendida como a suscetibilidade de ocorrência de algum perigo ou dano, por parte do ser humano (BRAGA, OLIVEIRA e GIVISIEZ, 2006). Para Marandola Jr. e Hogan (2006), a vulnerabilidade, em muitos casos, se constitui através da presença de três elementos ou componentes básicos: a exposição ao risco, a capacidade de reação e o grau de adaptação diante da materialização do risco. Conforme os autores, 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. 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).

O conceito de vulnerabilidade está intrinsecamente ligado ao conceito de risco, pois para que haja o risco é necessário que haja a vulnerabilidade. Para Freitas e Cunha (2013) essa relação de risco e vulnerabilidade se concretiza quando os processos perigosos (sismos, inundações, incêndios e outros) afetam o ser humano na sua coletividade ou individualmente e comprometem a saúde, os bens ou modos de funcionamento das instituições, a economia, a sociedade e a cultura. Ademais, quando se tem em análise o ser humano, nota-se que as consequências dos desastres naturais são mais sentidos por pobres, mulheres, crianças e idosos (BRAGA, OLIVEIRA e GIVISIEZ, 2006).

Braga, Oliveira e Givisiez (2006) entendem que a vulnerabilidade é uma combinação de variáveis demográficas, econômicas, sociais, ou ambientais que tornam uma população menos hábil para absorver um impacto de um evento perigoso ou mesmo se recuperar dele. Outro ponto importante na análise da vulnerabilidade, falado por Licco (2013) é que pessoas diferentes, mesmo localizadas na mesma região, possuem vulnerabilidades diferentes aos perigos a que estão expostas. Este autor entende que a vulnerabilidade "pode ser definida

como uma condição resultante de fatores físicos, sociais, econômicos e ambientais ou de processos que aumentam a susceptibilidade de uma comunidade aos impactos de um perigo" (LICCO, 2013 p. 28).

Na ciência geográfica, inicialmente, a noção de vulnerabilidade se atrelava a concepção de desastre natural ou mesmo a avaliação do risco, buscando conhecer a capacidade de resposta da comunidade atingida. Hoje a noção de vulnerabilidade evoluiu para outras concepções, se destacando o social, tecnológico e ambiental (MARANDOLA JR. e HOGAN, 2006). O interesse dos geógrafos tem se fundamentado em análise de populações em situações de risco, onde o ambiente em que estão vivendo atrelado a fatores socioeconômicos os expõem a riscos, principalmente nas cidades (MARANDOLA JR e HOGAN, 2005).

Em uma abordagem mais sociológica é importante, também, a compreensão da noção de vulnerabilidade social aos perigos naturais, que vem se destacando nos trabalhos científicos e ganhando força nas entidades governamentais. No entender de Mendes *et al.* (2011) o conceito de vulnerabilidade social está relacionado com o grau de exposição aos perigos naturais e tecnológicos e aos fenômenos extremos, sendo que, incluem nessa ótica os fatores de resistência e resiliência dos indivíduos e das comunidades atingidas. A vulnerabilidade social não é somente as 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 (BOLIN, 2006; KUHLICKE *et al.*, 2011). Nessa mesma linha de pensamento, Cutter (2006) salienta que as populações vulneráveis são aquelas submetidas ao risco, não simplesmente por estar expostas aos perigos, mas também, por causa da marginalidade em que vivem.

Em outra perspectiva de vulnerabilidade se encontra a ambiental, que conforme diz Tagliani (2003) a vulnerabilidade ambiental é resultante dos atributos físico-naturais de uma área. Nessa análise é possível definir o grau de suscetibilidade natural de algum ambiente, ou mesmo avaliar o impacto gerado por quaisquer usos. No entender de Almeida (2010) no contexto da vulnerabilidade ambiental, os principais aspectos considerados determinantes para o maior ou menor grau de danos, em termos de saúde e qualidade de vida da população, estão relacionados à falta de infraestrutura urbana.

Portanto, a partir da concepção social e ambiental da vulnerabilidade, surgiu à noção de vulnerabilidade socioambiental, que se refere a um termo mais amplo e isso é falado por Cutter (2011) ao qual se refere a um potencial para a perda e inclui elementos de exposição ao risco, como também, os fatores de propensão as circunstâncias que alteram a capacidade de recuperação da população, da infraestrutura e dos ambientes físicos, frente aos perigos ambientais. A autora chama a atenção para a necessidade de uma abordagem integradora para o estudo da vulnerabilidade socioambiental, devido a dificuldade de interação entre os sistemas naturais, sociais, econômicos e culturais em análise.

De acordo com Maior e Cândido (2014), no contexto urbano latino-americano a preocupação em relação à vulnerabilidade socioambiental é analisar os fatores que influenciam e são influenciados pela fixação da população pobre em áreas de risco. Os autores citam alguns fatores que estão vinculados à vulnerabilidade socioambiental, nomeadamente, o adensamento populacional, a segregação espacial urbana, aos processos de exclusão social e injustiças ambientais, aos processos ligados ao aumento demográfico e por fim, a falta de políticas públicas eficazes.

No Brasil, os estudos dedicados a compreensão da vulnerabilidade socioambiental são realizados em âmbito local, e, de modo geral, buscam identificar grupos populacionais submetidos a um alto grau de risco a desastres específicos de países em desenvolvimento (MAIOR e CÂNDIDO, 2014). Nesse contexto, a vulnerabilidade socioambiental é identificada quando há uma sobreposição de riscos, que envolvem os sociais e os ambientais. As autoras consideram que os riscos sociais estão relacionados a aspectos da dinâmica social, segregação urbana e as injustiças ambientais, enquanto que os riscos ambientais são relacionados às ameaças naturais que ocorrem em áreas específicas.

Na geografia, o estudo da vulnerabilidade socioambiental tomou proporções elevadas e tem sido discutida em termos de regiões e ecossistemas se destacando a dimensão espacial como definidora deste tipo de vulnerabilidade (ALVES, 2006). Nessa direção, Alves (2006) buscou identificar e caracterizar populações em situações de vulnerabilidade socioambiental na metrópole paulistana. Mas, para cumprir esse objetivo, ele definiu que a vulnerabilidade socioambiental seria a sobreposição espacial entre grupos populacionais muito pobres e com alta privação (vulnerabilidade social) e áreas de risco e ou degradação ambiental

(vulnerabilidade ambiental). A combinação dessas duas dimensões criaria as condições de vulnerabilidade socioambiental.

Neste trabalho, Alves (2006) chegou à conclusão que as áreas próximas aos cursos d'água e com baixa cobertura de esgoto, consideradas como áreas de alta vulnerabilidade ambiental, a população apresenta as piores condições socioeconômicas e uma maior concentração de crianças e jovens do que as áreas consideradas com baixa vulnerabilidade ambiental. O autor entende que a vulnerabilidade ambiental é um fator relevante na configuração da distribuição espacial da população pobre e privada das melhores condições sociais na metrópole paulistana. Alexander (2011) reforça essa análise dizendo que apesar de vulnerabilidade e pobreza não serem equivalentes, estão intimamente relacionadas, e, pelo contrário, em muitos casos a riqueza equivale à maior proteção e segurança.

De forma semelhante, Almeida (2010) criou um mapa de vulnerabilidade socioambiental com aplicação na bacia hidrográfica do rio Maranguapinho, na Região Metropolitana de Fortaleza. Para cumprir o objetivo, a autora integrou mapas do índice de vulnerabilidade social e mapas de índice de vulnerabilidade físico-espacial as inundações. Essa conjunção de espaços com coincidência de riscos e vulnerabilidades sociais e ambientais permitiu a criação do índice de vulnerabilidade socioambiental na bacia.

Cunha *et. al.* (2000) também trabalharam a vulnerabilidade social na cidade de Campinas - SP. A intenção dos autores foi estudar as relações populacionais com o ambiente gerador de problemas urbanos. Eles buscaram o entendimento de aspectos ligados a pobreza e a incapacidade de resposta das famílias expostas ao risco. A partir de dados do censo demográfico IBGE 2000, os autores dividiram a cidade em zonas de vulnerabilidade para a identificação de carências ou vantagens da população frente às desigualdades impostas pela urbanização.

A grande maioria dessas pesquisas que buscam identificar a vulnerabilidade socioambiental de alguma determinada região ou área encontra nos programas computacionais estatísticos associados aos sistemas de informação geográfica as suas bases metodológicas. Freitas e Cunha (2013) mostram que essas técnicas para identificar vulnerabilidade começaram a ser utilizadas a partir dos finais da década de 1980 e na década de 1990, com destaque para os

trabalhos de Blaikie *et al.* (1994) e para Cutter (1996) que analisaram diferentes variáveis e indicadores sociais, econômicos, políticos e culturais para determinar a vulnerabilidade socioambiental.

Para a obtenção dos resultados que mostrem a vulnerabilidade socioambiental, muitos estudos realizam a integração de dados geoespaciais com dados socioeconômicos, sobretudo, dados quantitativos sobre economia e demografia (FREITAS e CUNHA 2013). No entanto, conforme os autores deve-se levar em conta nessa análise a complexidade ou o caráter redutor dos dados quantitativos, sendo que, é necessário realizar o cruzamento destes com dados qualitativos, adquiridos a partir de consulta às populações e aos atores da comunidade envolvida, sem se esquecer das observações de campo.

Por fim, mesmo diante dos diversos trabalhos sobre os riscos e as vulnerabilidades desenvolvidas no Brasil, Almeida (2011) ressalta que os conceitos ainda carecem de maior discussão no campo teórico e metodológico, quando é comparada a produção sobre o tema em outras línguas como a inglesa, francesa e espanhola. Além disso, o desafio seria a operacionalização do conceito de vulnerabilidade que, realizada de forma correta, pode auxiliar nas melhorias das condições de resiliência das comunidades mais propensas a ocorrência de perigos naturais.

### **2.13 O risco sísmico**

Levando em consideração os referenciais bibliográficos levantados sobre risco e vulnerabilidade, nota-se que o risco sísmico se refere a um risco natural que, de forma geral, significa a probabilidade dos abalos sísmicos causarem perigo, e isso depende da vulnerabilidade socioambiental e das estruturas construtivas, além de outras variáveis.

O risco sísmico se constitui quando existem elementos expostos e susceptíveis aos efeitos dos fenômenos naturais, em outras palavras, quando existem elementos vulneráveis à ação dos sismos (Sousa, 2006). Segundo esta autora, os elementos em risco podem ser os edifícios de uma região, uma cidade, um país, a população que nele habita, um sistema de infraestruturas ou equipamentos, uma atividade econômica, dentre outros.

Sousa (2006) enumerou três fatores que contribuem para o risco sísmico de uma região, primeiro o perigo potencial de ocorrência de sismos, segundo a exposição e distribuição geográfica dos elementos em risco e terceiro a vulnerabilidade sísmica dos elementos expostos juntamente com a extensão e o grau dos danos diante da ação dos sismos. Segundo Martins (2010) a existência do risco sísmico depende de indicadores de vulnerabilidade e fatores que proporcione maior ou menor resiliência, através da capacidade adaptativa dos sistemas.

Conforme Gallopin (2006) é indispensável na análise do risco sísmico entender o nível de resiliência, sobretudo através da capacidade adaptativa dos sistemas, ou seja, a capacidade de suportar os perigos ambientais. Martins (2010) ressalta que na ótica da capacidade adaptativa, as políticas públicas são cruciais para determinar o seu maior ou menor grau e também níveis de ocorrência. Nessa ótica, Cutter *et al.* (2008) salientam que o desenvolvimento de melhores fatores sociais e organizacionais podem reduzir o impacto dos desastres. Por exemplo, o aumento da riqueza, a disseminação de seguros contra desastres, o entendimento local da existência do risco e outros.

No Brasil, são escassos os trabalhos científicos sobre o risco sísmico, algo que é compreensível, devido à quase inexistência de desastres causados por terremotos neste país. Porém, há de se destacar os trabalhos de Mito (1984; 1993; 1996) que trabalhou na construção de mapas de risco sísmico para o Sudeste brasileiro, zoneamentos sismogênicos do Brasil e também levantou discussões sobre o risco sísmico aplicado ao Estado de São Paulo.

O tema do risco sísmico no Brasil só começou a ser discutido a partir da década de 1970, com as ideias de regionalização sísmica do Sudeste brasileiro para fins de projetos de obras de centrais nucleares e usinas hidrelétricas (MIOTO, 1993). Conforme Mito (1996) algumas instituições se destacaram nessa tentativa de regionalização sísmica do Brasil, cita-se a UnB (Universidade de Brasília) e o IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S. A.). Elas realizaram análises dos efeitos dos eventos sísmicos ocorridos no Estado de São Paulo e criaram mapas de zonas de intensidade sísmica, além disso, principalmente o IPT, continha uma base geoestrutural avançada para a época.

Na atualidade, muitos trabalhos que buscam identificar risco sísmico são feitos no campo da engenharia, buscando considerar eventuais efeitos dos abalos sísmicos aos projetos estruturais. Os trabalhos de Almeida (2002), Santos e Souza Lima (2004), Silva (2009) e Rodrigues (2012) são exemplos de importantes contribuições para análise de risco sísmico no Brasil, já que a intenção dos autores compreendia em obter os valores de acelerações horizontais do solo e os períodos de recorrência dos eventos sísmicos, criando zoneamentos de intensidade sísmica no Brasil.

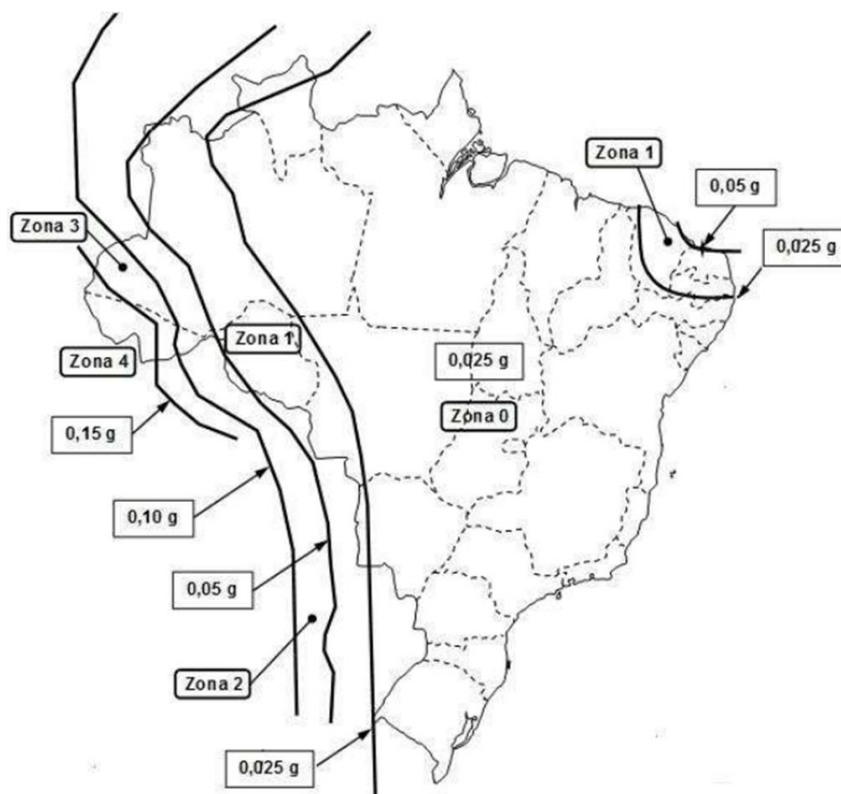
Um dos mais relevantes trabalhos foi desenvolvido por Santos e Souza Lima (2004) que criaram um mapa de sismicidade da América do Sul, levando em consideração o trabalho de Falconi (2003), que analisou normas de projetos sísmicos de seis países sul-americanos. Esse trabalho constituiu a base para a criação da Norma Brasileira de Sismos, NBR 15421, que estabelece diretrizes para as construções resistentes a sismos no Brasil (ABNT, 2006). O objetivo dessa norma de acordo a Silva (2009 p. 16) é:

fixar os requisitos exigíveis para verificação da segurança das estruturas usuais da construção civil relativamente às ações de sismos e os critérios de quantificação dessas ações e das resistências a serem consideradas no projeto das estruturas de edificações, relativamente a estas ações, quaisquer que sejam sua classe e destino, salvo os casos previstos em Normas Brasileiras específicas (SILVA 2009 p. 16).

A proposta da ABNT (2006) para a Norma Brasileira de Sismos evidencia que a maior parte do território brasileiro possui uma sismicidade baixa, correspondendo a zona sísmica zero (0), onde, segundo Silva (2009), não é exigida nenhuma verificação quanto à resistência sísmica. Contudo em algumas áreas do Nordeste e Norte do Brasil a sismicidade é considerável, correspondendo as zonas sísmicas 1, 2, 3 e 4. O zoneamento da sismicidade do Brasil apresentado por Santos e Souza Lima (2004) com as respectivas acelerações horizontais do solo e zonas sísmicas está representado na Ilustração 15, sendo que, o  $g$  é a aceleração da gravidade.



Ilustração 15: Mapa de aceleração sísmica horizontal do Brasil



Fonte: Santos e Souza Lima (2004)

Segundo Lopes e Nunes (2011) esse zoneamento sísmico criado pela ABNT (2006) ainda carece de estudos mais detalhados, visto que, segundo o autor, os maiores sismos já ocorridos no território brasileiro estão localizados na zona 0 (zero), enquanto que o estado do Acre, que é atingido por sismos profundos e pouco intensos na superfície, está localizado na zona sísmica 4.

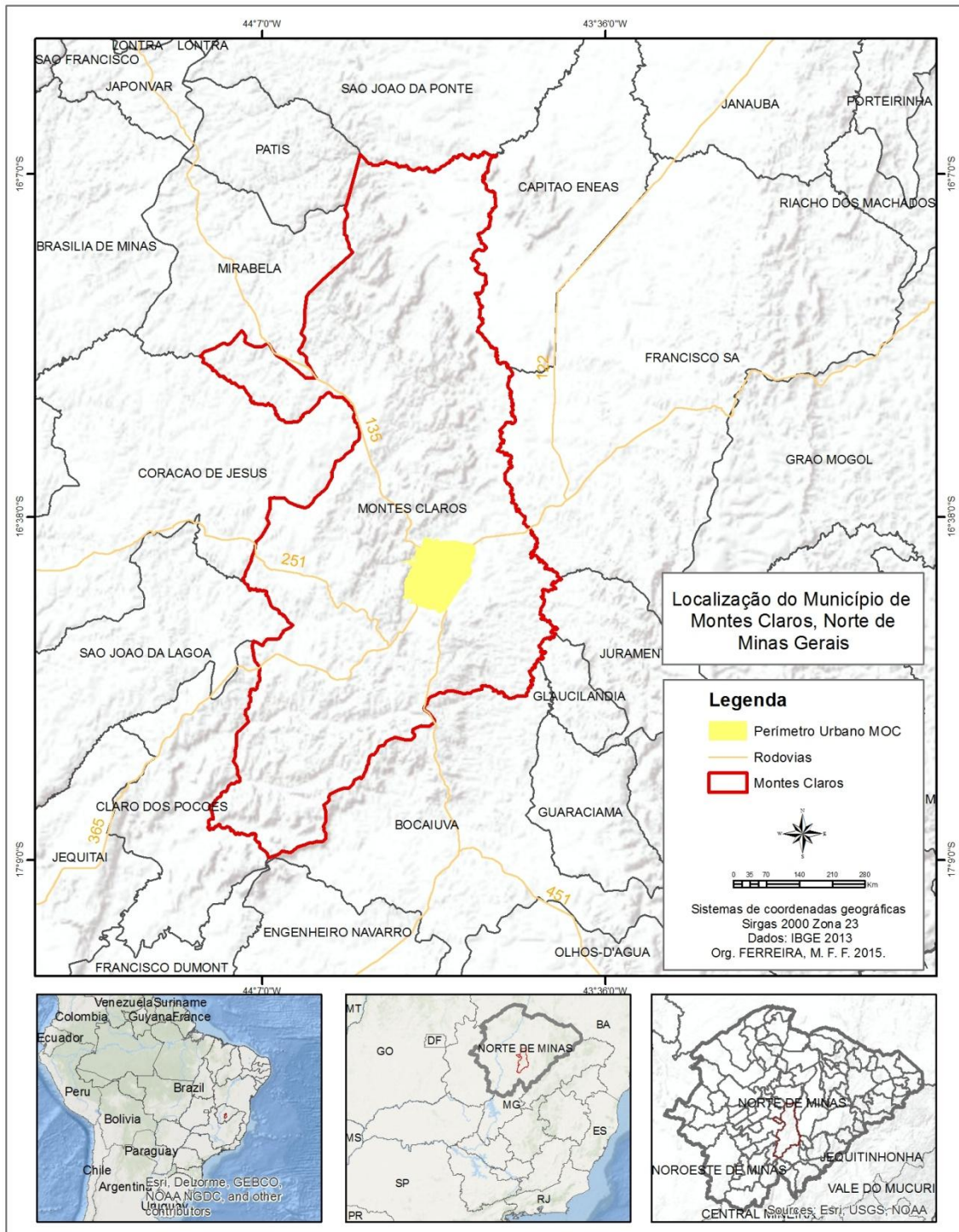
Um fator importante a ser destacado, também, é a avaliação do risco sísmico a grandes empreendimentos no Brasil. Conforme Lopes (2010), o risco sísmico de uma determinada obra se manifesta a partir da combinação do perigo sísmico e da exposição e vulnerabilidade da obra a ocorrência de sismos. A avaliação do risco se popularizou graças à internacionalização do país e a adequação das empresas a padrões internacionais.

Um mapa de perigo sísmico do Brasil, com mais detalhes em relação às áreas de maior concentração de sismos, está sendo elaborado por uma equipe de especialistas em sismologia e, brevemente, o Brasil terá um zoneamento sísmico que mais se aproxima da realidade sísmica deste país.

### **3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO**

A área de estudo do presente trabalho contempla todo o município de Montes Claros – MG, inserida entre as coordenadas geográficas 16° 04' 57" e 17° 08' 41" de Latitude Sul e 43° 51' 56" e 44° 13' 01" de Longitude Oeste, conforme está representado pela Ilustração 16. Está situado na região Norte do Estado de Minas Gerais, ocupando uma área total de 3.576,76 km<sup>2</sup>. É composto administrativamente pela sua sede, a cidade de Montes Claros e por mais onze distritos: Aparecida do Mundo Novo, Canto do Engenho, Ermidinha, Lagoinha, Miralta, Nova Esperança, Panorâmica, Santa Rosa de Lima, São João da Vereda, São Pedro da Garça e Vila Nova de Minas. Os municípios limítrofes são: São João da Ponte ao Norte, Capitão Enéas a Nordeste, Francisco Sá a Leste, Juramento e Glaucilândia a Sudeste, Bocaiúva a Sul, Claro dos Poções a Sudoeste, São João da Lagoa e Coração de Jesus a Oeste e Mirabela e Patis a Noroeste.

Ilustração 16: Mapa de localização do município de Montes Claros



Org. FERREIRA, M. F. F. 2016

De acordo com Leite e Pereira (2008), Montes Claros cumpre a função de polo regional no Norte de Minas Gerais. Para os autores, esta cidade já era um polo de atração para o comércio de gado desde 1892, mas foi com a inauguração da ferrovia em 1926 que começou a se destacar como atrativo populacional e comercial. 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 Km<sup>2</sup>, com densidade demográfica de 101,4 hab/km<sup>2</sup> (IBGE, 2010). Isso coloca o município na sexta colocação em termos de número de habitantes no estado. No Quadro 6 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 6: População total, por gênero, rural/urbana em Montes Claros

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

Fonte: Atlas de desenvolvimento Humano no Brasil (2015)  
Org. FERREIRA, M. F. F. 2016

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 Montes Claros possuem 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 de encontro à 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.

Neste município existe uma grande diversidade vegetal, devido à existência de espécies da Caatinga e do Cerrado. De acordo com Scolforo (2006) existe no município o Cerrado *Sensu Strictu* (86.537 ha), Campo Cerrado (18.345 ha), Floresta Estacional Decidual (20.286 ha), Floresta Estacional Semidecidual (5.668 ha) e Veredas (39 ha).

O clima predominante, de acordo com Nimer e Brandão (1989) é o Subúmido seco, próximo do Subúmido úmido. O período chuvoso compreende os meses de novembro a março e o período de estiagem de abril a outubro. Os meses que ocorrem maior precipitação conforme a média dos últimos trinta anos são novembro, dezembro e janeiro, com 212,3 mm, 250,3 mm e 159,9 mm respectivamente, e, a média anual dos últimos trinta anos é de aproximadamente 1.000 mm (CECS, 2016).

A hidrografia do município é composta por três grandes Bacias Hidrográficas, nomeadamente, bacia do Rio Pacuí, bacia do Rio São Lamberto e bacia do Rio Verde Grande. O Rio São Lamberto é tributário do Rio Pacuí que juntamente com o Rio Verde Grande deságuam no Rio São Francisco. A sede municipal está inserida totalmente na Bacia Hidrográfica do Rio Verde Grande e também sua quase totalidade em uma sub-bacia chamada de Vieira. O Rio Vieira compõe a principal rede hidrográfica da cidade de Montes Claros e se destaca por drenar todo o esgotamento sanitário do perímetro urbano (LEITE, SANTOS e ALMEIDA, 2011).

O relevo varia entre as cotas altimétricas de 500 e 1.085 metros, formada pelos Planaltos Residuais do São Francisco, que corresponde a 66,59 % do território municipal e pela superfície de aplainamento da depressão Sanfranciscana que compõe 33,41 %. A Oeste se

encontram os Planaltos Residuais do São Francisco e a Leste segue as encostas e desníveis dos planaltos e a Depressão Sanfranciscana (LEITE, 2009).

A região de Montes Claros, que se insere em uma unidade geotectônica chamada de Cráton do São Francisco, é delimitada a Oeste pela Faixa Brasília e a Leste e Sul pelo Orógeno Araçuaí, considerando que o final do processo de cratonização ocorreu durante o transamazônico (ALMEIDA, 1977).

A geologia da região epicentral é caracterizada por sedimentos das formações Lagoa do Jacaré e Serra de Santa Helena, ambas pertencentes ao Grupo Bambuí, que, por sua vez, pertence ao Supergrupo São Francisco, com idade neoproterozóica. Nos domínios de bacia sedimentar há o predomínio de rochas sedimentares representados, em sua maioria, pelos Calcilitos e Calcarenitos, com Calcários cinza escuros, muitas vezes maciços e puros localmente estratificados, ocorrendo no topo da formação. Também encontra-se Ritmitos que mostram alternâncias de níveis milimétricos argilo-siltosos de coloração cinza clara na Formação Lagoa do Jacaré e há o predomínio de Metassiltitos e Folhelhos ardorianos intercalados na formação Serra de Santa Helena (CPRM, 2011).

#### **4 MATERIAS E MÉTODOS**

A área objeto deste estudo contempla todo o município de Montes Claros, onde, em menor ou maior escala, foram percebidas as ocorrências de tremores naturais. O desenvolvimento dos trabalhos foi baseado em procedimentos que objetivaram as análises dos eventos sísmicos e da vulnerabilidade a sismos na área estudada. Inicialmente foi efetuada uma revisão bibliográfica sobre os temas de interesse para a pesquisa, destacando-se, entre outros, os princípios básicos da sismologia e sismicidade, e a vulnerabilidade e riscos a eventos naturais.

Realizou-se buscas de informações de naturezas diversas referentes à área de estudo, norteadas para as causas da origem dos tremores e para a percepção dos moradores da cidade aos riscos sísmicos. Concomitantemente, buscou-se organizar e sistematizar um banco de dados de ocorrência dos eventos sísmicos, a partir de registros instrumentais disponibilizados pelo Boletim Sísmico Brasileiro - BSB, pelo SIS-UnB e IAG-USP. Em complemento aos estudos da sismicidade, foi realizada uma análise sobre os índices de vulnerabilidade socioambiental a sismos em áreas dentro do perímetro urbano da cidade, através de sobreposições de mapas de vulnerabilidade social e vulnerabilidade ambiental (zonas de intensidade sísmica).

Nesta pesquisa foi utilizada a abordagem quantitativa em todas etapas metodológicas, mediante o emprego de técnicas estatísticas para gerar informações a respeito de frequências, agrupamentos, zoneamentos, correlações e etc. Conforme Silva e Menezes (2005) a pesquisa quantitativa requer o uso de recursos e técnicas estatísticas para transformar informações em números e assim analisar o fenômeno.

Os procedimentos metodológicos adotados foram divididos em etapas sequenciadas, as quais descrevem os passos para identificação da sismicidade e da vulnerabilidade socioambiental a sismos em Montes Claros.

#### 4.1 Caracterização da sismicidade em Montes Claros

Os estudos da sismicidade em Montes Claros foram realizados com base nos dados disponíveis de ocorrências sísmicas no município, sendo organizados e sistematizados em quadros, gráficos e mapas, possibilitando análises estatísticas e espaciais dos eventos sísmicos dentro do perímetro urbano da cidade. Para maior compreensão e uma análise mais específica, os dados sísmicos foram agrupados em dados da Rede Sismográfica Brasileira (RSBR) e dados da Rede Sismográfica Provisória de Montes Claros (RSPMC). Esse procedimento de agrupamento de dados sísmicos contribuiu para maior compreensão dos critérios da sismicidade local, pois as distâncias das estações sismográficas aos epicentros podem influenciar na precisão dos dados. A RSBR forneceu informações sobre sismos em Montes Claros a partir do ano de 1995, ano do primeiro sismo registrado na cidade. Já a RSPMC forneceu informações a partir do ano 2012, ano de instalação da rede provisória em Montes Claros.

Em quadros organizados no *Microsoft Office Excel 2010*, as informações foram sistematizadas de tal forma que foi possível visualizar o número total, data de ocorrência, hora local, localização e magnitude dos eventos sísmicos. Este procedimento foi realizado para ambas as bases de dados, seja a proveniente de estações distantes (RSBR) ou de estações locais (RSPMC). Além de quadros, também foram criados gráficos representativos no *Microsoft Office Excel 2010*, no qual foram agrupados as várias informações importantes dos sismos, nomeadamente, número de eventos distribuídos por ano e número de eventos de acordo com a magnitude. Com isso, a caracterização das ocorrências sísmicas foi realizada com mais detalhes, estabelecendo uma visão generalizada das informações.

Em termos de mapeamento, as informações sísmicas foram organizadas em uma plataforma de trabalho própria, baseada no Sistema de Informação Geográfica (SIG). Assim, foi possível visualizar, com um bom nível de detalhes, os dados georreferenciados da sismicidade de Montes Claros, como localização, frequência e magnitude dos sismos. Deste modo, por ser uma representação dos fenômenos no espaço geográfico, foi necessário obedecer aos critérios de escalas e projeções para que se reproduzisse de forma fiel os dados analisados. Neste trabalho, a representação temática dos dados foi trabalhada utilizando-se o sistema de



coordenadas geodésicas, Datum Sirgas 2000, e as escalas foram empregadas de acordo ao interesse do modelo de representação.

Após a definição dos dados de entrada, procedeu-se a manipulação e análise dos mesmos através de um *software* especializado em SIG chamado ArcGis 10.2.1, adotado para o desenvolvimento do presente trabalho. "O ArcGIS é um pacote de softwares da ESRI (Environmental Systems Research Institute) de elaboração e manipulação de informações vetoriais e matriciais para o uso e gerenciamento de bases temáticas" (SANTOS, 2009 p.3). Este *software* caracteriza-se por ser de fácil manuseio, permitindo visualizar, manipular e organizar as informações geográficas do espaço.

O SIG caracteriza-se por ser uma ferramenta que visa trabalhar com a integração e a sobreposição da informação espacial. Para tanto, a estrutura dos dados analisado foi transformado em formato *shapefile* para o uso direto com o ArcGis. Com esse formato os dados são independentes uns dos outros, sendo possível trabalhar com linhas, pontos e polígonos sobrepostos. Assim, foram criados mapas onde aparecem as representações espaciais importantes para a análise do fenômeno sísmico.

Toda a base cartográfica deste trabalho foi manipulada e editada no ArcGis 10.2.1, que possibilitou, por sua vez, uma série de análises espaciais e construção de variados mapas. Leite (2006) destaca as possibilidades de trabalho deste software, mencionando que é possível realizar diversas análises de dados espaciais com alto nível de sofisticação e gerenciar feições e atributos por temas, criando arquivos de projetos. A plataforma SIG desenvolvida para este trabalho foi capaz de oferecer informações sobre a sismicidade instrumental de Montes Claros com dados catalogados em um período de 21 anos. As informações geradas corresponderam às datas que ocorreram os sismos, as localizações epicentrais e as magnitudes dos eventos.

#### **4.2 Identificação da vulnerabilidade socioambiental a sismos em Montes Claros**

Para a identificação dos índices de vulnerabilidade socioambiental em áreas dentro do perímetro urbano na cidade de Montes Claros, foi empregado os critérios metodológicos determinados por Almeida (2010). A autora utilizou técnicas estatísticas, sobreposições cartográficas e trabalhos de campo para produzir índices de vulnerabilidade socioambiental na

bacia do rio Maranguapinho em Fortaleza - CE . Esses índices foram determinados a partir da sobreposição de mapas de vulnerabilidade social e vulnerabilidade físico-espacial às inundações. Neste trabalho de Almeida (2010), a produção do índice de vulnerabilidade social se deu a partir de escolhas de variáveis que representassem características de desvantagem social e análises estatísticas dos dados do censo demográfico IBGE 2000 do setor censitário. Já a elaboração do índice de vulnerabilidade físico-espacial às inundações foi realizada com a análise da frequência e da extensão espacial das inundações, juntamente com o tempo de retorno. A manipulação dos dados e produção cartográfica foi feita em ambiente SIG, utilizando principalmente o programa de geoprocessamento *ArcGIS 9.2*.

Os procedimentos metodológicos para a identificação das vulnerabilidades social e ambiental utilizados neste trabalho passaram por alguns ajustes em relação ao trabalho de Almeida (2010). Houve adaptações quanto às variáveis utilizadas e à análise estatística para a identificação dos índices de vulnerabilidade social, além disso, o objeto de análise relacionado a vulnerabilidade ambiental em Montes Claros se refere às zonas de intensidade sísmica no perímetro urbano da cidade.

O mapa final de vulnerabilidade socioambiental no perímetro urbano de Montes Claros foi desenvolvido a partir da sobreposição dos mapas de vulnerabilidade social e ambiental a sismos, onde foi possível a identificação de áreas ou setores onde existem a coexistência dessas vulnerabilidades. O cruzamento entre os grupos de vulnerabilidade social e ambiental a sismos proporcionou a formação de grupos de vulnerabilidade socioambiental na cidade, como pode ser visto na Ilustração 17.

Ilustração 17: Grupos de vulnerabilidade socioambiental

Índice de vulnerabilidade social (IVS)				Índice de vulnerabilidade ambiental a sismos (IVAS)	
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	
	IVAS	3	2	1	
IVS					
5					Muito Alta
4					Alta
3					Moderada
2					Baixa
1					Muito baixa

Fonte: Adaptado de Almeida (2010)  
Org. FERREIRA, M. F. F. 2016

O índice de vulnerabilidade socioambiental muito baixa se forma a partir da sobreposição de setores que possuem muito baixa vulnerabilidade social com a zona de intensidade (IV). O índice de vulnerabilidade socioambiental baixa se forma a partir da sobreposição de setores de vulnerabilidade social muito baixa com a zona de intensidade (V) ou pela sobreposição de setores que possuem vulnerabilidade social baixa e moderada com a zona de intensidade (IV). O índice de vulnerabilidade socioambiental moderada se forma a partir da sobreposição dos setores de vulnerabilidade social muito baixa com a zona de intensidade (VI), ou quando os setores de vulnerabilidade social baixa e moderada são sobrepostos a zona de intensidade (V), e também quando os setores de vulnerabilidade alta e muito alta são sobrepostos a zona de intensidade (IV).

O índice de vulnerabilidade socioambiental alta se forma a partir da sobreposição dos setores de vulnerabilidade social baixa e moderada com a zona de intensidade (VI) e pela sobreposição de setores de vulnerabilidade social alta com a zona de intensidade (V). Já o índice de vulnerabilidade socioambiental muito alta se forma a partir da sobreposição de setores de vulnerabilidade social alta e muito alta com a zona de intensidade (VI) ou pela sobreposição de setores de vulnerabilidade social muito alta com a zona de intensidade (V).

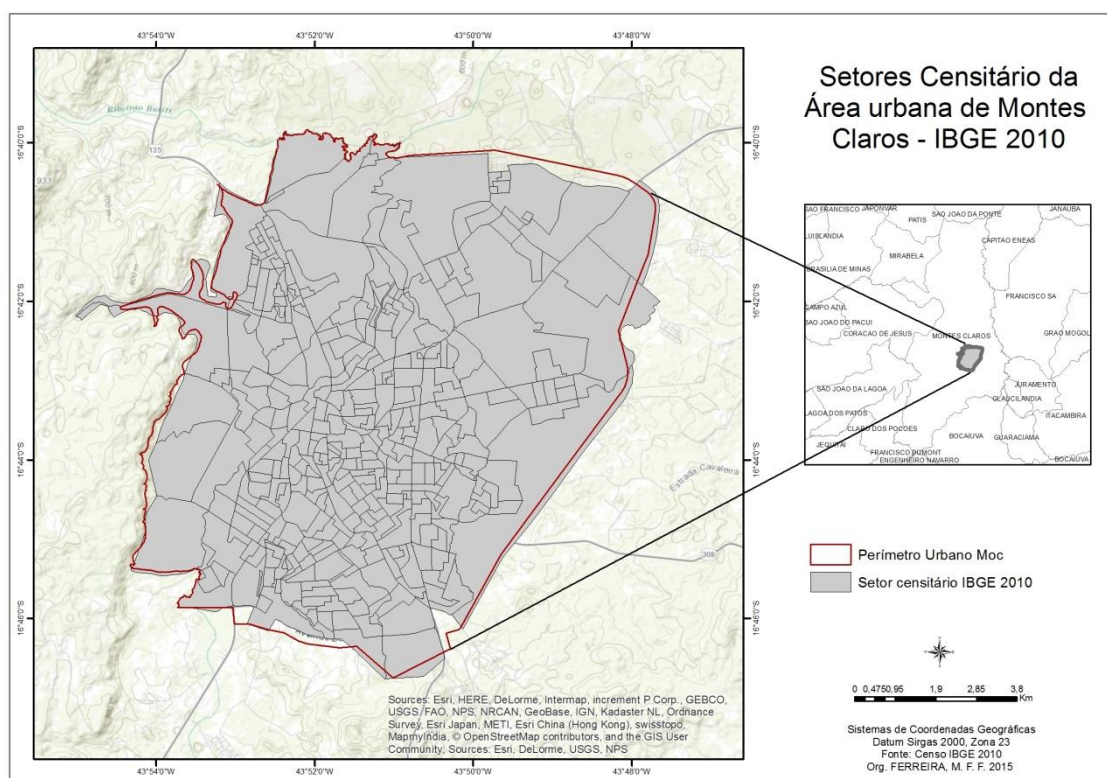
Neste trabalho, as geotecnologias e, particularmente, os sistemas de informação geográfica (SIG) foram fundamentais, não somente em relação à produção cartográfica, mas, também pela sua capacidade de cruzamento de dados e informações para se criar modelos de

vulnerabilidade na cidade. Por se tratar de uma base de dados que envolvem os setores censitários, as unidades de análise deste trabalho são áreas de maior e/ou menor vulnerabilidade em Montes Claros.

#### 4.2.1 Determinação do Índice de Vulnerabilidade Social

Para a formação dos índices de vulnerabilidade social em Montes Claros foram utilizados dados socioeconômicos e demográficos do censo IBGE 2010, a partir dos setores censitários, que é a menor unidade de análise estabelecido pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. A área de estudo se limitou ao perímetro urbano da cidade, onde as vulnerabilidades sociais se manifestam com mais evidência. Através da utilização do programa ArcGIS 10.2.1 foram selecionados os 362 setores censitários distribuídos dentro do perímetro urbano de Montes Claros (Ilustração 18).

Ilustração 18: Mapa de localização dos setores censitário IBGE 2010 no perímetro urbano de Montes Claros



Org. FERREIRA, M. F. F. 2016

Em cada um dos 362 setores censitários foram trabalhadas oito variáveis do censo demográfico do IBGE 2010 que representam as desvantagens sociais que são recorrentes em

pesquisas para estudos semelhantes (DESCHAMPS, 2004; ALVES *et al.*, 2010; ALMEIDA, 2010). Para uma melhor organização, essas variáveis foram agrupadas em quatro fatores, nomeadamente, educação, estrutura etária, gênero e renda (Quadro 7).

Quadro 7: Variáveis selecionadas para a determinação da vulnerabilidade social

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.

Org. FERREIRA, M. F. F. 2016

Por meio dos valores identificados em cada uma das oito variáveis, pôde-se determinar o índice de vulnerabilidade dos setores. Por exemplo, analisando a variável 2 que é a "porcentagem de pessoas alfabetizadas com cinco ou mais anos de idade em relação ao total de pessoas residentes no setor", estipula-se que quanto mais alta for a porcentagem, menor será a vulnerabilidade e quanto menor for a porcentagem, mais alta será a vulnerabilidade. Essa análise foi realizada para os 362 setores censitários do perímetro urbano da cidade de Montes Claros.

Utilizando o método estatístico *Natural Breaks* incluso no *software* ArcGIS 10.2.1, os setores censitários foram agrupados automaticamente em cinco classes, tendo por base o seu valor da variável. O agrupamento dos setores foi realizado para as oitos variáveis utilizadas no trabalho, e 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".

Após determinar os índices de vulnerabilidade dos setores em cada uma das oito variáveis, foram determinados os pesos das vulnerabilidades. O método estatístico para determinação dos pesos se baseou na lógica de Fibonacci, trabalhado pelo Centro Universitário de Estudos e Pesquisas Sobre Desastres da Universidade Federal de Santa Catarina - CEPED UFSC (2014), sendo que o valor inicial que corresponde a vulnerabilidade muito baixa é 0,123581321 e os subsequentes são 0,247162643 para baixa vulnerabilidade; 0,370743964 para moderada vulnerabilidade; 0,617906607 para alta vulnerabilidade e 0,988650571 para muito alta vulnerabilidade. Os pesos destinados a cada índice de vulnerabilidade estão descritos no Quadro 8.

Quadro 8: Grupos e pesos determinados para identificação da vulnerabilidade social, baseado na lógica de Fibonacci

<b>Grupos de vulnerabilidade</b>	<b>Peso</b>
Muito alta vulnerabilidade	0,988650571
Alta vulnerabilidade	0,617906607
Moderada vulnerabilidade	0,370743964
Baixa vulnerabilidade	0,247162643
Muito baixa vulnerabilidade	0,123581321

Org. FERREIRA, M. F. F. 2016

Definidos os grupos de setores que possuem os índices de vulnerabilidades e os seus correspondentes pesos, foi estipulado o índice geral de vulnerabilidade social na área urbana de Montes Claros. Para isso, em cada setor, foi somado os pesos das oito variáveis e calculado a média dessa soma. Diante dessa média, cada setor obteve um novo valor e novamente foram agrupados em cinco classes pelo método estatístico *Natural Breaks*. Portanto, os setores que apresentarem os maiores valores, são aqueles com a maior vulnerabilidade social e os setores com menores valores, são os de menor vulnerabilidade social.

Para melhor compreensão desse procedimento metodológico, o Quadro 9 mostra o exemplo da técnica estatística utilizada para definir os índices de vulnerabilidade social em Montes Claros, em cinco setores censitários. Nota-se, que cada setor possui um valor (peso) em cada uma das oito variáveis e a média desses valores corresponde ao seu índice de vulnerabilidade social. Este procedimento foi realizado nos 362 setores do perímetro urbano de Montes Claros.

Quadro 9: Pesos estatísticos, por setor, para determinação da vulnerabilidade social.

Variável	Setor (1)	Setor (2)	Setor (3)	Setor (4)	Setor (5)
V1	0,123581321	0,247162643	0,247162643	0,370743964	0,617906607
V2	0,247162643	0,247162643	0,370743964	0,617906607	0,617906607
V3	0,370743964	0,617906607	0,617906607	0,617906607	0,988650571
V4	0,247162643	0,123581321	0,123581321	0,247162643	0,123581321
V5	0,370743964	0,370743964	0,370743964	0,370743964	0,247162643
V6	0,123581321	0,247162643	0,123581321	0,247162643	0,370743964
V7	0,123581321	0,247162643	0,617906607	0,617906607	0,988650571
V8	0,123581321	0,617906607	0,988650571	0,988650571	0,988650571
Soma	1,730138498	2,718789071	3,460276998	4,078183606	4,943252855
Média	0,216267312	0,339848634	0,432534625	0,509772951	0,617906607
Índice	Muito baixa vulnerabilidade	Baixa vulnerabilidade	Moderada vulnerabilidade	Alta vulnerabilidade	Muito alta vulnerabilidade

Org. FERREIRA, M. F. F. 2016

Após o agrupamento dos setores conforme os índices de vulnerabilidade social, foi elaborado o mapa final de vulnerabilidade social de Montes Claros, possibilitando uma visão abrangente das áreas mais críticas na cidade.

#### 4.2.2 Determinação do índice de vulnerabilidade ambiental a sismos em Montes Claros (Zonas de intensidade sísmica)

Conforme descrito no referencial teórico deste trabalho, saber a intensidade de um terremoto significa compreender os efeitos que eles geram em um determinado lugar, como por exemplo, danos em estruturas de construções civis, vidros de janelas quebrados, telhas e objetos caídos, etc. Para medir a intensidade dos tremores é utilizada a escala de Mercalli Modificada, que atribui valores de I a XII de acordo com os danos gerados no local.

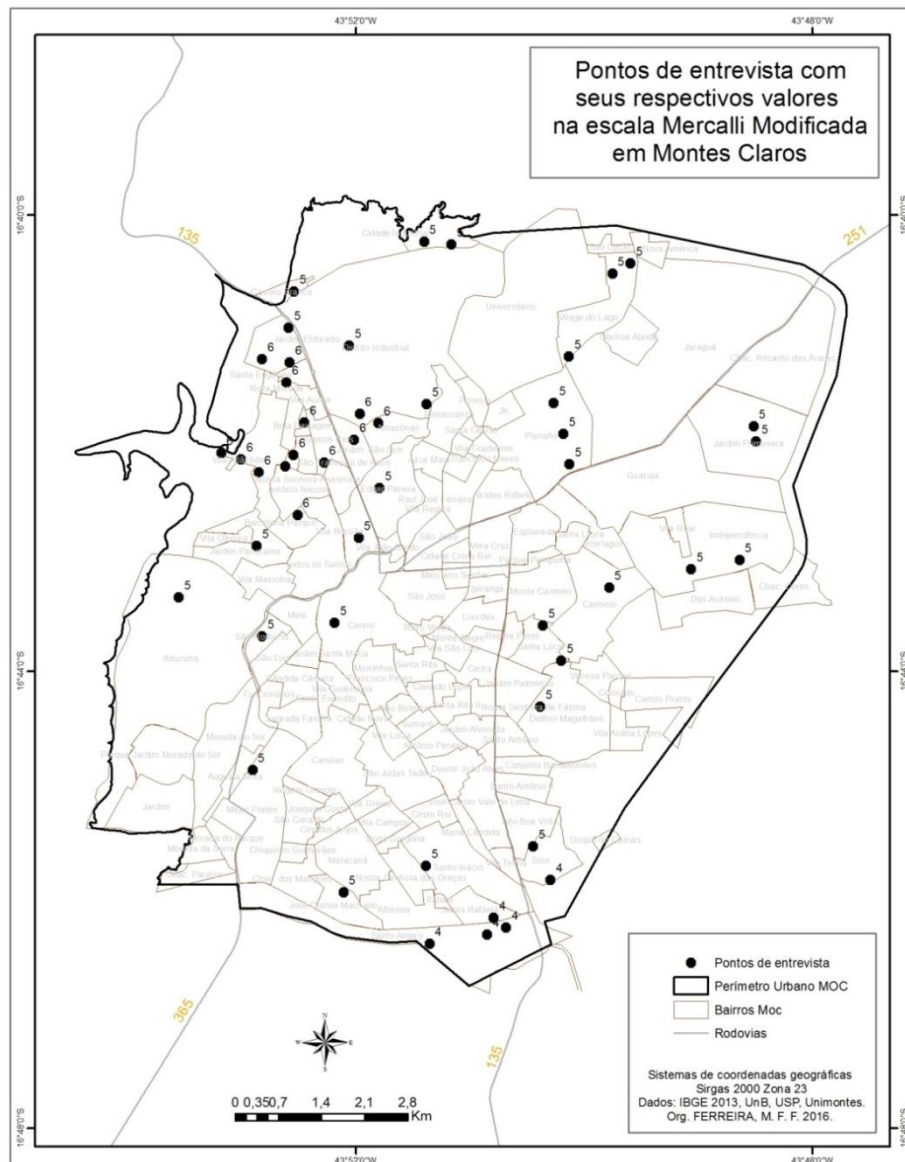
Neste trabalho, as intensidades sísmicas encontradas no perímetro urbano de Montes Claros correspondem aos índices de vulnerabilidade ambiental a sismos, sendo que a área identificada com a mais alta intensidade sísmica corresponde à área com maior índice de vulnerabilidade ambiental a sismos e evidentemente a área com menor intensidade sísmica corresponde ao menor índice de vulnerabilidade ambiental a sismos.

Para a identificação da intensidade sísmica no perímetro urbano de Montes Claros e compreensão dos efeitos dos tremores nas diversas áreas da cidade, foram realizadas

entrevistas estruturadas elaboradas com base nos índices de intensidade da escala de Mercalli Modificada, e, cada ponto de entrevista foi georreferenciado.

As entrevistas se iniciaram pela região epicentral até atingir os limites do perímetro urbano, conforme está representado na Ilustração 19. 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.

Ilustração 19: Mapa de localização dos pontos de entrevista no perímetro urbano de Montes Claros



Org. FERREIRA, M. F. F. 2016



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

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 A sismicidade em Montes Claros

A sismicidade em Montes Claros foi analisada em duas etapas. Na primeira etapa procedeu-se a análise tendo por base os registros de dados sísmicos das estações sismográficas regionais, ou seja, aquelas localizadas a mais de 200 km de distância do município, pertencentes à RSBR. Na segunda, a análise da sismicidade foi realizada com os dados das estações provisórias da rede sismográfica local, instaladas no entorno do perímetro urbano da cidade.

Por meio dos dados das estações regionais, disponíveis no Boletim Sísmico Brasileiro e organizados no Quadro 10, constatou-se que no período de 1995 a 2012 ocorreram 26 tremores de terra em Montes Claros. O primeiro registro oficial ocorreu no ano de 1995, com magnitude 2,6 na escala Richter e o último dessa sequência foi registrado em 2012, com magnitude de 2,6, ocorrido no dia 22/05/2012.

Quadro 10: Sismos ocorridos em Montes Claros registrados pela Rede Sismográfica Brasileira (RSBR) de 1995 a maio de 2012

Nº	Data	Hora local (H:M:S)	Latitude (UTM)	Longitude (UTM)	Magnitude
1	27/08/1995	00:00:00	-16,6700	-43,9400	2,6
2	27/08/1995	20:08:35	-16,6700	-43,9400	3,7
3	28/08/1995	12:59:58	-16,6700	-43,9400	2,4
4	15/03/1999	21:27:01	-16,4000	-44,0000	2,8
5	24/10/1999	19:13:42	-16,4600	-44,0900	3,5
6	01/12/2005	19:54:46	-16,6300	-43,8100	2,8
7	15/12/2008	18:29:33	-16,6700	-43,9400	2,3
8	17/12/2008	13:52:10	-16,6000	-43,9000	2,1
9	08/01/2009	19:37:03	-16,6200	-43,8800	1,0
10	15/01/2009	19:17:19	-16,6200	-43,8800	2,0
11	01/02/2009	07:12:17	-16,6700	-43,9400	1,3
12	01/08/2009	15:01:34	-16,6700	-43,9400	2,1
13	03/08/2009	20:00:43	-16,6700	-43,9400	1,9
14	29/09/2010	00:00:00	-16,7300	-43,8600	2,4
15	29/09/2010	00:00:00	-16,7300	-43,8600	2,8
16	05/03/2011	00:00:00	-16,7010	-43,8830	3,2

Continua...

Quadro 10: Sismos ocorridos em Montes Claros registrados pela Rede Sismográfica Brasileira (RSBR) de 1995 a maio de 2012

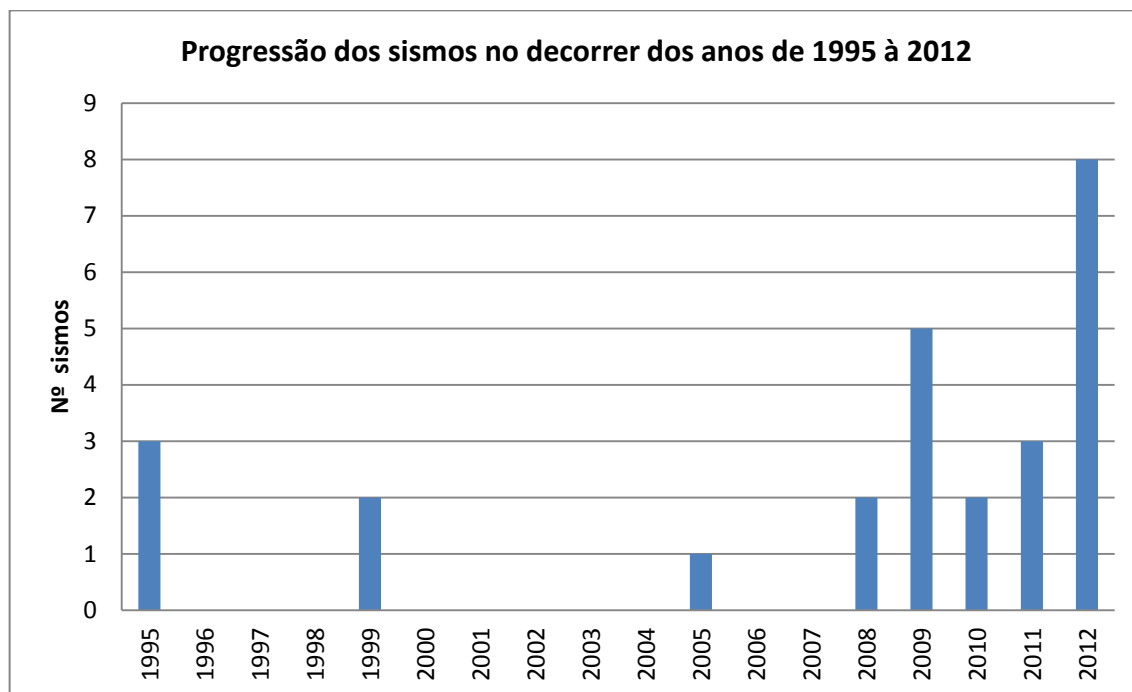
					Continuação.
17	09/09/2011	10:22:07	-16,5926	-43,9007	2,4
18	10/10/2011	10:22:17	-16,5926	-43,9007	2,6
19	02/04/2012	04:47:30	-16,5900	-43,9000	1,3
20	02/04/2012	05:21:16	-16,5900	-43,9000	2,8
21	02/04/2012	07:19:33	-16,5900	-43,9000	2,7
22	19/05/2012	10:42:02	-16,6955	-43,8828	4,0
23	19/05/2012	13:44:35	-16,7298	-43,9811	2,7
24	20/05/2012	05:10:14	-16,7298	-43,9811	1,7
25	20/05/2012	16:32:39	-16,5870	-43,9130	2,7
26	22/05/2012	14:09:06	-16,5870	-43,9130	2,6

Org. FERREIRA, M. F. F. 2016

Nesse período foram registrados seis tremores com magnitudes entre 1,0 a 2,0, dezesseis tremores com magnitudes entre 2,1 e 3,0 e quatro tremores com magnitudes entre 3,1 e 4,0 na escala Richter. Observa-se pelos dados apresentados que 59,26% das ocorrências sísmicas aconteceram com magnitudes entre 2,1 a 3,0, sendo considerada de moderada a fraca intensidade.

Nos anos de 1995 a 2007, a frequência de tremores foi baixa, sendo observada a ocorrência de somente seis eventos. A partir de 2008 os sismos se tornaram mais frequentes, totalizando vinte tremores, e, dentre estes, se encontra o principal sismo ocorrido na cidade em 19/05/2012 (Ilustração 20).

Ilustração 20: Gráfico de progressão dos sismos durante os anos 1995 a maio de 2012

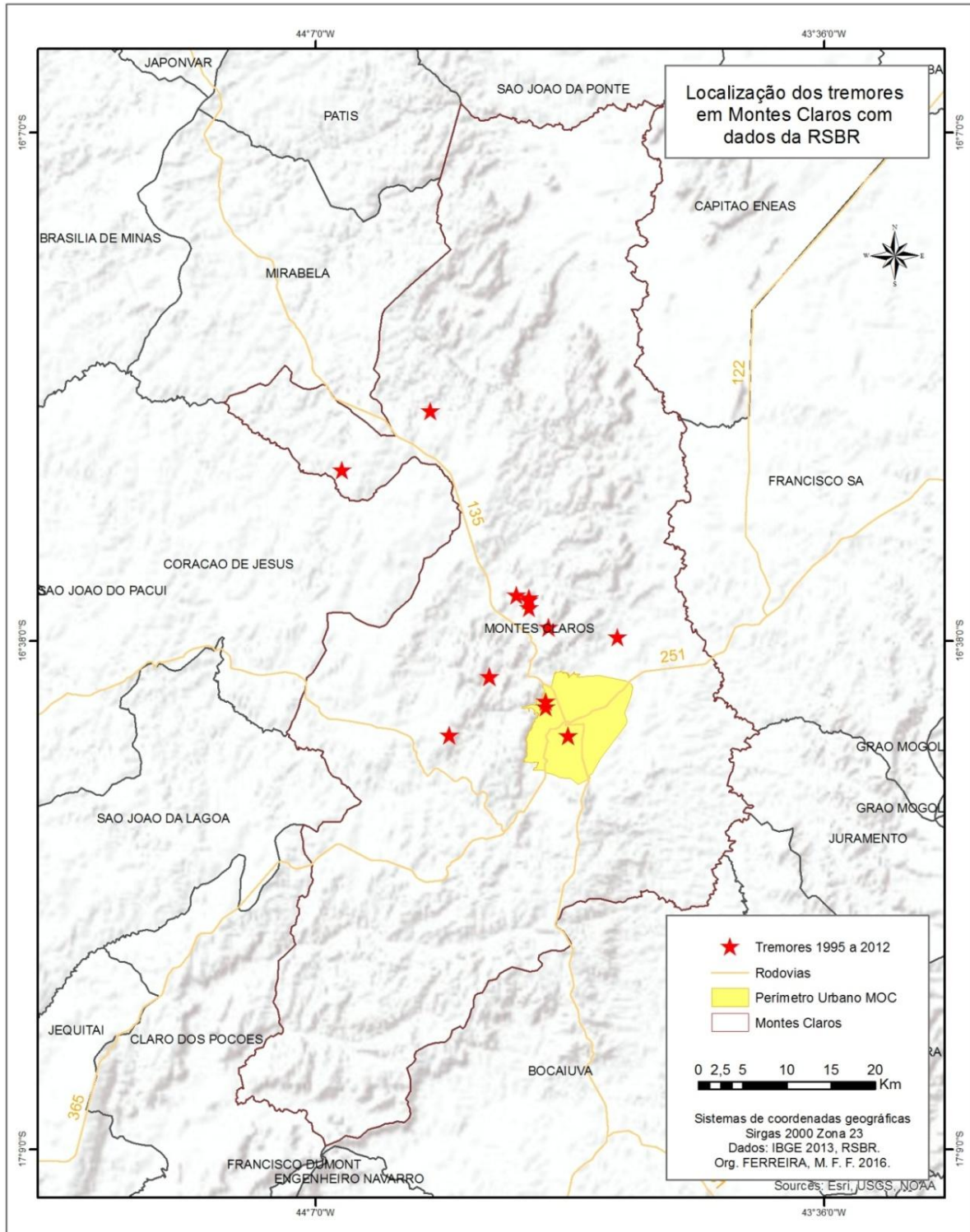


Org. FERREIRA, M. F. F. 2016

Quanto à localização dos sismos ocorridos neste período, nota-se, com o auxílio da Ilustração 21, que existe uma maior concentração dos mesmos nas proximidades e dentro do perímetro urbano da cidade. No entanto, dois sismos estão mais afastados dessa área de maior concentração, localizados nos distritos de Ermidinha e Santa Rosa de Lima, ocorridos em 1999 e distantes cerca de trinta quilômetros da área urbana de Montes Claros.

Dentre estes sismos, conforme registros da RSBR, quatro ocorreram dentro do perímetro urbano da cidade, sendo que dois ocorreram no dia 29/09/2010, com magnitudes 2,4 e 2,8, localizados no Centro da cidade, um ocorreu no dia 05/03/2011, com magnitude 3,2, localizado no bairro Vila Atlântida, e um ocorreu no dia 19/05/2012, com magnitude 4,0, localizado na região Noroeste da cidade. O sismo de magnitude 4,0 teve sua localização relativa determinada com mais precisão, pois as formas de onda deste evento foram correlacionadas com a de um sismo registrado com estação local ocorrido em 12/09/2012 (ASSUMPCÃO, 2013). Ainda de acordo com Assumpção (2013) a margem de erro da localização do principal evento de Montes Claros é de  $\pm 500$  metros. Todos os outros sismos ocorreram a Norte, Noroeste ou Leste do perímetro urbano da cidade.

Ilustração 21: Mapa da sismicidade em Montes Claros de 1995 a maio de 2012

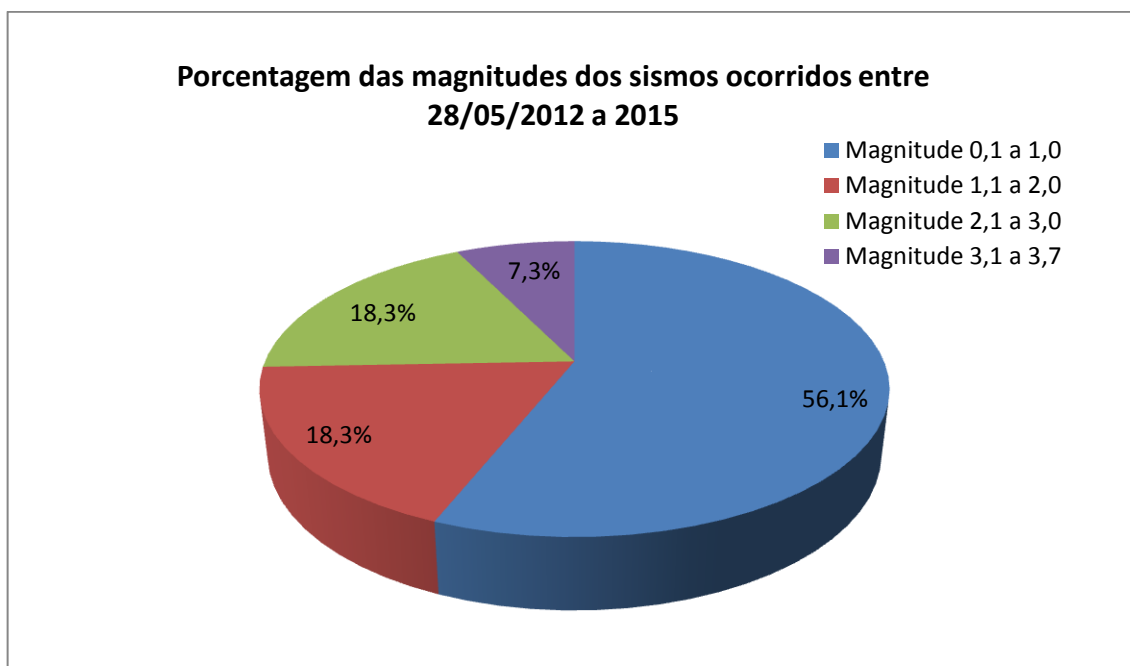


Org. FERREIRA, M. F. F. 2016

A caracterização da sismicidade utilizando dados das estações locais foi realizada com mais precisão, visto que a proximidade das estações ao foco dos tremores é um fator preponderante para essa maior precisão. No Quadro 15 localizado no Apêndice B consta que ocorreram oitenta e dois tremores de terra a partir do dia 28/05/2012 até o último registrado no dia 16/03/2015. A localização desses tremores foi possível graças ao registro de pelo menos três estações, número mínimo de estações para uma localização precisa e confiável.

Dentre esses tremores foi constatado que quarenta e seis tiveram magnitude entre 0 e 1,0, quinze tiveram a magnitude entre 1,1 e 2,0, também quinze com magnitude entre 2,1 e 3,0 e seis com magnitude entre 3,1 a 3,7. Constata-se que os sismos menores, imperceptíveis pela população, são os predominantes nessa região. Entretanto, a quantidade de sismos com magnitude acima de 3,0 é considerável, em se tratando de uma região intraplaca no Brasil. A Ilustração 22 representa a porcentagem das magnitudes dos tremores ocorridos no período.

Ilustração 22: Gráfico de porcentagem das magnitudes dos tremores que ocorreram no período de 28/05/2012 a 2015

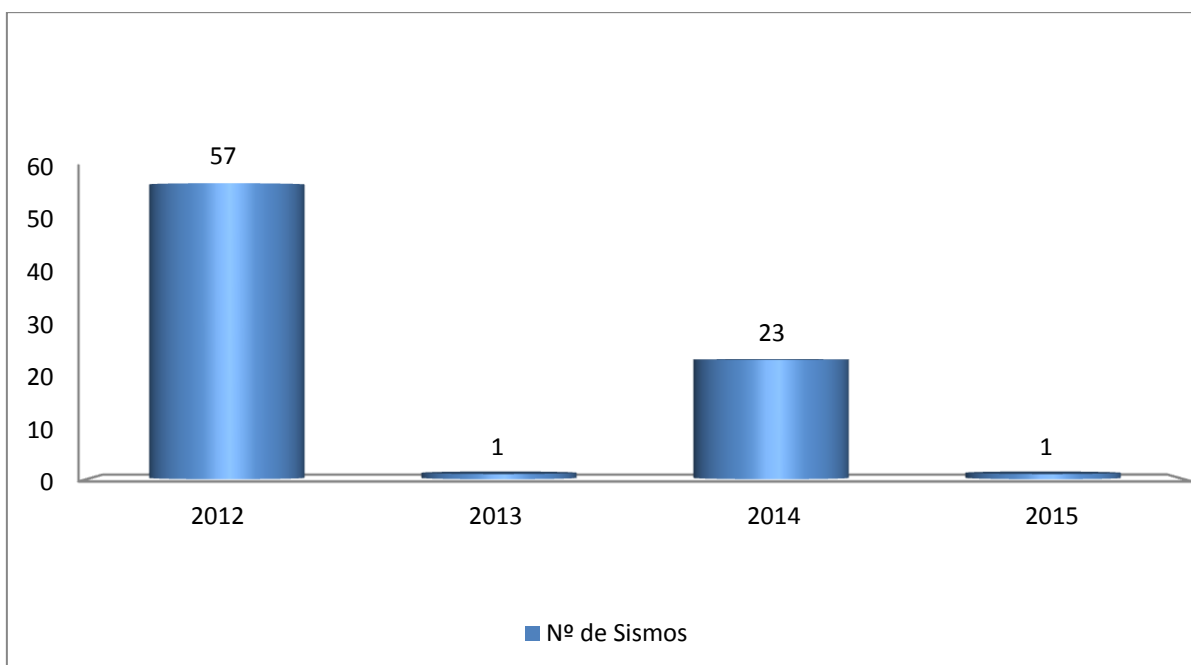


Org. FERREIRA, M. F. F. 2016

A maior quantidade de sismos foi identificada no ano 2012, totalizando cinquenta e sete tremores, seguido do ano 2014, com vinte e três tremores, enquanto nos anos 2013 e 2015 somente um tremor foi registrado. Em 2012 houve muitas réplicas do evento de magnitude 4,0, ou seja, vários pequenos tremores que se seguiu ao principal evento, e, esse é o motivo

que explica a grande quantidade de sismos registrados nesse ano. Além disso, o maior número de estações sismográficas e a localização mais próxima da região epicentral favoreceram a identificação de pequenos tremores, algo impensado para estações distantes. Ao longo do ano de 2013 houve uma diminuição no número de sismos, porém em 2014 ocorreu outra sequência de tremores com magnitudes que chegaram a 3,3 e 3,4, assustando novamente a população da cidade. Somente na primeira semana de abril de 2014 ocorreram quatorze tremores de terra com magnitudes que variaram de 0,0 a 3,3. Em 2015, novamente a quantidade de tremores diminuiu. Veja na Ilustração 23 a representação da quantidade de sismos no decorrer destes anos analisados.

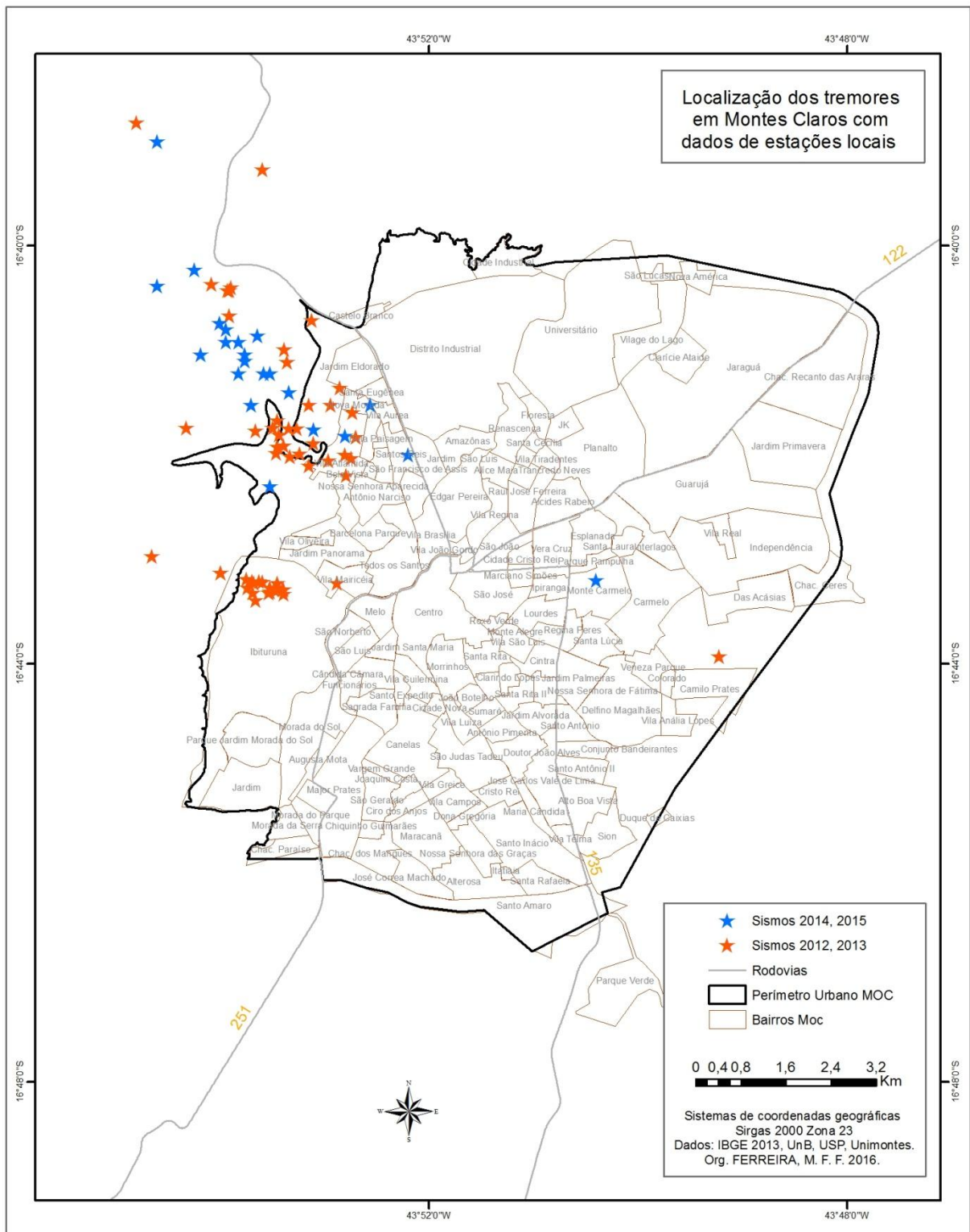
Ilustração 23: Gráfico da progressão do número de sismos no decorrer de 28/05/2012 a 2015



Org. FERREIRA, M. F. F. 2016

Conforme mostra na Ilustração 24 existem duas áreas com foco de atividade sísmica em Montes Claros, uma a Noroeste e outra a Leste do Centro da cidade. Quarenta e três tremores, dentre os registrados, ocorreram dentro do perímetro urbano, com o maior evento chegando a magnitude de 3,7 na escala Richter. Por outro lado, trinta e nove tremores foram registrados fora do perímetro urbano, sendo que o maior evento ocorreu no dia 24/06/2014 com magnitude 3,4 na escala Richter.

Ilustração 24: Mapa de espacialização dos sismos em Montes Claros a partir de 28/05/2012



Org. FERREIRA, M. F. F. 2016



Nota-se que a concentração dos sismos ocorridos neste período está localizada mais próxima ao perímetro urbano da cidade e até mesmo dentro na zona Noroeste da cidade. Os bairros mais próximos dos sismos são: Antônio Narciso, Barcelona Parque, Bela Paisagem, Bela Vista, Castelo Branco, Ibituruna, Jardim Eldorado, Jardim Panorama, Melo, Nossa Senhora Aparecida, Nova Morada, Santa Eugênia, Santos Reis, São Francisco de Assis, São Luís, São Norberto, Todos os Santos, Vila Atlântida, Vila Áurea, Vila Brasília, Vila Mauricéia e Vila Oliveira.

Outro fato importante é a tendência de migração dos tremores que ocorrem em Montes Claros. Observa-se que a concentração dos sismos em 2012 e 2013 estava dentro da zona urbana de Montes Claros, ao passo que a concentração de sismos ocorridos em 2014 e 2015 está localizada um pouco mais distante do perímetro urbano, se afastando cerca de dois quilômetros em direção Noroeste. Esta análise vai ao encontro das afirmativas de Barros *et al.* (2014) em relação a tendência de migração sísmica em Montes Claros.

Diante da sismicidade em Montes Claros é possível perceber que esta é uma cidade com destaque especial no campo da sismologia. Existe nesta cidade uma grande quantidade de eventos sísmicos, sendo que, alguns possuem magnitudes moderadas capazes de gerar danos em estruturas frágeis e assustar a população de modo geral. O grande diferencial destes sismos consiste em suas localizações epicentrais, que afetam diretamente uma população em torno de 400 mil habitantes. Se os tremores estivessem localizados em uma área desabitada não causariam nenhum dano e não repercutiriam como os ocorridos nesta cidade, pois não haveria preocupação quanto às consequências para as estruturas e tão pouco para o ser humano.

A migração dos sismos em direção oposta à zona urbana é um fato positivo, visto que os seus efeitos são menores para a cidade. Entretanto, conforme se acha salientado nos estudos realizados por Barros *et al.* (2014), a ocorrência de sismos mais afastados do perímetro urbano significa que a falha geológica que gera os sismos pode ser maior que a inicialmente identificada. Caso a falha seja maior, existe a possibilidade de gerar sismos com maiores magnitudes, porém existem falhas que são extensas e não se observa a ocorrência de tremores violentos.

Mesmo que até hoje não tenha ocorrido nenhum sismo catastrófico que atingisse diretamente a cidade de Montes Claros e somente ter havido uma vítima fatal em Caraíbas/Itacarambi a atenção em relação ao assunto não deve ser diminuída, pois, conforme indica a sismicidade de Montes Claros, a ocorrência de outros sismos não é descartada, mesmo que a principal tendência é que não ocorra sismos intensos.

## **5.2 Vulnerabilidade socioambiental em Montes Claros**

De acordo ao exposto na metodologia deste trabalho, a sobreposição dos mapas de vulnerabilidade social e vulnerabilidade ambiental a sismos em Montes Claros, possibilitaram a identificação de áreas onde existem a coincidência dessas vulnerabilidades, resultando no mapa de vulnerabilidade socioambiental. Nos tópicos 5.2.1, 5.2.2 e 5.2.3 estão descritos os resultados dos índices de vulnerabilidade social, vulnerabilidade ambiental à sismos e vulnerabilidade socioambiental para o perímetro urbano de Montes Claros.

### **5.2.1 Índice de vulnerabilidade social**

Neste trabalho, os fatores adotados para a determinação do índice de vulnerabilidade social 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. Cada classe corresponde a um índice de vulnerabilidade, como pode ser observado no Quadro 11.

Quadro 11: Variáveis e valores correspondentes aos grupos de vulnerabilidade social nos setores

Fator de avaliação	Variável	Agrupamento de valores	Nº setores	Grupos de vulnerabilidade
<b>Educação</b>	V1: Porcentagem de pessoas responsáveis por domicílio alfabetizados em relação ao total de responsáveis por domicílio do setor.	0 %	4	Muito alta vulnerabilidade (Peso - 0,988650571)
		1 % - 81 %	18	Alta vulnerabilidade (Peso - 0,617906607)
		82 % – 88 %	62	Moderada vulnerabilidade (Peso - 0,370743964)
		89 % – 94 %	129	Baixa vulnerabilidade (Peso - 0,247162643)
		95 % - 100 %	149	Muito baixa vulnerabilidade (Peso - 0,123581321)
	V2: Porcentagem de pessoas alfabetizadas com 5 ou mais anos de idade em relação ao total de pessoas residentes no setor.	0 %	1	Muito alta vulnerabilidade (Peso - 0,988650571)
		1 % – 81 %	52	Alta vulnerabilidade (Peso - 0,617906607)
		82 % – 87 %	126	Moderada vulnerabilidade (Peso - 0,370743964)
		88 % – 92 %	130	Baixa vulnerabilidade (Peso - 0,247162643)
		93 %– 100 %	53	Muito baixa vulnerabilidade (Peso - 0,123581321)
<b>Estrutura etária</b>	V3: Porcentagem de pessoas com até doze anos de idade em relação ao total de pessoas residentes no setor.	27 % – 37 %	29	Muito alta vulnerabilidade (Peso - 0,988650571)
		22 % – 26 %	99	Alta vulnerabilidade (Peso - 0,617906607)
		18 % – 21 %	120	Moderada vulnerabilidade (Peso - 0,370743964)
		13 % – 17 %	74	Baixa vulnerabilidade (Peso - 0,247162643)
		0 % – 12 %	40	Muito baixa vulnerabilidade (Peso - 0,123581321)
	V4: Porcentagem de pessoas com idade acima de sessenta anos em relação ao total de pessoas residentes no setor.	18 % – 28 %	18	Muito alta vulnerabilidade (Peso - 0,988650571)
		13 % – 17 %	45	Alta vulnerabilidade (Peso - 0,617906607)
		9 % – 12 %	104	Moderada vulnerabilidade (Peso - 0,370743964)
		6 % – 8 %	121	Baixa vulnerabilidade (Peso - 0,247162643)
		0 % – 5 %	74	Muito baixa vulnerabilidade (Peso - 0,123581321)

Continua...

Quadro 11: Variáveis e valores correspondentes aos grupos de vulnerabilidade social nos setores

Continuação.

<b>Gênero</b>	V5: Porcentagem de mulheres em relação ao total de pessoas residentes no setor.	56 % – 62 %	40	Muito alta vulnerabilidade (Peso - 0,988650571)
		53 % – 55 %	113	Alta vulnerabilidade (Peso - 0,617906607)
		51 % – 52 %	136	Moderada vulnerabilidade (Peso - 0,370743964)
		15 % – 50 %	70	Baixa vulnerabilidade (Peso - 0,247162643)
		0 % – 14 %	3	Muito baixa vulnerabilidade (Peso - 0,123581321)
	V6: Porcentagem de pessoas responsáveis por domicílio, do sexo feminino, em relação ao total de responsáveis por domicílio do setor.	51 % – 100 %	41	Muito alta vulnerabilidade (Peso - 0,988650571)
		41 % – 50 %	94	Alta vulnerabilidade (Peso - 0,617906607)
		34 % – 40 %	93	Moderada vulnerabilidade (Peso - 0,370743964)
		23 % – 33 %	114	Baixa vulnerabilidade (Peso - 0,247162643)
		0 % – 22 %	20	Muito baixa vulnerabilidade (Peso - 0,123581321)
<b>Renda</b>	V7: Porcentagem de responsáveis por domicílio com rendimento de até 1 salário mínimo, inclusive renda zero, no total de responsáveis do setor	64 % - 90 %	57	Muito alta vulnerabilidade (Peso - 0,988650571)
		52 % - 63 %	77	Alta vulnerabilidade (Peso - 0,617906607)
		39 % - 51 %	98	Moderada vulnerabilidade (Peso - 0,370743964)
		23 % - 38 %	85	Baixa vulnerabilidade (Peso - 0,247162643)
		0 % - 22 %	45	Muito baixa vulnerabilidade (Peso - 0,123581321)
	V8: Total do rendimento nominal mensal das pessoas responsáveis por domicílio (R\$)	0 – 803,00	155	Muito alta vulnerabilidade (Peso - 0,988650571)
		804,00 – 1.248,00	106	Alta vulnerabilidade (Peso - 0,617906607)
		1.249,00 – 1.988,00	55	Moderada vulnerabilidade (Peso - 0,370743964)
		1.989,00 – 3.515,00	29	Baixa vulnerabilidade (Peso - 0,247162643)
		3.516,00 – 8.318,00	17	Muito baixa vulnerabilidade (Peso - 0,123581321)

Org. FERREIRA, M. F. F. 2016

Para o fator educação foram selecionadas as variáveis nomeadas como: porcentagem de pessoas responsáveis por domicílio alfabetizados (V1) e porcentagem de pessoas alfabetizadas com 5 ou mais anos de idade (V2). Quanto maior a porcentagem de pessoas

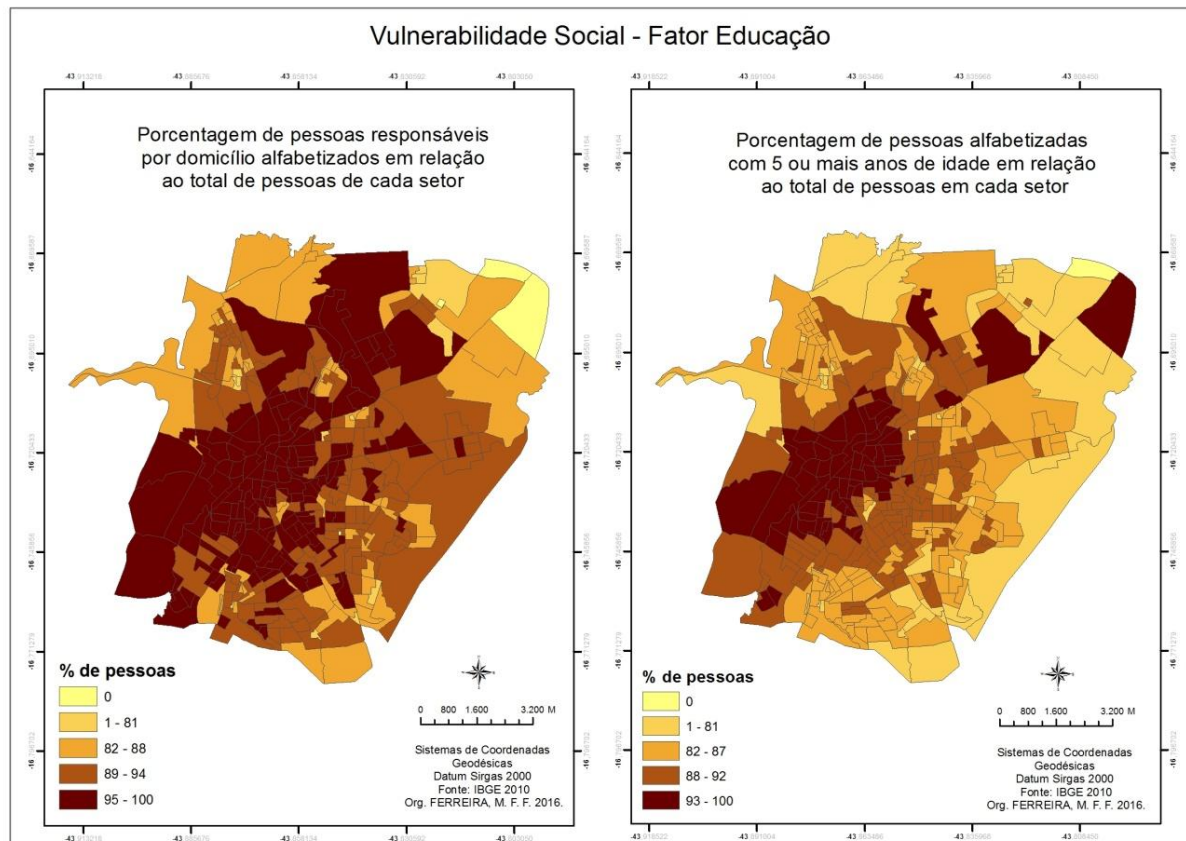
alfabetizadas, melhores são os aspectos socioeconômicos e qualidade de vida, além disso, o acesso a educação é condição que define a forma como o indivíduo reage diante de uma situação perigosa, pois são capazes de entender informações importantes em relação ao perigo e possui maior capacidade de recuperação.

De acordo com o Quadro 11, são quatro setores que apresentam 0 % de responsáveis por domicílios alfabetizados, dezoito setores apresentam valores que variam de 1 % a 81 %, sessenta e dois setores com valores que variam de 82 % a 88 %, cento e vinte e nove setores apresentam valores que variam de 89 % a 94 % e, por fim, cento e quarenta e nove setores apresentam valores que variam de 95 % a 100 % de responsáveis por domicílios alfabetizados.

Quanto à variável que corresponde à porcentagem de pessoas alfabetizadas com cinco ou mais anos de idade, um setor possui 0 %, cinquenta e dois setores possuem valores que variam de 1 % a 81 %, cento e vinte e seis setores possuem valores que variam de 82 % a 87 %, cento e trinta setores possuem valores que variam de 88 % a 92 % e, finalmente, cinquenta e três setores possuem valores que variam entre 93 % a 100 % de pessoas alfabetizadas com cinco ou mais anos de idade.

Em Montes Claros os índices de educação possuem alguns padrões de distribuição espacial, onde ambas as variáveis possuem uma concentração de setores censitários com altas porcentagens de pessoas alfabetizadas nas regiões Central e Sudoeste do perímetro urbano, e decrescendo em direção as outras regiões, como pode ser visto no mapa da Ilustração 25. Os setores com maiores porcentagens de pessoas alfabetizadas representam os índices de menor vulnerabilidade e as menores porcentagens representam os maiores índices de vulnerabilidade.

Ilustração 25: Mapa de vulnerabilidade social em Montes Claros, fator educação



Org. FERREIRA, M. F. F. 2016

Os setores com altas porcentagens de alfabetizados para as variáveis analisadas estão presentes, total ou parcialmente, nos bairros Ibituruna, São Norberto, São Luís, Morada do Parque, Morada da Serra, Sagrada Família, Todos os Santos, São José, Centro, dentre outros. Pelo contrário, os setores com baixas porcentagens de alfabetizados estão presentes, total ou parcialmente, nos bairros São Francisco de Assis, Alto Boa Vista, Sion, Itatiaia, Cidade Cristo Rei, Vilage do Lago, dentre outros.

As variáveis utilizadas para o fator estrutura etária são porcentagem de pessoas com até doze anos de idade em relação ao total de pessoas do setor (V3) e porcentagem de pessoas com idade acima de sessenta anos em relação ao total de pessoas do setor (V4). Nesses grupos de faixa etária estão aquelas pessoas com alto grau de vulnerabilidade, pois detém maior dificuldade na mobilidade em caso de materialização de algum perigo natural. Além disso, essas pessoas necessitam de maior cuidado e atenção em decorrência do inferior vigor físico e/ou psíquico, que os limitam em termos de tomada de decisão quanto aos efeitos do fenômeno, tornando-os mais susceptíveis e menos capazes de se recuperar do problema. No

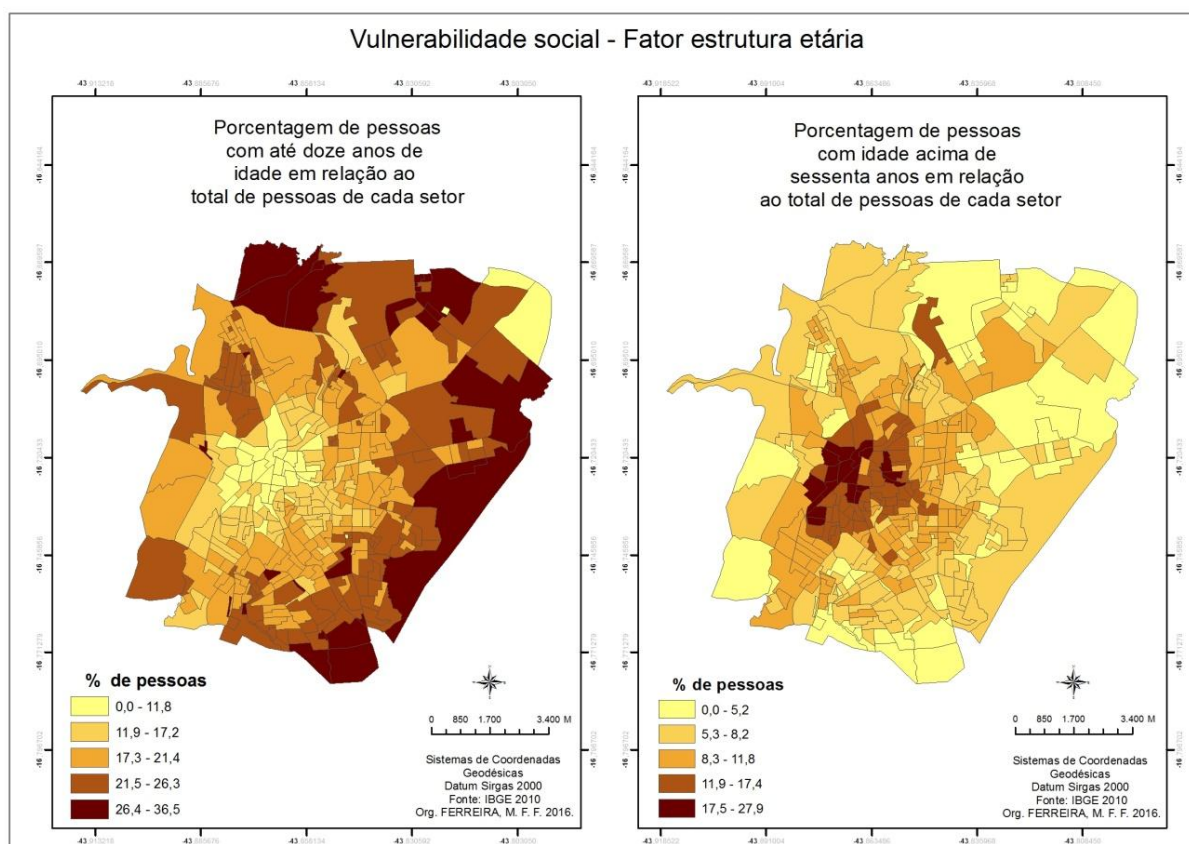
grupo das crianças a dependência se potencializa, pois incorpora na análise o fator econômico, uma vez que são indivíduos dependentes economicamente, que se encontram fora da faixa etária de população economicamente ativa e também geram despesas consideráveis para as famílias vulneráveis.

Conforme se observa no Quadro 11, quarenta setores apresentam valores que variam de 0 % a 12 % de pessoas com idade abaixo de doze anos, em relação ao total de pessoas residentes no setor, setenta e quatro setores possuem valores que variam entre 13 % e 17 %, cento e vinte setores com valores que variam entre 18 % e 21 %, noventa e nove setores possuem valores que variam entre 22 % e 26 %, e, por fim, vinte e nove setores possuem valores que variam entre 27 % e 37 % de pessoas com até doze anos de idade.

Ao analisar a variável que corresponde à porcentagem de pessoas com idade acima de sessenta anos em relação ao total de pessoas que residem no setor, nota-se que são setenta e quatro setores que apresentam valores que variam entre 0 % e 5 %, cento e vinte um setores que apresentam valores que variam entre 6 % e 8 %, cento e quatro setores com valores que variam entre 9 % e 12 %, quarenta e cinco setores com valores que variam entre 13 % e 17 % e finalmente, dezoito setores com valores que variam entre 18 % e 28 %.

De acordo com a Ilustração 26, os setores que possuem as maiores porcentagens de pessoas com até doze anos de idade estão distribuídos pela periferia do perímetro urbano e os setores com as menores porcentagens estão concentradas na região central. Pelo contrário, os setores com maiores porcentagens de pessoas com idade acima de sessenta anos estão concentrados na região central e os setores com menores porcentagens estão na periferia.

Ilustração 26: Mapa de vulnerabilidade social em Montes Claros, fator estrutura etária



Org. FERREIRA, M. F. F. 2016

Os setores que possuem as menores porcentagens de crianças são abrangidos, total ou parcial, pelos bairros, Centro, Todos os Santos, Melo, São Norberto, São Luís, Jardim Santa Maria, Santo Expedito, Vila Guilhermina, São José, Roxo Verde e Vila Brasília. Já os setores que possuem as maiores porcentagens de crianças estão presentes, total ou parcialmente, nos bairros Chiquinho Guimarães, Alterosa, Itatiaia, Santa Rafaela, Vila Telma, Santo Inácio, José Carlos Vale de Lima, Camilo Prates, Acácias, Independência, Vila Real, Jardim Primavera, Jaraguá, Clarice Ataíde, Vilage do Lago, Cidade Industrial e Vila Áurea.

Quanto à presença de idosos, os setores que possuem maiores porcentagens estão presentes, total ou parcialmente, nos bairros Centro, Todos os Santos, Melo, São Norberto, São Luís, Funcionários, Cândida Câmara, São José e Roxo Verde, e os setores que possuem menores porcentagens estão presentes, total ou parcialmente nos bairros Ibituruna, Parque Jardim Morado do Sol, Jardim, Chácara dos Mangues, José Corrêa Machado, Canelas, Vargem Grande, Joaquim costa, Alterosa, Itatiaia, Santa Rafaela, Santo Inácio, Santo Amaro, José Carlos Vale de Lima, Delfino Magalhães, Veneza Parque, Monte Carmelo, Carmelo, Acácias,



Independência, Vila Real, Guarujá, Jardim Primavera, Recanto das Araras, Jaraguá, Clarice Ataíde, Vilage do Lago, Cidade Industrial, Floresta, Barcelona Parque, Vila Atlântida, Bela Paisagem e Vila Áurea.

Para o fator "gênero" as variáveis utilizadas são: porcentagem de mulheres em relação ao total de pessoas residentes no setor (V5) e porcentagem de pessoas responsáveis por domicílio, do sexo feminino, em relação ao total de pessoas responsáveis por domicílio do setor (V6). As mulheres, de modo geral, são mais vulneráveis que os homens, devido às menores oportunidades de emprego e conseqüentemente as menores remunerações. As chefes de família, em muitos casos, arcam sozinhas com a criação dos filhos e ao mesmo tempo é obrigada a trabalhar para sustentá-los. Essa perspectiva vai ao encontro da afirmativa feita por Abramovay (2002), em que considera que as famílias chefiadas por mulheres estariam em maior vulnerabilidade do que as chefiadas por homens, porque pressupões condições de menores rendimentos.

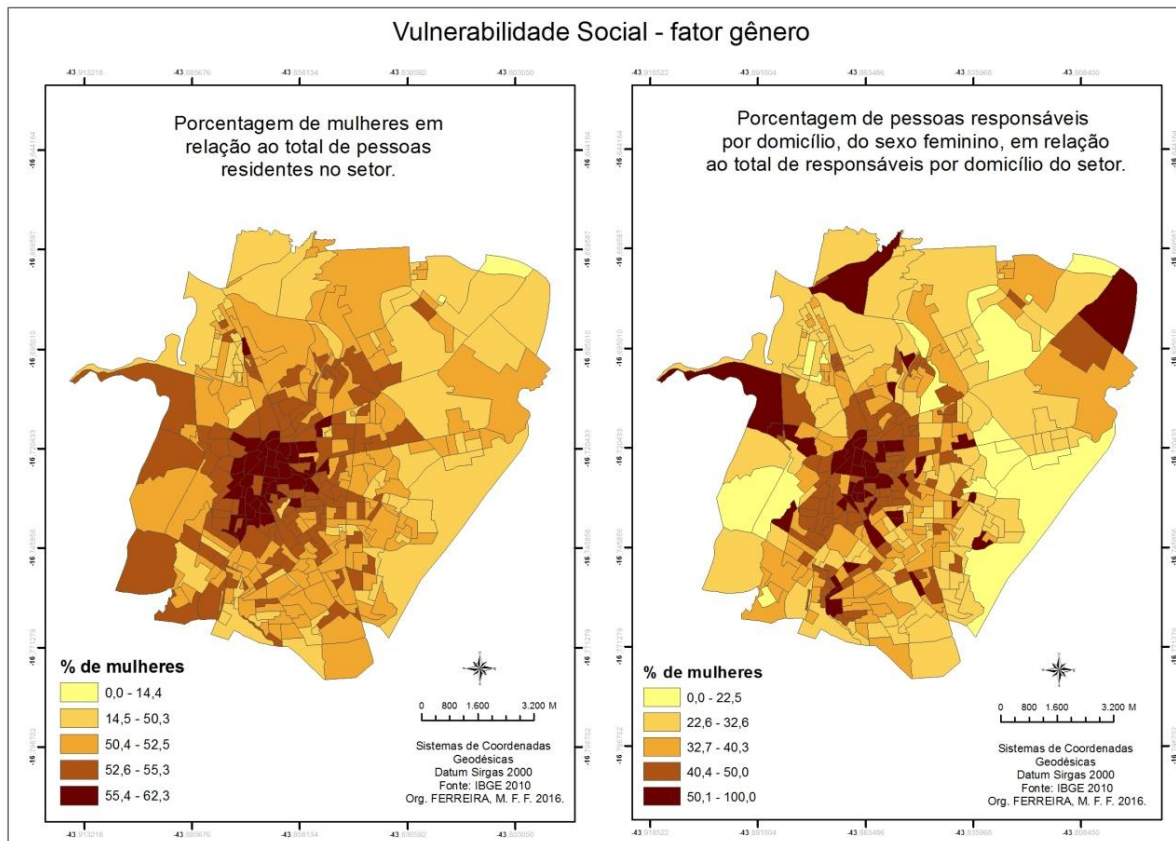
De acordo o Quadro 11 três setores apresentam valores que variam de 0 % a 14% de mulheres residentes, em relação ao total de pessoas do setor, setenta setores com valores que variam entre 15 % e 50 %, cento e trinta e seis setores com valores que variam entre 51 % e 52 %, cento, treze setores com valores que variam entre 53 % e 55 % e quarenta setores que apresentam valores que variam entre 56 % e 62 % de mulheres residentes.

Quanto à variável que corresponde à porcentagem de mulheres responsáveis por domicílio em relação ao total de responsáveis por domicílios do setor, vinte setores apresentam valores que variam entre 0 % e 22 %, cento e quatorze setores com valores que variam entre 23 % e 33 %, noventa e três setores com valores que variam entre 34 % e 40 %, noventa e quatro setores com valores que variam entre 41 % e 50 %, e, finalmente, quarenta e um setores que apresentam valores que variam entre 51 % e 100 % de mulheres responsáveis pelos domicílios.

Em Montes Claros os setores com maiores porcentagens de mulheres estão concentrados na região central da cidade e os setores com as maiores porcentagens de mulheres chefe de famílias possuem uma distribuição espacial diversa, mas, de modo geral, estão localizados na

região central. A distribuição espacial dos setores que representam o fator "gênero" está presente na Ilustração 27

Ilustração 27: Mapa de vulnerabilidade social em Montes Claros, fator gênero.



Org. FERREIRA, M. F. F. 2016

Os setores que possuem as maiores porcentagens de mulheres estão presentes, total ou parcialmente, nos bairros Centro, Vila Guilhermina, Santo Expedito, Sagrada Família, Cândida Câmara, Roxo Verde, São José e Todos os Santos. Já os setores que possuem menores porcentagens de mulheres estão presentes, total ou parcialmente nos bairros Major Prates, Chiquinho Guimarães, Chácara Mangues, José Corrêa Machado, Santo Amaro, Alterosa, Itatiaia, Conjunto Bandeirantes, Camilo Prates, Colorado, Veneza Parque, Santa Lúcia, Carmelo, Acácias, Guarujá, Jaraguá, Jardim Primavera, Vilage do Lago, Nova América, Jardim Eldorado, Vila Atlântida, Bela Paisagem, São Francisco de Assis e Barcelona Parque.

Quanto aos setores que possuem altas porcentagens de mulheres responsáveis pelo domicílio estão localizados, total ou parcialmente nos bairros Centro, Morrinhos, Vila Guilhermina,

Vila São Luís, Lourdes, São José, Vila Luíza, Morada do Sol, Ciro dos Anjos, Maracanã, Maria Cândida, Monte Carmelo, Renascença, Chácara Recanto das Araras, Distrito Industrial, Vila Oliveira, Jardim Panorama e Vila Mauricéia. Já os setores com menores porcentagens estão localizados, total ou parcialmente, nos bairros Ibituruna, Morada Serra, Duque de Caxias, Camilo Prates, Carmelo Acácias, Interlagos, Chácara Ceres, Jaraguá, Vilage do Lago, Floresta, Vila Atlântida, Bela Paisagem, Bela Vista e Alcides Rabelo.

As variáveis utilizadas para o fator "renda" são porcentagem de responsáveis por domicílio, com rendimento de até 1 salário mínimo, inclusive renda zero, no total de responsáveis do setor (V7) e valor do rendimento nominal médio mensal das pessoas responsável por domicílio (V8). A baixa renda domiciliar implica em piores condições de sobrevivência para os membros das famílias, pois não se dispõem de alimentação adequada para uma boa nutrição e as condições de habitação podem ser inadequadas. Além disso, essas famílias não são capazes de arcar com planos de saúde e são privadas de meios de lazer que gere algum tipo de custo.

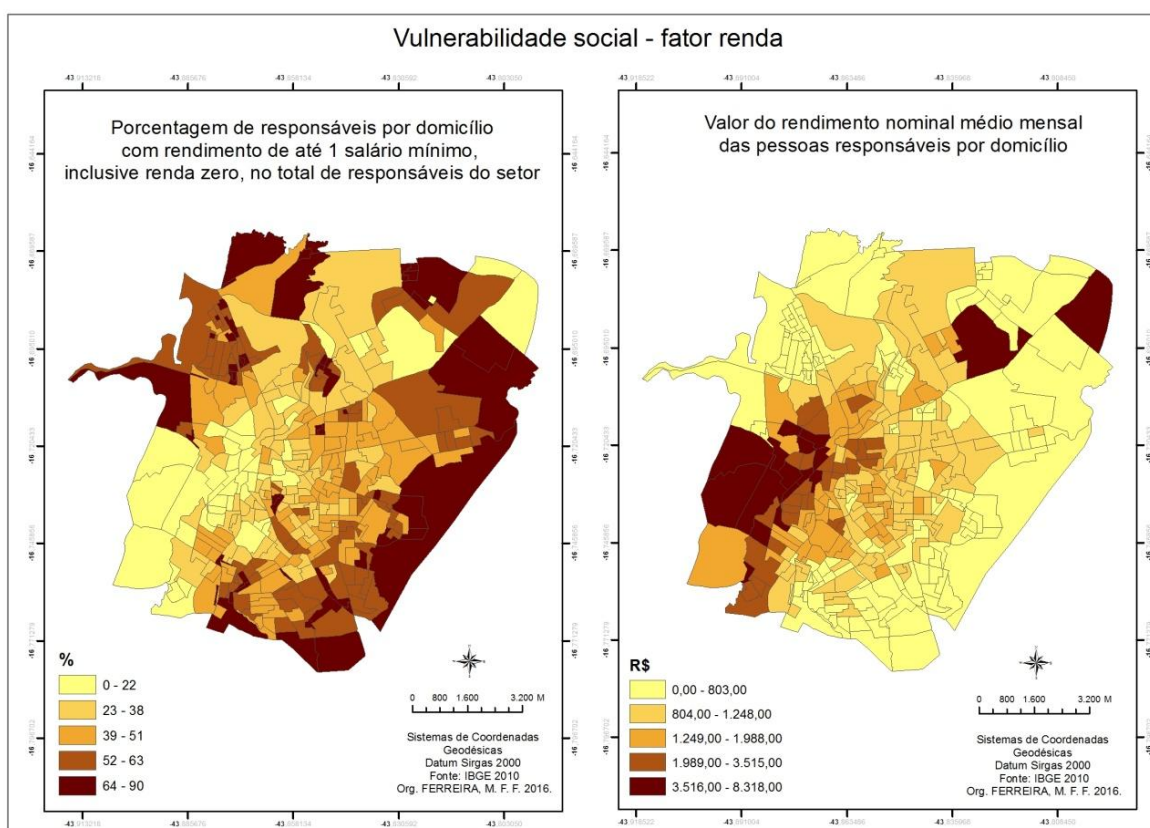
Conforme o Quadro 11, quarenta e cinco setores apresentam valores que variam entre 0 % e 22 % de responsáveis por domicílio, com rendimento de até um salário mínimo em relação ao total de responsáveis por domicílios do setor, oitenta e cinco setores com valores que variam entre 23 % e 38 %, noventa e oito setores com valores que variam entre 39 % e 51 %, setenta e sete setores com valores que variam entre 52 % a 63 % e cinquenta e sete setores que apresentam valores que variam entre 64 % e 90 % de responsáveis por domicílios que possuem renda de até um salário mínimo.

Ao analisar o valor do rendimento nominal médio mensal das pessoas responsáveis por domicílio, percebe-se que cento e cinquenta e cinco setores possuem valores que variam entre R\$ 0,00 e R\$ 803,00, cento e seis setores possuem valores que variam entre R\$ 804,00 e R\$ 1.248,00, cinquenta e cinco setores possuem valores que variam entre R\$ 1.249,00 e R\$ 1.988,00, vinte e nove setores possuem valores que variam entre R\$ 1.989,00 e R\$ 3.515,00 e dezessete setores apresentam valores de rendimento nominal médio mensal dos responsáveis por domicílio que variam entre R\$ 3.515,00 e R\$ 8.318,00.

Como se observa na Ilustração 28 os setores que possuem as menores porcentagens de pessoas responsáveis por domicílio com rendimento de até um salário mínimo juntamente com aquelas com renda zero estão mais concentrados nas regiões Central e Sudoeste da cidade e alguns poucos na região Nordeste, ao passo que os setores com maiores porcentagens estão localizados em maior número nas regiões Sul, Leste e Noroeste do perímetro urbano.

Quanto ao valor do rendimento nominal médio mensal das pessoas responsáveis por domicílio, os setores que possuem as maiores médias estão concentrados nas regiões Sudoeste, Central e alguns na região Nordeste, e os setores com as menores médias de rendimento estão distribuídos pelas regiões Sul, Leste, Norte e Noroeste da cidade.

Ilustração 28: Mapa de vulnerabilidade social em Montes Claros, fator renda.



Org. FERREIRA, M. F. F. 2016

Os setores que possuem as menores porcentagens de responsáveis por domicílio com rendimento de até um salário mínimo estão localizados, total ou parcialmente nos bairros São Norberto, São Luís, Ibituruna, Parque Jardim Morada do Sol, Morada do Sol, Augusta Mota, Major Prates, Morada do Parque, Morada da Serra, Chácara Paraíso, Canelas, Antônio Pimenta, Jardim Palmeiras, Jaraguá, Planalto, Alcides Rabelo, Floresta, Amazônas, Distrito

Industrial, Jardim São Luís, Edgar Pereira, Barcelona Parque e Todos os Santos. Em contrapartida, os setores que possuem as maiores porcentagens estão localizados, total ou parcialmente, nos bairros Morrinhos, Joaquim Costa, Ciro dos Anjos, Chiquinho Guimarães, Santo Amaro, Santo Inácio, Alterosa, Itatiaia, Maria Cândida, Vila Telma, Santo Antônio II, Delfino Magalhães, Independência, Jardim Primavera, Jaraguá, Clarice Ataíde, Vilage do Lago, Cidade Cristo Rei, Santa Cecília, Renascença, Cidade Industrial, Castelo Branco, Distrito industrial, Santos Reis, São Francisco de Assis, Vila Oliveira e Jardim Panorama.

Os setores que possuem os maiores valores de rendimento médio mensal das pessoas responsáveis por domicílio estão localizados, total ou parcialmente, nos bairros Todos os Santos, Melo, Centro, Jardim Santa Maria, São Luís, São Norberto, Ibituruna, Morada do Sol, Jaraguá e Chácara Recanto das Araras. Já os setores com os menores valores estão localizados, total ou parcialmente, nos bairros Joaquim Costa, Vila Greice, Ciro do Anjos, Chiquinho Guimarães, José Corrêa Machado, Chácara dos Mangues, Maracanã, Dona Gregória, Nossa Senhora das Graças, Alterosa, Itatiaia, Santo Amaro, Santa Rafaela, Santo Inácio, Maria Cândida, Vila Telma, São Judas Tadeu, Morrinhos, João Carlos Vale de lima, Sion, Alto Boa vista, Santo Antônio II, Conjunto Bandeirantes, Santo Antônio, Duque de Caxias, Delfino Magalhães, Vila Anália Lopes, Camilo Prates, Colorado Veneza Parque, Santa Lúcia, Regina Peres, Cidade Cristo Rei, Esplanada, Santa Laura, Vila Real, Independência, Acácias, Chácara Ceres, Guarujá, Jardim Primavera, Clarice Ataíde, Vilage do Lago, Nova América, São Lucas, Vila Tiradentes, Santa Cecília, Renascença, Raul José Ferreira, Cidade Industrial, Distrito Industrial, Castelo Branco, Jardim Eldorado, Santa Eugênia, Nova Morada, Vila Áurea, Bela Paisagem, Santos Reis, São Francisco de Assis, Bela Vista, Vila Atlântida, Vila Oliveira e Jardim Panorama.

O resultado final da vulnerabilidade social, encontrado a partir do agrupamento de setores que possuem valores gerados a partir da média da soma dos pesos de cada variável, possuem os seguintes índices e respectivas classes de valores:

- 1- Muito baixa vulnerabilidade (0,200820 à 0,308953),
- 2- Baixa vulnerabilidade (0,308954 à 0,386192),
- 3- Moderada vulnerabilidade (0,386193 à 0,463430),
- 4- Alta vulnerabilidade (0,463431 à 0,556116),
- 5- Muito alta vulnerabilidade (0,556117 à 0,710593).

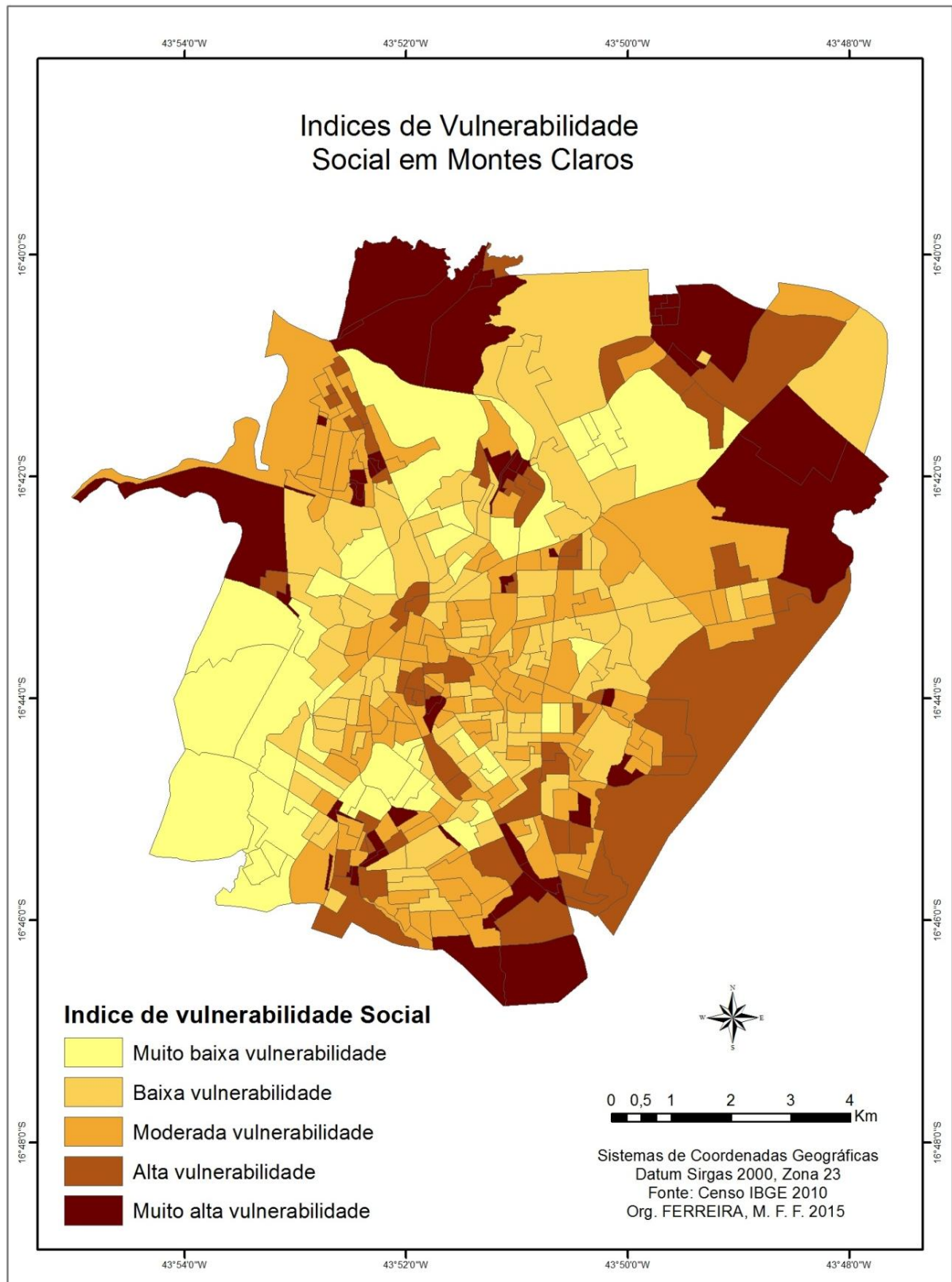
Estes valores estão descritos no Quadro 12, enquanto as localizações dos setores são apresentados na Ilustração 29.

Quadro 12: Medidas descritivas dos índices de vulnerabilidade social geral

Índice	Número de setores	Classes
1- Muito baixa vulnerabilidade	44	0,200820 à 0,308953
2- Baixa vulnerabilidade	95	0,308954 à 0,386192
3- Moderada vulnerabilidade	120	0,386193 à 0,463430
4- Alta vulnerabilidade	52	0,463431 à 0,556116
5- Muito alta vulnerabilidade	51	0,556117 à 0,710593

Org.: FERREIRA, M. F. F. 2016

Ilustração 29: Mapa da vulnerabilidade social em setores censitários de Montes Claros



Org. FERREIRA, M. F. F. 2016

O índice 1 apresenta os setores censitários com a mais baixa vulnerabilidade social aos perigos naturais em Montes Claros. De acordo com o Quadro 13, quarenta e quatro setores apresentam esse índice de vulnerabilidade, correspondendo a 12.1 % do total de setores censitários na cidade. A população total residente nesses setores corresponde a 39.474 habitantes (11.6 % do total), sendo que o setor mais populoso possui um total de 1.509 pessoas e o setor menos populoso possui um total de 448 pessoas.

Esses setores estão situados com maior predominância na região Sudoeste da cidade e alguns pelas regiões Centro-norte, Centro-sul e Centro-leste. Os bairros abrangidos, total ou parcialmente, por esses setores são Ibituruna, Parque Jardim Morada do Sol, Jardim, Morada do Sol, Augusta Mota, Major Prates, Morada do Parque, Morada da Serra, Chácara Paraíso, Canelas, Cidade Nova, Vargem Grande, Cristo Rei, São Judas Tadeu, Antônio Pimenta, Sumaré, João Botelho, Jardim Palmeiras, Santa Lúcia, Monte Carmelo, Planalto, Jaraguá, Alcides Rabelo, Raul José Ferreira, Floresta, Distrito Industrial, Amazonas, Jardim São Luís, Edgar Pereira, Vila Regina, Barcelona Parque, Todos os Santos, Jardim Panorama, Vila Mauricéia, São Norberto e São Luís. Esses setores são as áreas que possuem as melhores condições de vida na cidade de Montes Claros, com presença das famílias menos vulneráveis, que, de modo geral, não estão expostas as privações socioeconômicas.

O índice 2 apresenta os setores censitário que possuem baixa vulnerabilidade social aos perigos naturais. São noventa e cinco setores que apresentam esse índice de vulnerabilidade, valor que corresponde a 26.2 % do total de setores na cidade. O total da população que reside nesses setores equivale a 89.943 habitantes, configurando 26.5 %. O setor menos populoso possui 2 habitantes e o mais populoso possui 2.183 habitantes como pode ser vista no Quadro 13.

Esses setores estão localizados com maior predominância entre a região central e a periferia e estão presentes, total ou parcialmente, nos bairros Todos os Santos, Vila Mauricéia, Melo, São Norberto, São Luís, Jardim Santa Maria, Vila Guilhermina, Cândida Câmara, Funcionários, Sagrada Família, Morada do Sol, Augusta Mota, Major Prates, Chácara dos Mangues, Maracanã, Alterosa, Vila Campos, Cristo Rei, José Carlos Vale de lima, São Judas Tadeu, Antônio Pimenta, Sumaré, João Botelho, Santo Antônio II, Conjunto Bandeirantes,



Santo Antônio, Doutor João Alves, Delfino Magalhães, Jardim Alvorada, Jardim Palmeiras, Nossa Senhora de Fátima, Santa Rita II, Clarindo Lopes, Francisco Peres, Santa Rita, Santa Lúcia, Carmelo, Monte Carmelo, Monte Alegre, Lourdes, São José, São João, Ipiranga, Vera Cruz, Parque Pampulha, Esplanada, Interlagos, Independência, Acácias, Chácara Recanto das Araras, Jaraguá, Planalto, JK, Alcides Rabelo, Universitário, São Lucas, Distrito Industrial, Alice Maia, Vila Regina, Vila João Gordo, Edgar Pereira, Vila Brasília, Nossa Senhora Aparecida, Santos Reis, Antônio Narciso, Barcelona Parque, Vila Atlântida, Jardim Panorama e Centro.

O índice 3 apresenta os setores censitários que possuem moderada vulnerabilidade social aos perigos naturais. São cento e vinte setores que apresentam esse índice de vulnerabilidade, valor que corresponde a 33.1 % do total de setores na cidade. O total da população que reside nesses setores equivale a 113.300 habitantes, correspondendo a 33.1 % do total. O setor menos populoso possui 2 habitantes e o mais populoso possui 1.962 habitantes como pode ser vista no Quadro 13.

Nota-se que esses setores estão situados com maior intensidade nas regiões central, sul, Sudeste, leste e Noroeste da cidade. Esses setores estão localizados, total ou parcialmente, nos bairros Melo, Centro, Cândida Câmara, Santo Expedito, Vila Guilhermina, Sagrada Família, Morrinhos, Cidade Nova, Canelas, Major Prates, São Geraldo, Joaquim Costa, Vila Greice, Maracanã, José Correa Machado, Alterosa, Nossa Senhora das Graças, Santo Inácio, Dona Gregório, São Judas Tadeu, Vila Telma, José Carlos Vale de Lima, Sion, Alto Boa Vista, Doutor João Alves, Santo Antônio II, Conjunto Bandeirantes, Santo Antônio, Jardim Alvorada, Delfino Magalhães, Vila Anália, Veneza Parque, Jardim Palmeiras, Cintra, Clarindo Lopes, Santa Rita, Santa Rita II, Sumaré, Vila São Luís, Roxo Verde, Monte Alegre, Regina Peres, Santa Lúcia, São José, Marciano Simões, Ipiranga, Monte Carmelo, Cidade Cristo Rei, São João, Vera Cruz, Esplanada, Santa Laura, Interlagos, Acácias, Independência, Vila Real, Guarujá, Vilage do Lago, Renascença, Raul José Ferreira, Jardim São Luís, Distrito Industrial, Jardim Eldorado, Santa Eugênia, Nova Morada, Vila Áurea, Bela paisagem, Santos Reis, Bela Vista, Vila Atlântida e Vila São Francisco de Assis.

O índice 4 apresenta os setores censitários que possuem alta vulnerabilidade social aos perigos naturais. São cinquenta e dois setores que apresentam esse índice de vulnerabilidade,

que correspondem a 14.3 % do total de setores na cidade. O total da população que reside nesses setores equivale a 52.100 habitantes, correspondendo a 15.3 % do total. O setor menos populoso possui 251 habitantes e o mais populoso possui 1.863 habitantes como está descrito no Quadro 13.

Estes setores estão localizados nas regiões Central, Sul, Sudeste, Leste, Nordeste e Noroeste da cidade e situados, total ou parcialmente, nos bairros Jardim Panorama, Centro, Morrinhos, Vila Luíza, São Judas Tadeu, Vargem Grande, São Geraldo, Chiquinho Guimarães, Joaquim Costa, Ciro dos Anjos, Chácara Mangues, Santo Amaro, José Correa Machado, Santa Rafaela, Santo Inácio, Cristo Rei, Sion, Duque de Caxias, Alto Boa Vista, José Carlos Vale de Lima, Santo Antônio, Jardim Palmeiras, Vila Anália, Camilo Prates, Colorado, Veneza Parque, Delfino Magalhães, Acácias, Chácara Ceres, Independência, Vila Real, Jaraguá, Clarice Ataíde, Vilage do Lago, Esplanada, Cidade Cristo Rei, Raul José Ferreira, Vila Tira Dentes, Tancredo Neves, Alice Maia, Renascença, Cidade Industrial, Jardim Eldorado, Santa Eugênia, Vila Áurea e Santos Reis,

O índice 5 apresenta os setores censitários com a mais alta vulnerabilidade social aos perigos naturais em Montes Claros, em razão de um somatório de desvantagens sociais. De acordo ao Quadro 13, são cinquenta e um setores que apresentam esse índice de vulnerabilidade, valor que corresponde a 14.3 % do total de setores da cidade. A população total desses setores equivale a 43.564 habitantes, correspondendo a 12.8 % do total. O setor mais populoso que está nesse grupo de vulnerabilidade possui um total de 1.830 pessoas residentes e o setor menos populoso possui um total de 253 pessoas.

Ao observar a Ilustração 29 percebe-se que as regiões que apresentam o maior número de setores com o índice 5 (muito alta vulnerabilidade social) estão nas regiões Sul, Sudeste, Nordeste e Noroeste da cidade. Os setores estão localizados, total ou parcialmente, nos bairros Morrinhos, Canelas, Vargem Grande, Major Prates, São Geraldo, Joaquim Costa, Ciro dos Anjos, Chiquinho Guimarães, Alterosa, Santo Amaro, Itatiaia, Santo Inácio, Vila Telma, Maria Cândida, Vila Campos, Santo Antônio II, Conjunto Bandeirantes, Delfino Magalhães, Independência, Guarujá, Jardim Primavera, Chácara Recanto das Araras, Jaraguá, Clarice Ataíde, Nova América, Vilage do Lago, Cidade Industrial, Distrito Industrial, Castelo Branco, Santa Cecília, Tancredo Neves, Renascença, Raul José Ferreira, Vera Cruz, Cidade Cristo

Rei, Nova Morada, Santos Reis, São Francisco de Assis, Vila Atlântida, Vila Oliveira, Jardim Panorama e Vila Mauricéia.

Quadro 13: Dados quantitativos dos índices de vulnerabilidade social

Índice de Vulnerabilidade Social	Nº de setores	Porcentagem de setores	Nº de habitantes	Porcentagem de habitantes	Nº de habitantes no Setor mais populoso	Nº de habitantes no Setor menos populoso
Muito baixa vulnerabilidade	44	12.1 %	39.474	11.6 %	1.509	448
Baixa vulnerabilidade	95	26.2 %	89.943	26.5 %	2.183	2
Moderada vulnerabilidade	120	33.1 %	113.300	33.4 %	1.962	2
Alta vulnerabilidade	52	14.3 %	52.100	15.3 %	1.863	251
Muito alta vulnerabilidade	51	14.3 %	43.564	12.8 %	1.830	253
Total	362	100 %	338.381	100 %	-	-

Org. FERREIRA, M. F. F. 2016

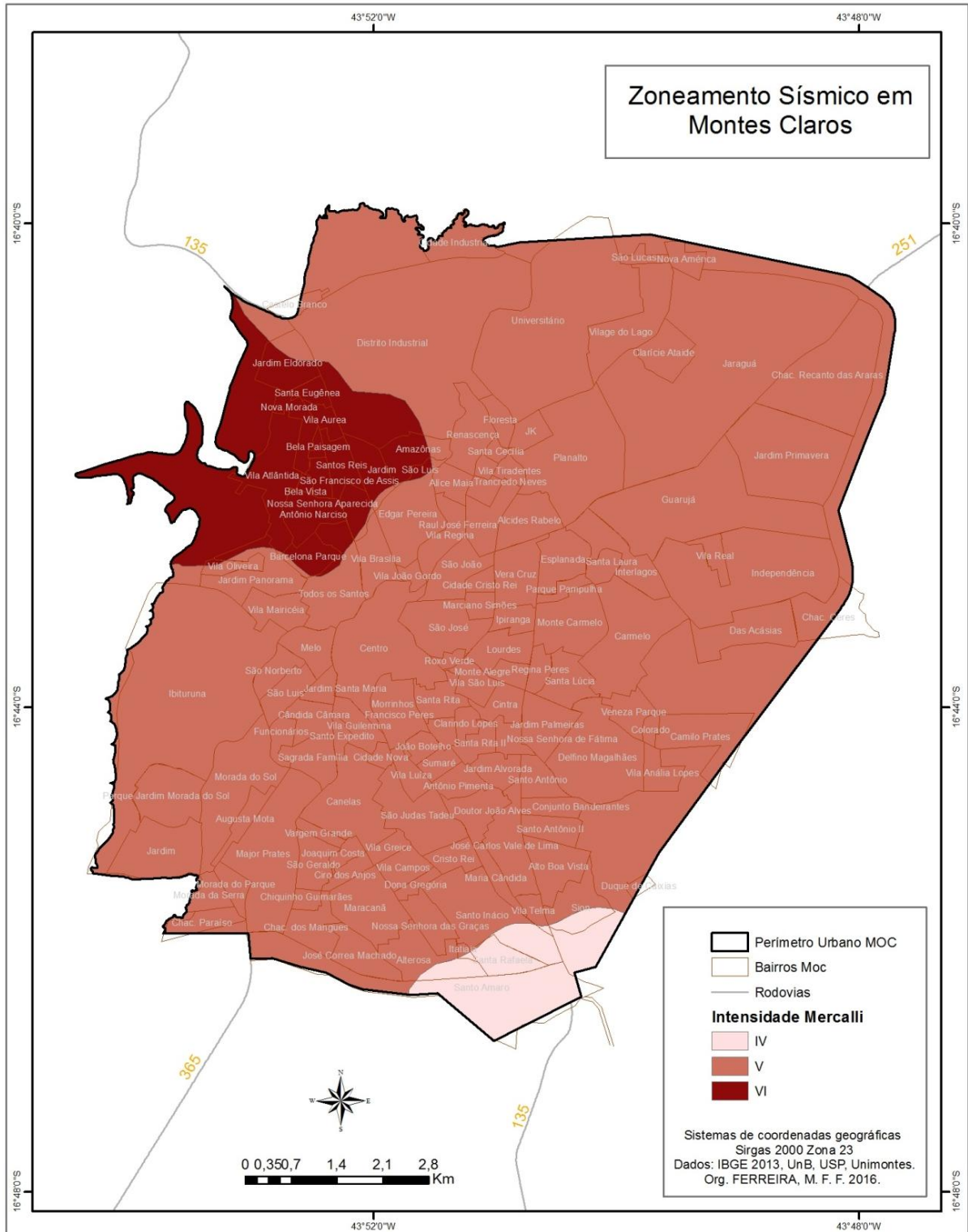
Em síntese cabe enfatizar que o agrupamento de cinco índices de vulnerabilidade social mostrou que existem 242.717 pessoas que vivem em setores menos vulneráveis (muito baixa vulnerabilidade, baixa vulnerabilidade e moderada vulnerabilidade) correspondendo a 72 % da população total que residem no perímetro urbano da cidade de Montes Claros. Em contrapartida, também mostrou que existem 95.664 pessoas que moram em setores com as maiores vulnerabilidades (alta vulnerabilidade e muito alta vulnerabilidade) o que corresponde a 28 % da população total que residem dentro do perímetro urbano de Montes Claros.

### 5.2.2 Vulnerabilidade ambiental a sismos em Montes Claros

Neste trabalho as zonas de intensidade sísmica encontradas no perímetro urbano de Montes Claros correspondem às áreas com índices de vulnerabilidade ambiental a sismos. Os resultados encontrados a partir do método estatístico de interpolação IDW dos pontos de entrevista 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 Ilustração 30, 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.

Ilustração 30: Mapa do zoneamento de intensidade sísmica em Montes Claros



Org. FERREIRA, M. F. F. 2016

Nessa zona de intensidade sísmica estão localizados dezenove bairros, situados, total ou parcialmente, em uma área que equivale a aproximadamente 8,9 km<sup>2</sup>, nomeadamente, Vila Oliveira, Jardim Panorama, Todos os Santos, Barcelona Parque, Vila Atlântida, Antônio Narciso, Nossa Senhora Aparecida, Bela Vista, São Francisco de Assis, Santos Reis, Bela Paisagem, Jardim São Luís, Amazonas, Edgar Pereira, Distrito Industrial, Vila Áurea, Nova Morada, Santa Eugênia e Jardim Eldorado.

A zona sísmica com intensidade V corresponde à maior parte do perímetro urbano da cidade e equivale a uma área de aproximadamente 89,0 km<sup>2</sup>, 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 observados 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 km<sup>2</sup>, 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 14 está descrita as principais informações sobre as zonas sísmicas encontradas no perímetro urbano de Montes Claros.

Quadro 14: Informações sobre as zonas sísmicas em Montes Claros.

Zona sísmica	Nº de bairros	Área (km <sup>2</sup> )	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.

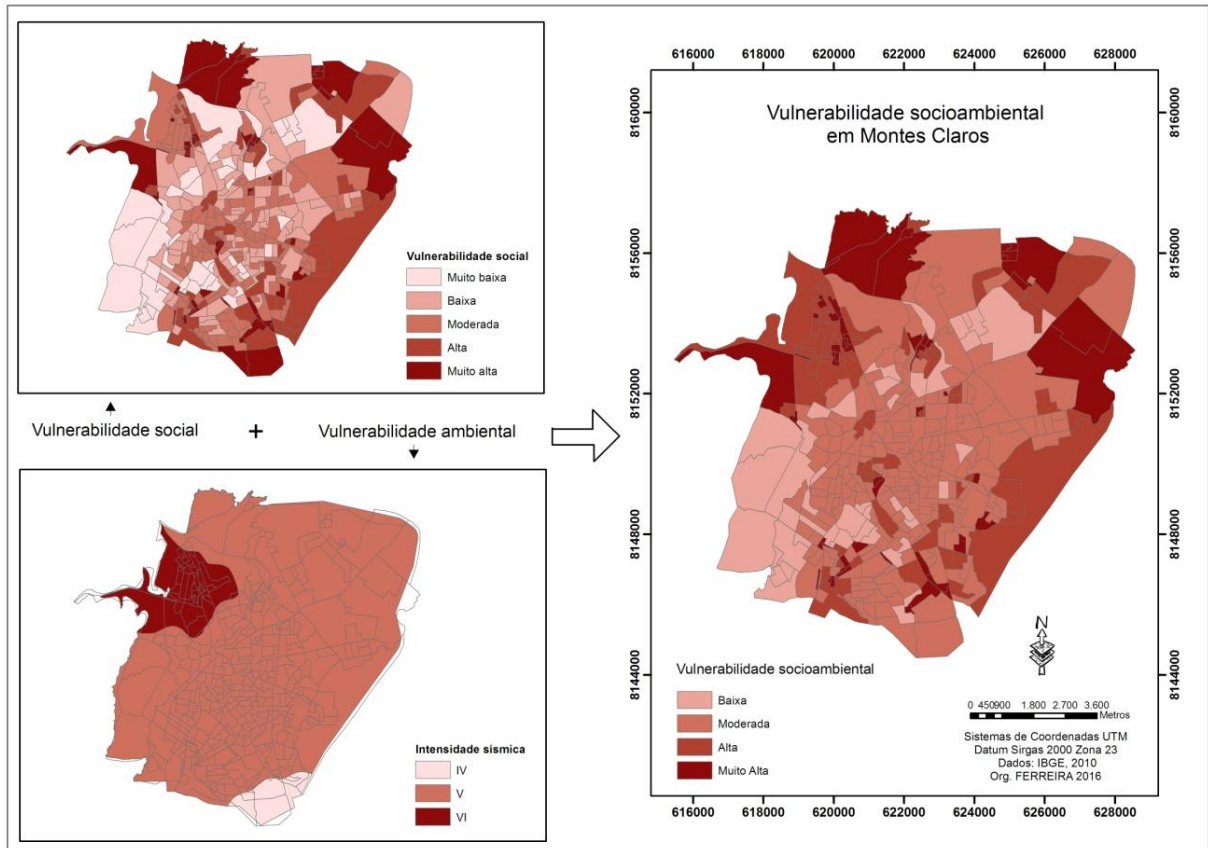
Org. FERREIRA, M. F. F. 2016

### 5.2.3 Vulnerabilidade socioambiental a sismos em Montes Claros

De acordo com os procedimentos metodológicos descritos, os índices de vulnerabilidade socioambiental a sismos foram construídos a partir da sobreposição do mapa de vulnerabilidade social e mapa de vulnerabilidade ambiental a sismos. Este procedimento proporcionou a identificação de espaços onde existem coincidências de vulnerabilidades sociais e ambientais.

Ao observar o mapa de vulnerabilidade socioambiental do perímetro urbano da cidade de Montes Claros (Ilustração 31), nota-se que ocorreram algumas mudanças em relação ao mapa de vulnerabilidade social. Primeiro porque se observa setores com agravamento das vulnerabilidades, principalmente aqueles que estão localizados na zona de intensidade sísmica com valor VI, segundo pela atenuação das vulnerabilidades, essencialmente aqueles que estão localizados na zona de intensidade com valor IV, e terceiro pela supressão do índice de vulnerabilidade muito baixa, devido à inexistência de setores com índice de vulnerabilidade social muito baixa situados na zona de intensidade IV.

Ilustração 31: Mapa de vulnerabilidade socioambiental em Montes Claros



Org. FERREIRA, M. F. F. 2016

Os setores que possuem baixa vulnerabilidade socioambiental estão localizados principalmente nas regiões Sudoeste, Centro-norte e Centro-Sul da cidade, somando um total de 43 setores, equivalem a 12 % do total de setores que se encontram no perímetro urbano da cidade. Os setores que possuem moderada vulnerabilidade socioambiental, no total de 197, estão presentes principalmente nas regiões Norte, Centro, Leste e Sudeste da cidade, correspondem a 54 % do total de setores presentes no perímetro urbano da cidade. Os setores que possuem alta vulnerabilidade socioambiental estão localizados em maior quantidade nas regiões Noroeste, Nordeste, Sul e Sudeste da cidade, totalizando 67 setores, quantitativo que corresponde a 19 % do total de setores localizados dentro do perímetro urbano de Montes Claros. Por fim, os setores que possuem muito alta vulnerabilidade socioambiental estão localizados com maior quantidade na região Noroeste da cidade, seguidos das regiões Nordeste, Sul e Sudeste com um total de 55 setores, correspondendo a 15 % do total de setores presentes no perímetro urbano da cidade.



A população residente nos setores com as mais altas vulnerabilidades socioambientais, alta e muito alta vulnerabilidade, totalizam 112.446 habitantes, representando 33 % da população total da cidade. Por outro lado, a população residente nos setores com as mais baixas vulnerabilidades, baixa e moderada vulnerabilidade, totalizam 225.935 habitantes, valor que corresponde a 67 % da população total da cidade.

Nessa análise é importante destacar os setores censitários que possuem o índice de vulnerabilidade socioambiental muito alta, pois nestes locais possuem pessoas com menor capacidade de reação diante das situações de risco e as consequências negativas em caso de ocorrência de tremores com elevada intensidade podem ser maiores. São áreas que necessitam de maior atenção por parte do poder público em termos de planejamento de políticas públicas sociais e ambientais, tais como programas de geração de renda e melhorias das habitações.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A caracterização da sismicidade em Montes Claros só foi possível devido à disponibilidade de dados sísmicos, gerados pelas estações sismográficas regionais e locais. Embora os registros de tremores pelas estações regionais não disponibilizem dados com a precisão desejada, elas foram fundamentais para a compreensão dos sismos da região estudada, fornecendo informações importantes sobre as magnitudes e frequências desde 1995, em um período que não havia estações locais.

Por sua vez, a partir dos dados sísmicos gerados por estações sismográficas locais as informações foram mais precisas e foi possível determinar as localizações epicentrais dos tremores com erro menor que 500 metros. Além disso, até mesmo microtremores com magnitudes inferiores a 1,0 na escala Richter foram registrados por essas estações. Com a instalação das estações locais foi detectado inúmeros tremores de terra, e assim foi possível inferir que a zona Noroeste da cidade possui a maior concentração de atividade sísmica.

Nota-se que a atividade sísmica em Montes Claros é recente, com magnitudes moderadas e uma frequência considerável para uma região intraplaca. Houve uma crescente quantidade de tremores a partir do ano 2012 com eventos que assustaram a população e repercutiram em todo o país. Apesar de a atividade sísmica estar concentrada na região Noroeste, foi identificado que também já ocorreram sismos em outras regiões, inclusive no Centro da cidade. Entretanto, a ocorrência dos últimos tremores mostrou que existe uma migração da atividade sísmica para fora no perímetro urbano.

Em complemento a análise da sismicidade foi identificada a vulnerabilidade socioambiental de áreas dentro do perímetro urbano da cidade de Montes Claros e concluiu-se que existe uma grande quantidade de setores censitários que possuem a vulnerabilidade alta e muito alta, localizados principalmente na região Noroeste. Isso indica que caso ocorra tremores com intensidade considerável e localizados na atual região epicentral da cidade, existe uma grande quantidade de áreas com alto grau de risco a sismos, dada as suas características demográficas e proximidade a área epicentral dos tremores.

Portanto, diante das características da sismicidade e das áreas vulneráveis a sismos em Montes Claros, pode-se inferir que os sismos possuem uma frequência considerável, o que é agravado pelas suas magnitudes e proximidade ao centro urbano. Em muitas áreas, parte da população não possui as condições necessárias para se recuperar ou mesmo adaptar aos efeitos de um tremor intenso, pois possuem alta e muito alta vulnerabilidade socioambiental.

Espera-se que este trabalho contribua para esclarecer aspectos sobre a ocorrência sísmica em Montes Claros que ainda estavam confusos e que possa auxiliar a Defesa Civil e a Prefeitura Municipal de Montes Claros em relação às decisões que minimize os efeitos dos tremores, direcionando suas ações para as áreas com maior vulnerabilidade socioambiental a sismos.

## 7 REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Projeto de Estruturas Resistentes a Sismos – Procedimentos**. Norma Brasileira ABNT NBR 15.421, 2006.

ABRAMOVAY, M.; CASTRO, M. G.; PINHEIRO, L. C.; LIMA, F. S.; MARTINELLI, C. C. **Juventude, violência e vulnerabilidade social na América Latina**: desafios para políticas públicas. Brasília, Unesco-BID. 2002.

AGURTO-DETZEL, H.; ASSUMPÇÃO, M.; CIARDELLI, C.; ALBUQUERQUE, D.F.; BARROS, L.V.; FRANÇA, G.S.L. The 2012-2013 Montes Claros earthquake series in the São Francisco Craton, Brazil: new evidence for non-uniform intraplate stresses in mid-plate South America. **Geophys. J. Int.** submitted. 2014.

ALBUQUERQUE, D. F., ASSUMPÇÃO, M., FRANCA, G. S., VON HUELSEN, M. G., BARBOSA, J. R. and GALHARDO, L., 2012. **Estudos preliminares da sismicidade registrada em Montes Claros, Minas Gerais**. Expanded abstract, V Simpósio Brasileiro de Geofísica, Salvador, Brazil, 27-29 November 2012.

ALBUQUERQUE, D. F. **Determinação de espessuras crustais utilizando o método da função do receptor**. 2014. 96 f. Monografia - Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília. 2014.

ALEXANDER, D. Modelos de vulnerabilidade social a desastres. **Revista Crítica de Ciências Sociais**, v. 93, n. 1, p. 9-29, jun. 2011.

ALMEIDA, F. F. M. O Cráton do São Francisco. In: **Revista Brasileira de Geociências**. V. 7(4): 349-364.1977.

ALMEIDA, A. A. D., **Análise probabilística de Segurança Sísmica de Sistemas e Componentes Estruturais**, Dissertação de Doutorado, dezembro, PUC-RJ, Rio de Janeiro, 2002.

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.

ALMEIDA, L. Q. Por uma ciência dos riscos e vulnerabilidades na geografia. **Mercator**, v. 10, n. 23, p. 83-99, set./ dez. 2011. doi:10.4215/RM2011.1023.0007.

ALVES, H. P. F. Vulnerabilidade socioambiental na metrópole paulistana: uma análise sociodemográfica das situações de sobreposição espacial de problemas e riscos sociais e ambientais. **Revista Brasileira de Estudos de População**, Campinas: ABEP, v.23, n.1, p.43-59, jun. 2006.

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.

AMARO, Antônio. **Consciência e cultura do risco nas organizações**. Territorium. Coimbra, 2005.

ANEAS DE CASTRO, Susana. D. Riesgos y peligros: una visión desde lá Geografía. Scripta Nova: **Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales**. Barcelona, n.60, 15 de mar. 2000. Em: <http://www.ub.es/geocrit/sn-60.htm> .

ASSUMPÇÃO, M. A regional magnitude scale for Brazil. Bull. **Seism. Soc. Am.** 73, 1983, 237-246.

ASSUMPÇÃO, M., ORTEGA, R., BERROCAL, J. e VELOSO, J. A. V. O sismo de Codajás/AM, **Revista Brasileira de Geofísica**. V. 2. 1983, 39-44.

ASSUMPÇÃO, M., TAKEYA M., FERREIRA, J. M., COSTA, J. M. e SOPHIA, C. M., Cálculo de Magnitude e Relação Frequência-Magnitude dos Sismos de João Câmara, RN, **Ver. Bras. Geofísica** 7: 107-116, 1989.

ASSUMPÇÃO M., Seismicity and stresses in the Brazilian continental margins. Bull. **Seism. Soc. Am.** 88. 1998. 160–169.

ASSUMPÇÃO, M.; DIAS NETO, C. M. Sismicidade e Estrutura Interna da Terra. In: W. Teixeira; M.C. Toledo; T. Fairchild; F. Taioli. (Org.). **Decifrando a Terra**. 1 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2000, v. , p. 43-62.

ASSUMPÇÃO, M., SCHIMMEL, M., ESCALANTE, C., BARBOSA, J. R., ROCHA, M. e BARROS, L. V.. Intraplate seismicity in SE Brazil: stress concentration in lithospheric thin spot, **Geophys. J. Int.** 159. 2004. 390 – 399.

ASSUMPÇÃO, M., 2011. Terremotos e a convivência com as incertezas da natureza. **Revista USP**, São Paulo, n.91, setembro/novembro 2011. p. 76-89.

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.

BARROS, L. V. **Sismicidade, esforços tectônicos e estrutura crustal da zona sísmica de Porto dos Gaúchos/MT – Brasil**, 2010. p. 146 Tese de Doutorado – Instituto de Geociências – Universidade de Brasília, Brasília, 2010.

BARROS, L. V., CARVALHO, J. M., ALBUQUERQUE, D. F., HUELSEN, M. G. V., CAXETA, D. F., FERREIRA, V. M., FONTENELE, D. P., 2014. **Recorrência e migração sísmica em Montes Claros – MG**. Expanded abstract, VI Simpósio Brasileiro de Geofísica, Porto Alegre, Brazil, 14-16 October 2014.

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.

BLAIKIE, P. et al. **At risk - natural hazards, people's vulnerability and disasters**. Londres: Routledge, 1994.

BOLIN, B. Race, Class, Ethnicity, and Disaster Vulnerability. IN: Havidán Rodriguez, Enrico Quarantelli e Russel Dynes (orgs.), **Handbook of Disaster Research**. New York: Springer, 113-129. 2006.

BRAGA, T. M.; OLIVEIRA, E. L.; GIVISIEZ, G. H. N. Avaliação de metodologias de mensuração de risco e vulnerabilidade social a desastres naturais associados à mudança climática. **São Paulo em Perspectiva**, São Paulo: Fundação SEADE, v.20, n.1, p.81-95, jan./mar. 2006.

CASTRO, M.; PEIXOTO, M. N. O.; PIRES DO RIO, G. A. Riscos ambientais e geografia: conceituações, abordagens e escalas. **Anuário do Instituto de Geociências**, Rio de Janeiro: UFRJ, v.28, n.2, p.11-30, 2005.

CECS, **Centro de Estudos de Convivência com o Semiárido**. Disponível em: <<http://www.cecs.unimontes.br/index.php/pt/dados-meteorologicos/374-dados-meteorologicos-mensais-e-anuais-organizados-pelo-cecs.html>> Acessado em: 12/01/2016.

CHIMPLIGANOND, C., M. ASSUMPCÃO, M. VON HUELSEN & G.S. FRANÇA. The intracratonic Caraíbas-Itacarambi earthquake of December 09, 2007 (4.9 mb), Minas Gerais State, Brazil. **Tectonophysics**, 480, 48-56. 2009.

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.

CLARK JR, S. P., **Estrutura Da Terra**. Ed. Edgard Blücher Ltda. São Paulo, SP. 1988.

COOK, F.A., WHITE, D.J., JONES, A.G., EATON, D.W., HALL, J. & CLOWES, R.M., 2010. How the crust meets the mantle: lithoprobe perspectives on the Mohorovicic discontinuity and crust-mantle transition, *Can. J. Earth Sci.*, 47(4), 315–351.

CPRM. **Mapa geológico folha Montes Claros – SE.23-X-A-VI**, 2011. Disponível em: <<http://geobank.sa.cprm.gov.br/>> Acesso em: 02/10/2015

CUNHA, J. M. P. ; JAKOB, A. E.; HOGAN, D. J. & CARMO, R. L. **A vulnerabilidade social no contexto metropolitano: o caso de Campinas**. Trabalho apresentado no Encontro Anual da ANPOCS, Caxambu, MG, 2000.

CUTTER, S. L. Vulnerability to environmental hazards. **Progress in Human Geography**, v. 20, n. 4, p. 529-539, 1996. doi:10.1177/030913259602000407.

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.

CUTTER, S. L.; BARNES, L.; BERRY, M.; BURTON, C.; EVANS, E.; TATE, E.; WEBB, J. A place-based model for understanding community resilience to natural disasters, Columbia, Department of Geography and Hazards & Vulnerability Research institute, University of South Carolina, USA, **ELSEVIER**, pp. 1-9, 2008.

CUTTER, S. L. A ciência da vulnerabilidade: modelos, métodos e indicadores. **Revista Crítica de Ciências Sociais**, v. 93, n. 1, p. 59-70, jun. 2011.

DESCHAMPS, M. V. **Vulnerabilidade socioambiental na Região Metropolitana de Curitiba**. 2004. Tese (Doutorado em Meio Ambiente e Desenvolvimento) -Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

FALCONI, R. A. Espectros Sísmicos de Riesgo Uniforme para Verificar Desempenho Estructural em Países Latinoamericanos. **Anais do XVII Seminário Iberoamericano de Ingeniería Sísmica**. Mendoza. Argentina. 2003.

FERREIRA, J., OLIVEIRA, R. T., TAKEYA, M. K. & ASSUMPCÃO, M. Superposition of local and regional stresses in NE Brazil: evidence from focal mechanisms around the Potiguar marginal basin, **Geophys. J. Int.**, 134, 341–355. 1998.

FREITAS, M. I. C., CUNHA L. Cartografia da vulnerabilidade socioambiental: convergências e divergências a partir de algumas experiências em Portugal e no Brasil. **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, 2013; 5 (1): 15-31.

GALLOPIN, G. Linkages between vulnerability, resilience and adaptive capacity. **Global Environmental Change**, 16, 293 - 303. 2006.

GANGOPADHYAY, A.; TALWANI, P. Fault intersections and intraplate seismicity in Charleston, South Caroline: Insights from 2-D numerical model. **Current Science**, Vol. 88, N° 10, 1609-1616. 2005.

GUTENBERG, B.; RICHTER, C. F. Magnitude and energy of earthquakes, **Ann. Geofis.** 9, 1-15. 1956.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física: Gravitação, Ondas e Termodinâmica**. 8. ed. São Paulo: LTC, 2008. v. 2.

HANKS, T.; KANOMORI, H., A Moment Magnitude Scale, **J. Geophys. Res.** 84: 2348-2350, 1979.

HOUGH, S.E., J.G. ARMBRUSTER, L. SEEBER,; J.F. HOUGH. On the modified Mercalli intensities and magnitudes of the 1811-1812 New Madrid earthquakes, *J. Geophys. Res.*, 105, 23,839-23,864, 2000.

IBGE. **Cidades.** 2010. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=3143302>> Acesso em: 13/01/2016.

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.

JOHNSTON, A. C.; KANTER L. R. Earthquakes in stable continental crust, *Sci. Am.* 262,68 –75. 1990.

JOHNSTON, A. C.; COPPERSMITH, K. L. ; CORNELL, C. . The stable continental region earthquake database. **The Earthquakes of Stable Continental Regions: Assessment of Large Earthquake Potential**, EPRI Rpt. TR, v. 102261, p. 1–3, 1994.

JORDAN, T. H. *et al.* Operational Earthquake Forecasting, State of Knowledge and Guidelines for Utilization. ICEF Final Report. In: **Annals of Geophysics**, 54(4), 2011.

KEAREY, P.; BROOKS M.; HILL. I. **Geofísica de exploração**. Oficina de Textos, São Paulo, 438p. 2009.

KUHLICKE, C.; SCOLOBIG, 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. **Geotecnologias aplicadas ao mapeamento do uso do solo urbano e da dinâmica de favela em cidade média: o caso de Montes Claros/MG.** 2011. 287p. Tese de Doutorado em Geografia. Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, 2011.

LEITE, M. E.; SANTOS, I. S.; ALMEIDA, J. W. L. Mudança de Uso do Solo na Bacia do Rio Vieira, em Montes Claros/MG. **Revista Brasileira de Geografia Física.** 2011. 779-792.

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

LEITE, M. R. **Geotecnologias aplicadas ao mapeamento do uso do solo do município de Montes Claros.** 70 p. Trabalho de Conclusão de curso de Graduação em Geografia - Departamento de Geociências/UNIMONTES: Montes Claros, 2009.

LICCO, E. A. Vulnerabilidade social e desastres naturais: uma análise preliminar sobre Petrópolis, Rio de Janeiro. **Rev. de Saúde, Meio Ambiente e Sustentabilidade.** 2013; 8 (1) : 25-41.



LOWRIE, W. **Fundamentals of Geophysics**. 2ª edition, Cambridge University Press, Cambridge, 2007. 381 p.

LOPES, A. E. V. Risco Sísmico no Brasil e Seu Impacto sobre Grandes Obras, In: **Revista do Instituto de Engenharia**, 58, 7, 2010.

LOPES, A. E. de V.; NUNES L. C. Intensidades sísmicas de terremotos: formulação de cenários sísmicos no Brasil. In: **Revista USP**, São Paulo, n.91, p. 90-102, setembro/novembro 2011.

LOPES, M., 2012. **Sismos e Edifícios**. s. l. : Edições Orion, 2012.

MAIOR, M. M. S.; CÂNDIDO, G. A. Análise das metodologias de avaliação brasileiras de vulnerabilidade sócio-ambiental como resultado de problemas urbanos no Brasil. **Cad. Metrop.**, São Paulo, v. 16, n. 31, p. 241-264, junho de 2014.

MAKDONALD, K. C. Exploring the mid-ocean ridge. **Oceanus** 41(1): 2 – 8. 1998.

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.

MARTINS, V. N. B. **Avaliação da Vulnerabilidade Sócioecológica ao Risco Sísmico no Conselho de Vila Franca do Campo (Açores), contributo para a construção de uma comunidade resiliente**. Lisboa. Dissertação de Mestrado no Instituto Superior de Estatística e Gestão de Informação da Universidade Nova de Lisboa, Setembro de 2010.

MENDES, J. M., TAVARES, A., CUNHA, L. e FREIRIA, S. A vulnerabilidade social aos perigos naturais e tecnológicos em Portugal. **Revista Crítica de Ciências Sociais**, 93, Junho 2011: 95-128. 2011.

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.

MIOTO, J. A. **Mapa de Risco Sísmico do Sudeste Brasileiro**. São Paulo. 49 p. (IPT. Publicação, 1563). 1984.

MIOTO, J. A. **Sismicidade e Zonas Sismogênicas do Brasil**. Rio Claro, 2 v. 558 p. (Tese de Doutorado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP - Rio Claro) (inédito). 1993.

MIOTO, J. A. Excertos sobre risco sísmico no Estado de São Paulo. **Revista UnG - Série Geociências**, v. 1, n. 3, p. 18-23, 1996.

MOLINA, E. C.; RIBEIRO, F. B. **Breve histórico da sismologia até 1960**. Apostila de Geofísica, EAD, IAG USP. Disponível em: <[http://www.iag.usp.br/~eder/EAD/apostilas/Geofisica\\_top01.pdf](http://www.iag.usp.br/~eder/EAD/apostilas/Geofisica_top01.pdf)> Acessado em 10 de Dezembro de 2015.

NEWMAN, A. V., S. STEIN, J. WEBER, J. ENGELN, A. MAT,; T. H. DIXON, Slow deformation and low seismic hazard at the New Madrid Seismic Zone, **Science**, 619-621, 1999.

NIMER, E.; BRANDÃO, A. M. P. M. **Balanco hídrico e clima da região de Cerrado**. Rio de Janeiro: IBGE, Departamento de recursos hídricos naturais e estudos ambientais, 1989. 166p.

VI CURSO DE EXTENSÃO UNIVERSITÁRIA EM SISMOLOGIA INSTRUMENTAL. Universidade de Brasília, Brasília/DF. 2004. Elementos de Sismologia. 155p.

OBSIS, Observatório Sismológico de Brasília. **Relatório de implantação das estações sismográficas em Montes Claros – Minas Gerais**. Relatório técnico de 09 de agosto de 2012. 18 p. Disponível em <<http://www.cecs.unimontes.br/index.php/pt/registro-de-sismos/relatorios-sismos.html>> Acessado em 20 de maio de 2016.

OBSIS, Observatório Sismológico de Brasília - **Histórico: A Sismologia na UNB. Apresenta a história da sismologia na Universidade de Brasília**. Disponível em: <http://www.obsis.unb.br/instituicao/historico/a-sismologia-na-unb#>. Acesso em: dia 10/01/2016.

PACCA, I. G.; McREATH, I. A. A composição e o calor da terra. In: TEIXEIRA W.; TOLEDO; M. C.; FAIRCHILD. T.; TAIOLI, F. (Org.). **Decifrando a Terra**. 1 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2000, v. , p. 83-96.

PRESS F., SIEVER R., GROTZINGER J., JORDAN T. H. **Para entender a Terra**. Traduzido por Menegat R., Fernandes P. C. D., Fernandes L. A. D., Porcher C. C. Porto Alegre: Bookman, 2006. 656p.

RAJENDRAN, K.; RAJENDRAN, C. P. Seismogenesis in the stable continental interiors: An appraisal based on two examples from India. **Tectonophysics**, v. 305, p. 355–370, 1999.

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

REITER, L., **Earthquake hazard analysis issues and insights**. Columbia University Press, New York, 1991, 254 p.

RODRIGUES, R. M. R., **Geração de acelerogramas sísmicos artificiais compatíveis com um espectro de resposta**. Projeto de Graduação, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, Curso de Engenharia Civil, Rio de Janeiro, 2012.

RSBR, **Rede Sismográfica Brasileira.** Disponível em: <<http://www.rsbr.gov.br/projeto.html>> Acessado em 20 de outubro de 2015.

SANTOS, S. H. C., SOUZA L. S. Estudos da Zonificação Sísmica Brasileira Integrada em um Contexto Sul-Americano. **Anais das Jornadas Argentinas de Ingeniería Estructural.** Buenos Aires. 2004.

SANTOS, R. P. **Introdução ao ARCGIS: Conceitos e Comandos.** 2009. Disponível em: <<http://www.ctec.ufal.br/professor/crfj/Extensao/ArcGIS/Apostila+Renato+Prado+Vol+2.pdf>> acessado em 11/01/2016.

SCHULTE, S. M.; MOONEY, W. D. An updated global earthquake catalogue for stable continental regions: reassessing the correlation with ancient rifts. **Geophys. J. Int.** 161, 707–721. 2005.

SCOLFORO, J. R. S.; CARVALHO, L. M. T. **Mapeamento e inventário da flora nativa e dos reflorestamentos de Minas Gerais.** Lavras: UFLA, 2006. 288p.

SHEARER, P. M. **Introduction to Seismology.** Cambridge University Press, 396 p., 2009.

SILVA, F. C. M. **Avaliação do risco sísmico nas regiões nordeste e sudeste do Brasil.** Projeto final de graduação – DME, Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2009.

SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação. – 4. ed. **rev. atual.** – Florianópolis: UFSC, 2005. 138p.

SOUSA, M. L. **Risco Sísmico em Portugal Continental.** Tese de Doutorado em Engenharia do Território. IST, UTL, Lisboa. 2006.

SYKES, L. R. Intraplate seismicity, reactivation of preexisting zone of weakness, alkaline magmatism, and other tectonism postdating continental fragmentation. **Rev. Geophys.** 16 (4), 621-688. 1978.

TAGLIANI, C. R. Técnica para avaliação da vulnerabilidade ambiental de ambientes costeiros utilizando um sistema geográfico de informações. In: Simpósio Brasileiro De Sensoriamento Remoto, 11., 2003, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: INPE, 2003. p.1.657-1.664.

TAKEYA M. K.; FERREIRA J. M.; PEARCE R. G.; ASSUMPÇÃO M.; COSTA, J. M.; SOPHIA C. M.; The 1986–87 Intraplate Earthquake Sequence Near João Câmara, Northeast Brazil-Evolution Of Seismicity. **Tectonophysics.** 167117–131. 1989.

TALWANI, P.; RAJENDRAN, K. Some Seismological And Geometric Features Of Intraplate Earthquakes. **Tectonophysics,** 186, 19-41. 1991.

TASSINARI, C. C. G.; Tectônica Global. In: W. TEIXEIRA; M. C. TOLEDO; T. FAIRCHILD; F. TAIOLI. (Org.). **Decifrando a Terra.** 1 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2000, v. p. 97-112.

TUTTLE, M. P.; SCHWEIG, E. S.; SIMS, J. D.; LAFFERTY, R. H.; WOLF, L. W.; HAYNES, M. L. The Earthquake Potential Of The New Madrid Seismic Zone: **Bulletin of the Seismological Society of America**, v. 92, no. 6, p. 2080–2089. 2002.

USGS - UNITED STATE GEOLOGICAL SURVEY. Disponível em: <<http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqinthenews/2010/us2010tfan>>. Acessado em 12 de outubro de 2015a.

\_\_\_\_\_. Disponível em: <[http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/usp000h60h#general\\_summary](http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/usp000h60h#general_summary)>. Acessado em 12 de outubro de 2015b

\_\_\_\_\_. Disponível em: <[http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/usp000h60h#impact\\_shakemap](http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/usp000h60h#impact_shakemap)>. Acessado em 14 de outubro de 2015c

\_\_\_\_\_. Disponível em: <<http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqinthenews/2011/usc0001xgp>>. Acessado em 14 de outubro de 2015d.

\_\_\_\_\_. Disponível em: <<http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqarchives/year/byyear.php>>. Acessado em 12 de outubro de 2015e

VELOSO, J. A. V. **Tremeu a Europa e o Brasil Também**. São Paulo: Chiado Editora, 2015. 412 p.

VEYRET, Y. **Os riscos**: o homem como agressor e vítima do meio ambiente. São Paulo: Contexto, 2007.

## APÊNDICE A

**Ilustração 32:** Fotografia do sismômetro



**Autor:** FERREIRA, M. F. F. 2016

**Ilustração 33:** Fotografia do digitalizador EAM



**Autor:** FERREIRA, M. F. F. 2016

**Ilustração 34:** Fotografia do painel solar



**Autor:** FERREIRA, M. F. F. 2016

**Ilustração 35:** Fotografia da antena de GPS



**Autor:** FERREIRA, M. F. F. 2016

**Ilustração 36:** Fotografia do controlador de carga



**Autor:** FERREIRA, M. F. F. 2016

**Ilustração 37:** Fotografia da bateria estacionária



**Autor:** FERREIRA, M. F. F. 2016

**Ilustração 38:** Fotografia do abrigo da estação sismográfica



**Autor:** FERREIRA, M. F. F. 2016

**Ilustração 39:** Fotografia da área interna do abrigo



**Autor:** FERREIRA, M. F. F. 2016



## APÊNDICE B

Quadro 15: Sismos ocorridos em Montes Claros a partir de 28/05/2012, registrados por estações sismográficas locais.

Nº	Data	Hora local	Latitude	Longitude	Magnitude
1	28/05/2012	12:28:10	-16,5870	-43,9130	2,1
2	04/06/2012	16:50:22	-16,6962	-43,8943	0,6
3	06/06/2012	19:20:26	-16,7188	-43,8998	0,6
4	08/06/2012	11:25:16	-16,6997	-43,8910	2,2
5	08/06/2012	15:21:50	-16,7205	-43,8945	0,8
6	09/06/2012	11:37:29	-16,7003	-43,8888	0,8
7	12/06/2012	11:35:27	-16,7202	-43,8948	0,8
8	12/06/2012	11:38:24	-16,6958	-43,8890	0,5
9	13/06/2012	20:19:17	-16,6470	-43,9133	2,7
10	15/06/2012	16:35:13	-16,6982	-43,8850	1,9
11	18/06/2012	17:35:26	-16,7162	-43,9108	0,6
12	18/06/2012	18:53:19	-16,7222	-43,8898	0,8
13	19/06/2012	04:56:40	-16,6987	-43,8908	0,7
14	19/06/2012	14:59:02	-16,6738	-43,8985	2,6
15	19/06/2012	15:44:19	-16,6728	-43,9013	2,6
16	20/06/2012	04:43:11	-16,6985	-43,8898	1,7
17	20/06/2012	13:58:20	-16,7322	-43,8203	0,7
18	20/06/2012	14:58:06	-16,6738	-43,8987	1,5
19	22/06/2012	16:59:05	-16,7198	-43,8957	0,5
20	25/06/2012	17:49:05	-16,7232	-43,8943	0,4
21	27/06/2012	14:58:33	-16,6852	-43,8892	2,2
22	28/06/2012	08:48:57	-16,6920	-43,8858	0,5
23	29/06/2012	16:51:52	-16,6957	-43,9053	0,1
24	01/07/2012	05:26:59	-16,6920	-43,8823	1,6
25	01/07/2012	06:57:09	-16,6998	-43,8872	0,6
26	02/07/2012	12:29:26	-16,6785	-43,8853	0,6
27	02/07/2012	14:34:37	-16,7203	-43,8932	0,5
28	02/07/2012	17:28:53	-16,7220	-43,8947	0,3
29	04/07/2012	14:20:07	-16,7205	-43,8813	0,5
30	09/07/2012	13:21:53	-16,7205	-43,8908	0,2
31	09/07/2012	17:56:51	-16,7215	-43,8900	0,5
32	10/07/2012	14:39:25	-16,7215	-43,8898	0,3
33	10/07/2012	22:35:21	-16,6958	-43,8877	1,7
34	12/07/2012	12:36:00	-16,7212	-43,8920	0,4
35	12/07/2012	12:52:11	-16,6778	-43,8985	0,1

Continua...

Quadro 15: Sismos ocorridos em Montes Claros a partir de 28/05/2012, registrados por estações sismográficas locais.

Continuação.

36	12/07/2012	13:59:19	-16,7212	-43,8955	0,3
37	12/07/2012	17:34:17	-16,7215	-43,8907	0,4
38	12/07/2012	17:34:30	-16,7220	-43,8922	0,3
39	12/07/2012	19:23:24	-16,6968	-43,8905	1,4
40	13/07/2012	02:57:18	-16,6932	-43,8788	0,2
41	13/07/2012	12:19:12	-16,6733	-43,8982	-0,1
42	13/07/2012	16:25:25	-16,6800	-43,9448	0,1
43	13/07/2012	16:46:09	-16,6832	-43,8897	0,4
44	13/07/2012	16:49:44	-16,7215	-43,8913	0,6
45	13/07/2012	21:43:58	-16,6945	-43,8908	0,5
46	15/07/2012	04:31:10	-16,6893	-43,8808	0,4
47	15/07/2012	10:54:04	-16,7017	-43,8858	2,5
48	16/07/2012	13:36:56	-16,7218	-43,8920	0,4
49	16/07/2012	14:36:12	-16,7202	-43,8937	0,3
50	16/07/2012	22:50:15	-16,6957	-43,8915	1,8
51	03/08/2012	16:43:12	-16,7298	-43,9811	2,3
52	12/09/2012	20:56:47	-16,7033	-43,8798	2,9
53	17/10/2012	19:21:47	-16,6545	-43,8932	1,9
54	15/11/2012	03:03:15	-16,7000	-43,8800	2,3
55	19/12/2012	02:54:41	-16,6972	-43,8783	3,6
56	19/12/2012	03:31:18	-16,7005	-43,8790	3,6
57	23/12/2012	04:06:43	-16,7188	-43,8998	2,7
58	18/04/2013	07:11:51	-16,7009	-43,8827	3,7
59	21/02/2014	16:58:04	-16,6920	-43,8950	0,6
60	23/02/2014	23:25:37	-16,7050	-43,8920	0,1
61	17/03/2014	15:15:23	-16,6840	-43,9030	0,8
62	01/04/2014	16:07:01	-16,6920	-43,8760	1,3
63	01/04/2014	13:11:21	-16,6840	-43,8960	2,0
64	02/04/2014	17:44:37	-16,6730	-43,9100	1,6
65	06/04/2014	10:39:29	-16,6870	-43,8930	3,3
66	06/04/2014	10:43:51	-16,6960	-43,8850	0,7
67	06/04/2014	10:44:20	-16,6820	-43,8990	0,1
68	06/04/2014	11:15:46	-16,6870	-43,8970	0,9
69	06/04/2014	11:47:00	-16,6970	-43,8800	2,0
70	06/04/2014	11:48:20	-16,6900	-43,8890	0,6
71	06/04/2014	11:50:20	-16,6850	-43,8960	0,0
72	06/04/2014	11:51:15	-16,6820	-43,8970	0,1
73	06/04/2014	11:56:36	-16,6790	-43,9000	0,7

Continua...

Quadro 15: Sismos ocorridos em Montes Claros a partir de 28/05/2012, registrados por estações sismográficas locais.

Continuação.

74	06/04/2014	16:31:05	-16,6870	-43,8920	3,3
75	06/04/2014	16:34:46	-16,6800	-43,8990	1,8
76	07/04/2014	23:55:24	-16,6810	-43,8940	2,9
77	15/05/2014	03:03:40	-16,6705	-43,9040	2,1
78	24/06/2014	17:21:00	-16,7600	-43,7800	3,4
79	20/09/2014	15:58:51	-16,7200	-43,8400	1,7
80	01/10/2014	03:42:42	-16,6500	-43,9100	2,5
81	12/10/2014	03:32:41	-16,7000	-43,8700	2,6
82	16/03/2015	17:19:46	-16,7200	-44,0500	2,0

Org.: FERREIRA, M. F. F. 2016