Revista Brasileira de Climatologia
ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

A INFLUÊNCIA DA ZONA DE CONVERGÊNCIA DO ATLÂNTICO SUL (ZCAS) NA OCORRÊNCIA DE DESLIZAMENTOS DE MASSA EM BELO HORIZONTE E CIDADES VIZINHAS

PEDRO, Daniele Fernanda Pazini - pazinidaniele@gmail.com
Universidade Federal de Itajubá / UNIFEI

FREITAS, Ana Caroline Vasques - ana.freitas@unifei.edu.br
Universidade Federal de Itajubá / UNIFEI

BELOTTI, Fernanda Maria - fernandabelotti@unifei.edu.br
Universidade Federal de Itajubá / UNIFEI

Submetido em: 22/11/2019
Aceito para publicação em: 09/10/2020
Publicado em: 19/10/2020
DOI: http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v27i0.70352

RESUMO: Em Minas Gerais, bem como em outras regiões do Brasil, eventos de precipitação intensa podem ocasionar grandes prejuízos econômicos e sociais, uma vez que o Estado possui extensas áreas vulneráveis aos deslizamentos de massa, devido a mecanismos deflagradores como as ocupações irregulares e a alta declividade do terreno. Este estudo tem por finalidade analisar a influência da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) na ocorrência de deslizamentos de massa em Belo Horizonte, Contagem e Ibirité. Para tanto, foram analisados os eventos de deslizamentos ocorridos nas regiões entre os anos de 2000 a 2018, e em seguida correlacionados com o período de atuação das ZCAS. Foram aplicadas metodologias de geoprocessamento com o uso do software ArcGIS 10.5.2 e também um modelo de Processo Hierárquico Analítico (AHP- Analytic Hierarchy Process) a fim de gerar um mapa de vulnerabilidade ao deslizamento de massa nas regiões quanto aos fatores deflagrantes "declividade e uso e ocupação do solo". Os resultados obtidos demonstram que 58% dos eventos de deslizamentos, ocorridos em Belo Horizonte, foram associados a eventos de ZCAS, sendo que em Contagem esse número é 60%, e em Ibirité 89%. Dentre as três cidades estudadas, Ibirité é a que possui o maior índice de vulnerabilidade frente aos deslizamentos de massa (35,49%) em escala alta e muito alta, sendo um número bastante preocupante, devido a menor área com ocupação urbana, quando comparado com os outros municípios. A análise do mapa de vulnerabilidade nas áreas de estudo também permite afirmar que as regiões com maiores declividades e com ocupação urbana, agricultura e pastagem, possuem um grau de vulnerabilidade aos deslizamentos de classe alta a muito alta, quando avaliados com base nos critérios agravantes (declividade e uso e ocupação do solo).

PALAVRAS-CHAVE: Declividade. Uso e Ocupação do Solo. Deslizamentos; Precipitações. ZCAS

THE INFLUENCE OF THE SOUTH ATLANTIC CONVERGENCE ZONE (SACZ) ON THE OCCURRENCE OF MASS LANDSLIDES ON BELO HORIZONTE AND NEIGHBORING CITIES

ABSTRACT: In Minas Gerais, as well as in other regions of Brazil, events of heavy rainfall can cause great economic and social damage, since the state has extensive areas vulnerable to mass slides, due to triggering mechanisms such as irregular occupations and the high slope of the terrain. This study aims to analyze the influence of the South Atlantic Convergence Zone (SACZ) on the occurrence of mass slides in Belo Horizonte, Contagem and Ibirité. For this purpose, we analyzed the events of landslides that occurred in the regions between 2000 and 2018, and then correlated with the period of action of the SACZ. Geoprocessing methodologies were applied with the use of ArcGIS 10.5.2 software and also an Analytic Hierarchy Process (AHP) model in order to generate a map of vulnerability to mass slide in the regions in terms of the deflagant factors "slope

and land use and occupation". The results obtained show that 58% of landslide events, which occurred in Belo Horizonte, were associated with SACZ events, and in Contagem this number is 60%, and in Ibirité 89%. Among the three cities studied, Ibirité has the highest index of vulnerability to mass slides (35.49%) on a high scale and very high, being a very worrying number, due to the smaller area with urban occupation, when compared with other municipalities. The analysis of the vulnerability map in the study areas also allows us to state that the regions with the highest slopes and with urban occupation, agriculture and pasture, have a degree of vulnerability to landslides from high to very high class, when evaluated based on the aggravating criteria (slopes and land use and occupation).

KEYWORDS: Slope. Land use and Occupation. Slips. Precipitation. SACZ.

LA INFLUENCIA DE LA ZONA DE CONVERGENCIA DEL ATLÁNTICO SUR (ZCAS) EN LA OCURRENCIA DE DESLIZAMIENTOS DE MASA EN BELO HORIZONTE Y CIUDADES VECINAS

RESUMEN: En Minas Gerais, así como en otras regiones del Brasil, los episodios de fuertes lluvias pueden causar grandes daños económicos y sociales, ya que el Estado tiene extensas zonas vulnerables a los deslizamientos en masa, debido a mecanismos desencadenantes como las ocupaciones irregulares y la elevada pendiente del terreno. Este estudio tiene por objeto analizar la influencia de la Zona de Convergencia del Atlántico Sur (ZCAS) en la ocurrencia de deslizamientos en masa en Belo Horizonte, Contagem e Ibirité. Para ello, analizamos los eventos de deslizamientos que ocurrieron en las regiones entre 2000 y 2018, y luego se correlacionaron con el período de acción de la ZCAS. Se aplicaron metodologías de geoprocesamiento con la utilización del programa informático ArcGIS 10.5.2 y también un modelo de Proceso de Jerarquía Analítica (PJA) a fin de generar un mapa de la vulnerabilidad al deslizamiento de masas en las regiones en lo que respecta a los factores deflagrantes "pendiente y uso y ocupación del suelo". Los resultados obtenidos muestran que el 58% de los deslizamientos de tierra, que ocurrieron en Belo Horizonte, se asociaron a eventos de la ZCAS, y en Contagem este número es del 60%, y en Ibirité del 89%. Entre las tres ciudades estudiadas, Ibirité tiene el mayor índice de vulnerabilidad a los deslizamientos en masa (35,49%) en una escala alta y muy alta, siendo un número muy preocupante, debido a la menor superficie con ocupación urbana, cuando se compara con otros municipios. El análisis del mapa de vulnerabilidad en las zonas de estudio también permite afirmar que las regiones con las mayores pendientes y con ocupación urbana, agrícola y de pastos, tienen un grado de vulnerabilidad a los deslizamientos de tierra de clase alta a muy alta, cuando se evalúan en función de los criterios de agravamiento (pendientes y uso y ocupación de la tierra).

PALABRAS CLAVE: Declividad. Uso y Ocupación del Suelo. Deslizamientos. Precipitaciones. ZCAS.

1. INTRODUÇÃO

O clima sempre foi um componente essencial para a existência de seres vivos na Terra, bem como para a distribuição destes na superfície terrestre. Fenômenos meteorológicos, que ocorrem em determinadas regiões, interferem na vida do homem de forma favorável e, algumas vezes, também catastrófica. No Brasil, especialmente nas regiões metropolitanas do centro-oeste (Goiás, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul) e sudeste (Espírito Santo, Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo), a população tem vivenciado situações cada vez mais desafiadoras, devido aos constantes episódios de deslizamentos de massa, que se repetem a cada ano em decorrência das chuvas. Um deslizamento, segundo Highland *et al.*,(2008) é um movimento de descida de rocha, solo, ou ambos, em declive, sob o efeito da gravidade, ocorrendo na ruptura de uma superfície, sendo ela curva ou plana, na qual a maior parte do material move-se como uma

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

massa coerente ou semicoerente, com pequena deformação interna. Os deslizamentos são influenciados por agentes deflagradores como as chuvas intensas e ocupações em encostas.

De acordo com Quadro (1994), dentre os eventos meteorológicos que evidenciam episódios de deslizamentos, destaca-se a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), que é o principal sistema regulador da precipitação ao longo do verão na América do Sul e, por isso, é extremamente importante para a previsão de tempo e clima. Este sistema é caracterizado pela persistência de uma banda de nebulosidade oriunda no sentido noroeste-sudeste, que se expande desde o centro sul da Amazônia, regiões Centro-Oeste e Sudeste, centro sul da Bahia, norte do Paraná e estendendo-se em direção ao Oceano Atlântico sudoeste (QUADRO, 1994). Lima *et al*., (2010) afirma que 47% da precipitação na região sudeste, na estação chuvosa (verão), deve-se a episódios de ZCAS, e por ser um sistema persistente, pode contribuir para ocorrência de enchentes, inundações e alagamentos, ocasionando deslizamentos de terra, assim como outros desastres naturais. Castro (1999) define desastres como o resultado de eventos adversos, naturais ou provocados pelo homem, sobre um ecossistema vulnerável, causando danos humanos, materiais e ambientais e consequentes prejuízos econômicos e sociais.

A circulação da ZCAS, durante o verão em baixos níveis, de acordo com Carvalho *et al.,*(2002), provém de um escoamento de norte-noroeste, que começa junto à encosta leste dos Andes e se prolonga até a região sudeste do Brasil em forma de jato, sendo muito importante para o transporte de umidade da região amazônica para o Brasil Central e regiões sul-sudeste. Já em níveis altos, há a presença da circulação anticiclônica denominada de Alta da Bolívia e um cavado quase estacionário sobre o nordeste do Brasil, os quais são mantidos, principalmente, devido a liberação de calor latente e sensível. Estes dois sistemas contribuem para a formação da ZCAS.

Uma das principais consequências da atuação da ZCAS é a ocorrência de alturas pluviométricas de estacionaridade por, pelo menos quatro dias, principalmente no final da primavera e nos meses de verão nas regiões afetadas, acompanhadas muitas vezes por desastres causados pelas prolongadas e fortes chuvas (QUADRO, 1994). No sudeste brasileiro, a distribuição espacial e temporal da precipitação influencia fortemente os aspectos socioeconômicos, físicos e biológicos. Condições locais como ocupação urbana, declividade e usos da terra podem fazer com que esses eventos tenham impactos ainda maiores sobre a população.

Segundo Carvalho *et al.*,(2008), o crescimento das cidades, aliado a falta de planejamento quanto ao uso e ocupação do solo, amplia os problemas de degradação, ocasionando transtornos e prejuízos a certa parcela das populações, notadamente as que ocupam as áreas de risco, propiciando a contaminação dos recursos hídricos, a ocorrência de erosão e deslizamentos, entre outros problemas de ordem ambiental. Além disso, considerando o contexto do crescimento desordenado, áreas naturalmente mais vulneráveis à ocupação passam a apresentar problemas crônicos com uma repercussão negativa para os ecossistemas e para as populações de baixo poder aquisitivo que as ocupam, sendo o caso da capital mineira. Segundo a Defesa Civil (2018), a cada ano centenas de famílias encontram-se desabrigadas em razão das fortes chuvas que assolam a região, provocando desde simples alagamentos, a

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

grandes inundações e deslizamentos de massa, além de mortes e inúmeros problemas de caráter social. A região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH) (Figura 1) apresentou um crescimento populacional considerável desde os anos 2000 até 2010, superando a taxa de crescimento da capital (Tabela 1).



Figura 1 - Cidade de Belo Horizonte em Minas Gerais e suas regiões metropolitanas ao entorno. Fonte: Atlas do Desenvolvimento Humano nas regiões metropolitanas brasileiras, 2018. Adaptado pela autora deste, 2019.

Tabela 1 - Relação de IDHM, Taxas de Crescimento e População de Belo Horizonte e regiões metropolitanas.

	Belo Horizonte		**Região Metropolitana de Belo Horizonte**	
	Ano 2000	Ano 2010	Ano 2000	Ano 2010
IDHM	0,726	0,810	0,682	0,774
Taxa de Crescimento do IDHM 2000 -2010 (%)	11,57		11,50	
População (hab.)	2.238,51	2.375,15	4.357,94	4.883,97
Taxa de Crescimento anual da População 2000-2010 (%)	0,59		1,15	

Fonte: Atlas do Desenvolvimento Humano nas regiões metropolitanas brasileiras, 2018. Adaptado pela autora deste, 2019.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

Este crescimento considerável da Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH) se deve, de acordo com Lucas (2007), devido a especulação imobiliária e a expansão urbana e industrial, o que leva a população mais carente a ocupar áreas naturalmente inadequadas ou suscetíveis a riscos naturais. Dessa forma, constata-se ainda, que muitos ocupam áreas com elevada declividade, inundáveis ou com solos colapsíveis, sendo que a população residente nesses locais fica sujeita a deslizamentos periódicos, gerando um ônus ambiental, social e financeiro para as cidades assim ocupadas (PFALTZGRAFF, 2007). Desse modo, durante os períodos de atuação das ZCAS, pode haver a ocorrência de deslizamentos de massa na RMBH, dado que este é um sistema persistente de chuvas, podendo causar danos irreversíveis quando atua em áreas susceptíveis aos deslizamentos.

Conforme Pfaltzgraff (2007), a grande concentração da população nos arredores das capitais no Brasil tem sido acompanhada de inúmeros desastres nos períodos chuvosos, sendo os deslizamentos de massa uma das principais fontes de perdas econômicas e de vidas, sendo que os fatores que influenciam nesse processo, no entanto, são inúmeros. Os fatores mais comumente mencionados na literatura são a declividade, a ocupação em encostas, a execução inadequada de cortes em aterros, e o uso e cobertura do solo (TOMINAGA et al., 2005).

De acordo com o Boletim Técnico da Defesa Civil de Minas Gerais (2018), em Belo Horizonte, e principalmente nas regiões metropolitanas, durante o período chuvoso, ocorrem desastres de natureza geológica, meteorológica e hidrológica, tais como as inundações, alagamentos e enxurradas, sendo esses eventos um dos fatores desencadeantes dos deslizamentos de massa. Segundo dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2017), a configuração de um episódio da ZCAS no início de dezembro de 2017 fez com que o primeiro decêndio fosse de chuvas fortes e frequentes em quase todas as regiões mineiras, sendo que o total mensal de precipitação ultrapassou 350 mm no Triângulo Mineiro e Zona da Mata, situando-se entre 200 e 300 mm na maior parte do Estado de Minas Gerais. Com isso, segundo a Defesa Civil de Belo Horizonte (2017), centenas de famílias ficaram desabrigadas após a ocorrência de deslizamentos de massa que comprometeram grande parte das residências situadas nas áreas de risco, não somente da capital, mas também nas localidades vizinhas.

Eventos climáticos extremos ocorridos nas regiões de Contagem e Ibirité, pertencentes à RMBH, também podem estar associados à ZCAS, uma vez que as chuvas persistentes, características deste tipo de fenômeno durante o verão, têm causado inúmeros prejuízos materiais e perdas de vidas nestas regiões. De acordo com Abreu (1998), a região de BH e seu entorno, sofre atuação, principalmente nos meses de verão, dos ventos de Norte e Noroeste (N/NW), seguida, sobretudo de chuvas extremas. Em decorrência disso, Villela (2003) destacou que os eventos de ZCAS foram responsáveis, nos últimos verões, pelas piores cheias e inundações nas regiões centro-sul brasileiras, trazendo consequências desastrosas para a população urbana dessas regiões. É evidente que a precipitação é uma das variáveis climáticas de grande importância, pois ela afeta diretamente o ciclo da água e define o clima local nas mais variadas regiões do planeta. No entanto, quando em grande volume, muitas vezes pode causar danos irreversíveis em regiões vulneráveis. Nota-se que as notícias de deslizamentos de massa, veiculadas na mídia em MG, nos períodos mais

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

chuvosos do ano são corriqueiras, evidenciando perdas imobiliárias, prejuízos econômicos e mortes, sendo que estes eventos podem ter sido, em sua maior parte, induzidos pela declividade do terreno e sua ocupação desordenada pelo homem. Assim, a necessidade de estudar as condições atmosféricas associadas à variabilidade de precipitação é relevante, não somente para a compreensão de eventos extremos, mas também para planejar ações preventivas e corretivas nos municípios. Desta forma, este estudo tem por objetivo avaliar a influência conjunta de eventos de precipitação intensa, devido a ocorrência da ZCAS, e do uso e ocupação do solo, aliado ao fator de declividade do terreno, na ocorrência de deslizamentos de massa nos municípios de Belo Horizonte, Contagem e Ibirité.

2.METODOLOGIA

2.1 IDENTIFICAÇÃO DOS EVENTOS DE DESLIZAMENTOS DE MASSA E OCORRÊNCIA DAS ZCAS

Para o desenvolvimento deste trabalho foram utilizados os dados obtidos no Sistema Integrado de Informações sobre Desastres (S2iD), que tem como principal finalidade a obtenção de séries históricas dos desastres ocorridos pelos eventos climáticos extremos no Brasil. A busca na plataforma S2iD pode ser filtrada por tipo de desastre e município. Assim, foram obtidas e analisadas as séries históricas dos deslizamentos ocorridos desde os anos 2000 a 2018, juntamente com os arquivos digitais contendo as descrições de danos e perdas humanas e materiais. Os municípios de Belo Horizonte, Contagem e Ibirité foram escolhidos devido a ocorrência de um maior número de eventos de precipitação intensa e deslizamento de massa no período do verão nestas regiões.

Após a obtenção das datas dos deslizamentos para as regiões selecionadas, foi feito um cruzamento com as datas de ocorrência de ZCAS até 24 horas antes do evento de deslizamento. Para isso, foi consultado o Boletim Infoclima, disponível no site do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC). Este boletim apresenta informações de séries históricas dos aspectos climáticos e sinóticos no Brasil desde os anos de 2004 a 2019. Dados disponíveis no Boletim Climanálise, igualmente encontrado na plataforma do CPTEC, também foram utilizados.

2.2 DECLIVIDADE DO TERRENO E USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

Mapas de declividade e uso e ocupação do solo foram gerados após se realizar um levantamento dos dados primários e das características específicas das regiões selecionadas, tais como as classes do uso e ocupação do solo e as classes da declividade.

Para o mapa de declividade, foram considerados os dados primários disponíveis no Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e também no Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil (TOPODATA), dos anos 2016 e 2017, respectivamente. Para gerar o mapa de uso e ocupação do solo foram utilizadas as cartas primárias do Projeto MAPBIOMAS, que consiste em uma definição de uso e ocupação do solo para todo o Brasil, com dados anuais para o período de 1985 a 2018 em formatos matriciais (pixel de 30x30m).

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

Após a obtenção dos dados primários, foi utilizado o *software ArcGIS 10.5.2* para dar início à elaboração do recorte dos 3 municípios. Inicialmente, a área de estudo foi recortada das cartas primárias utilizando a ferramenta de corte "*Clip*" do *software ArcGIS 10.5.2*. Esse procedimento consistiu em recortar a localidade desejada através de um polígono irregular, sendo mantidos os dados no mesmo sistema de coordenadas para que o *raster* e o *vetor* não associassem diferentes projeções. A ferramenta *Clip* funciona basicamente com a entrada de dados, informações de limites das coordenadas e arquivo de saída. É importante ressaltar o cuidado tomado na utilização de uma boa qualidade cartográfica dos arquivos de entrada, em termos de precisão e exatidão de dados. Caso contrário, pode haver erros de posicionamento que influenciam não somente nos resultados do recorte, mas também em outros processamentos, como por exemplo, a detecção de regiões no mapa de uso e ocupação do solo.

Para a elaboração do mapa de uso e ocupação do solo, a área de estudo foi recortada e extraída utilizando-se a ferramenta do *software ArcGIS 10.5.2 "Extract by Mask",* onde foi extraído do *raster* as informações de uso e ocupação para os 3 municípios, sendo consideradas as classes descritas na Tabela 2.

Tabela 2 - Classes de Uso e Ocupação do Solo para cada um dos municípios de estudo

Classes de Uso e Ocupação do Solo
Formação Florestal
Formação Savânica
Floresta Plantada
Formação Campestre
Pastagem
Cultura Anual Perene
Mosaico de Agricultura e Pastagem
Infraestrutura Urbana
Outra área não vegetada
Afloramento Rochoso
Mineração
Rio, Lago e Oceano

Fonte: Autora deste, 2019.

Para a elaboração do mapa de declividade foi utilizado o Modelo Digital de Elevação (MDE), que se constitui como um modelo que representa as altitudes (30 metros) da superfície topográfica agregada aos elementos geográficos existentes sobre ela, como por exemplo, cobertura vegetal e edificações. Depois de obtidas as altitudes, utilizou-se a ferramenta do *software ArcGIS 10.5.2 "Slope"*, que tem como principal objetivo conectar as curvas de níveis e calcular a declividade existente entre elas. As classes de porcentagem de declividades consideradas para a área de estudo estão descritas na Tabela 3.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

Tabela 3 - Classes de porcentagem de declividade para cada um dos municípios de estudo

Declividade (%)
Até 6
De 6 a 12
De 12 – 20
De 20 – 30
Acima de 30

Fonte: Autora deste, 2019.

2.3 VULNERABILIDADE AO DESLIZAMENTO DE MASSA

O mapa de vulnerabilidade ao deslizamento, frente ao uso e ocupação do solo e à declividade, foi gerado utilizando a sobreposição dos mapas no *software ArcGIS 10.5.2,* através da ferramenta *"raster calculator"*, empregando, portanto, a metodologia chamada de "*Álgebra de Mapas*". Esse método contribui de forma eficaz para o estudo de vulnerabilidade de solos, pois consiste na aplicação de operações aritméticas para associar várias camadas, de modo a obter como resultado classificações que permitem análises diversas. Além disso, a análise multicritério com o método de álgebra de mapas permite agrupar e classificar áreas que apresentem potencial de vulnerabilidade semelhante (SILVA, 2012).

Para a aplicação da metodologia de Álgebra de Mapas, foi necessário definir pesos que variem de 0 a 100% (0-1) para cada variável, de modo a diferenciar o grau de importância e correlação com o fenômeno em questão (vulnerabilidade ao deslizamento) e também notas de 1 a 5 para cada componente da legenda, de maneira que quanto maior a nota, maior a vulnerabilidade frente ao deslizamento.

Sendo assim, foram consideradas duas variáveis: declividade e uso e ocupação do solo.

Para estabelecer as porcentagens do grau de importância, foi empregue a metodologia "*Analytic Hierarchy Process"*, conhecida como *AHP.* Segundo Dias *et al.*, (2014), *a* aplicação da AHP consiste, sobretudo, em que um problema decisório pode ser estruturado de maneira hierárquica (Figura 2), onde o topo da hierarquia contém a sua descrição geral e nos níveis mais abaixo estão os critérios que são levados em consideração para a abordagem. Assim, será como se um problema decisório complexo fosse subdividido em problemas menores que serão abordados separadamente, para depois serem agregados e assim chegar à solução final para o problema complexo maior.

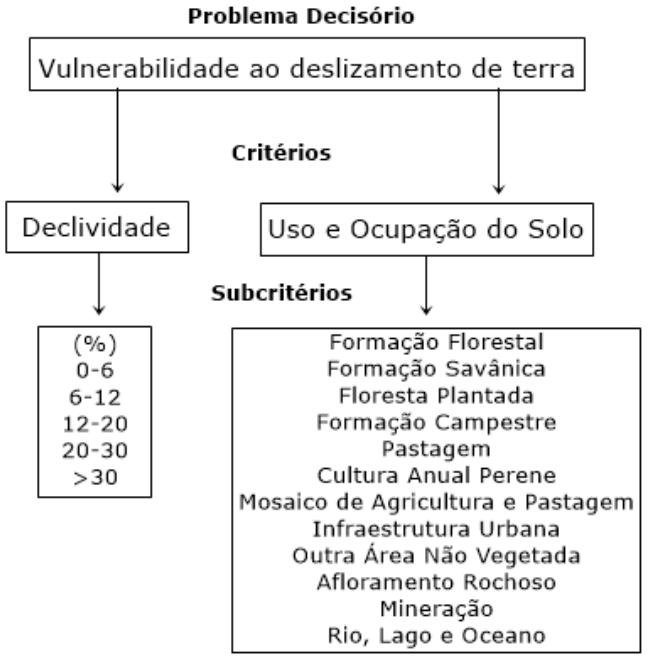


Figura 2 - Ordem Hierárquica do problema. Fonte: Autora deste, 2019.

Depois de estabelecidos os critérios, sendo esses a declividade e o uso e ocupação do solo, foram dados pesos para cada subcritério e estabelecido o peso em matriz para os critérios adotados segundo a *Escala Fundamental de Saaty (*Figura 3) onde essa relaciona valores numéricos com valores verbais, tendo correspondência direta entre os números e expressões dentro de suas linhas. Uma característica importante na adoção da escala de *Saaty* é que independente do tipo de critério usado (quantitativo ou qualitativo/subjetivo) a escala é aplicável, sendo também definida em razões. Ou seja, após os valores serem dados aos critérios, podem-se haver as comparações paritárias, que representarão o quanto um critério é mais importante que o outro.

ESCALA NUMÉRICA	ESCALA VERBAL
1	Mesma importância
3	Importância moderada de um sobre o outro
5	Importância essencial ou forte
7	Importância muito forte
9	Importância extrema
2,4,6,8	Valores intermediários

Figura 3 - Escala Fundamental de Saaty. Fonte: Saaty,1991.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

Após escolhidos os valores da matriz de critérios de acordo com *a Escala Fundamental de Saaty*, foi necessário calcular o "Auto Vetor*"* associado aos critérios. Cada componente desse vetor teve como principal finalidade indicar a importância relativa de cada critério quando comparado aos outros. Para isso, foi aplicada a média geométrica de cada linha da matriz de critérios (Tabela 4) entre os critérios de declividade e uso e ocupação do solo. Ressalta-se que no método de AHP, os elementos da esquerda da diagonal principal, são o inverso dos elementos da direita, sendo portando, necessário a divisão.

Tabela 4 - Valores da Matriz de critérios de acordo com a Escala Fundamental de Saaty

Critérios	Declividade	Uso e Ocupação do Solo
Declividade	1	7
Uso e Ocupação do Solo	0,14	1

Fonte: Autora deste, 2019.

Posteriormente, seguindo a metodologia da AHP, foi calculado o "*Vetor Normalizado*", sendo esse a divisão do resultado do auto vetor de cada critério, pela soma do resultado do auto vetor dos dois critérios, como demonstrado na Equação 1. O cálculo foi realizado para o critério de declividade e uso e ocupação do solo.

$$Vetor\ N_1 = \frac{AutoVetor\ 1}{\sum AutoVetor\ 1{,}2} \qquad (1)$$

$$Vetor\ N_2 = \frac{AutoVetor\ 2}{\sum AutoVetor\ 1{,}2}$$

Equação 1- Cálculo do Vetor Normalizado para a matriz de critérios seguindo a metodologia de *Analytic Hierarchy Process*

Prosseguindo, foi necessário encontrar a "*Matriz de Decisão*", sendo que essa contém os valores das porcentagens que serão utilizadas no *software ArcGIS 10.5.2* para a obtenção do índice da vulnerabilidade do solo a deslizamento de massa frente aos critérios de declividade e uso e ocupação do solo. Seguindo a lógica da AHP, para obter as porcentagens da decisão, é preciso aplicar o *"Índice de Consistência",* seguindo a Equação 2*.* De acordo com Saaty (1991), para obter-se a consistência de uma matriz positiva recíproca, seu *"Auto Valor*" máximo deve ser igual a *n* (dimensão da matriz).

$$I.C = \frac{\lambda max - n}{n-1} \qquad (2)$$

Equação 2 - Cálculo do Índice de Consistência seguindo a metodologia de *Analytic Hierarchy Process*

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

Pode-se considerar que o "*Auto Vetor*" dá a ordem de prioridade e o "*Auto Valor"* é a medida de consistência do julgamento. O método da análise hierárquica busca o *"Auto Valor Máximo*" (*λmax)*. Para obter esse valor, foi realizado inicialmente o *"Cálculo da Coerência" (∑C),* que consiste em somar os valores das colunas da matriz de critérios (Tabela 4). Depois de obtido esses valores, foi aplicado a Equação 3 para *λmax*, que segue o princípio de Saaty, sendo o resultado do cálculo de coerência da coluna 1 multiplicado ao vetor normalizado da linha 1, somado portando ao resultado do cálculo de coerência da coluna 2, multiplicado ao vetor normalizado da linha 2.

$$\lambda max = (\sum C1x\ VN_1) + (\sum C2xVN_2) \quad (3)$$

Equação 3 - Cálculo do Auto Valor Máximo seguindo a metodologia de *Analytic Hierarchy Process*

Tendo encontrado o valor de *λmax*, foi por conseguinte, calculado o *"Índice de Consistência"* seguindo a equação 2. Para isso, foi considerado o tamanho da matriz 2x2 para encontrar o valor de "*n",* sendo esse valor 2. Logo, Saaty (1991) sugere também o uso da "*Razão de Consistência"*, que considera o IC e o *"Índice Randômico"* (IR), sendo esse proposto pelo autor, calculado em laboratório para uma matriz de ordem 1 a 15 (Figura 4), sendo "n" a ordem do IR.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51	1.48	1.56	1.57	1.59

Figura 4 - Índice Randômico Médio seguindo a metodologia de *Analytic Hierarchy Process.* Fonte: Saaty, 1991.

O valor da Razão de consistência foi encontrado aplicando a Equação 4 abaixo:

$$Razão\ de\ Consistência\ (\%) = \frac{IC}{Índice\ Randômico\ (IR) para\ n} \quad (4)$$

Equação 4 - Cálculo da Razão de Consistência seguindo a metodologia de *Analytic Hierarchy Process*

A *Razão de Consistência* possui grande importância na metodologia de AHP, pois é por meio dela que é observado se os julgamentos dos valores dos critérios estão corretos. Sendo assim, para a conclusão dos cálculos, o resultado da *Razão de Consistência* tem que ser menor do que 20%. Não excedido esse valor, os cálculos foram prosseguidos a fim de chegar à *Matriz de Decisão*. Todos os cálculos realizados anteriormente tiveram como principal objetivo a obtenção de um valor menor que 20% na *Razão de Consistência*, de modo a ser comprovado que o julgamento dos critérios possui uma logicidade quando contrapostos na vulnerabilidade ao deslizamento de massa. Por fim, para calcular a matriz de decisão, foi utilizada a Equação 5 abaixo:

$$MatrizD_1(\%) = VN_1x100 \quad (5)$$

$$MatrizD_2(\%) = VN_2x100$$

Equação 5 - Cálculo da Matriz de Decisão seguindo a metodologia de *Analytic Hierarchy Process*

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

Após a obtenção da Matriz de Decisão, foi iniciado o processo de construção do mapa de vulnerabilidade ao deslizamento. O mapa de vulnerabilidade das regiões de Belo Horizonte, Contagem e Ibirité, foi gerado com o uso dos recursos de geoprocessamento para a técnica de álgebra de mapas, utilizando a extensão *Spatial Analyst* (*Reclassify e Raster Calculator*) no *software ArcGIS 10.5.2*. No *ArcGIS* também foi realizada a aplicação dos pesos obtidos na matriz de decisão após modelagem com o algoritmo AHP nas células dos mapas temáticos em formato *raster.* Portanto*,* aplicou-se a média aritmética simples (*Raster Calculator*) dos pesos obtidos para os critérios escolhidos, o que resultou no Mapa Síntese de Vulnerabilidade ao deslizamento da área de estudo. Com a finalidade de obter as porcentagens de vulnerabilidade ao deslizamento em cada um dos municípios, foi utilizado também o *software Fragstat* para calcular a porcentagem de vulnerabilidade de cada classe na paisagem da área de estudo aplicando a ferramenta "*PLAND*".

3.RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 IDENTIFICAÇÃO DOS EVENTOS DE DESLIZAMENTOS DE MASSA E OCORRÊNCIA DAS ZCAS

Durante o período de 2000 a 2018, foram registrados na área de estudo (Figura 5), 15 eventos de deslizamentos que ocorreram durante a atuação da ZCAS, sendo que esses geraram diversos prejuízos econômicos e sociais, além de perdas de vidas, de acordo com os arquivos digitais disponíveis no S2iD.

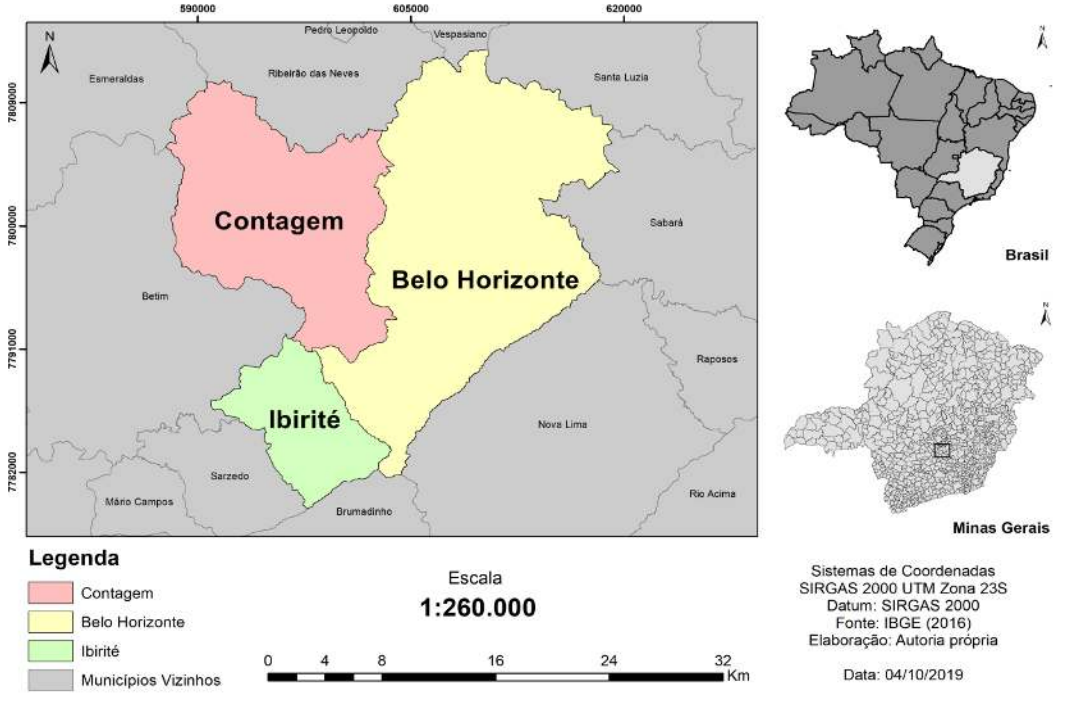


Figura 5 - Área de estudo. Fonte: Autora deste, 2019.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

A cidade de Belo Horizonte registrou 4 ocorrências de deslizamentos de massa no período de atuação da ZCAS (Tabela 5) durante os anos de 2000 a 2018.

Tabela 5 - Datas da ocorrência do deslizamento de massa em Belo Horizonte e da atuação das ZCAS durante os anos de 2000 a 2018.

BELO HORIZONTE	
Data do evento	**Data de ocorrência da ZCAS**
27/01/2003	25/01/2003 - 01/02/2003
12/03/2011	01/03/2011 - 15/03/2011
01/01/2012	01/01/2012 - 08/01/2012
03/12/2017	01/12/2017 - 15/12/2017

Fonte: Autora deste, 2019.

De acordo com Sistema Integrado de Informações sobre Desastres (S2iD, 2003), no evento de deslizamento ocorrido no dia 27/01/2003, mais de 3000 pessoas foram afetadas, sendo um total de 3000 desabrigadas, 17 mortes e 500 residências totalmente destruídas. Além disso, um dos principais critérios agravantes para a ocorrência do deslizamento, ainda conforme o S2iD (2003) foi o grau de vulnerabilidade do cenário e da comunidade, sendo que grande parte das residências destruídas encontravam-se em locais susceptíveis ao deslizamento, como em topo de encostas, em terrenos íngremes com cortes incorretos e peso excessivo nos taludes causados pelas casas. Segundo o INMET (2003), todo o mês de janeiro de 2003 foi marcado pela ocorrência de chuvas intensas nas Regiões Sudeste, sendo que essas chuvas foram ocasionadas pela ação da ZCAS. Nota-se que não somente a atuação da ZCAS foi um fator decisivo para a ocorrência de deslizamento na região. Pode-se considerar que a combinação da ZCAS e do uso e ocupação do solo de forma inapropriada, e também à declividade do terreno, explicam a ocorrência da maioria dos deslizamentos ocorridos nos períodos de grande precipitação pluviométrica.

Em Contagem, município pertencente à RMBH, ocorreram 3 eventos (Tabela 6) de deslizamento de massa no período de atuação da ZCAS desde os anos 2000 a 2018. Em decorrência disso, segundo o S2iD (2011), no dia 29/12/2011 450.000 pessoas foram afetadas no município nas Regiões Ressaca, Nacional, Vargem das Flores e Industrial, sendo que 446 ficaram desalojadas em consequência do deslizamento ocorrido.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

Tabela 6 - Datas da ocorrência do deslizamento de massa em Contagem e da atuação das ZCAS durante os anos de 2000 a 2018.

CONTAGEM	
Data do evento	**Data de ocorrência da ZCAS**
29/12/2011	25/12/2011 - 30/12/2011
03/12/2017	01/12/2017 - 15/12/2017
09/03/2018	08/03/2018 - 12/03/2018

Fonte: Autora deste, 2019.

No relatório emitido pelo S2iD (2011), o deslizamento ocorrido no dia 29/12/2011 foi considerado um dos mais intensos nos últimos 5 anos, sendo as principais causas as chuvas interruptas dos meses de verão, acompanhadas de granizo e ventos fortes chegando a 72km/h, com acúmulo de 700mm no mês de dezembro, provocando deslizamento de encostas e de margem de córregos, devido principalmente à saturação do solo, declividade do terreno e ocupações inadequadas.

Em Ibirité, desde os anos 2000 até 2018, houveram 8 eventos (Tabela 7) de deslizamentos no mesmo período de atuação da ZCAS. Em comparação com os outros dois municípios, Ibirité foi o que mais se destacou, mesmo sendo uma cidade menor e com menos habitantes, quando comparada à Contagem e Belo Horizonte. Portanto, dentre os eventos de deslizamento de massa registrados no Si2D, 89% foram associados a eventos de ZCAS em Ibirité. Já em Contagem esse número é de 60%, e em Belo Horizonte é de 58%.

Tabela 7 - Datas da ocorrência do deslizamento de massa em Ibirité e da atuação das ZCAS durante os anos de 2000 a 2018.

IBIRITÉ	
Data do evento	**Data de ocorrência da ZCAS**
11/01/2004	10/01/2004 - 20/01/2004
14/12/2005	11/12/2005 - 16/12/2005
09/01/2006	01/01/2006 - 09/01/2006
01/12/2006	26/12/2006 - 02/12/2006
08/01/2007	27/12/2006 - 16/01/2007
31/01/2008	30/01/2008 - 08/02/2008
16/12/2011	14/12/2011 - 21/12/2011
05/02/2018	01/02/2018 - 15/02/2018

Fonte: Autora deste, 2019.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

Analisando a Tabela 7 desde o ano 2004 até 2018, houve um total de 4.463 pessoas afetadas pelo deslizamento de massa em Ibirité, sendo 1.233 desabrigadas, segundo informações do S2iD dos respectivos anos. O evento de deslizamento mais grave aconteceu no dia 16/12/2011, deixando 1819 pessoas afetadas e 927 desalojadas, com uma vítima gravemente ferida. Um dos principais aspectos observados pela Defesa Civil (2011) no município, foi o grau de vulnerabilidade da comunidade afetada, que encontrava-se totalmente suscetível à desastres dessa natureza, já que grande parte das residências estavam localizadas em terrenos com declividade acentuada, sendo muitas com indícios de desmoronamento nos arredores, sem quaisquer medidas paliativas e protetivas.

Dados estatísticos obtidos através do Atlas Brasileiro de Desastres Naturais (2013) demonstraram que os meses mais propensos à ocorrência de deslizamentos de massa em Minas Gerais são os meses da estação de verão (dezembro a março), sendo que as chuvas provenientes da ZCAS nesses meses favoreceram a ocorrência da maior frequência de deslizamentos de massa no estado, entre os anos de 1991 a 2012 (Figura 6). Segundo Fonseca *et al*. (2017), a ocorrência de chuvas acima da média normal do período (normal climatológica) aumenta o risco de deslizamentos, principalmente quando há a atuação de sistemas meteorológicos, como por exemplo, a ZCAS.

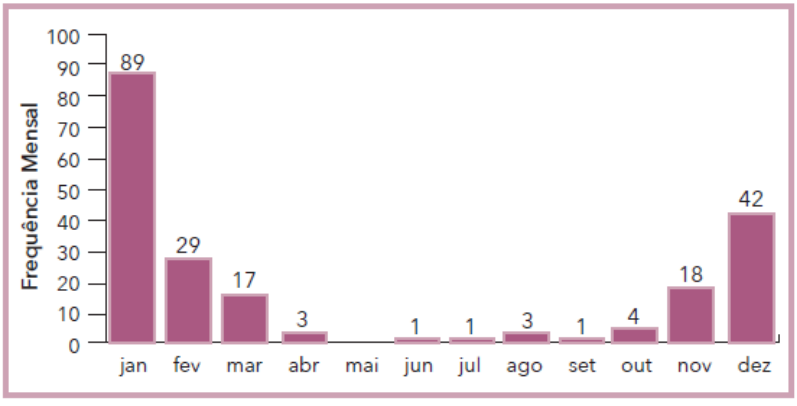


Figura 6 - Frequência mensal de deslizamentos de massa no Estado de Minas Gerais, no período de 1991 a 2012. Fonte: Atlas Brasileiro de Desastres Naturais, 2013.

3.2 DECLIVIDADES DO TERRENO E USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

Os deslizamentos são episódios de extrema importância, resultantes da atuação de processos geomorfológicos nas mais diversas escalas temporais causando, em geral, enormes prejuízos à sociedade. Dentre os diversos fatores condicionantes, destacam-se os parâmetros morfológicos do terreno, como o uso e a ocupação, bem como a declividade, os quais controlam diretamente o equilíbrio das forças e, indiretamente, a dinâmica hidrológica dos solos (FERNANDES *et al.,* 2001).

Dentre os vários fatores que influenciam o deslizamento de massa, segundo Fernandes et al., (2001) a declividade é considerada como um dos principais parâmetros de caráter topográfico incorporado aos estudos de previsão e definição de áreas instáveis aos deslizamentos. A declividade é a inclinação da superfície do terreno em relação à horizontal, ou seja, a relação

entre a diferença de altura entre dois pontos e a distância horizontal entre esses pontos (AMBDATA, 2019).

A Figura 7 demonstra a relação de declividade nos 3 municípios estudados.

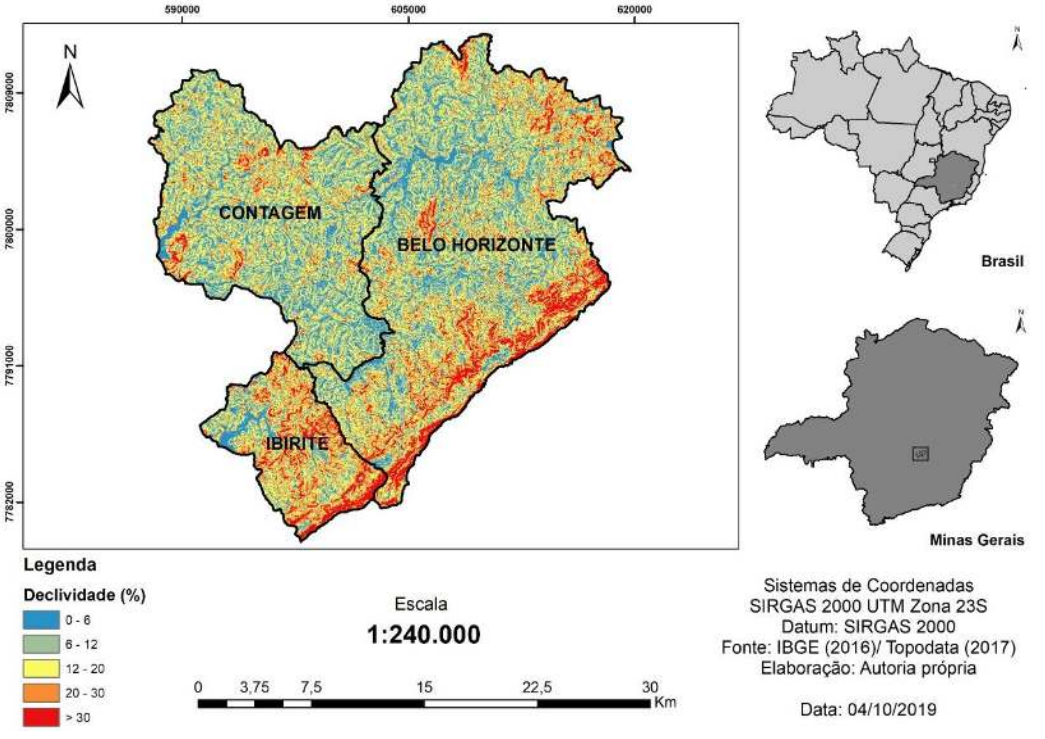


Figura 7 - Declividade do terreno na área de estudo. Fonte: Autora deste, 2019.

Pode-se observar, mediante a Figura 7, que grande parte da região leste de Belo Horizonte possui uma declividade bastante acentuada, sendo maior que 30%. Nota-se que mesmo o município de Ibirité sendo consideravelmente pequeno quando comparado aos outros 2 municípios, esse, possui grande parte do seu território com declividades alta. De acordo com a Tabela 7, dentre as três cidades estudadas, Ibirité foi a que mais se destacou na quantidade de deslizamentos de massa ocorridos no período de atuação da ZCAS, o que pode ser ponderado mediante a Figura 7, que a declividade de fato possui influência sobre os deslizamentos ocorridos. Vale ressaltar que em Contagem predominam declividades de 0 a 20%, apesar de haver um extenso território, sendo um dos municípios que obteve menor número de deslizamentos no período de atuação da ZCAS, segundo a Tabela 7.

De acordo com a Lei Federal nº 6.766/79, alterada pela Lei nº 9.785/99, somente é permitido o parcelamento do solo em áreas com declividade até 30%, sendo que locais com declividade superiores possuem sérias restrições para ocupação urbana. No entanto, apesar das restrições da lei, é plausível considerar que grande parte da ocupação urbana residente no entorno de Belo Horizonte está localizada em regiões de alto risco de deslizamento quando há sistemas meteorológicos atuantes, devido principalmente à ocupação em locais de declividade acentuada. Segundo Vieira (2004), pode-se afirmar que áreas com declividades elevadas são mais suscetíveis à deflagração de ocorrências de

deslizamentos; contudo, os danos também podem ser sentidos nas áreas de baixa declividade, visto que um desequilíbrio em qualquer parte da encosta afeta os segmentos adjacente superior e inferior, como um efeito "dominó" ou em "cascata".

O uso e ocupação do solo também é um fator importante na análise da vulnerabilidade ao deslizamento quando há sistemas meteorológicos atuantes. A Figura 8 demonstra o mapa de uso e ocupação do solo para a área de estudo.

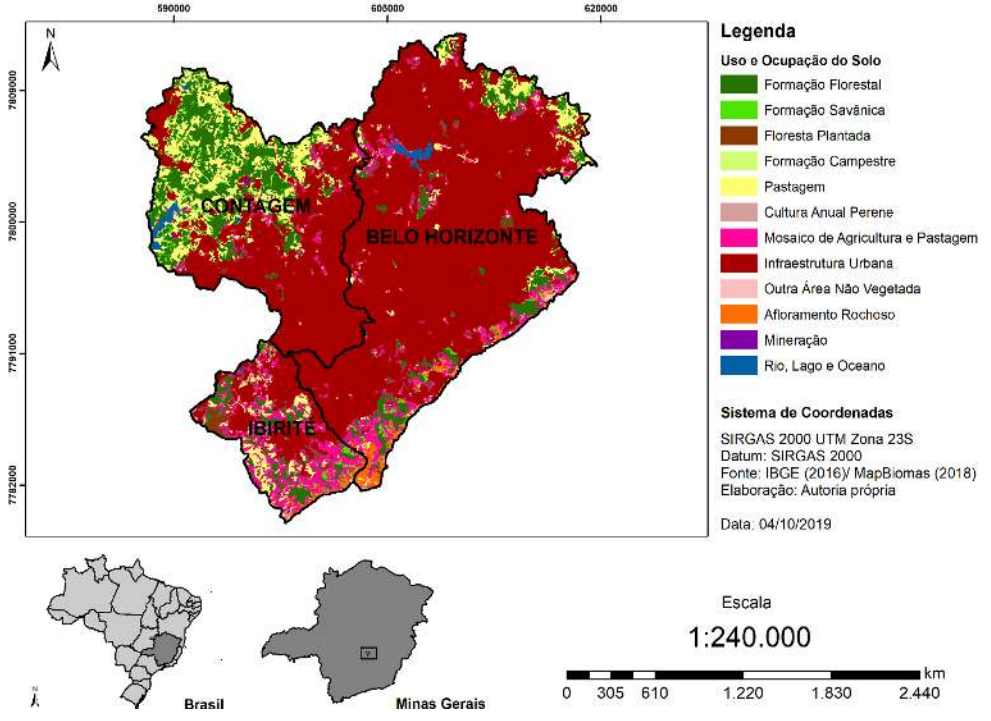


Figura 8 - Uso e Ocupação do Solo na área de estudo. Fonte: Autora deste, 2019.

Observa-se que Belo Horizonte possui quase a totalidade de seu território com ocupação urbana, inclusive na região leste onde predomina declividade muito alta. Isso evidencia que a região pode estar vulnerável ao deslizamento de massa quando em contato com sistemas meteorológicos de pluviosidade elevada, como por exemplo, a ZCAS. Vale ressaltar que Belo Horizonte possui uma população concentrada nos grandes centros urbanos e, segundo Fernandes *et al*. (2001), nestas regiões os deslizamentos assumem frequentemente proporções catastróficas, uma vez que os inúmeros cortes, aterros, depósitos de lixo, desmatamentos, modificações na drenagem, entre outras intervenções, geram novas relações com os fatores condicionantes naturais associados à geomorfologia, característica do terreno e fatores ambientais.

Em Ibirité há uma considerável área de agricultura e pastagem e, de acordo com Primavessi (2006), pastagens e cultivos permanentes podem provocar erosão no solo, o que pode aumentar a susceptibilidade ao deslizamento de massa, através, por exemplo, do solapamento da base de encostas. . O mesmo pode ser considerado no município de Contagem, onde a região com baixa declividade (Figura 7) possui uma significativa área de pastagem (Figura 8), o que de fato não exclui a possibilidade de ocorrência de deslizamentos.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

Machado et al., (2016) afirma que as principais causas de deslizamentos de massas possuem duas vertentes, sendo a primeira antrópica, decorrente do uso e ocupação do solo de forma incorreta, e segunda é a causa natural, proveniente das características do terreno em suas diversas faces (geologia, pedologia, declividade), e da pluviosidade. É possível afirmar que, de forma geral, os processos de instabilidade dos solos aparentemente têm uma dependência significativa dos valores pluviométricos que se acumulam nos dias anteriores à ruptura e a ocorrência de movimento, com o aumento da umidade do solo e o aumento das linhas de saturação (CASTRO, 2006).

3.3 VULNERABILIDADE AO DESLIZAMENTO DE MASSA

Os deslizamentos são fenômenos naturais com potencial destrutivo significante para os seres humanos e uma das formas de reduzir as perdas resultantes é verificar com antecedência a possibilidade de sua ocorrência, para que em situações em que haja a iminência do deslizamento, seja feita uma abordagem rápida da situação (MACHADO *et al*., 2016). O mapa de vulnerabilidade do solo (Figura 9) frente aos fatores deflagrantes declividade, uso e ocupação e a atuação da ZCAS, permite avaliar os locais mais propensos aos deslizamentos, bem como realizar uma análise preliminar dos locais inadequados para a ocupação humana. Ao observar construções em encostas, que têm por si só risco de deslizamento, é possível notar que nem todos os locais são adequados ao uso e ocupação, pois essas áreas são naturalmente propensas a deslizamento de massa, mas têm o seu risco aumentado devido à ação humana indevida (VARGAS, et al, 2012).

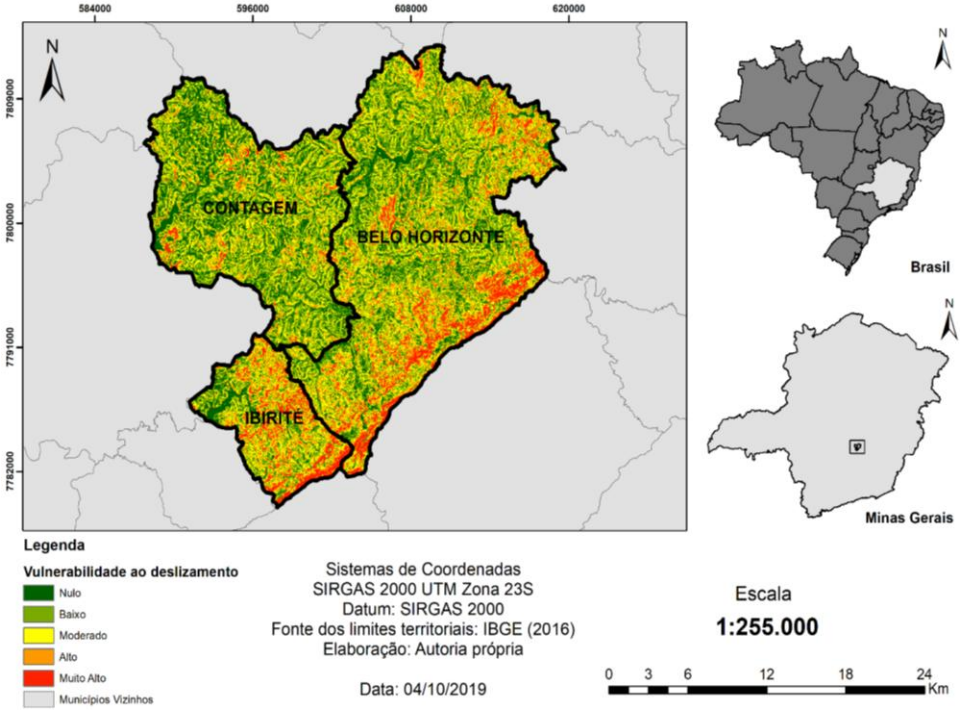
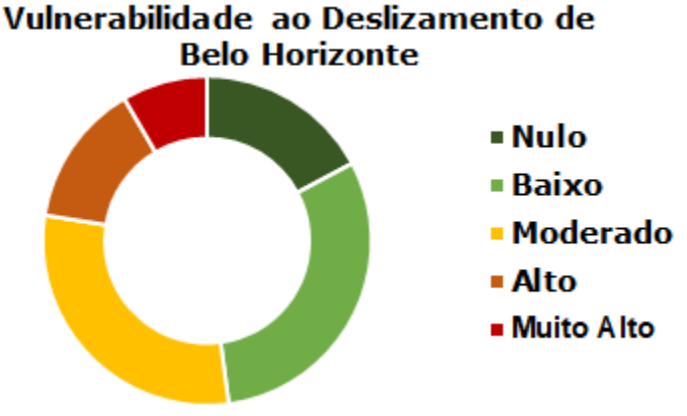


Figura 9 - Mapa de vulnerabilidade ao deslizamento de massa. Fonte: Autora deste, 2019.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

De acordo com o mapa de vulnerabilidade (Figura 9), é possível observar que toda a região leste de Belo Horizonte, pertencente à classe de declividade muito alta (Figura 7) e com elevada ocupação urbana (Figura 8), possui um grau de vulnerabilidade muito alta ao deslizamento.

De acordo com o gráfico da Figura 10, quando se compara toda a região de Belo Horizonte, é possível observar a predominância da vulnerabilidade baixa, sendo de 30,68%, vindo em seguida, uma vulnerabilidade moderada de 29,59%. No entanto, não se deve excluir a possibilidade de ocorrência de deslizamentos, já que ainda existem 14,1% da região com vulnerabilidade alta e 8,41% muito alta, sendo essas encontradas principalmente na região leste e sul do município.

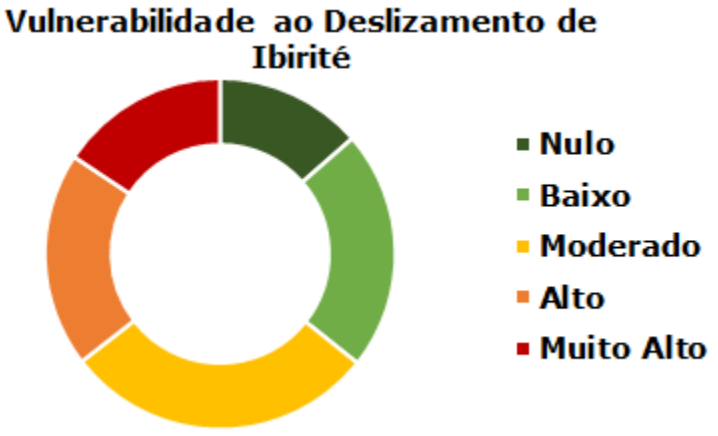


	Vulnerabilidade ao Deslizamento de Belo Horizonte (%)	
	Nulo	17,22
	Baixo	30,68
	Moderado	29,59
	Alto	14,1
	Muito Alto	8,41
	TOTAL	**100**

Figura 10 - Porcentagem de vulnerabilidade ao deslizamento em Belo Horizonte. Fonte: Autora deste, 2019.

O município de Ibirité possui um grau de vulnerabilidade ao deslizamento bastante preocupante (Figura 11), quando comparado às outras áreas de estudo.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

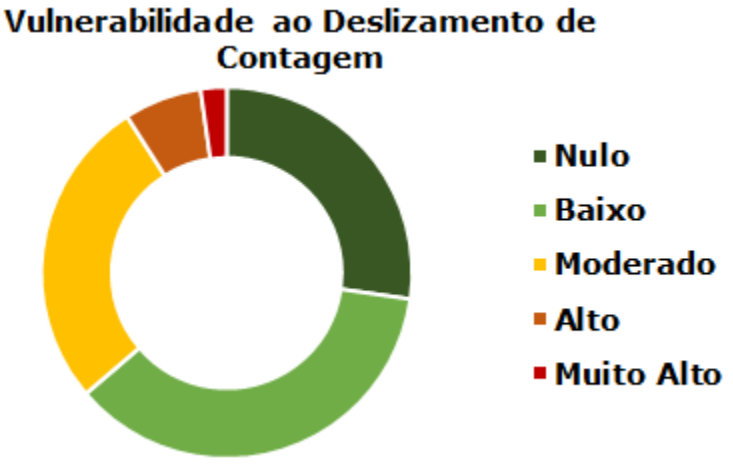


Vulnerabilidade ao Deslizamento de Ibirité (%)	
Nulo	13,59
Baixo	22,09
Moderado	28,83
Alto	19,81
Muito Alto	15,68
TOTAL	**100**

Figura 11 - Porcentagem de vulnerabilidade ao deslizamento em Ibirité. Fonte: Autora deste, 2019.

Verifica-se, segundo o gráfico da Figura 11, que em grande parte do território de Ibirité há um grau de vulnerabilidade ao deslizamento de moderado à alto, sendo que nesses locais também há a presença de ocupação humana e altas declividades. Segundo Vieira (2004), em locais com vulnerabilidade moderada, é necessário atentar-se à ocorrência de deslizamentos, pois a deflagração dos processos depende não só da precipitação, mas das próprias características físicas da região ou da forma como está ocupada, pois conforme relata Cruz (1974), a paisagem é um sistema dinâmico em evolução; declives acentuados, umidade e calor elevados e constantes, escoamentos superficiais e subsuperficiais, rocha alterada, formações superficiais espessas, floresta e desmatamento, exuberância bacteriana e maior velocidade das reações químicas gerando evolução rápida da matéria orgânica criam situações de equilíbrio precário, que ao leve desequilíbrio são suscetíveis a deslizamentos e quando há aceleração humana, o funcionamento da paisagem é ainda mais desequilibrado.

Em Contagem, a relação do grau de vulnerabilidade ao deslizamento se encontra consideravelmente baixa (Figura 12), já que grande parte do território possui declividades na escala de 0 a 6%.



Vulnerabilidade ao Deslizamento de Contagem (%)	
Nulo	27,25
Baixo	36,49
Moderado	27,21
Alto	6,78
Muito Alto	2,27
TOTAL	**100**

Figura 12 - Porcentagem de vulnerabilidade ao deslizamento em Contagem Fonte: Autora deste, 2019.

Embora Contagem tenha um grau de vulnerabilidade baixo de 36,49% quando comparada aos outros municípios, ainda é evidente a ocorrência de deslizamentos, dado que ainda existem valores consideráveis entre as classes de "Moderado à Muito Alto" e, segundo a Defesa Civil (2018), Contagem possui grande parte de sua população residente em áreas de risco. Sendo assim, de acordo com Fonseca et al. (2017), variados são os fatores que atuam direta ou indiretamente no deslizamento de um local, fazendo com que ocorram movimentos muito lentos, quase que imperceptíveis até gerar uma tipologia intensa; e estes fatores vão agindo de forma silenciosa conjuntamente com outros e acabam por gerar um grande impacto social, ambiental e econômico na região.

4.CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir deste estudo pode-se concluir que a ZCAS possui influência sobre os deslizamentos de massa nas regiões analisadas, quando em contato com fatores deflagradores, como a declividade do terreno e o uso e ocupação do solo de forma irregular. A aplicação do modelo AHP, juntamente com as ferramentas de Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas (SIG), possibilitou a avaliação numérica e o melhor entendimento da vulnerabilidade ao

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

deslizamento na área de estudo. O uso de ferramentas como modelos matemáticos e SIG são tecnologias alternativas de baixo custo atualmente, que podem auxiliar os planejadores de todas as esferas governamentais, no processo de avaliação e planejamento adequado e eficiente do uso e ocupação do solo e da proteção ao meio ambiente.

Através das tabelas de ocorrência de deslizamentos, pode-se notar que a maioria dos eventos ocorreram nos meses de verão, sendo configurados um dos meses de maiores índices pluviométricos, segundo a Defesa Civil de Minas Gerais (2018) e também de atuação da ZCAS. Além disso, através do mapa de vulnerabilidade de deslizamentos na área de estudo, foi possível concluir que as regiões com maiores declividades e com ocupação urbana, agricultura e pastagem, possuem um grau de vulnerabilidade de classe alto a muito alto. Neste contexto, Ibirité foi o município que apresentou o maior número de eventos de deslizamento de massa, o que é esperado, dado que este possui o maior grau de vulnerabilidade ao deslizamento, em comparação com os outros municípios estudados. Contagem é o município com menores áreas ocupadas por declividades acima de 20% e, portanto, o município de menor vulnerabilidade entre os três estudados. Dos três municípios estudados, Ibirité apresenta a menor área com ocupação urbana, com predomínio de ocupação do solo por agricultura e pastagem; entretanto, apresenta 35,49% do seu território com vulnerabilidade alta e muito alta. Ao contrário, Belo Horizonte, o município com maior área urbana dentre os estudados (o território é quase todo ocupado por infraestrutura urbana), apresenta 22,51% de sua área com vulnerabilidade alta e muito alta à ocorrência de movimentação de massa. Os dados indicam que comparando a influência da declividade (critério ambiental) com a influência do tipo de uso e ocupação do solo (critério antrópico), o critério ambiental apresenta preponderância.

Portanto, este estudo demonstrou que, embora a atuação da ZCAS e a ocorrência de deslizamentos de massa sejam fenômenos intrínsecos no Brasil, isto é, que fazem parte da dinâmica natural que molda o relevo regional, a interferência antrópica, principalmente no que diz respeito ao avanço da urbanização em direção às encostas, tem acelerado e induzido processos de deslizamentos e desmoronamentos. Estas alterações têm criado cenários propícios para desastres naturais decorrentes de deslizamentos de massa, que tem ocorrido frequentemente nos últimos anos e décadas. Sob este ponto de vista, destaca-se ainda que os sistemas meteorológicos se inserem como um fator adicional na dinâmica dos desastres, pois tendem a alterar os padrões de precipitação que caracterizam os municípios estudados. O movimento de massa acontece quando a força do peso dos materiais e a força do escoamento da água conseguem superar a resistência ao cisalhamento do talude ou encosta. Alguns movimentos podem ocorrer com pouca precipitação, outros após dias consecutivos de chuvas e outros após a chuva ter terminado.

Cabe ainda ressaltar que outros sistemas de precipitação, tais como sistemas frontais, episódios de convergência de umidade, entre outros, podem levar a eventos de deslizamento de massa. Porém, este estudo encontrou que 58% dos eventos de deslizamento de massa, registrados no Si2D, ocorridos em Belo Horizonte, foram associados a eventos de ZCAS. Já em Contagem esse número é de 60%, e em Ibirité é de 89%.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, M. L. **Climatologia da Estação Chuvosa de Minas Gerais**: de Nimer (1977) à Zona de Convergência do Atlântico Sul. Revista Geonomos, vol IV, número 2. Belo Horizonte, Minas Gerais, 1998.

AMBDATA. **Variáveis Ambientais para Modelagem de Distribuição de Espécies.** Grupo de Modelagem para Estudos da Biodiversidade. Brasil, 2019.

ATLAS BRASILEIRO DE DESASTRES NATURAIS. **Uma série de 1991 a 2012**. Brasil, 2013.

ATLAS DO DESENVOLVIMENTO HUMANO NAS REGIÕES METROPOLITANAS BRASILEIRAS. **Regiões Metropolitanas de Belo Horizonte**. Belo Horizonte, Minas Gerais, 2018.

BRADY, N.C. **Natureza e propriedades dos solos**. 7. ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, São Paulo, Brasil, 1989.

BRANDÃO, R S; FISCH, G. F. **A zona de convergência do Atlântico Sul e seus impactos nas enchentes em áreas de risco em Guaratinguetá – SP**. Departamento de Ciências Ambientais. Universidade de Taubaté. São Paulo, 2008.

BRASIL. Lei nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979. Dispõe sobre o parcelamento do solo urbano e dá outras providências. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 20 dez. 1979. Seção 1.

CARVALHO, R. G; IDELFONSO, I. C. S. **Problemas de Uso e Ocupação do Solo e Degradação Ambiental no Núcleo Urbano de Tibau- RN.** Universidade do Estado do Rio Grande do Norte. Rio Grande do Norte, Brasil, 2008.

CARVALHO, L. M. V.; JONES, C.; LIEBMANN, B. **Extreme Precipitation Events in Southeastern South America and Large-Scale Convective Patterns in the South Atlantic Convergence Zone.** Journal of Climate, v. 15, p. 2377-2394, 2002.

CASTRO, A. L. C. **Manual de Planejamento em Defesa Civil.** Ministério da Integração Nacional, vol. 1. Brasília, Distrito Federal, 1999.

CASTRO, Jeanne Michelle Garcia. **Pluviosidade e movimentos de massa nas encostas de Ouro Preto.** 2006. 87 f. Tese de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, Minas Gerais, 2006.

CPTEC – CENTRO DE PREVISÃO DO TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS. **Climanálise do Brasil e Infoclima** – Brasil, 2019.

CRUZ, O**. A Serra do Mar e o litoral na área de Caraguatatuba:** contribuição à geomorfologia tropical litorânea. 181 f. Tese de Doutorado em Geografia, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1974.

DEFESA CIVIL. **Plano de Emergência Pluviométrica 2017/ 2018/2019**. Cedec /MG – Minas Gerais: GMG.

DIAS, B. S. V; DA SILVA. B. A. **AHP na modelagem da vulnerabilidade ambiental do mini corredor ecológico Serra das Onças (BA)**. Feira de Santana - BA, Brasil, 2014.

FERNANDES, N. F; GUIMARÃES, R. F; GOMES, R. A. T; VIEIRA, B. C; MONTGOMERY, D. R; GREENBERG, H. **Condicionantes Geomorfológicos dos Deslizamentos nas Encostas:** Avaliação de Metodologias e Aplicação de Modelo de Previsão de Áreas Susceptíveis. **Revista Brasileira de Geomorfologia,** vol. 2, Nº 1 (2001) 51-71, Brasil, 2001.

FONSECA, L. D. M; FILHO, E. I. F; FERREIRA, W. **Áreas de riscos a deslizamentos de terra em Juiz de Fora Minas Gerais. Revista de Geografia**, vol. 7, número 2, Universidade Federal de Juiz de Fora. Juiz de Fora, Minas Gerais, 2017.

HIGLAND, L, M; BOBROWSKY, P. **O Manual de Deslizamento:** Um guia para a Compreensão de Deslizamentos. **Science for a Changing World. United States Geological Survey**. Reston, Virginia, 2008.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Brasil, 2019.

INMET- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Diagnóstico Climático de Minas Gerais 2016/2017/2018**. Belo Horizonte, Minas Gerais, 2019.

LIMA, K. C.; SATYAMURTY, P.; FERNÁNDEZ, J. P. R. **Large-scale atmospheric conditions associated with heavy rainfall episodes in southeast Brasil**. Theoretical and Applied Climatology, v. 101, n. 1-2, p. 121-135, Brazil, 2010.

LUCAS, T. P. B. **Chuvas Persistentes e Ação da Zona de Convergência do Atlântico Sul da Região Metropolitana de Belo Horizonte.** Tese de Mestrado em Geografia, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, Minas Gerais, 2007.

MACHADO, R. R; ZACARIAS, G. M. Análise de Risco de Deslizamentos. **Revista Ordem Pública**. Brasil, 2016.

PFALTZGRAFF, P. A. S. **Mapa de Suscetibilidade a Deslizamentos na Região Metropolitana de Recife**. Recife, Brasil, 2007.

PRIMAVESSI, A. **A Agricultura em Regiões Tropicais:** Manejo Ecológico do Solo**.** Editora Nobel. São Paulo, Brasil, 2006.

QUADRO, M. F. L. **Estudo de Episódios de Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) sobre a América do Sul**. 1994. 94f. Tese de Mestrado em Meteorologia, INPE. São José dos Campos, São Paulo, 1994.

SAATY, T. L. **"Método de Análise Hierárquica":** Tradução de Wainer da Silveira e Silva, McGraw-Hill, Makron. São Paulo, Brasil, 1991.

SILVA, B. C. V. **Criando mapas de susceptibilidade erosiva no Arcgis**. Belo Horizonte, Minas Gerais, 2012.

S2iD - Sistema Integrado de Informações sobre Desastres. **Séries históricas em arquivos digitais.** Portal do Governo Brasileiro. Brasil, 2019.

TOMINAGA, L. K.; FERREIRA, C. J.; VEDOVELLO, R.; TAVARES, R.; SANTORO, J. **Ocupação urbana e risco a processos de movimentos de massa no litoral norte de São Paulo:** avaliação dos fatores geoambientais. In: Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 4, Brasília, DF, 2001. Anais, em CD ROOM ABGE, São Paulo.

VALERIANO, M. M. **Topodata**: guia para utilização de dados geomorfológicos locais – INPE. São José dos Campos, São Paulo, 2008.

VARGAS, L. V; CARDIAS, M. E. M; SOUZA, B. S. P. **Deslizamentos e Erosão Superficial em Itaara/RS:** Fundamentação como Subsídio ao Mapeamento de Feições Geomorfológicas. In: XVI Simpósio de Ensino, Pesquisa e Extensão da Universidade Franciscana. Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2012.

VIEIRA, R. **Um olhar sobre a paisagem e o lugar como expressão do comportamento frente ao risco de deslizamento**. Florianópolis, Santa Catarina, 2004.

VILLELA, J. R. **A Zona de Convergência do Atlântico Sul:** o novo fenômeno explica chuvas que marcaram o verão. Scientific American Brasil, ed. 11, p. 14-15, abr. Brasil, 200