

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE GEOCIÊNCIAS**

**APLICAÇÃO DO MODELO SINMAP PARA ANÁLISE DE RISCO NA
MICROBACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO IPIRANGA EM JUIZ DE FORA –
MG**

JOÃO PEDRO DE ALMEIDA CASTANHEIRA GAMA

**JUIZ DE FORA
2022**

JOÃO PEDRO DE ALMEIDA CASTANHEIRA GAMA

**APLICAÇÃO DO MODELO SINMAP PARA ANÁLISE DE RISCO NA
MICROBACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO IPIRANGA EM JUIZ DE FORA –
MG**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Geografia da Universidade Federal de Juiz de Fora como requisito para obtenção do título de bacharel.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Tavares Zaidan

JUIZ DE FORA

2022

Ficha catalográfica elaborada através do programa de geração automática da Biblioteca Universitária da UFJF, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Castanheira Gama, João Pedro de Almeida.

APLICAÇÃO DO MODELO SINMAP PARA ANÁLISE DE RISCO NA MICROBACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO IPIRANGA EM JUIZ DE FORA – MG / João Pedro de Almeida Castanheira Gama. - 2022.

43 p. : il.

Orientador: Ricardo Tavares Zaidan

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Instituto de Ciências Humanas, 2022.

1. Geoprocessamento. 2. Modelagem. 3. Escorregamento. 4. SinMAP. I. Zaidan, Ricardo Tavares, orient. II. Título.

JOÃO PEDRO DE ALMEIDA CASTANHEIRA GAMA

**APLICAÇÃO DO MODELO SINMAP PARA ANÁLISE DE RISCO NA
MICROBACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO IPIRANGA EM JUIZ DE FORA –
MG**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Geografia da Universidade Federal de Juiz de Fora como requisito para obtenção do título de bacharel.

Aprovado em ___ de ___ de _____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Ricardo Tavares Zaidan - Orientador
Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof. Dr. César Henrique Barra Rocha
Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof. Dr. Fabio Sanches
Universidade Federal de Juiz de Fora

**Juiz de Fora
2022**

Aos meus pais e avós que me deram o que é necessário para trilhar meu próprio caminho, dedico este trabalho.

RESUMO

A geografia é um campo científico extremamente amplo, com diversas vertentes de estudo entre a geografia humana, física e o campo das geociências. O campo do geoprocessamento, nascido com o advento da era da informática, vem trazendo diversos avanços às técnicas utilizadas em estudos e mapeamentos. Para o planejamento de projetos de uso da superfície, estudos de predição do risco a movimentos de massa são ferramentas úteis, e para a elaboração destes, a modelagem é uma ferramenta importante. Este trabalho busca realizar o mapeamento do risco a escorregamentos na Microbacia Hidrográfica do Córrego Ipiranga, no município de Juiz de Fora, Minas Gerais. Para isso, foi feita a análise da Suscetibilidade a escorregamentos obtida a partir da aplicação do modelo SinMAP, e foi realizado um zoneamento do Uso e Ocupação da superfície, ambos referentes ao ano de 2021. Estes mapeamentos foram então sobrepostos para a obtenção do mapa de risco a escorregamentos referente a área de estudo.

Palavras chave: Geoprocessamento, Modelagem, Escorregamentos, Suscetibilidade, Risco, SinMAP.

ABSTRACT

Geography is an extremely broad scientific field, with several different fields of study amidst human and physical geography and the geosciences. The field of geoprocessing was brought forth along with the advent of the informatic era, bringing several advancements to the techniques used in geographical studies. For planning land use projects, studies to predict the risk of landslides are a useful tool, and to realize such, modeling is an important tool. The goal of this paper is to map the risk of landslides in the Córrego Ipiranga Watershed, in the municipality of Juiz de Fora, Minas Gerais. For such, the landslide susceptibility was delineated through the application of the SinMAP model, and then a classification of the surface's use was carried out, both referring to the year 2021. The results were then overlaid as to obtain a map for Risk of Landslides referring to the study area.

Keywords: Geoprocessing, Modeling, Landslides, Susceptibility, Risk, SinMAP.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Representação das classes de movimentos de massa de acordo com o tipo de movimento proposto por Varnes (1978).	16
Figura 2: Classificação dos tipos de movimento de massa de acordo com as características físicas do movimento e do solo como proposto por Augusto Filho (1992) e adaptado por Tominaga (2009).	17
Figura 3: Relação de Risco por Marcelino (2008) adaptado de Tobin e Montz (1997).	20
Figura 4: Diferentes tipos de risco como propostos por Cerri e Amaral (1998).	21
Figura 5: Limite da MBHCI. Fonte: Elaboração própria. Fonte de dados: Esteio (2007), Google Earth (2021).	22
Figura 6: Litologia da MBHCI. Fonte: Embrapa (2014), Google Earth (2021).	23
Figura 7: Pedologia da MBHCI. Fonte: Embrapa (2014), Google Earth (2021).	24
Figura 8: Representação dos atributos obtidos por meio de levantamentos de campo realizados por COSTA (2019)	27
Figura 9: Apresentação das classes do índice de estabilidade adaptado de PACK et al. (2005).	28
Figura 10: Representação do Uso e Ocupação da Superfície. Fonte: Esteio (2007), Google Earth (2021), Landsat 7 (2021), classificação feita pelo próprio autor.	31
Figura 11: Distribuição das classes de uso e ocupação relativo ao mapa de Uso e Ocupação da Superfície. Fonte: Elaboração pelo próprio autor.	32
Figura 12: Mapa de estabilidade da bacia. Fonte: Esteio (2007), Google Earth (2021) classificação feita pelo próprio autor.	34
Figura 13: Distribuição das classes de estabilidade segundo o mapa. Fonte: Elaboração pelo próprio autor.	34
Figura 14: Representação das classes de Risco na MBHCI. Fonte: Esteio (2007), Google Earth (2021), Landsat (2021). Elaboração pelo próprio autor.	36
Figura 15: Percentual de ocorrência das classes de risco a escorregamento de acordo com a representação na figura 13. Fonte: Elaboração pelo próprio autor.	37

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
2 OBJETIVO	10
2.1 OBJETIVO ESPECÍFICO	10
3 EMBASAMENTO TEÓRICO	11
3.1 USO E OCUPAÇÃO DA SUPERFÍCIE	11
3.2 MODELAGEM E PREVISÃO	13
3.3 MOVIMENTOS DE MASSA	14
3.4 RISCO E SUSCETIBILIDADE	18
4 ÁREA DE ESTUDO	22
5 MATERIAIS E MÉTODOS	25
5.1 MAPEAMENTO DO USO E OCUPAÇÃO DA SUPERFÍCIE	25
5.2 MODELAGEM DA SUSCETIBILIDADE A ESCORREGAMENTOS	26
5.3 MAPEAMENTO DAS ÁREAS DE RISCO A ESCORREGAMENTOS	28
6 RESULTADOS	30
6.1 O USO E OCUPAÇÃO NA MBHCI	30
6.2 MODELAGEM DA SUSCETIBILIDADE	33
6.3 MAPEAMENTO DE RISCO	36
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	39
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	40

1 INTRODUÇÃO

Desde os primórdios da geografia, a necessidade de se espacializar elementos sempre demonstrou grande importância para estudos de cunho geográfico. Esta necessidade levou à evolução progressiva do campo responsável pela realização de mapeamentos, a cartografia, até os dias de hoje; no entanto, somente isto não é mais suficiente para suprir a demanda por dados espacializados cada vez mais precisos.

Apesar da geografia ser uma ciência antiga, foi apenas com o advento da informática que surgiu o geoprocessamento, focado no processamento eletrônico de dados geográficos para diversas finalidades. Mesmo a nomenclatura do geoprocessamento sendo uma criação recente, este campo possui diversas correlações com algumas práticas da cartografia datadas de antes da era da informática. (ZAIDAN, 2017).

A modelagem é um viés importante para a execução de estudos aprofundados sobre diversos fenômenos naturais, como movimentos de massa, por exemplo. Movimentos de massa são processos naturais de ocorrência constante e de grande importância dentre os processos modeladores do relevo, sendo eventos abarcando numa escala ampla de magnitude que podem ser desencadeados por uma miríade de fatores condicionantes. (GUERRA, 1995)

Em áreas ocupadas por estruturas antrópicas, no entanto, estes processos são passíveis a se tornarem catástrofes dada a possibilidade de perda material e de vida humana. O foco da ocorrência de movimentos de massa se dá em áreas de relevo acidentado e declivoso, porém os fatores que influenciam tanto o desencadeamento quanto a destrutibilidade destes são muitos, como por exemplo a litologia de origem da área, os fatores físicos do solo como a coesão e a profundidade, a cobertura vegetal presente que pode ou não oferecer sustentação, e o fluxo hídrico presente. Estas características que podem influenciar os movimentos de massa são utilizadas na modelagem de predição, que busca, por meio de cálculos acerca dos fatores ligados à movimentos de massa, definir a suscetibilidade, ou seja, a probabilidade de ocorrência destes em áreas de estudo pré-definidas.

A micro-bacia hidrográfica do Córrego Ipiranga, na porção sul do perímetro urbano do município de Juiz de Fora, está sob pressão da expansão urbana do município. Esta bacia apresenta relevo acidentado, passível à realização de estudos

relativos à quantificação da susceptibilidade a movimentos de massa, que podem se tornar áreas de risco caso ocupadas.

Este estudo busca realizar uma aplicação demonstrativa de uma metodologia de zoneamento de áreas de risco para identificar áreas pré-estabelecidas e áreas potenciais de risco por meio da análise do uso e ocupação da superfície e da modelagem de predição de escorregamentos utilizando o modelo SinMAP de mapeamento de estabilidade de encostas.

2 OBJETIVO

Zonear áreas de risco a escorregamento estabelecidas e potenciais na microbacia hidrográfica do córrego Ipiranga, em Juiz de Fora, MG.

2.1 OBJETIVO ESPECÍFICO

Mapear o uso e ocupação da superfície, realizar a modelagem da susceptibilidade a escorregamentos e gerar os mapas de susceptibilidade e risco a movimentos de massa na bacia.

3 EMBASAMENTO TEÓRICO

Para o desenvolvimento deste trabalho, foi realizada uma revisão bibliográfica acerca do Zoneamento do Uso e Ocupação da Superfície, a modelagem de predição, movimentos de massa, e por fim, a conceituação de risco.

3.1 USO E OCUPAÇÃO DA SUPERFÍCIE

Para a modelagem de uso e ocupação da superfície, foram levados em conta a Lei Federal 6766/79 e o Decreto Estadual 44.646/07 sobre o uso e parcelamento do solo.

A Lei Federal 6766/79 rege o parcelamento do solo para fins urbanos em todo o país, deixando a cargo dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios para estabelecer normas complementares; no caso do estado de Minas Gerais, o Decreto Nº 44646, de 31 de outubro de 2007, se encaixa nesse ponto.

Em linhas gerais, as legislações de parcelamento do solo se subdividem desde a esfera federal até o âmbito municipal com um intuito unificado de reduzir a probabilidade de ocupação indevida de zonas precárias, o que geraria áreas de risco.

Para fins de modelagem, as classes de uso e ocupação da superfície são divididas em três macro categorias:

- Uso da Terra
- Ocupação
- Cobertura Vegetal

Estas categorias englobam de áreas rurais a áreas urbanas ou edificadas. As Áreas Edificadas são comumente subdivididas em áreas de uso Institucional e áreas de Uso Misto; Áreas de Uso Institucional, por sua vez, podem ser divididas em Áreas Edificadas, Pavimentadas, Praças e Jardins.

Relativo à Áreas Não Edificadas, podem-se classificar áreas de Água, normalmente lagos e afins, Áreas Desmatadas ou de Solo Exposto, e áreas baseadas na cobertura vegetal, divididas em áreas de Gramíneas ou Vegetação Rasteira, onde a vegetação pode estar em um estado inicial de regeneração ou a área em questão pode estar designada para uso pastoril, áreas de Vegetação Arbustiva, caracterizadas

por vegetação de médio porte, podendo ser atribuídas a áreas de plantio ou zonas em estado de regeneração da vegetação nativa, e áreas com Vegetação Arbórea, identificadas como área de vegetação densa, composta por árvores de médio e grande porte.

A identificação dessas áreas pode ser feita de diversas maneiras. A metodologia mais comum é pelo processo manual de Interpretação Visual de imagens de satélite, que segue um conjunto de seis etapas para a criação de uma classificação do uso e ocupação da superfície; As três primeiras etapas se configuram em: Detecção, Reconhecimento e Identificação, e Delimitação, onde nestas etapas iniciais o técnico deve analisar a imagem a fim de identificar as diferentes feições características das classes a serem estabelecidas e delimitá-las. Para tal, são levados em conta os fatores de Tonalidade, Textura, Tamanho, Forma, Sombra, Padrão, Densidade, Declividade, Associação, Adjacência e Localização de cada uma das feições identificadas. Pode-se fazer também o uso de chaves de interpretação, que facilita o processo de análise visual de cada feição para facilitar as etapas seguintes, que consistem em Análise e Classificação, nas quais o técnico deve atribuir às feições identificadas e separadas as classes definidas, e por fim, a etapa de Conclusão, que serve para conferir o produto final. (FERNANDES et al., 2016)

A segunda técnica de análise de uso e ocupação da superfície relevante a este trabalho, e relacionada à técnica anterior, é a técnica de Classificação Automatizada, mais especificamente a Classificação Supervisionada. A execução desta se baseia numa mescla entre a análise visual, o conhecimento da área estudada por parte do técnico, e o uso de algoritmos de classificação baseados em amostragem. Esta é uma etapa fundamental para que o algoritmo de classificação identifique de forma correta diferentes feições com espectro similar ao ser “alimentado” com classes pré estabelecidas que apontam os limites em que uma determinada classe deve se encaixar.

Essa técnica possui três etapas principais para sua execução: Primeiro, devem-se definir as classes de interesse a serem calculadas pelo software; Segundo, é feita classificação por meio de uma análise espectral, pixel a pixel, de uma imagem não tratada de satélite; e por fim, em Terceiro, é realizado um pós-processamento para filtragem de pixels isolados e correção de possíveis falhas por meio do *input* direto do técnico.

3.2 MODELAGEM E PREVISÃO

Dentro das geociências, uma área de estudo em crescimento na era moderna é o campo da modelagem, e relacionado a este, o geoprocessamento.

A modelagem na geografia física é um fator presente desde sua concepção, porém somente em tempos modernos veio a se tornar um campo de estudo próprio por meio do avanço da tecnologia e da criação de uma modelagem auxiliada por computadores.

Os modelos matemáticos adotados nos dias de hoje possuem diversas funções e aplicações, sendo divididos em diferentes tipos, como modelos empíricos, que se baseiam, resumidamente, apenas em dados obtidos e isolados das leis da física; ou modelos determinísticos e estocásticos, que podem se basear em modelos empíricos, ou tomar as leis da física como base para realizarem suas funções (FERNANDES, 2016).

Por mais que a modelagem em si seja uma área de estudo, ela não está isolada dentro do campo da geografia física, estando fortemente relacionada à área do geoprocessamento. Este campo, que é um ramo técnico computacional no meio da geotecnologia, se utiliza de ferramentas técnicas e métodos teóricos relacionados à coleta, armazenamento, tratamento e processamento de dados, e, para tal, se utiliza amplamente de uma gama de modelos matemáticos para geração de informações espaciais relacionadas à geografia física (ZAIDAN, 2017).

É por meio da utilização de SIGs, ou Sistemas de Informação Geográfica, que é feita a interface entre o geoprocessamento e a modelagem na era moderna da informação, sendo estes programas as ferramentas principais para execução de modelos diversos em um meio digital.

Se tratando de movimentos de massa, uma das formas mais utilizadas para estudá-los é a previsão da ocorrência. Para tal, é comum a utilização de modelos capazes de, em conjunto com interação de seu operador, interpretar fatores físicos ambientais diversos para, por meio de simulações, representar e prever a susceptibilidade à ocorrências destes processos. A partir dos produtos gerados por estes modelos, é possível até mesmo representar de forma quantificada o risco aplicado à população.

A modelagem, como estabelecido por Christofolleti (1999), é definida por simplificações matemáticas de feições pertencentes a sistemas da realidade,

baseados em aproximações promovidas por simulações alimentadas por dados e variáveis limitadas, sendo altamente subjetivos devido a este fator.

No caso da análise da susceptibilidade à ocorrência de movimentos de massa, existe uma variedade de metodologias desenvolvidas ao longo de uma história diversificada da modelagem no campo das geotecnologias (ZAIDAN & FERNANDES, 2009).

Tais modelos se baseiam em conceitos e fundamentos, sendo mais relevante à execução deste estudo os modelos do tipo Análogo Abstrato Matemático Probabilístico, como é o caso do modelo SinMAP, de previsão de escorregamentos translacionais em encostas.

Este modelo, desenvolvido por Pack (et al, 1998), é baseado no modelo teoria do talude infinito com umidade (poropressão) obtido a partir da análise de dados topográficos de equilíbrio (steady-state), utilizando Modelos Digitais de Elevação (DEM) para computar as informações necessárias e, junto com configurações manuais baseadas em dados relevantes ao solo, gerar mapeamentos de susceptibilidade a movimentos de massa (PACK et al. 2005).

3.3 MOVIMENTOS DE MASSA

Os movimentos de massa são objeto de estudo e discussão na geografia física desde seus primórdios, sendo agentes importantes na modelagem e evolução do relevo por serem processos de dinâmica superficial de transporte de material não consolidado desencadeado pela força da gravidade e condicionado por processos exógenos (Christofolletti, 1980).

Em geral, há uma forma de consenso no que se pode ser caracterizado como movimento de massa, porém dentre os autores neste campo de pesquisa, há uma ampla gama de pontos de vista em relação à ocorrência destes.

Apesar de movimentos de massa serem amplamente conhecidos, as classificações em si possuem diversas variações de acordo com a área de estudo, o período de tempo e a região em que é estudado. Historicamente, a primeira classificação de peso acerca de movimentos de massa, reconhecida por autores influentes como tal, foi a de Sharpe (1938) em seu livro "*Landslides and Related Phenomena: A Study of Mass Movements of Soil and Rocks*".

Este se baseou em termos anteriormente utilizados por J. D. Dana (1864) no livro "*Manual of Geology: Treating of the Principles of the Science, with Special Reference to American Geological History, for the Uses of Colleges, Academies and Schools of Science*", onde o autor classificou três formas de movimentos de massa, porém não os nomeou.

Posterior à classificação de Sharpe (1938), outras classificações notáveis foram apresentadas por Varnes (1958; 1978) e em sequência por Hutchinson (1988; 1989). A proposta de Varnes (1978) é classificada a partir da modalidade do movimento bem como o tipo de material transportado, e se baseia na identificação dos fatores condicionantes presentes no espaço. No Brasil também existem classificações de peso, como os trabalhos de Vargas e Pichler (1957), Freire (1965) e Guidicini e Nieble (1976).

A classificação de Varnes (1978) se fundamentou em dez atributos físicos diferentes para estabelecer uma tabela de classificação (Tabela 1). Sendo uma das primeiras classificações sólidas adotadas, os aspectos e processos utilizados para categorizar os diferentes tipos de movimentos de massa adotados pelo autor serviriam de inspiração para classificações futuras desenvolvidas a partir desta, como a proposta de Augusto Filho (1992), que aplicou os parâmetros de Varnes (1978) de forma sucinta ao ambiente tropical e subtropical do Brasil, dividindo as classes de movimento de massa recorrentes nesta área em quatro grupos principais, baseados no tipo do movimento, que por sua vez é fundamentado no conteúdo hídrico presente no material deslocado. A figura a seguir (figura 1) ilustra a classificação de movimentos de massa proposta por Varnes (1978).

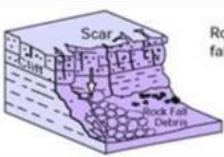
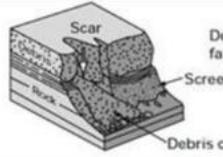
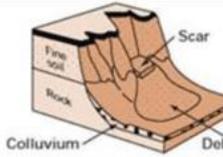
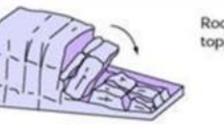
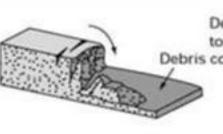
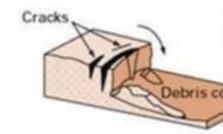
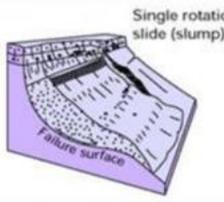
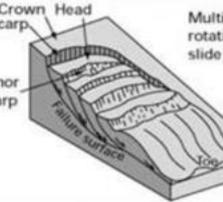
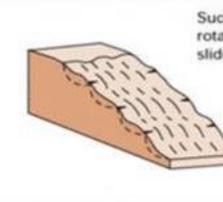
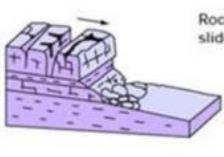
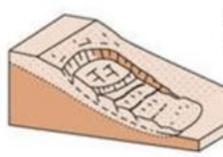
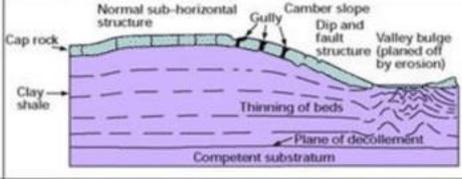
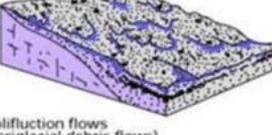
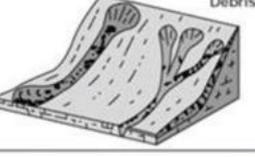
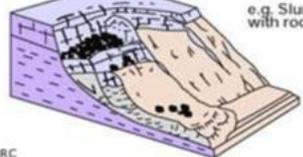
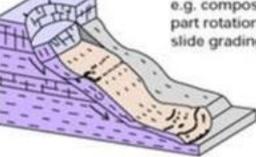
		Material		
Movement type		ROCK	DEBRIS	EARTH
FALLS		 Rock fall	 Debris fall Scree Debris cone	 Earth fall Colluvium Debris cone
	TOPPLES	 Rock topple	 Debris topple Debris cone	 Earth topple Debris cone
SLIDES	Rotational	 Single rotational slide (slump) Failure surface	 Multiple rotational slide Crown Scarp Head Scarp Minor Scarp Failure surface	 Successive rotational slides
	Translational (Planar)	 Rock slide	 Debris slide	 Earth slide
SPREADS				 Earth spread
FLOWS		 Solifluction flows (Periglacial debris flows)	 Debris flow	 Earth flow (mud flow)
	COMPLEX	 e.g. Slump-earthflow with rockfall debris		 e.g. composite, non-circular part rotational/part translational slide grading to earthflow at toe

Figura 1: Representação das classes de movimentos de massa de acordo com o tipo de movimento proposto por Varnes (1978).

A proposta de Guidicini e Nieble (1984), baseada nos estudos acerca de Freire (1965), se baseava em onze parâmetros físicos-mecânicos-causais para separar os tipos de movimento de massa em classes e subtipos, enquanto Fernandes e Amaral (1996) se basearam na classificação de Hutchinson (1988), que contava com aspectos baseados na complexidade dos sistemas físico-químicos presentes no material deslocado.

Em termos gerais, as classificações convergem em diversos fatores, como nomenclaturas e aspectos gerais nos quais se baseiam os tipos de movimentos de massa estabelecidos. Para a finalidade deste trabalho, foi utilizada a classificação proposta por Augusto Filho (1992), de acordo com a figura 2.

Processos	Dinâmica/Geometria/Material
Rastejos	<ul style="list-style-type: none"> •Vários planos de deslocamentos (internos) •Velocidades muito baixas (cm/ano) a baixas e decrescentes com a profundidade •Movimentos constantes, sazonais ou intermitentes •Solo, depósito, rocha alterada/fraturada •Geometria indefinida
Escorregamentos	<ul style="list-style-type: none"> •Poucos planos de deslocamento (externos) •Velocidades médias (m/h) a altas (m/s) •Pequenos a grandes volumes de material •Geometria e materiais variáveis: Planares – solos pouco espessos, solos e rochas com um plano de fraqueza Circulares – solos espessos homogêneos e rochas muito fraturadas Em cunha – solos e rochas com dois planos de fraqueza
Quedas	<ul style="list-style-type: none"> •Sem planos de deslocamento •Movimentos tipo queda livre ou em plano inclinado •Velocidades muito altas (vários m/s) •Material rochoso •Pequenos a médios volumes •Geometria variável: lascas, placas, blocos, etc. •Rolamento de matacão •Tombamento
Corridas	<ul style="list-style-type: none"> •Muitas superfícies de deslocamento •Movimento semelhante ao de um líquido viscoso •Desenvolvimento ao longo das drenagens •Velocidades médias a altas •Mobilização de solo, rocha, detritos e água •Grandes volumes de material •Extenso raio de alcance, mesmo em áreas planas

Figura 2: Classificação dos tipos de movimento de massa de acordo com as características físicas do movimento e do solo como proposto por Augusto Filho (1992) e adaptado por Tominaga (2009).

Dentre as classificações estabelecidas por diversos autores, movimentos de massa podem geralmente ser classificados em quatro classes principais, sendo essas Quedas, Corridas, Escorregamentos e Rastejos, como estabelece Augusto Filho (1992). A diferença principal está na velocidade e tipo do movimento e no conteúdo do material transportado, onde Quedas apresentam a maior velocidade de movimento, sendo caracterizadas por objetos em queda livre, comumente de material rochoso, enquanto Rastejos apresentam velocidades baixas de movimento constante de solo e material rochoso alterado. No geral, movimentos de massa podem ser

desencadeados por uma ampla gama de fatores, sendo propiciados por diversos tipos de eventos catalisadores, notoriamente abalos sísmicos e vulcanismo.

No entanto, em nosso país, desprovido de tais fatores, os movimentos de massa podem ser classificados como puramente efeito da sazonalidade, sendo afetados diretamente pelo fluxo de água presente no solo. Dentre os tipos de movimentos de massa classificados, um fator de grande importância na divisão destes é o conteúdo hídrico presente no material deslocado e a profundidade do pacote de solo em relação à rocha. A água possui interações mecânicas e químicas com os minerais presentes no solo e rochas, e dada infiltração apropriada, pode vir a desencadear processos de desmantelamento de pacotes do solo, ou intensificar a erosão de falhas e fraturas em blocos rochosos, resultando em movimentos de massa de diversos tipos.

Para o modelo aplicado a esta demonstração, os movimentos do tipo Escorregamento são o foco principal. Dentre estes, Escorregamentos Translacionais Rasos são o alvo de predição do modelo SinMAP. Estes movimentos de massa são caracterizados por um deslocamento de pacotes inconsolidados de solo raso sobre rocha, desencadeado por fatores relativos à umidade do solo, como analisa o modelo.

Bem como a poropressão causada pelo fluxo hidrológico, a ocorrência de movimentos de massa é afetada por diversos outros fatores condicionantes, como a densidade e compactação do solo, a presença de vegetação, a declividade do relevo pareada com a gravidade, e a presença de interferência antrópica, são alguns dos agentes responsáveis pelo desencadeamento de deslizamentos e afins. Baseado nisso e nos princípios da mecânica dos solos, ferramentas de análise como o modelo SinMAP demonstram extrema importância na modelagem para predição de risco de ocorrência de movimentos de massa.

3.4 RISCO E SUSCETIBILIDADE

O conceito de risco está presente por toda parte em estudos ambientais e na geografia física envolvendo o homem; a sua definição, no entanto, possui algumas interpretações diferentes, cunhadas no decorrer de um longo processo de evolução da conceituação de risco e efeitos correlatos.

Inicialmente, situações relacionadas ao que pode ser chamado de risco eram consideradas somente a partir da visão dos riscos naturais e sua possível interação com artigos humanos. Essa interpretação não buscava uma compreensão

aprofundada das causas do risco, definindo automaticamente os eventos como “riscos naturais”.

Atualmente, os conceitos de risco e seus correlatos evoluíram junto com a visão geográfica da relação homem-natureza, buscando entender as interações que possivelmente levam a criar ou potencializar um risco considerado natural, tomando como base a visão anterior do conceito de risco como “A chance de ocorrência de eventos naturais que possam prejudicar de alguma forma a sociedade humana” e buscando mais a fundo a origem dos processos que podem desencadear tais eventos.

Primeiramente, para compreender os conceitos de risco e seus correlatos, deve-se entender como é caracterizado um Desastre. De acordo com Marcelino (2008), caso um evento natural venha a produzir danos e prejuízos que sejam extensivos o suficiente para serem superados com dificuldades pelas comunidades afetadas, será então considerado um Desastre. Tobin e Montz (1997) cunharam as relações entre Perigo e Desastre, que posteriormente foram adaptadas por Marcelino (2008) onde este estabelece os três conceitos fundamentais para a avaliação de risco: Perigo (*Hazard*), Vulnerabilidade e Risco (*Risk*). Para entender a relação entre eles, deve-se primeiro entender o conceito de vulnerabilidade, o qual o autor estabelece como a fragilidade do ambiente socialmente construído, ou seja, a capacidade de uma dada comunidade de suportar as consequências de um Desastre.

Não se deve, também, confundir os conceitos de Risco e Perigo. De acordo com a definição de Marcelino (2008), Perigo é compreendido simplesmente como a probabilidade de ocorrência de um evento natural danoso, enquanto o Risco é caracterizado como a probabilidade de ocorrência de perdas ou danos à vida e ao patrimônio, proveniente da interação entre um evento natural e os fatores de vulnerabilidade de um dado local; ou seja, este é definido como a interação entre o Perigo e a Vulnerabilidade, resultando em Risco, como ilustra a figura 3 a seguir.

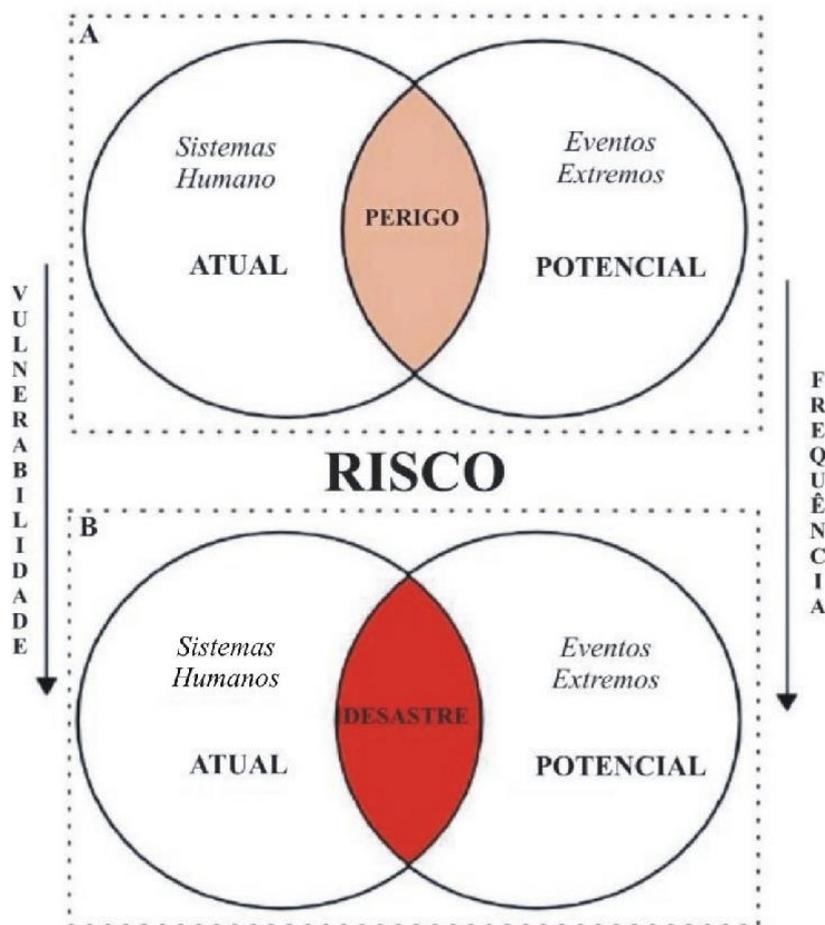


Figura 3: Relação de Risco por Marcelino (2008) adaptado de Tobin e Montz (1997).

O conceito de Susceptibilidade é correlato ao conceito de perigo, sendo este uma forma de se quantificar a possibilidade de ocorrência de algum processo natural, por exemplo, movimentos de massa. Caso este processo, ou evento, possa acarretar em danos econômicos e sociais, ou seja, perdas materiais ou de vida, a probabilidade de ocorrência deste se caracteriza como risco (Cerri e Amaral, 1998).

Dada a conceituação de risco, Cerri e Amaral (1998) estabelecem também uma categorização dos diferentes tipos de Riscos Ambientais, baseando-se na premissa de identificar os fatores condicionantes para a ocorrência de um dado evento e utilizando estes para classificá-los. A figura 4 a seguir apresenta, de forma mais detalhada, as divisões de risco estabelecidas por Cerri e Amaral (1998).

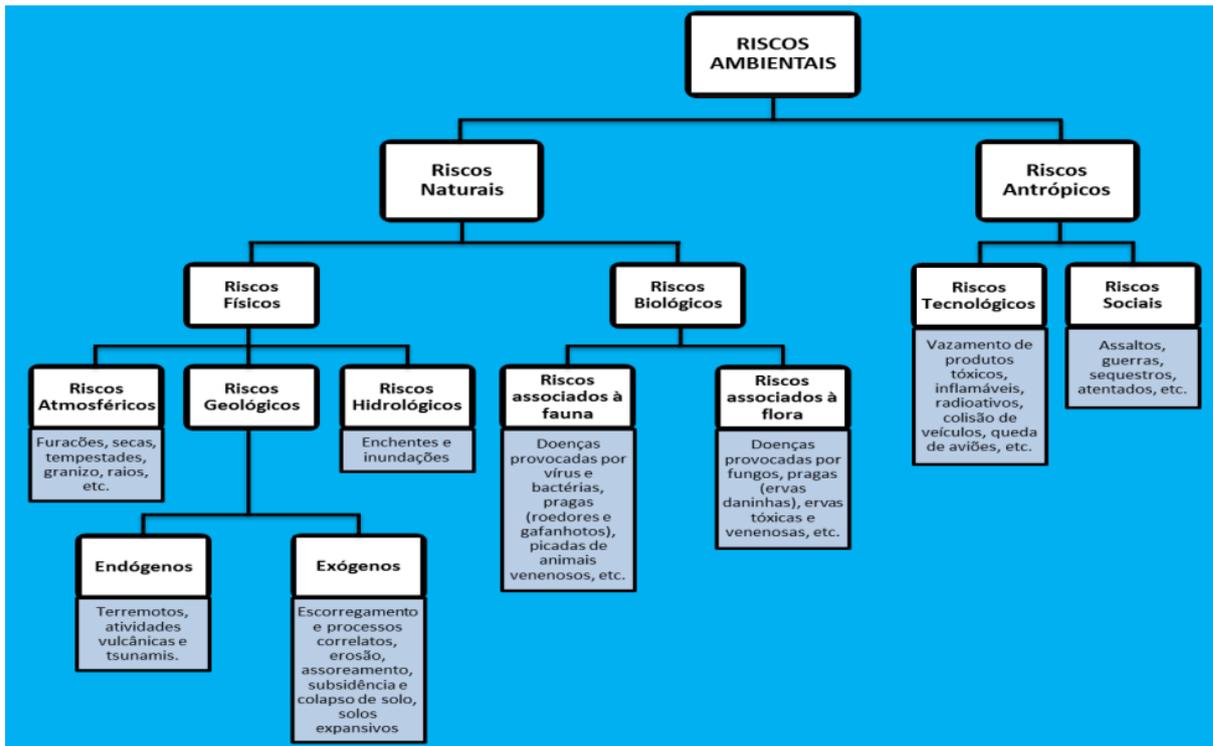


Figura 4: Diferentes tipos de risco como propostos por Cerri e Amaral (1998).

As classes de risco apresentadas pelos autores foram divididas em duas macro classificações como apresentadas na figura 4: Riscos Naturais e Riscos Antrópicos, onde a primeira possui duas subdivisões baseadas em fatores Físicos e fatores Biológicos, e a segunda é subdividida em riscos Tecnológicos e riscos Sociais.

4 ÁREA DE ESTUDO

Para esta aplicação, foi selecionada a Microbacia Hidrográfica do Córrego Ipiranga (MBHCI) como área de estudo, localizada na margem esquerda do Rio Paraibuna, na porção sul do perímetro urbano do município de Juiz de Fora, MG. Esta bacia possui uma área de aproximadamente 213.000 m², e seu canal principal se estende por aproximadamente 10,3km, desaguando diretamente no Rio Paraibuna. A figura 5 ilustra o limite e a drenagem na MBHCI.

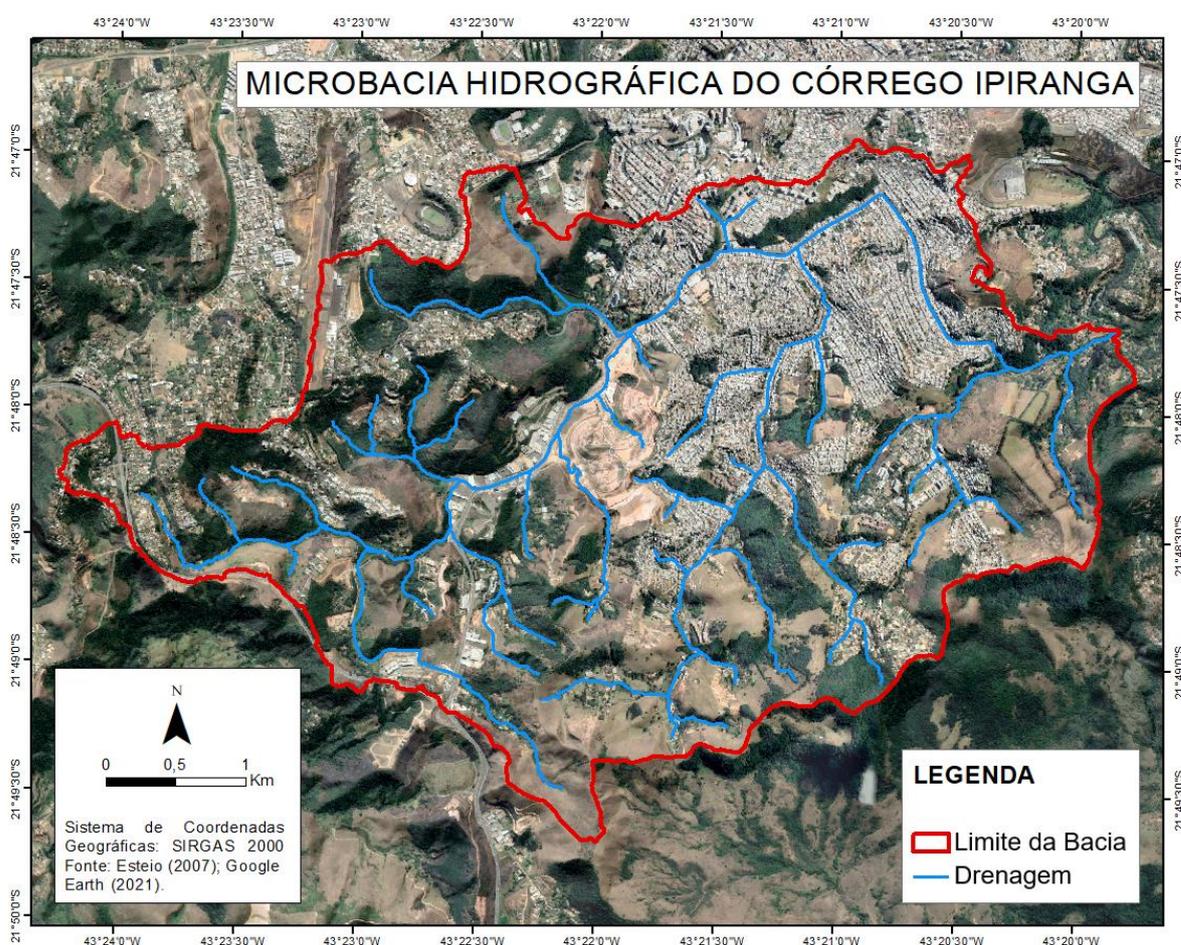


Figura 5: Limite da MBHCI. Fonte: Elaboração própria. Fonte de dados: Esteio (2007), Google Earth (2021).

De acordo com a classificação dos domínios morfoestruturais de Ab'Saber (2003), a área da bacia está inserida no domínio de mares de morro, onde o relevo predominante é o de morros mamelonares que se estendem por toda a paisagem. Segundo a classificação internacional de Köppen-Geiger, o clima do município de Juiz

de Fora, no qual se insere a microbacia, se enquadra como Cwa, ou Clima Subtropical Úmido.

A MBHCI está dividida entre as litofácies de ortognaisse granulítico do Complexo Juiz de Fora, de origem Paleoproterozóica, e parte da Formação São Vicente do Grupo Andrelândia, composta principalmente por rochas metamórficas de origem Neoproterozóica; a representação da litologia pode ser observada na figura 6, seguida do mapa representando a pedologia da bacia.

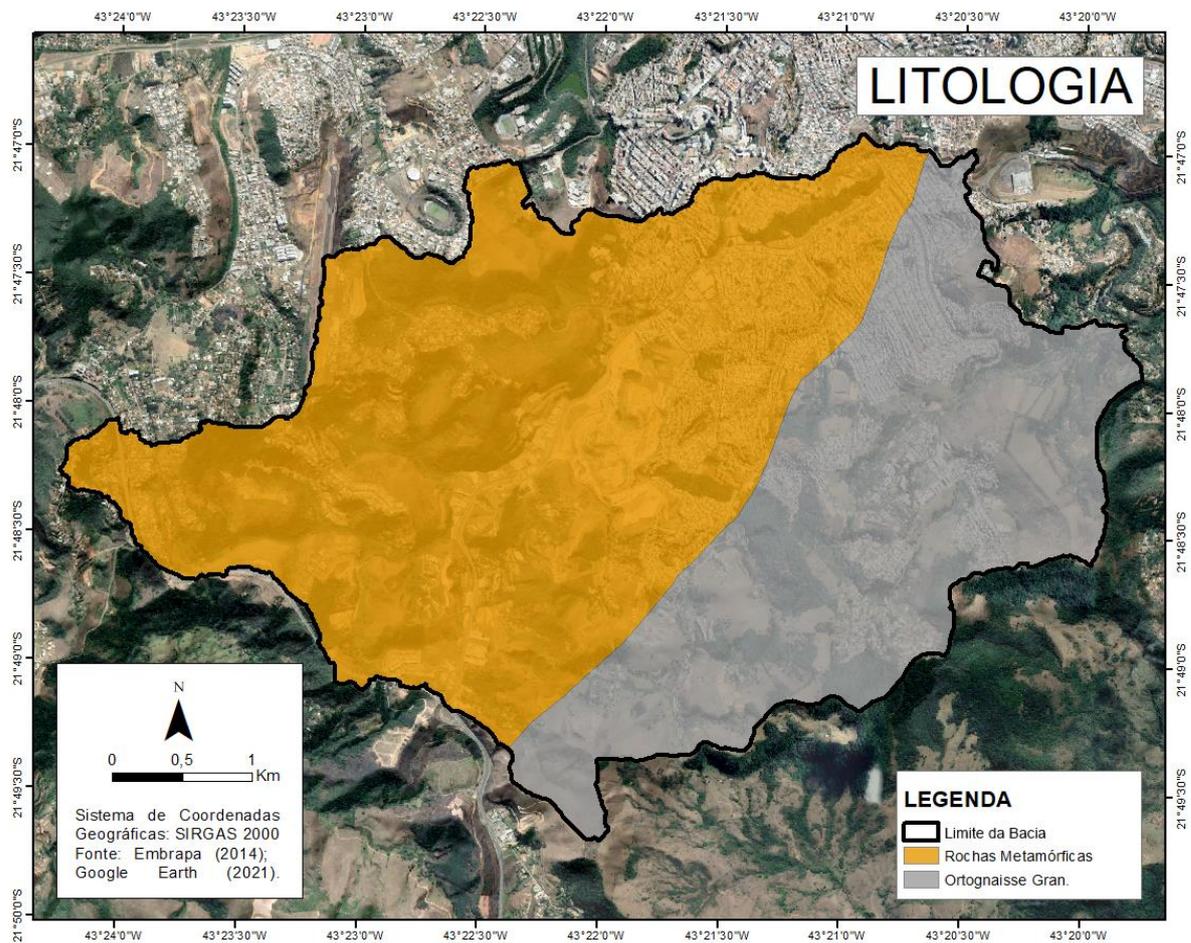


Figura 6: Litologia da MBHCI. Fonte: Embrapa (2014), Google Earth (2021).

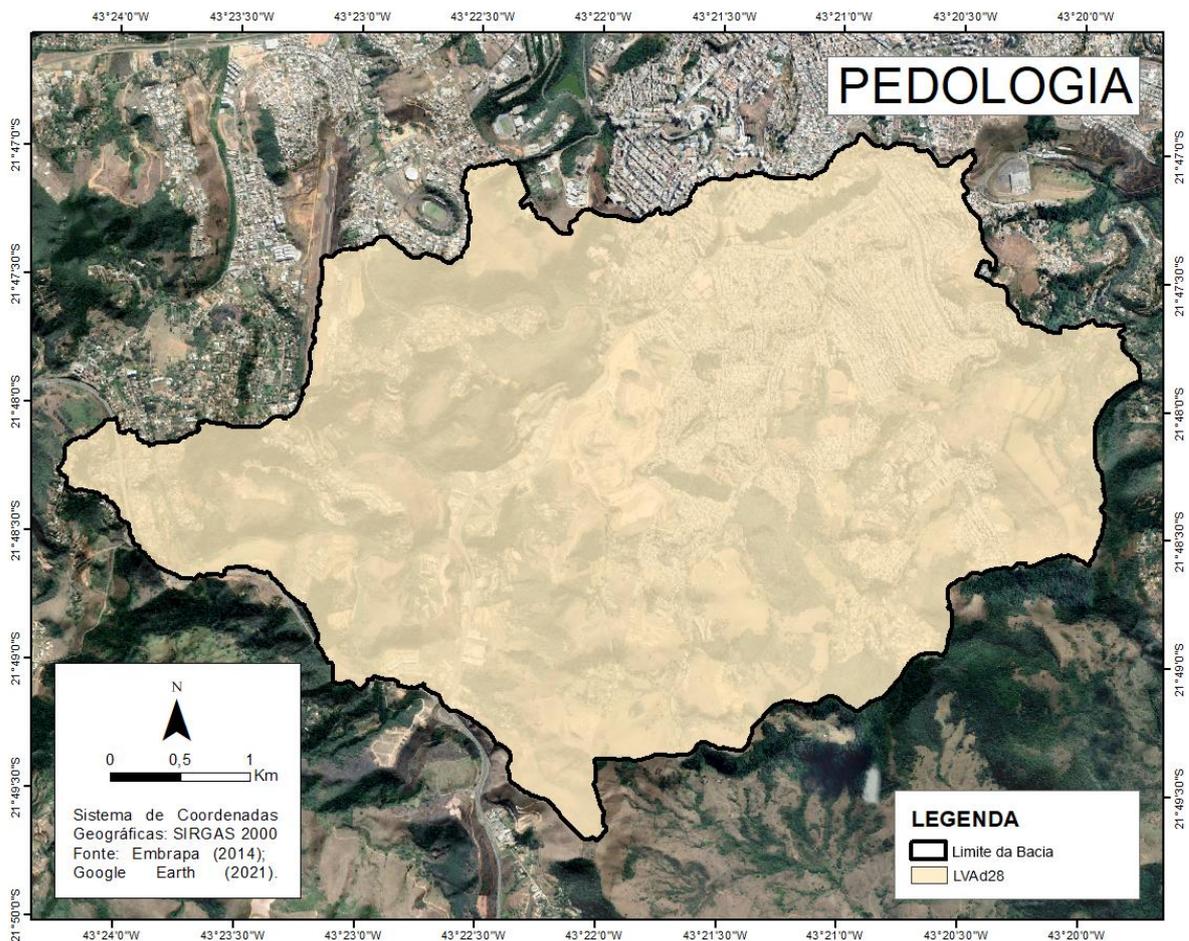


Figura 7: Pedologia da MBHCI. Fonte: Embrapa (2014), Google Earth (2021).

Segundo o manual de classificação de solos da EMBRAPA (2003), junto ao Mapa de Solos de Minas Gerais, o tipo de solo predominante é o LVAd28, caracterizado como “Latosolos Vermelho-Amarelos Distróficos + Argissolos Vermelhos Eutróficos + Luvisolos Crômicos Órticos” e é ilustrado na figura 7 a seguir.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

O presente estudo constituiu em uma aplicação demonstrativa de uma metodologia de identificação de áreas de risco de movimentos de massa e para tal foi escolhida a região da Microbacia Hidrográfica do Córrego Ipiranga. Os procedimentos metodológicos contaram com cinco etapas: I. Obtenção e montagem de um banco de dados georreferenciado; II. Geração de um mapeamento do Uso e Ocupação da Superfície; III. Revisão bibliográfica; IV. Execução da Modelagem de Susceptibilidade à ocorrência de escorregamentos; V. Criação do Mapa de Risco.

Para execução deste estudo, foram utilizadas as seguintes ferramentas: Google Earth PRO, utilizado para obtenção de imagens de satélite tratadas; Imagens do satélite LandSAT 8, utilizadas no mapeamento do uso e ocupação para melhor precisão do algoritmo de classificação supervisionada e o Sistema de Informação Geográfica ArcGIS, utilizado durante todo o trabalho para realização dos mapeamentos, processamento dos dados obtidos e gerenciamento do banco de dados, com a extensão SinMAP para execução da modelagem de susceptibilidade a movimentos de massa.

Os arquivos de dados principais utilizados foram disponibilizados pelo Laboratório de Geoprocessamento Aplicado da Universidade Federal de Juiz de Fora, e consistiram em arquivos atualizados da hidrografia, modelo digital de elevação (MDE) de resolução 1m (um metro) por pixel (ESTEIO, 2007), e o plano diretor mais recente do município de Juiz de Fora, MG (PJF, 2004). A delimitação da bacia foi obtida a partir da rotina de delineamento de bacias hidrográficas do software ArcGIS, utilizado o MDE como base.

5.1 MAPEAMENTO DO USO E OCUPAÇÃO DA SUPERFÍCIE

Para o mapeamento de uso e ocupação foi escolhido o método de Classificação Supervisionada, utilizando as ferramentas contidas no software ArcGIS. O primeiro passo da classificação foi a delimitação das classes por meio de análise visual. Para isso, imagens do satélite LandSAT 8 referentes ao período de Setembro de 2021 foram compostas manualmente a partir da resolução de 15 metros por meio da mescla da banda Pancromática na composição multiespectral para realçar a qualidade da imagem, mantendo os dados de cor das bandas de menor resolução com a quebra

do pixel em uma resolução mais alta para facilitar a identificação visual de classes de uso e ocupação.

Foram definidas seis classes de uso e ocupação da superfície, utilizadas para amostragem e o mapeamento: Vegetação Arbórea, identificadas pela presença de feições de expressiva rugosidade gerada pela baixa reflectância, causada pela absorção da luz pela vegetação densa; Vegetação Arbustiva, que representa um meio termo entre vegetação arbórea e vegetação de gramíneas no espectro de cor; Vegetação Rasteira, caracterizada por média reflectância no espectro de cor dada baixa densidade vegetal; Área Urbanizada, englobando todas as zonas com construções antrópicas, sejam áreas edificadas ou áreas pavimentadas; Solo Exposto/ Queimadas, identificadas na área, e uma classe para Água. Foi estabelecida uma escala de trabalho de 1:75.000 devido à resolução utilizada na classificação.

Para calibragem da etapa automatizada do modelo, foram estabelecidas aproximadamente 200 amostras variadas, selecionadas manualmente a partir das classes identificadas. Foi utilizado o método de Máxima Verossimilhança (*Maximum Likelihood*) configurado com peso igual em todas as classes para a identificação e classificação das feições delimitadas.

Para o Pós-Processamento, foi utilizada a ferramenta de *Majority Filter*, da toolbox do *Spatial Analyst*, para filtragem de pixels isolados, configurada para utilizar quatro vizinhos no kernel do filtro, com limiar de substituição estabelecido como Majoritário; em seguida foi executada a ferramenta *Boundary Clean*, do mesmo conjunto de ferramentas, para suavizar irregularidades nas formas das feições estabelecidas por meio de ordenação estabelecida em “Nenhum Tipo” (*NO_SORT*).

Em seguida, as feições foram manualmente conferidas mediante inspeção visual em comparação com a imagem de maior resolução citada anteriormente para correção de quaisquer possíveis incongruências causadas por mesclagem no espectro das amostras pré-estabelecidas. A etapa de finalização consistiu na conversão do arquivo de classificação raster, para um arquivo vetorial, a fim de quantificar cada classe.

5.2 MODELAGEM DA SUSCETIBILIDADE A ESCORREGAMENTOS

Para a modelagem de suscetibilidade à ocorrência de movimentos de massa, foi utilizado o modelo SinMAP incorporado ao software ArcGIS. Para execução da

ferramenta SinMAP, como exigência do modelo foram utilizados o MDE em conjunto com parâmetros físicos do solo (coesão, ângulo de atrito e densidade do solo e da água) da área de estudo para geração de mapeamentos de dados físicos e hidrológicos, incluindo declividade, direção do fluxo de água e, na etapa final de trabalho da ferramenta, o mapeamento de Susceptibilidade.

Os parâmetros de calibração manual foram extraídos a partir da tese de COSTA (2019), que realizou os ensaios de campo referentes à uma área vizinha à área deste estudo, apresentados na figura 8.

Parâmetros do SINMAP	Valores		Referências Utilizadas
Linha de umidade do SA Plot (%)	20		Definido pelo autor
Número de pontos no AS Plot	1000		Definido pelo autor
Densidade da água (Kg/m ³)	1000		Constante universal
Ângulo de atrito interno do solo (°)	Mínimo	Máximo	Laboratório de Geotecnia e Transportes (Faculdade de Engenharia-UFJF, 2018).
	14,8	29	
C = Coesão adimensional (Solo 1)	Mínimo	Máximo	Laboratório de Geotecnia e Transportes (Faculdade de Engenharia-UFJF, 2018).
	0,421	0,514	
C = Coesão adimensional (Solo 2)	Mínimo	Máximo	Laboratório de Geotecnia e Transportes (Faculdade de Engenharia-UFJF, 2018).
	0,405	0,496	
ρ_s = densidade do solo 1 (kg/m ³)	2690		Laboratório de Geotecnia e Transportes (Faculdade de Engenharia-UFJF, 2018).
ρ_s = densidade do solo 2 (kg/m ³)	2730		Laboratório de Geotecnia e Transportes (Faculdade de Engenharia-UFJF, 2018).
g = aceleração da gravidade (m/s ²)	9,81		Constante universal
T/R (m) (CXbd)	Mínimo	Máximo	Fonseca et al. (2016); INMET (2015).
	52	350	

Figura 8: Representação dos atributos obtidos por meio de levantamentos de campo realizados por COSTA (2019) .

Para as definições de classes de estabilidade, foi utilizado o modelo proposto por Pack et al. (1998), onde os parâmetros para classificação da instabilidade são divididos em seis faixas de incerteza baseado em valores entre 0 (maior instabilidade) e 1 (mais

estabilidade), sendo possível extrapolar estes valores, elevando o grau da classificação. (MENON JÚNIOR, 2017)

Seis classes foram estabelecidas baseadas nessa condição, onde a classe 1 é considerada a mais estável, e 6 é considerada a mais instável, como apresentado na figura 9 a seguir.

Classificação	Valores do Índice de Estabilidade
Estável	> 1.5
Mod. Estável	$1.25 \leq 1.5$
Baixa Estabilidade	$1.0 \leq 1.25$
Baixa Instabilidade	$0.5 \leq 1.0$
Mod. Instável	$0.0 \leq 0.5$
Instável	0.0

Figura 9: Apresentação das classes do índice de estabilidade adaptado de PACK et al. (2005).

5.3 MAPEAMENTO DAS ÁREAS DE RISCO A ESCORREGAMENTOS

A etapa principal deste estudo consiste na criação e análise de um mapeamento de Risco da bacia hidrográfica do córrego do Ipiranga. Para essa etapa foi executada a integração do mapeamento de Uso e Ocupação com o Mapeamento do Índice de Estabilidade por meio da ferramenta de Sobreposição Ponderada do software ArcGIS.

Para que fosse realizada esta sobreposição, foram definidos pesos iguais para ambos os mapeamentos e notas para suas respectivas classes, sendo estas notas referentes ao nível de importância de cada classe. Na ferramenta de sobreposição ponderada, as notas foram escolhidas na escala de 1 a 9, tendo 1 como a nota de menor importância, e 9 a de maior.

Primeiramente, de acordo com as classes estabelecidas para o Uso e Ocupação, foi dada a nota mais alta, 9, para a classe de Área Urbanizada. Esta, composta por áreas edificadas, pavimentadas e com infraestrutura no geral, apresenta a maior

propensão a perdas econômicas e humanas, logo, deve receber a maior nota de importância em relação ao risco.

Para áreas de Vegetação Arbórea, foi estabelecida a nota mais baixa, 1, pela ausência de áreas propensas à perda econômica ou de vida humana. A classe de vegetação Arbustiva, por outro lado, recebeu a nota 3, dada a possibilidade da presença de cultivos como plantações de café e pequenos pomares identificados na região, o que podem vir a causar perda material, acarretando uma nota acima do risco mínimo; a área de pastagens, também pela possibilidade de perdas materiais, recebeu a nota 3.

As áreas descobertas, de solo exposto e áreas queimadas, receberam a nota mais baixa pela ausência de capacidade de perdas materiais e de vida, dado que não há ocupação ou uso econômico nesta classe.

Em relação ao mapeamento do Índice de Estabilidade, foram atribuídas notas de 1 a 9 para os níveis de estabilidade do solo apresentados. O nível mais alto, de áreas Instáveis, recebeu a nota máxima 9, sendo áreas já desestabilizadas e com alta propensão ao desencadeamento de movimentos de massa.

As áreas Moderadamente Instáveis foram avaliadas com a nota 8, pois apesar de não serem áreas explicitamente instáveis, o manejo inapropriado pode vir a causar um aumento na susceptibilidade à ocorrência de movimentos de massa dados os fatores condicionantes presentes, resultando em uma desestabilização induzida da área. O mesmo pode ser dito das áreas de baixa instabilidade, porém estas apresentam menor propensão à ocorrência de uma elevação no fator de susceptibilidade, resultando na atribuição da nota 7.

Quanto às áreas acima do limiar 1.0 de estabilidade, foi dada a nota 4 às áreas de Baixa Estabilidade, nota 2 às áreas de Moderada Estabilidade, e a nota mínima 1 às áreas classificadas como Estáveis.

6 RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados aos produtos relativos ao mapeamento de uso e ocupação e cobertura da superfície na MBHCI, a modelagem de susceptibilidade a escorregamento e o mapeamento com a classificação de risco.

6.1 O USO E OCUPAÇÃO NA MBHCI

A Microbacia Hidrográfica do Córrego Ipiranga se encontra essencialmente na porção sul do perímetro urbano do município de Juiz de Fora, possuindo pouco menos da metade de sua área composta por áreas edificadas e pavimentadas. As áreas de cobertura vegetal são contrastantes com as áreas antropizadas, sendo possível definir áreas de vegetação de acordo com sua densidade. Na figura a seguir (figura 10), está apresentado o mapa de Uso e Ocupação da MBHCI, e no gráfico seguinte (gráfico 1) está a representação das porcentagens das classes de uso e ocupação de acordo com o mapa.

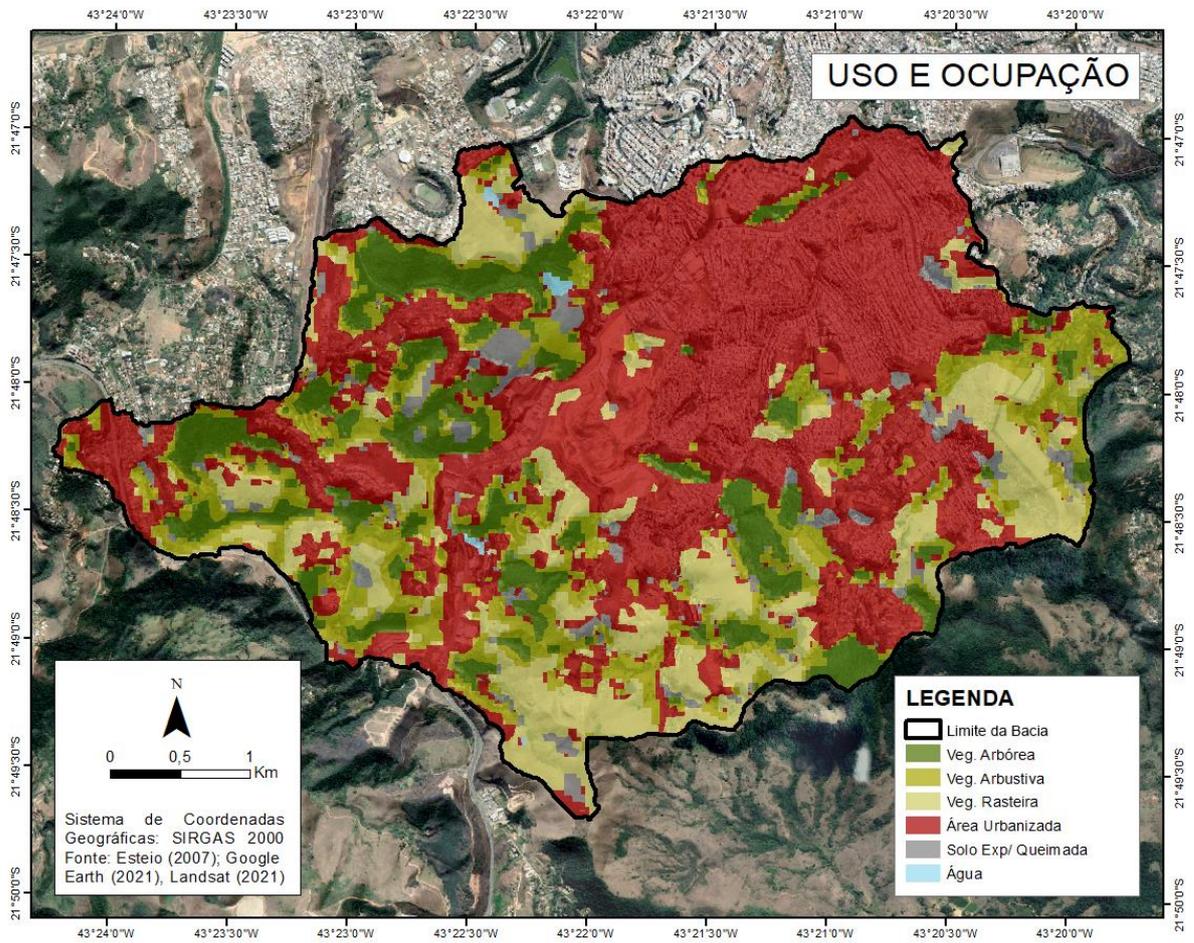


Figura 10: Representação do Uso e Ocupação da Superfície. Fonte: Esteio (2007), Google Earth (2021), Landsat 7 (2021), classificação feita pelo próprio autor.

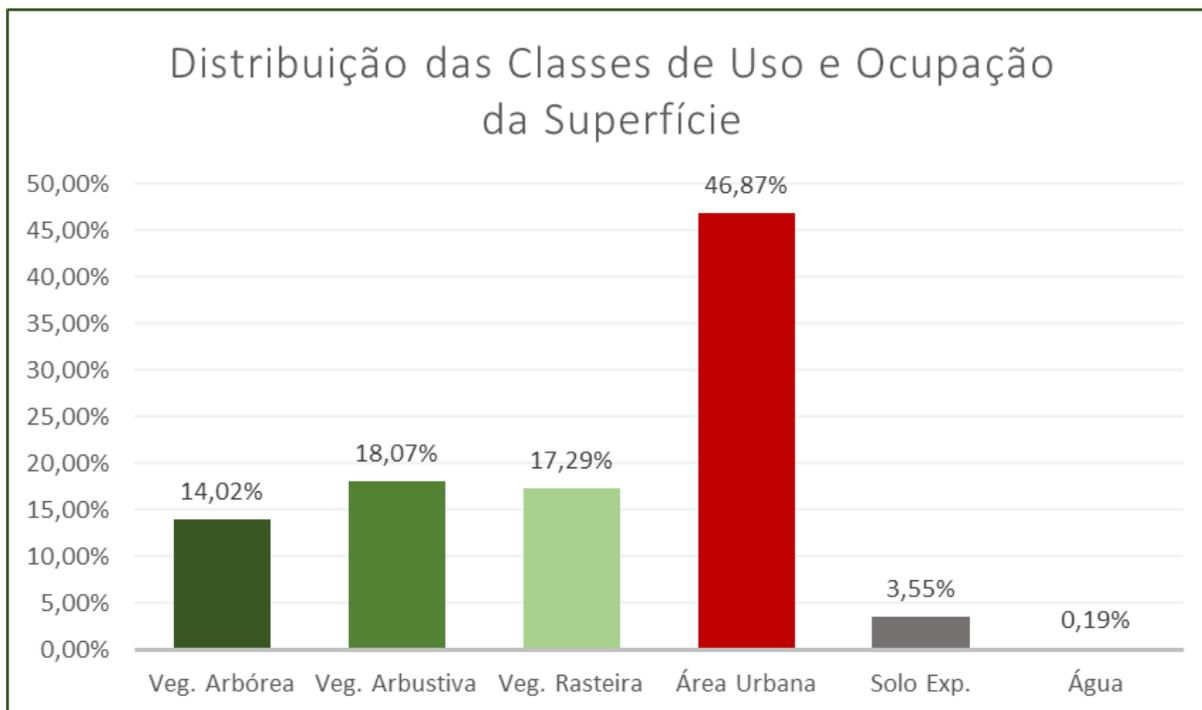


Figura 11: Distribuição das classes de uso e ocupação relativo ao mapa de Uso e Ocupação da Superfície. Fonte: Elaboração pelo próprio autor.

Analisando primeiro a classe de Área Urbana, nota-se uma distribuição equilibrada por toda a região, com foco nas porções norte, nordeste e centro da microbacia. Esta classe recobre a maior parte da bacia, ocupando aproximadamente 47% da área total da MBHCI. O perímetro urbano do município de Juiz de Fora se estende pela porção norte/ nordeste até a parte central da bacia, onde é visível a transição para áreas de expansão urbana em direção ao sul/ sudoeste. Fora as áreas urbanas principais, composta primariamente por edificações de grande porte e alta densidade, e arruamentos totalmente pavimentados, as porções mais esparsas de área urbana se encontram inseridas em regiões rodeadas de áreas vegetadas, e são compostas principalmente de arruamentos e edificações de pequeno porte e baixa densidade.

As classes de vegetação arbórea estão localizadas em sua maior parte no oeste, noroeste e centro-sul da área de estudo, principalmente ao redor de porções de área urbana. Esta classe recobre aproximadamente 14% da bacia, e é composta por áreas de vegetação em estágio avançado de regeneração, contendo pouquíssimos traços de cultivo.

A classe de vegetação arbustiva está localizada principalmente ao redor de áreas de classe arbórea e área urbana e é composta principalmente por vegetação em regeneração com algumas zonas de cultivo pontuais no noroeste da área.

Na classe de vegetação rasteira estão áreas de gramíneas concentradas principalmente na parte sul e sudeste da bacia, onde foram identificadas principalmente pastagens cercando alguns bolsões de área urbana isolados.

A segunda menor classe é a de Solo Exposto/ Queimadas. Estas áreas foram identificadas em pequenas porções da bacia principalmente na região noroeste, fora da maior porção de área urbana. Esta classe pode englobar tanto porções de solo exposto quanto áreas de queimada, ocupando aproximadamente 3.5% da área de estudo, e o intuito dessa classe é diferenciar o tipo de cobertura do solo em relação às classes de vegetação.

Por fim, a classe de água, que ocupa 0,19% da área, correspondendo a pequenas corpos hídricos localizados ao norte e ao sudoeste da bacia. Vale ressaltar que, devido à ação antrópica, uma seção significativa do curso d'água principal que dá nome à bacia está retificada e canalizada, estando cercada pela maior porção de área urbanizada detectada.

6.2 MODELAGEM DA SUSCETIBILIDADE

As classes de suscetibilidade foram divididas em seis, contemplando de Áreas Estáveis, representadas pela coloração verde escura, até Áreas Instáveis, na cor vermelha, como observável na figura 11, e a representação da distribuição das classes pode ser analisada no gráfico 2.

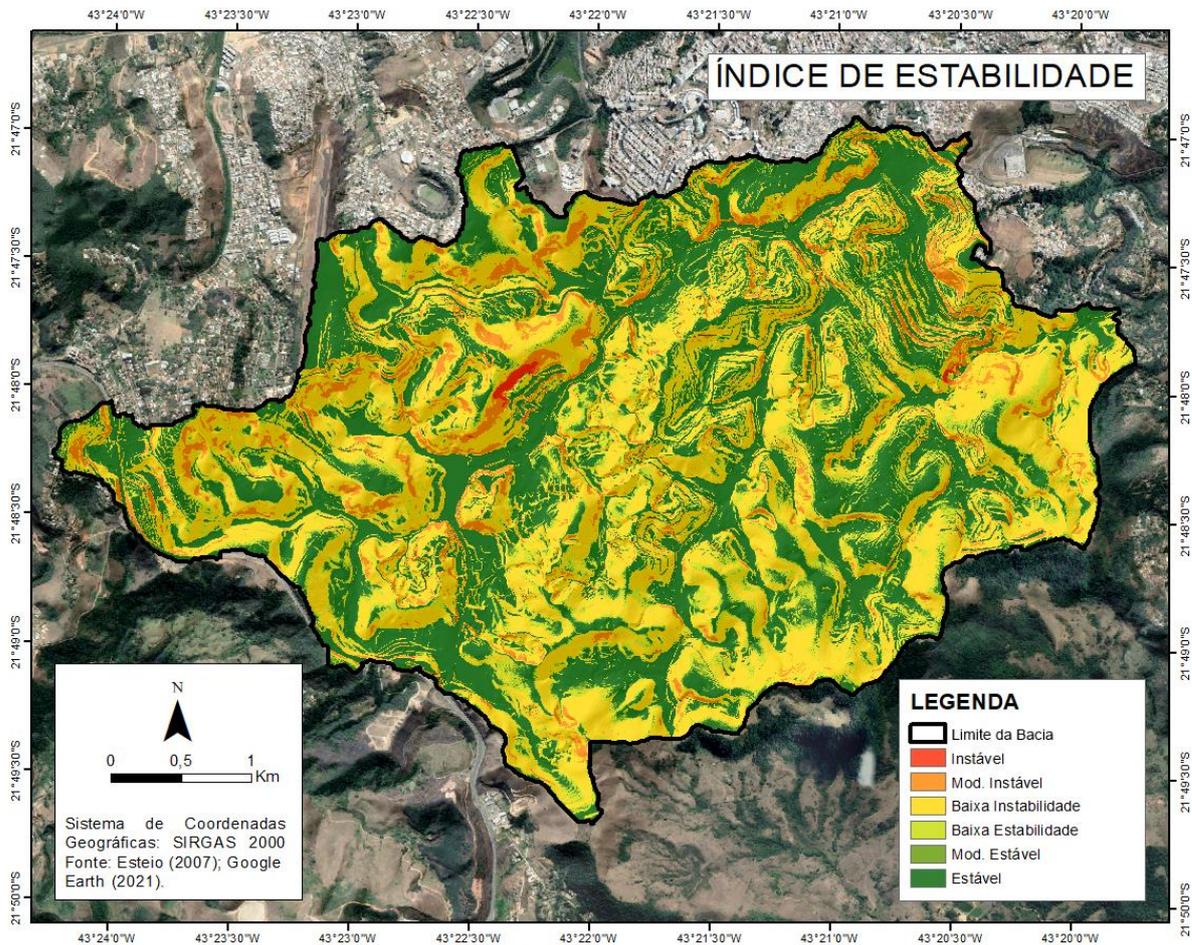


Figura 12: Mapa de estabilidade da bacia. Fonte: Esteio (2007), Google Earth (2021) classificação feita pelo próprio autor.

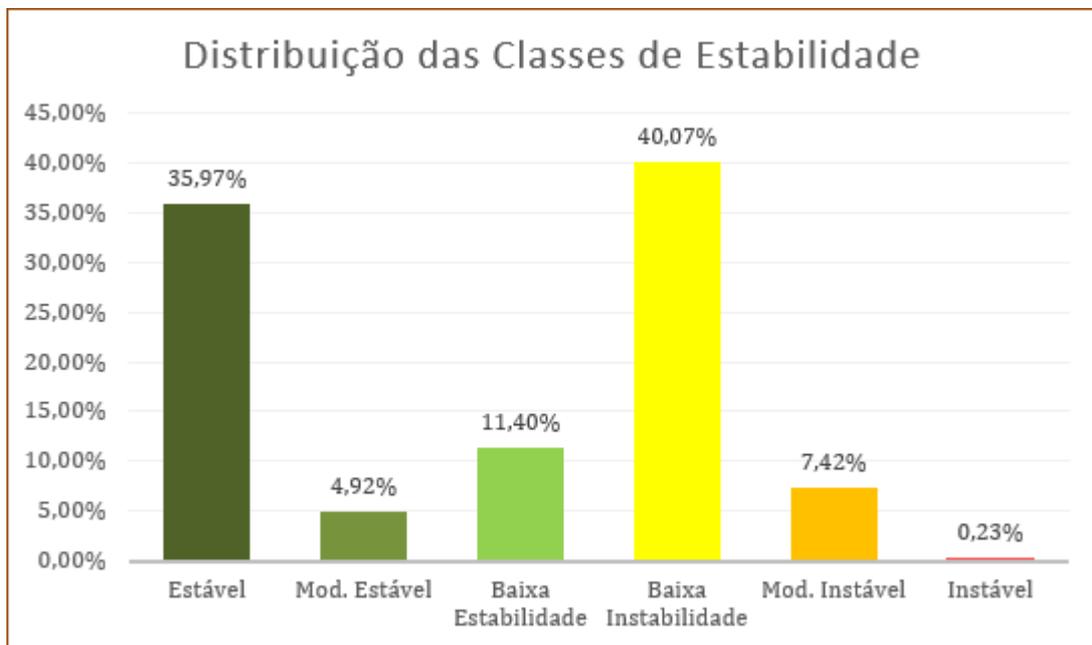


Figura 13: Distribuição das classes de estabilidade segundo o mapa. Fonte: Elaboração pelo próprio autor.

Áreas estáveis são predominantes em fundos de vale e áreas majoritariamente planas, levando em conta a funcionalidade do modelo em identificar áreas instáveis a partir do relevo e do coeficiente hídrico. Estas áreas equivalem a aproximadamente 36% da área de estudo.

Caso o valor do índice esteja abaixo de 1.5, até 1.25, a área é considerada moderadamente estável, onde há pouquíssima possibilidade de ocorrência de movimentação de massa mediante condições não-induzidas. Estas áreas, como observável no mapa gerado, são áreas de baixa declividade, muitas vezes diretamente ligadas a áreas classificadas como estáveis, e ocupam aproximadamente 5% da área total da bacia.

Abaixo de 1.25 até o limiar de 1.0 no índice de estabilidade está a classe de Baixa Estabilidade, ocupando em torno de 11% da área de estudo. Tais áreas são pouco propensas à ocorrência de movimentos de massa naturais, porém os fatores condicionantes analisados pelo modelo indicam menor estabilidade em relação à classe anterior, sendo áreas de declividade baixa diretamente ligadas à vazão hídrica, como observável nos mapas gerados.

A partir do limiar de 1.0 até 0.5 no índice de estabilidade está a classe de Baixa Instabilidade. A partir desta, a susceptibilidade à ocorrência de movimentos de massa se torna maior, sendo áreas contempladas com moderada declividade e interação com a vazão do relevo. Estas áreas começam a apresentar fatores condicionantes mais notáveis, levando em conta os fatores físicos do solo, o relevo e o conteúdo hídrico presente. No total, estas áreas ocupam a maior porção da bacia, sendo equivalente a aproximadamente 40% da área de estudo.

Entre 0.5 e acima de 0.0 no índice, a área é classificada como Moderadamente Instável. Como pode-se observar no gráfico, esta classe ocupa aproximadamente 7% da área de estudo. Estas áreas apresentam fatores condicionantes claros e muitas vezes já apresentam casos de ocorrência de movimentos de massa pretéritos identificados durante a etapa de validação do modelo. Áreas nesta classe apresentam relevo acidentado e de média a alta declividade, com pouca sustentação no solo, gerando um alto fator de desagregamento nos pacotes do solo, tornando-os vulneráveis à ação da água, que é um fator importante no desencadeamento deste tipo de movimento de massa.

Por fim, o valor mais baixo do índice, 0.0, é classificado em Áreas Instáveis, sendo estas áreas críticas, com o maior suscetibilidade ao desencadeamento de

movimentos de massa. Áreas extremamente íngremes, com alta declividade e intensa vazão, pouquíssima sustentação do solo dada presença de vegetação e contato direto com rocha rasa são alguns dos fatores que influenciam em tal classe. A área de estudo conta com apenas 0.23% de sua área classificada como Área Instável, porém vale ressaltar que, dada suficiente intervenção antrópica inapropriada, pode ocorrer a evolução destas áreas a partir do aumento da susceptibilidade de outras classes próximas.

6.3 MAPEAMENTO DE RISCO

Baseado nos mapeamentos de Índice de Estabilidade, e Uso e Ocupação da Superfície, foi realizado o mapeamento de Risco por meio de sobreposição ponderada, apresentado na figura 12.

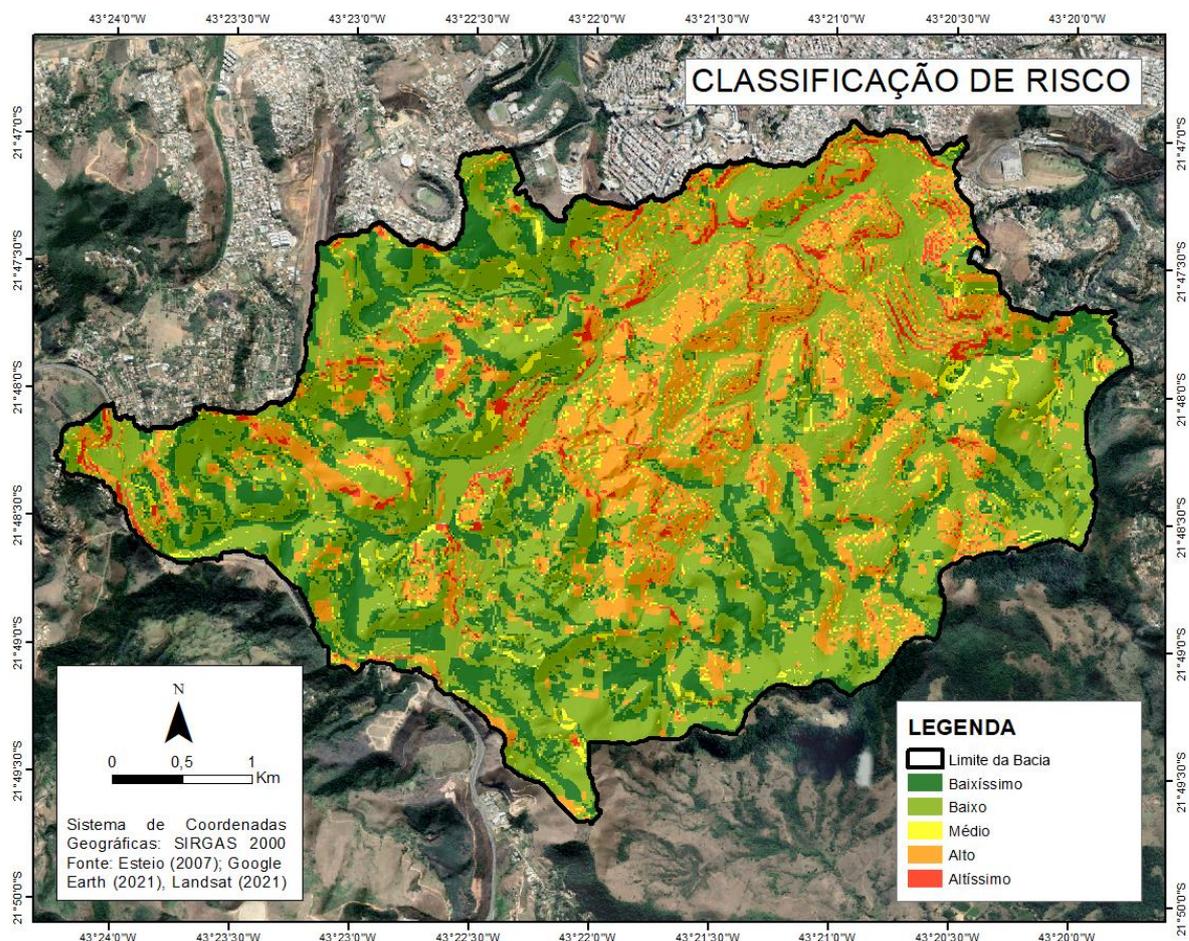


Figura 14: Representação das classes de Risco na MBHCI. Fonte: Esteio (2007), Google Earth (2021), Landsat (2021). Elaboração pelo próprio autor.

Para o mapeamento de Risco, foram adotadas nove notas, as quais foram agrupadas em seis classes de probabilidade de risco, como em Menon Júnior (2017): Notas de 1 a 3 foram caracterizadas como áreas de risco Baixíssimo; Notas 4 e 5 agrupadas como Baixo risco; a nota 6, classificada como Médio risco; as notas 7 e 8 foram caracterizadas como Alto risco, e por fim, a nota mais alta 9, foi classificada como áreas de Altíssimo risco. A distribuição da ocorrência destas classes está contemplada no gráfico 3 a seguir.

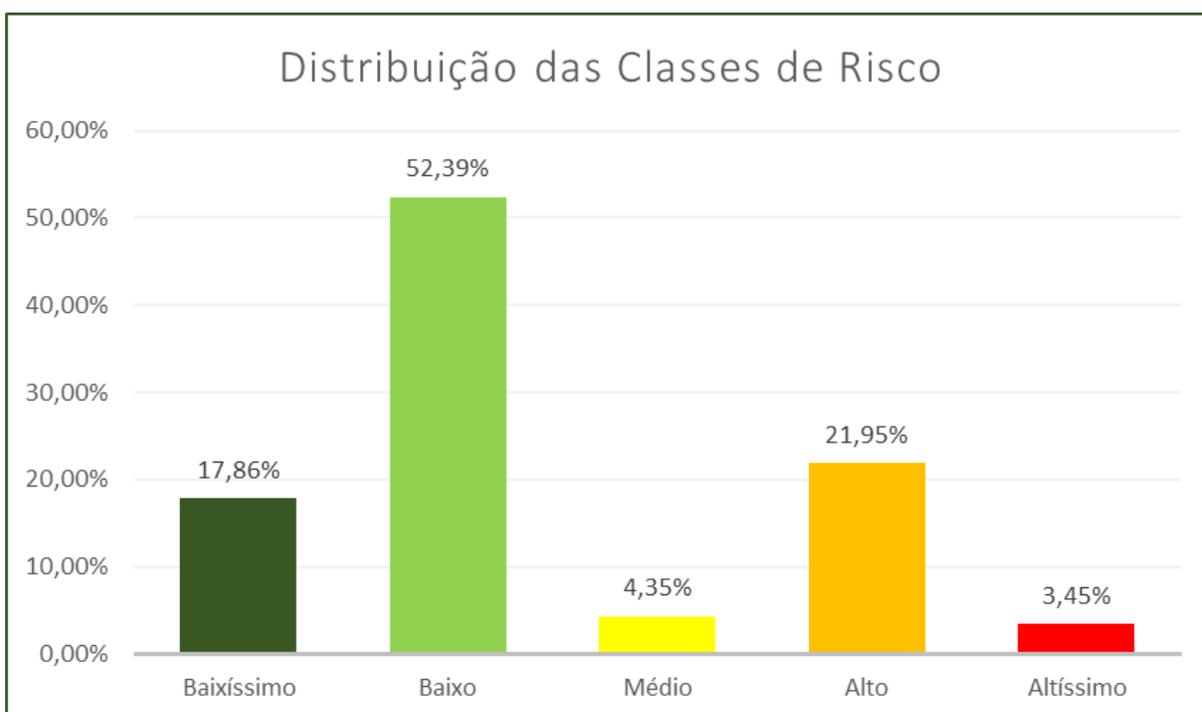


Figura 15: Percentual de ocorrência das classes de risco a escorregamento de acordo com a representação na figura 13. Fonte: Elaboração pelo próprio autor.

A distribuição espacial das classes de risco demonstrou uma predominância da classe de Baixo risco, ocupando aproximadamente 52% da área total da bacia. Estas áreas, bem como áreas de Baixíssimo risco, que ocupam aproximadamente 18% da área da bacia, estão em regiões de terreno relativamente estável e sem áreas urbanizadas próximas, o que as torna pouco propícias à ocorrência de escorregamentos que possam causar perdas materiais ou de vida.

As áreas de Médio risco ocupam 4% da área total da bacia e são identificadas em áreas de Baixa Estabilidade e Baixa Instabilidade, marcadas pela presença de classes de Vegetação Arbustiva e Gramíneas em sua maioria. Estas áreas são

adjacentes ao perímetro urbanizado, tornando possível um aumento do nível de risco de acordo com a expansão urbana.

Quanto à classe de Alto risco, estas contemplam aproximadamente 22% da área de estudo, concentradas nas principais Áreas Urbanizadas ao longo da bacia. Estas áreas de Alto risco apresentam relevo majoritariamente declivoso, englobando principalmente classes de Baixa Estabilidade a Moderada Instabilidade dentro da classe de Área Urbanizada.

Por fim, a classe de risco Altíssimo recobre pouco mais de 3% da área de estudo. Estas foram identificadas invariavelmente em áreas Urbanizadas de Moderada a Alta Instabilidade. Esta classe está concentrada em zonas de declive extremo, adjacente às zonas de classe Urbanizada, trazendo alto potencial de perda em conjunto com alta probabilidade de desencadeamento de escorregamentos.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por meio da aplicação do geoprocessamento e da modelagem preditiva, foi possível estabelecer diferentes áreas de risco baseando-se na suscetibilidade a escorregamentos obtida com a aplicação do modelo SinMAP e no uso e ocupação da superfície.

Ao analisar as classes definidas no mapa de uso e ocupação, é possível entender melhor a distribuição das diferentes formas de cobertura do solo e do uso da superfície. Com a maior parte da área urbana presente nas áreas centro, norte e nordeste, e a gradual diminuição de sua concentração em direção ao sul e sudeste, é possível entender a direção da expansão urbana na bacia. Observando a proporção entre as diferentes classes, é notável o balanço entre áreas vegetadas e áreas urbanizadas, que se distribuem aproximadamente meio a meio.

Com o mapa de susceptibilidade, podem ser identificadas várias áreas de baixa e moderada instabilidade concentradas na porção noroeste da bacia, que correspondem a áreas de alto e altíssimo risco onde existem algumas porções de área urbanizada.

Com os resultados de um mapeamento de risco, é possível identificar áreas de risco já estabelecidas. A distribuição das classes de Alto e Altíssimo risco se dá principalmente nas áreas central e norte da bacia, onde está a principal concentração da classe de área urbanizada. Na região noroeste da bacia existem poucas zonas desta classe, porém com a expansão urbana, as classes de risco mais baixas podem evoluir devido à interferência antrópica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AB'SÁBER, Aziz Nacib. **Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas**. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003.

AUGUSTO FILHO, O. **Caracterização geológico-geotécnica voltada à estabilização de encostas: uma proposta metodológica**. In: CONFERÊNCIA BRASILEIRA SOBRE ESTABILIDADE DE ENCOSTAS, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: ABMS/ABGE/PUCRJ, 1992, v.2, p.721-733, 1992.

BRASIL. **Lei nº 6766, de 19 de dezembro de 1979. Dispõe sobre o Parcelamento do Solo Urbano e dá outras providências**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L6766.htm. Acesso em: 20 out. 2017.

CERRI, L.E.S.; AMARAL, C.P. **Riscos Geológicos**. In: OLIVEIRA, A.M.S. e BRITO, S.N.A. Geologia de Engenharia. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blucher, 1980.

COSTA, R. M. **Ação Antropogênica Sobre o Relevo e sua Influência na modelagem de predição de de escorregamentos e de Risco na Bacia Hidrográfica do Córrego Tapera, Juiz de Fora - MG**. Dissertação (Mestrado). Departamento de Geografia, Instituto de Ciências Humanas, niversidade Federal de Juiz de Fora. Minas Gerais. 2019.

ESTEIO-S/A. **Levantamento Aerofotogramétrico do Município de Juiz de Fora**. Curitiba: ESTEIO S/A, 2007. (1: 2000)

FERNANDES, B. D. J.; COSTA, R. M. e Z AidAN, R. T. **Evolução do Crescimento Urbano na Bacia Hidrográfica do Córrego Tapera (Juiz de Fora-Mg) e sua Correlação com a Legislação para o Uso e Ocupação do Solo**. Revista Formação (ONLINE), v.4, n.23, p.91-106, 2016.

FERNANDES, N. F.; AMARAL, C. P. **Movimentos de massa: uma abordagem geológico-geomorfológica**. In: CUNHA, S. B; GUERRA, A. J. T. (Orgs.) Geomorfologia e Meio ambiente. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996, p.123-194.

FERNANDES, N. F. **Modelagem em Geografia Física: Teorias, Potencialidades e Desafios**. Espaço Aberto PPGeo - UFRJ , v.6, n.1, p.209 - 247, 2016.

GUERRA, A. J. T. e OLIVEIRA, S. B. D., Eds. **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. 3ªed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1995. 472 p.

JUIZ DE FORA. **Decreto Nº 44646 de 31/10/2007. Disciplina o exame e anuência prévia pelo Estado, por meio da Secretaria de Estado de Desenvolvimento Regional e Política Urbana - Sedru, para aprovação de projetos de loteamentos e desmembramentos de áreas para fins urbanos pelos municípios**. Disponível em:

<https://www.almg.gov.br/consulte/legislacao/completa/completa.html?tipo=DEC&num=44646&ano=2007>. Acesso em 15 de fev. 2021.

Koppen climate classification | climatology. Encyclopedia Britannica. Disponível em: <https://www.britannica.com/science/Koppen-climate-classification>. Acesso em 15 de mar. de 2021.

MARCELINO, E. V. **Desastres naturais e geotecnologias: conceitos básicos.** Cadernos Didáticos n.1. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais -INPE, Santa Maria, 38p, 2008

MENON JÚNIOR, W.; ZAIDAN, R. T. **Mapeamento de Estabilidade de Encostas: O Caso da Bacia Hidrográfica do Córrego do Yung (Juiz de Fora-MG).** Revista de Geografia-PPGEO-UFJF, v. 6, n. 2, 2017

PACK, R. T., D. G. Tarboton and C. N. Goodwin, (1998), "**The SINMAP Approach to Terrain Stability Mapping,**" Paper Submitted to 8th Congress of the International Association of Engineering Geology, Vancouver, British Columbia, Canada 21-25 September 1998.

PACK, R. T., D. G. TARBOTON, C. N. GOODWIN, A. PRASAD. **SINMAP 2. A Stability Index Approach to Terrain Stability Hazard Mapping, technical description and users guide for version 2.0.** Utah State University (2005).

PREFEITURA DE JUIZ DE FORA (PJF). **Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano.** 1ª Edição. Juiz de Fora: Concorde, 2004. 580p.

TOMINAGA, L. K. Escorregamentos. In: TOMINAGA, L. K., SANTORO, J., AMARAL, R. (Orgs.) **Desastres Naturais: conhecer para prevenir.** Instituto Geológico, São Paulo, 2009b

VARNES, D. J.. **Slope movements types and processes.**In Schuster, R.L. e Krizek, R.J. (eds.) **Landslides Analysis and Control.** National Academy of Science, Washington: 11-33. (1938)

ZAIDAN, R. T. & FERNANDES, N.F. **Zoneamento de Susceptibilidade a Escorregamentos em Encostas Aplicado à Bacia de Drenagem Urbana do Córrego do Independência – Juiz de Fora/MG.** Revista Brasileira de Geomorfologia, v.10, n.2, 2009.

ZAIDAN, R.T.. **Geoprocessamento Conceitos e Definições.** Revista de Geografia. PPGEO. UFJF. Setembro 2017