



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
Universidade Federal de Ouro Preto  
Escola de Minas – Departamento de Engenharia Civil  
Curso de Graduação em Engenharia Civil

---

**Ayra Mariane Ferreira Ribeiro**

**APLICAÇÃO DE UMA METODOLOGIA DE ANÁLISE DE  
VULNERABILIDADE FÍSICA EM NOVE LOCAIS COM  
INDÍCIOS DE ESCORREGAMENTO DE TERRA NO CENTRO  
HISTÓRICO DE OURO PRETO**

Ouro Preto

2021

Aplicação de uma metodologia de análise de vulnerabilidade física em nove locais  
com indícios de movimentação de terra no Centro Histórico de Ouro Preto

Ayra Mariane Ferreira Ribeiro

Monografia de conclusão de curso para  
obtenção do grau de Engenheiro Civil na  
Universidade Federal de Ouro Preto  
defendida e aprovada em 26 de abril de  
2021 como parte dos requisitos para a  
obtenção do Grau de Engenheiro Civil.  
Banca examinadora:

Área de concentração: Geotecnia

Orientador: Prof. D.Sc. Felipe de Campos Loch - UFOP

Ouro Preto

2021

## SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

R484a Ribeiro, Ayra Mariane Ferreira .

Aplicação de uma metodologia de análise de vulnerabilidade física em nove locais com indícios de movimentação de terra no Centro Histórico de Ouro Preto . [manuscrito] / Ayra Mariane Ferreira Ribeiro. - 2021. 88 f.

Orientador: Prof. Dr. Felipe de Campos Loch.  
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Graduação em Engenharia Civil .

1. Populações vulneráveis . 2. Centros Históricos. 3. Deslizamentos (Geologia). I. Loch, Felipe de Campos. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 624

Bibliotecário(a) Responsável: Maristela Sanches Lima Mesquita - CRB-1716

Aplicação de uma metodologia de análise de vulnerabilidade física em nove locais com indícios de movimentação de terra no Centro Histórico de Ouro Preto

Ayra Mariane Ferreira Ribeiro

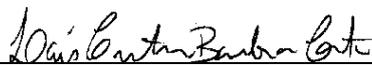
Monografia de conclusão de curso para obtenção do grau de Engenheiro Civil na Universidade Federal de Ouro Preto defendida e aprovada em 26 de abril de 2021 como parte dos requisitos para a obtenção do Grau de Engenheiro Civil.

Banca examinadora:



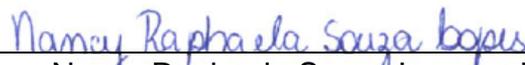
---

Orientador: Prof. D.Sc. Felipe de Campos Loch – DECIV/UFOP



---

Membro: M.Sc. Lais Cristina Barbosa Costa – PROPEC/UFOP



---

Membro: Eng. Nancy Raphaela Souza Lopes – Tetra Tech

## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar, agradeço a Universidade Federal de Ouro Preto, pelo ensino gratuito e de qualidade. Agradeço também a cidade de Ouro Preto, pelo acolhimento e por todo crescimento que me proporcionou.

Agradeço imensamente ao meu orientador Felipe de Campos Loch pela atenção, paciência e disponibilidade. Agradeço também a Rosyelle Corteletti, pelos ensinamentos e por toda ajuda.

Gostaria de agradecer a Defesa Civil de Ouro Preto, em especial ao Charles, por todo apoio nas visitas de campo. Por fim, agradeço a minha família por estarem sempre comigo me dando suporte, carinho e amor.

## RESUMO

Ouro Preto abriga um patrimônio histórico e cultural de valor inestimável para a humanidade. A antiga capital de Minas Gerais possui formações geológicas e geomorfológicas complexas, além de elevada pluviosidade e elevado grau de intervenções antrópicas, o que torna a cidade vulnerável à ocorrência de eventos adversos como os movimentos de massa. Essa vulnerabilidade pode ser descrita como a propensão de um elemento ou sociedade de sofrer danos, manifestado pelo grau de perda de um elemento, ou conjunto de elementos, resultante da ocorrência de um fenômeno. A proposta deste trabalho é obter e analisar índices de vulnerabilidade físicos relacionados a determinados locais no Centro Histórico de Ouro Preto. A pesquisa foi realizada através da aplicação de uma metodologia quantitativa, em que parâmetros observados *in loco* originam valores passíveis de classificação. Foram apresentados os principais fatores avaliados em cada local, e após isso, foi realizada a aplicação de um modelo matemático. A utilização da equação é feita para analisar estatisticamente a vulnerabilidade das edificações visitadas no trabalho de campo. Por fim, foi feita a verificação dos resultados e comparação com outras sistemáticas. Os resultados obtidos mostraram que dois terços dos locais visitados apresentam um grau de vulnerabilidade de médio a alto. Tal fato é considerado preocupante uma vez que o aumento da vulnerabilidade das edificações coloca em risco o conjunto edificado e a vida da população.

Palavras-chaves: Vulnerabilidade, Centro Histórico, Movimentos de massa.

## **ABSTRACT**

Ouro Preto is home to an invaluable historical and cultural heritage for humanity. The old capital of Minas Gerais has complex geological and geomorphological formations, in addition to high rainfall and a high degree of anthropic interventions, which makes the city vulnerable to the occurrence of adverse events such as mass movements. Vulnerability can be described as the propensity of an element or society to suffer damage, manifested by the degree of loss of an element, or set of elements, resulting from the occurrence of a phenomenon. The purpose of this work is to obtain and analyze indexes of physical vulnerability related to certain locations in the Historic Center of Ouro Preto. The research is carried out through the application of a quantitative methodology, in which parameters observed in loco give rise to values that can be classified. The main factors evaluated in each location are presented, and after that, a mathematical model is applied. The equation is used to statistically analyze the vulnerability of the buildings visited in the field work. Finally, the results were verified and compared with other systematics. The results obtained showed that two thirds of the places visited have a degree of vulnerability from medium to high. This fact is considered worrying since the increase in the vulnerability of the buildings puts the built complex and the life of the population at risk.

Keywords: Vulnerability, Historic Center, Mass movements.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Esquema retratando a estrutura inicial de povoamento da cidade de Ouro Preto.....	5
Figura 2 – A área do mapa destacada em vermelho representa a região considerada Patrimônio Cultural da Humanidade pela UNESCO no Distrito Sede de Ouro Preto.....	7
Figura 3 – Mapa geológico simplificado da região onde está localizada a cidade de Ouro Preto. Modificado de Baltazar <i>et al.</i> (2005). ....	8
Figura 4 – Seção geológica esquemática com a disposição geral das principais unidades litológicas. Modificado de CPRM, 2016. ....	9
Figura 5 – Número de registros de movimentos gravitacionais de massa por bairro do Distrito Sede do Município de Ouro Preto/MG. ....	11
Figura 6 – Condicionantes naturais aos escorregamentos de terra.....	14
Figura 7 – Condicionantes antrópicos aos escorregamentos de terra. ....	14
Figura 8 – Escorregamento Rotacional.....	15
Figura 9 – Escorregamento Translacional. ....	16
Figura 10 – Escorregamento em Cunha. ....	17
Figura 11 – Causas prováveis de trincas e fissuras.....	18
Figura 12 – Fatores ligados à vulnerabilidade. ....	21
Figura 13 – Metodologia da pesquisa realizada por Ferreira (2018).....	32
Figura 14 – Imóveis com danos. ....	35
Figura 15 – Fluxograma com o resumo do processo.....	40
Figura 16 – Locais visitados. ....	41
Figura 17 – Vista da residência antes do desabamento. ....	43
Figura 18 – Vista lateral do desabamento. ....	44
Figura 19 – Presença de trincas diagonais na edificação.....	45

Figura 20 – Presença de trincas diagonais na edificação.....	45
Figura 21 – Distanciamento dos pisos. ....	46
Figura 22 – Abaulamento do piso externo. ....	46
Figura 23 – Trincas no terreno.....	47
Figura 24 – Trincas no portal de entrada da residência.....	48
Figura 25 – Localização da residência.....	49
Figura 26 – Grandes trincas próximas ao telhado e abaixo da janela. ....	50
Figura 27 – Trinca na fachada e desalinhamento da janela. ....	51
Figura 28 – Trinca na parte interior da residência.....	51
Figura 29 – Paralelepípedos desalinhados em frente à residência, vista pela janela frontal. ....	52
Figura 30 – Afloramento de filito com destaque para o sentido de mergulho das camadas.....	54
Figura 31 – Anomalias na residência número 150.....	55
Figura 32 – Trincas no muro de contenção da residência número 128. ....	56
Figura 33 – Ferragem exposta e trincas no muro de contenção da residência número 128. ....	57
Figura 34 – Estrutura peculiar da residência 112.....	58
Figura 35 – Ferragem aparente do muro de contenção da residência 142. ....	59
Figura 36 – Parte posterior do Cantinho do Pão de Queijo e Choperia. ....	61
Figura 37 – Vista do Beco do Pilão. Notar o poste e o transformador ainda no terreno.....	62
Figura 38 – Talude a montante do muro de pedra. Notar a ausência de mecanismos de drenagem na estrutura. ....	63
Figura 39 – Trinca vertical presente na parte externa do prédio do CAEM. ....	64

Figura 40 – Trinca no muro de divisa do prédio do CAEM com a residência vizinha. .....	64
Figura 41 – Trinca diagonal na fundação da edificação.....	65
Figura 42 – Trincas presentes no concreto projetado do retaludamento da encosta à montante do muro de pedra seca.....	65
Figura 43 – Muro de pedra seca.....	66
Figura 44 – Trincas presentes no muro de pedra seca.....	67
Figura 45 – Trincas presentes no exterior da residência 32A.....	69
Figura 46 – Trincas presentes no interior da residência 32A.....	69
Figura 47 – Trinca diagonal presente no interior da residência. ....	70
Figura 48 – Detalhe de uma trinca no muro de pedra seca. ....	71
Figura 49 – Abaulamento do muro de pedra seca.....	72
Figura 50 – Portal que interliga a residência ao muro de pedra seca.....	73
Figura 51 – Trincas no interior da casa.....	73
Figura 52 – Desalinhamento, trinca e obstrução da canaleta.....	74

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação simplificada de movimentos gravitacionais de massa.	12
Tabela 2 – Atualização da classificação simplificada de movimentos gravitacionais de massa.....	13
Tabela 3 – Definições para o conceito de risco. ....	20
Tabela 4 – Definições para o conceito de vulnerabilidade.....	22
Tabela 5 – Parâmetros considerados influentes à vulnerabilidade física de edificações. ....	24
Tabela 6 – Coeficiente referente à tipologia estrutural ( $\xi_{STY}$ ).....	25
Tabela 7 – Coeficiente de conservação ( $\xi_{SMN}$ ).....	26
Tabela 8 – Tipologias Estrutural. ....	29
Tabela 9 – Vulnerabilidade e nível de danos nas construções. ....	30
Tabela 10 – Vulnerabilidade relacionada à cada tipologia estrutural, para rupturas no corpo do talude.....	31
Tabela 11 – Vulnerabilidade relacionada à cada tipologia estrutural, para rupturas no pé do talude.....	31
Tabela 12 – Classificação quanto ao nível de danos.....	33
Tabela 13 – Classificação quanto ao nível de danos. (...) .....	34
Tabela 14 – Estado de conservação estrutural das moradias. ....	36
Tabela 15 – Estado de conservação das residências.....	36
Tabela 16 – Padrão de acabamento das residências.....	37
Tabela 17 – Parâmetros da Equação 2.9. ....	38
Tabela 18 – Parâmetros da Equação 2.9 para a residência da rua Conselheiro Quintiliano, 254. ....	49
Tabela 19 – Parâmetros da Equação 2.9 para a residência da rua Costa Sena, 151. ....	53

Tabela 20 – Parâmetros da Equação 2.9 para a residência da rua Pacífico Homem, 150.....	55
Tabela 21 – Parâmetros da Equação 2.9 para a residência da rua Pacífico Homem, 128.....	57
Tabela 22 – Parâmetros da Equação 2.9 para a residência da rua Pacífico Homem, 112.....	59
Tabela 23 – Parâmetros da Equação 2.9 para a rua Pacífico Homem, 142. ....	60
Tabela 24 – Parâmetros da Equação 2.9 para Praça Tiradentes, 09. ....	68
Tabela 25 – Parâmetros da Equação 2.9, rua Barão de Camargos, 32A. ....	70
Tabela 26 – Parâmetros da Equação 2.9 para a rua Cônego Trindade, 20.....	75
Tabela 27 – Resumo dos índices de vulnerabilidade.....	75
Tabela 28 – Comparação entre as metodologias. ....	77

# SUMÁRIO

Agradecimentos .....	I
Resumo .....	V
Abstract.....	VI
Lista de Figuras .....	VII
Lista de Tabelas.....	X
Sumário .....	XII
1 Introdução .....	1
1.1 Objetivo .....	2
1.1.1 Objetivos Específicos.....	2
2 Revisão Bibliográfica.....	4
2.1 Ouro Preto .....	4
2.1.1 Histórico de Ocupação.....	4
2.1.2 Clima.....	7
2.1.3 Contexto Geológico e Geotécnico.....	8
2.2 Movimentos Gravitacionais de Massa .....	11
2.2.1 Escorregamentos.....	14
2.3 Patologias Indicadoras de Movimentos de Massa.....	17
2.4 Risco.....	19
2.5 Vulnerabilidade .....	20
2.5.1 Vulnerabilidade Física Aplicada a Movimentos de Massa .....	22
2.6 Metodologia para Avaliação da Vulnerabilidade Física proposta por Ferreira (2018) .....	31

2.6.1	Fase I: Banco de Dados com Ocorrências de Escorregamentos.....	32
2.6.2	Fase II: Levantamento de Danos em Campo.....	34
2.6.3	Fase III: Fichas de Campo.....	35
2.6.4	Fase IV: Análise Estatística de Vulnerabilidade por Regressão Multivariada	37
3	Metodologia.....	39
3.1	Determinação dos Locais Vistoriados.....	40
3.2	Observação e Coleta de Dados.....	41
3.3	Aplicação da Equação de Regressão Multivariada.....	42
3.4	Análise dos Resultados.....	42
3.5	Aplicação de Outros Métodos de Análise de Vulnerabilidade.....	42
4	Resultados.....	43
4.1	Rua Conselheiro Quintiliano, 254.....	43
4.2	Rua Costa Sena, 151.....	49
4.3	Rua Pacífico Homem.....	53
4.4	Praça Tiradentes, 09.....	60
4.5	Rua Barão de Camargos, 32A.....	68
4.6	Rua Cônego Trindade, 20.....	71
4.7	Resumo.....	75
4.8	Comparativo Entre Metodologias.....	76
5	Conclusão.....	78
	Referências.....	80
	ANEXO A – FICHAS DE CAMPO.....	86

A.1	Ficha de Campo de Vulnerabilidade (FCV). Ferreira (2018). .....	87
A.2	Ficha de Campo de Avaliação (FCA). Ferreira (2018).....	88

# 1 INTRODUÇÃO

Um relatório publicado em 2015 pelo Escritório das Nações Unidas para a Redução de Desastres (UNISDR) aponta que cerca de 51 milhões de brasileiros foram afetados por catástrofes naturais entre os anos de 1995 e 2015. No período estudado, o Brasil esteve entre os 10 países com maior número de pessoas afetadas por desastres naturais. O documento analisa catástrofes relacionadas a fenômenos climáticos no mundo e seus danos para a população.

O município de Ouro Preto, famoso por suas ladeiras históricas, possui algumas características naturais que aumentam o risco à ocorrência de desastres. A junção de fatores como alto índice de pluviosidade, estrutura geomorfológica e tipo de ocupação da região potencializa essa problemática.

Para Castro (1999), desastre é uma consequência da ação de eventos adversos, sejam eles naturais ou de origem antrópica, sobre um sistema. Tais consequências estão relacionadas a danos humanos, materiais e ambientais, bem como prejuízos econômicos. A intensidade de um desastre, segundo ele, é fruto da relação entre a magnitude do evento adverso e o grau de vulnerabilidade do sistema receptor afetado.

Dessa forma, quanto maior a vulnerabilidade de um sistema, maior será a intensidade do desastre, logo, maiores serão os danos provocados pelo evento. De acordo com Castro (1999), isso se dá porque a vulnerabilidade é um estado próprio de um corpo ou sistema receptor capaz de determinar a intensidade dos prováveis efeitos consequentes da interação com o evento adverso.

Os movimentos de massa, descritos por Patton & Hendron Jr. (1974) *apud* Parizzi (2010) como a mobilização descendente de solos e rochas nas encostas regida pela ação da gravidade, são classificados como desastres naturais. Um dos processos mais importantes englobados por estes movimentos são os escorregamentos, Tominaga *et al.* (2009) destaca que esse fenômeno é o mais frequente na região Sudeste do país. Neste trabalho é dada ênfase ao processo de escorregamento, devido à sua relevância para a região de estudo.

A cidade de Ouro Preto é reconhecida pela Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (UNESCO) como Patrimônio da Humanidade, graças a sua riqueza histórica e cultural. Porém, o município também dispõe de um cenário propício à ocorrência de movimentos gravitacionais de massa, como aponta Tavares (2018).

Fontes (2011) aponta que a cidade apresenta duas condições contrastantes: de um lado, o acervo barroco único, que traz consigo uma parte importante da história mineira; de outro um acelerado crescimento urbano. Os fatores naturais aliados à ocupação desordenada, aumento de tráfego, industrialização e impacto causado pelo turismo, representam uma ameaça de danos irreversíveis ao conjunto e à própria população.

Em suma, a ocorrência de movimentos gravitacionais de massa é uma ameaça cada vez mais pertinente à conservação do patrimônio edificado. Nesse aspecto, a integridade do acervo tem relação direta com o grau de vulnerabilidade física associado a ele.

Desta forma, conhecer e quantificar a vulnerabilidade é de extrema importância e por isso, o presente trabalho apresenta esse objetivo. O estudo foi concebido a partir de visitas *in loco* para observação de características que posteriormente foram aplicadas a uma análise estatística, que forneceu valores de vulnerabilidade física atribuídos aos locais.

## **1.1 Objetivo**

O objetivo deste trabalho é obter índices de vulnerabilidade física relacionados às edificações em determinados locais no Centro Histórico de Ouro Preto, através da metodologia proposta por Ferreira (2018).

### **1.1.1 Objetivos Específicos**

- Buscar indícios de processos desestabilizadores nos terrenos visitados;

- Obter o índice de vulnerabilidade física dos locais visitados a partir da equação proposta por Ferreira (2018);
- Realizar um breve comparativo entre os resultados obtidos através de outras metodologias com os resultados encontrados através da metodologia em estudo.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Ouro Preto**

A cidade de Ouro Preto está localizada na região da Serra do Espinhaço, Zona Metalúrgica de Minas Gerais (Quadrilátero Ferrífero), distante cerca de 97 quilômetros da capital do estado, Belo Horizonte. Segundo o último censo do IBGE (2010), Ouro Preto conta com uma população de 70.281 habitantes, altitude média de 1150 metros e área de aproximadamente 1.245,9 km<sup>2</sup>.

O município é composto por 13 distritos: Amarantina, Antônio Pereira, Cachoeira do Campo, Engenho Correia, Glaura, Lavras Novas, Miguel Burnier, Ouro Preto (sede), Rodrigo Silva, Santa Rita de Ouro Preto, Santo Antônio do Leite, Santo Antônio do Salto e São Bartolomeu.

#### **2.1.1 Histórico de Ocupação**

Na última década do século XVII, motivado por rumores da existência de ouro na região, Antônio Dias e a bandeira chefiada por ele chegaram a Ouro Preto. O desenvolvimento da cidade foi resultante da integração de arraiais ali formados, através de agrupamentos que, mais tarde, se consolidaram em um povoado e em 8 de julho de 1711 se elevaram a condição de vila, chamada de Vila Rica de Albuquerque. Foi capital da então província das Minas Gerais entre 1720 e 1897, a atividade mineradora foi responsável por todas as outras atividades desenvolvidas na região, inclusive o povoamento (Bueno, 2019).

De acordo com Guerreiro (2000), a estrutura urbana da cidade é de origem espontânea, ou seja, não se deu através de um plano ou desenho pré-estabelecido. O relevo acentuado da região e a variedade de formas topográficas presentes no sítio, são considerados fatores determinantes para a organização urbana atual.

Silva (2013) destaca que, inicialmente, os caminhos e direcionamentos dos vales de córregos foram utilizados para ocupação e desenvolvimento da vila.

Posteriormente, as áreas mais elevadas também foram empregadas para este fim, como é retratado na Figura 1.

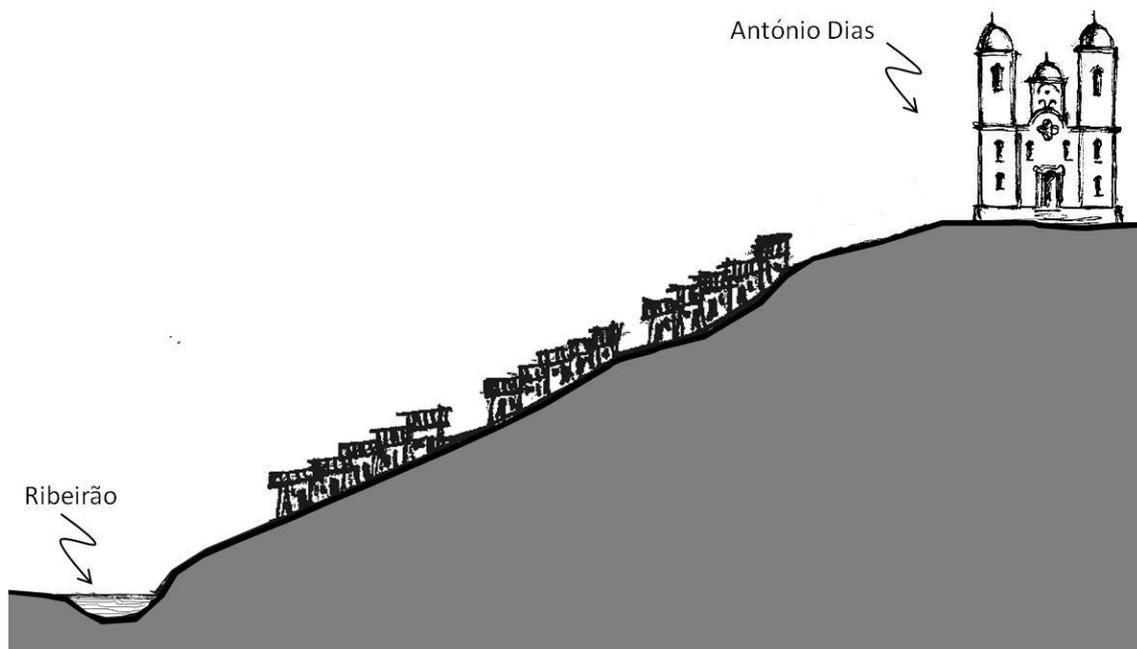


Figura 1 – Esquema retratando a estrutura inicial de povoamento da cidade de Ouro Preto.  
Fonte: Silva (2013).

O desafio na povoação de Vila Rica se deu devido à topografia inadequada a este fim apresentada pela região. A inexistência ou dificuldade de obtenção de terrenos planos evidencia tal fato, como aponta este trecho: “as ruas, ao longo das encostas, deixavam de um lado lotes de fortes aclives e, de outro, de consideráveis declives” (VASCONCELLOS, 1977).

De acordo com Vasconcellos (1977), a construção de casas nas encostas e morros raramente se deu com conformação em quadra. Nas áreas urbanas os lotes caracterizavam-se por apresentar áreas mínimas, com testadas máximas de 10 metros na maioria dos casos. As edificações eram dispostas de acordo com a via pública mais próxima, tangenciando as ruas e quase sempre também as laterais, devido a Ordenações do Reino e poucos espaços disponíveis. Dessa forma, as casas foram construídas de maneira mestiça, geminadas às vizinhas, constituindo conjuntos compactos que cordeavam as ruas.

As edificações coloniais, como aponta Barbosa (2004), em geral, dispunham de um pavimento ou eram constituídas por sobrados, a cobertura era realizada com telhas de barro e composta por telhados de duas águas, uma para trás e uma para frente do terreno. Os sobrados eram construídos pelas classes sociais mais privilegiadas, com o intuito de melhor utilização dos lotes e em busca de destaque social.

As paredes das construções mais simples eram feitas de pau-a-pique, taipa de pilão e adobe, já nas construções com um padrão mais alto utilizavam-se pedra, barro e tijolos. Colin (2010) afirma que grande parte das fundações dessas residências eram diretas, sendo em sua maioria de alvenaria de pedra seca, independente do material da parede. Segundo o autor, outro tipo comum de fundação era a realizada com esteio – o pau-a-pique, as peças de madeira que formam os esteios eram enterradas no solo com 2 a 4 metros de profundidade.

Atualmente, o Conjunto Arquitetônico e Urbanístico presente nessa região, conhecido como Núcleo Histórico da cidade de Ouro Preto, faz parte dos bens tombados em âmbitos municipal e federal, que compreende o “Caminho Tronco” (bairros Cabeças, Rosário, Pilar, Centro, “Lajes”, Antônio Dias, Barra, Alto da Cruz, Padre Faria e adjacências). Em 5 de setembro de 1980, o centro Histórico de Ouro Preto tornou-se a primeira propriedade cultural do Brasil reconhecida como Patrimônio Histórico e Cultural da Humanidade pela UNESCO. A Figura 2 mostra o traçado da área considerada:

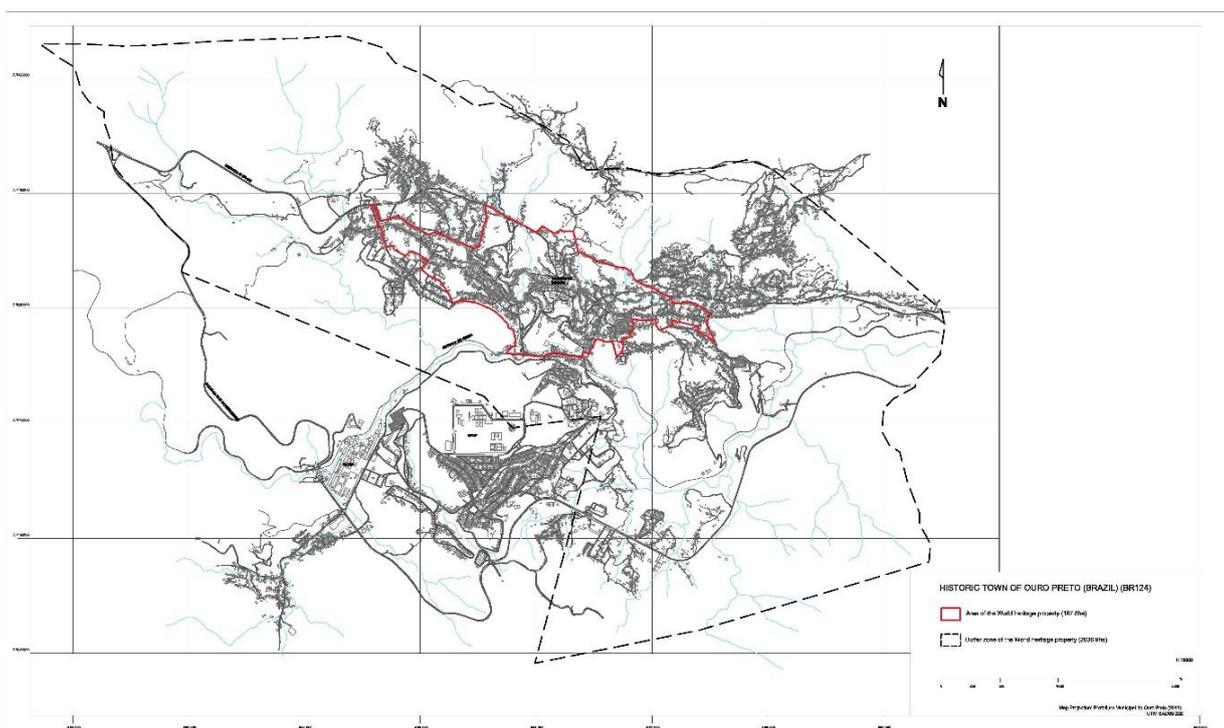


Figura 2 – A área do mapa destacada em vermelho representa a região considerada Patrimônio Cultural da Humanidade pela UNESCO no Distrito Sede de Ouro Preto.  
 Fonte: UNESCO (2014).

### 2.1.2 Clima

A elevada pluviosidade é característica marcante do clima de Ouro Preto. Segundo o IGA (1994) *apud* Castro (2006), a cidade apresenta uma média de 1.610,1 milímetros de chuva por ano (série de 1988 a 2004), sendo a altitude elevada um dos principais responsáveis pelo alto índice. Aproximadamente 87% da precipitação anual concentra-se entre os meses de outubro a março.

Carvalho (1982) *apud* Sobreira e Fonseca (2001) define o clima da cidade como um clima tropical de montanha, onde a baixa latitude é compensada pela altitude e conformação orográfica regional. Os verões são amenos e os invernos chegam a registrar temperaturas muito baixas, com elevada umidade atmosférica.

### 2.1.3 Contexto Geológico e Geotécnico

A cidade de Ouro Preto está localizada em um grande vale entre a Serra de Ouro Preto e a Serra do Itacolomi. O Serviço Geológico do Brasil – CPRM (2016) aponta que na região, ocorrem principalmente quartzitos, xistos, filitos e itabiritos provenientes de afloramentos de unidades litoestratigráficas paleoproterozóicas. Destaca ainda que, nos platôs e nas porções mais elevadas do relevo são observadas principalmente coberturas com formações lateríticas.

Um mapa simplificado da região é apresentado na Figura 3. A Figura 4 retrata uma seção geológica esquemática apresentando a disposição geral das principais unidades litoestratigráficas do município.

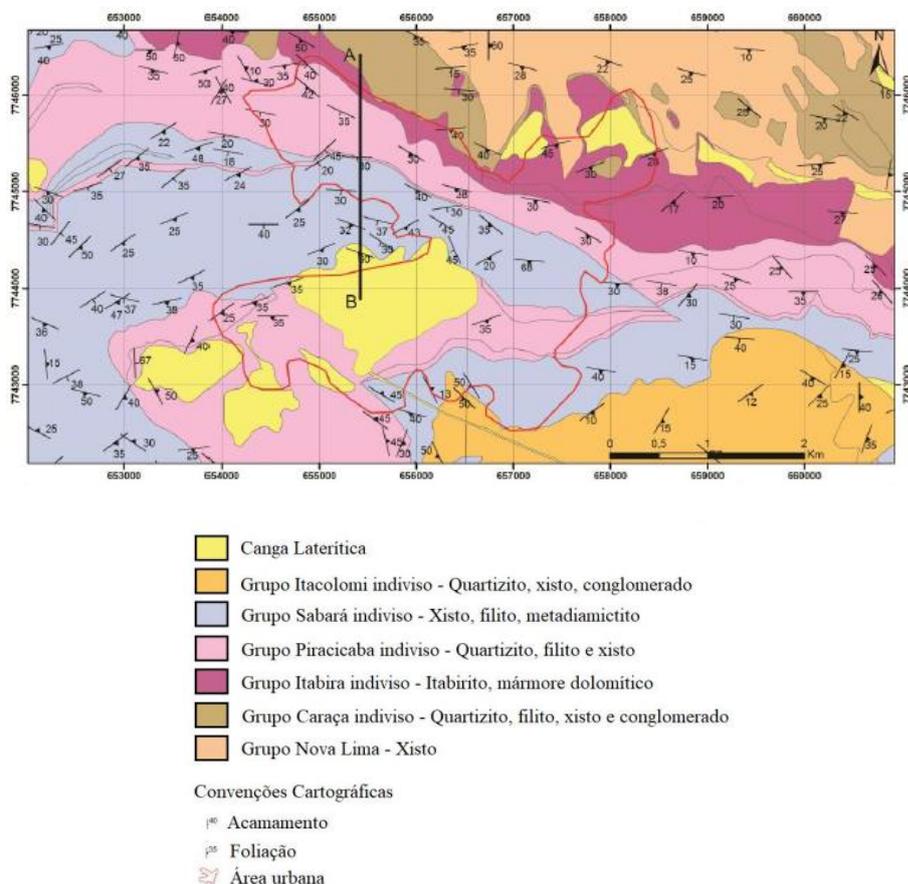


Figura 3 – Mapa geológico simplificado da região onde está localizada a cidade de Ouro Preto. Modificado de Baltazar *et al.* (2005).  
Fonte: CPRM (2016).



Figura 4 – Seção geológica esquemática com a disposição geral das principais unidades litológicas. Modificado de CPRM, 2016. Fonte: Ferreira (2018).

O comportamento geotécnico apresentado por algumas formações geológicas encontradas na cidade de Ouro Preto demonstra grande vulnerabilidade à ocorrência de eventos ambientais problemáticos. Sobreira (1992) ressalta algumas características dessas unidades:

- Xistos do grupo Nova Lima: alto grau de alteração e fratura, formação de sulcos e ravinas. Ocorrência na encosta aos fundos da antiga Santa Casa de Misericórdia e no bairro São Sebastião;
- Filitos da Formação Batatal: alta impermeabilidade e baixas características de resistência, favorecendo o escorregamento da camada de itabirito e de canga. Ocorrência na porção norte da cidade;
- Quartzitos ferruginosos e os filitos cinzentos e prateados da Formação Cercadinho: baixa resistência à denudação. Ocorrência nos bairros: Cabeças, Rosário, Centro, Antônio Dias, Santa Efigênia e Praça Tiradentes;
- Quartzitos da Formação Barreiro: descontínuos, alterados e de baixa resistência. Ocorrência na Vila São José, Buraco Quente e Novo Horizonte.

Outras unidades são apontadas como mais resistentes e estáveis, por exemplo os itabiritos revestidos por cangas da Formação Cauê do Grupo Itabira IGA (1994) *apud* Castro (2006). Porém, segundo Xavier (2018), dados estatísticos apontam que nos itabiritos ocorrem muitos movimentos, que podem estar relacionados com o elevado grau de intemperismo destas rochas ou por contato com outras unidades

litológicas, como no caso do contato com os filitos, que gera uma superfície de fraqueza nos períodos de chuvas, já que o itabirito é bastante permeável, ao contrário do filito.

Castro (2006) aponta uma geomorfologia diversa, com níveis altimétricos entre 800 e 1500 metros, apresentando relevo acidentado com vertentes íngremes e vales profundos. De acordo com Gomes *et al.* (1998), cerca de 40% da área urbana possui declividade entre 20 e 45% e somente 30% possui declividade entre 5 e 20%.

Ouro Preto apresenta um longo histórico de incidentes envolvendo movimentos gravitacionais de massa, a preocupação com a ocorrência desses eventos fica ainda mais evidente com a chegada do período chuvoso. Vários autores como Sobreira *et al.* (1992), Gomes *et al.* (1998), Bonuccelli e Zuquette (1999), Castro (2006), Fontes (2011), Ferreira (2018) e Tavares (2018) desenvolveram estudos sobre essa problemática.

Um desses autores, Fontes (2011), ressalta que as condições geológicas complexas da região, com grande variabilidade litológica, padrões estruturais múltiplos e condições diversas de alteração dos maciços, aliadas a complexidade das formações geomorfológicas propiciam graves problemas geotécnicos no município.

Diversas regiões da cidade vêm sendo afetadas ao longo dos anos, o CPRM (2016) levantou 258 setores de risco alto e muito alto na sede do município, totalizando 1398 edificações em risco. Na Figura 5, um gráfico proposto por Tavares (2018) com base no banco de dados da Defesa Civil de Ouro Preto, apresenta registros de movimentos gravitacionais de massa entre 1979 e 2017.

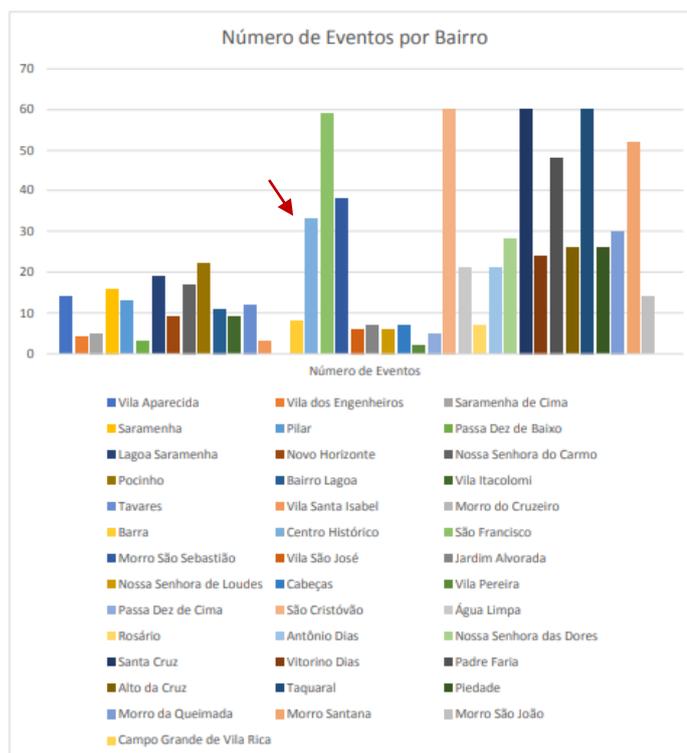


Figura 5 – Número de registros de movimentos gravitacionais de massa por bairro do Distrito Sede do Município de Ouro Preto/MG.  
Fonte: Tavares (2018).

É possível verificar, no período apontado, a ocorrência de 33 eventos em toda extensão do Centro Histórico. A autora destaca que é provável que este número seja maior, visto que existe uma carência de informações precisas e consistentes.

## 2.2 Movimentos Gravitacionais de Massa

Varnes (1978) define movimento gravitacional de massa como uma movimentação sob a influência gravitacional dos materiais que constituem uma encosta no sentido descendente ou para fora da própria encosta. A água, a neve e o gelo podem ser considerados condicionantes naturais à ocorrência destes movimentos.

Estes processos vêm sendo amplamente estudados no mundo todo. Para Guidicini e Nieble (1984), isso se deve, principalmente, às implicações sociais e econômicas atreladas a eles.

Por envolverem uma grande variedade de processos e materiais, estes movimentos podem assumir diversos tipos e classificações. Ferreira (2018) aponta que, dentre as classificações existentes, a proposta por Varnes (1978) (Tabela 1) é uma das mais utilizadas internacionalmente dada sua simplicidade, ela se baseia no tipo de movimento e no tipo de material transportado.

Tabela 1 – Classificação simplificada de movimentos gravitacionais de massa.

Classes de movimentos		Tipos de movimentos relativos ao material		
		Substrato rochoso	Solos para engenharia	
			Grossoiro	Fino
	<b>Quedas</b>	Queda de bloco	Queda de detrito	Queda de solo
	<b>Tombamentos</b>	Tombamento de bloco	Tombamento de detrito	Tombamento de solo
<b>Escorregamento</b>	<b>Rotacional</b>	Abatimento de bloco	Abatimento de detrito	Abatimento de solo
	<b>Translacional</b>	Escorregamento de blocos rochosos	Escorregamento de blocos de detritos	Escorregamento de blocos de solo
		Escorregamento de rochas	Escorregamento de detritos	Escorregamento de solo
	<b>Espalhamentos laterais</b>	Espalhamento de rochas	Espalhamento de detritos	Espalhamento de solos
	<b>Fluxos</b>	Fluxo de rochas Rastejo profundo	Fluxo de detritos Rastejo	Fluxo de solos Rastejo
	<b>Complexos</b>	Combinação de dois ou mais tipos de movimentos		

Fonte: Adaptado de Varnes (1978).

Devido à necessidade de uma classificação mais abrangente, Hungr *et al.* (2014) publicaram uma atualização referente à classificação sugerida por Varnes (1978). Desta forma, a atualização apresenta uma nova subdivisão para os movimentos gravitacionais de massa em 32 novos subtipos, como apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 – Atualização da classificação simplificada de movimentos gravitacionais de massa.

Classes de movimentos	Tipos de movimentos relativos ao material	
	Substrato rochoso	Solos para engenharia
<b>Quedas</b>	Queda de bloco rochoso/gelo	Queda de pedregulho/detritos/silte
<b>Tombamentos</b>	Tombamento de bloco rochoso	Tombamento de cascalho/areia/silte
	Tombamento em dobramento rochoso	
<b>Escorregamentos</b>	Escorregamento rotacional de rocha	Escorregamento rotacional de silte/argila
<b>Escorregamentos</b>	Escorregamento translacional de rocha	Escorregamento translacional de silte/argila
	Escorregamento em cunha de rocha	Escorregamento translacional de cascalho/areia/detritos
	Escorregamento composto em rocha	Escorregamento composto de silte/argila
	Escorregamento irregular de rocha	
<b>Espalhamentos laterais</b>	Espalhamento em rochas	Espalhamento por liquefação de areia/silte
		Espalhamento de argila sensível
<b>Fluxos</b>	Avalanche de rocha/gelo	Fluxo em ambiente seco de areia/silte/detritos
		Fluxo de areia/silte/detritos
		Fluxo de argila sensível
		Corrida de detritos
		Corrida de lama
		Inundação com detritos
		Fluxo de terra
	Fluxo de turfa (solo orgânico)	
<b>Deformação de encosta</b>	Deformação de encosta montanhosa	Rastejo de encostas em solo
	Deformação de encostas rochosas	Rastejo do solo

Fonte: Adaptado de Hungr *et al.* (2014).

Dentre os vários tipos de movimentos gravitacionais de massa classificados acima por Hungr *et al.* (2014), os mais frequentes na região Sudeste do Brasil são os escorregamentos, (TOMINAGA *et al.* 2009). Devido à importância de tais processos, eles terão enfoque nesse trabalho e serão melhor descritos no tópico a seguir.

## 2.2.1 Escorregamentos

Segundo Guidicini e Nieble (1984) escorregamentos são definidos como movimentos rápidos, com volumes bem determinados, onde o centro de gravidade da massa do terreno em movimento se desloca para baixo e para fora do talude ou encosta.

Ferreira (2018) destaca que fatores condicionantes desencadeadores de movimentos de massas estão relacionados tanto a características naturais intrínsecas ao material e à encosta (Figura 6), como também a outros fatores conhecidos como gatilhos. Os gatilhos são resultantes de processos de erosão, chuvas e intervenções humanas como cortes, escavação e aterros (Figura 7).

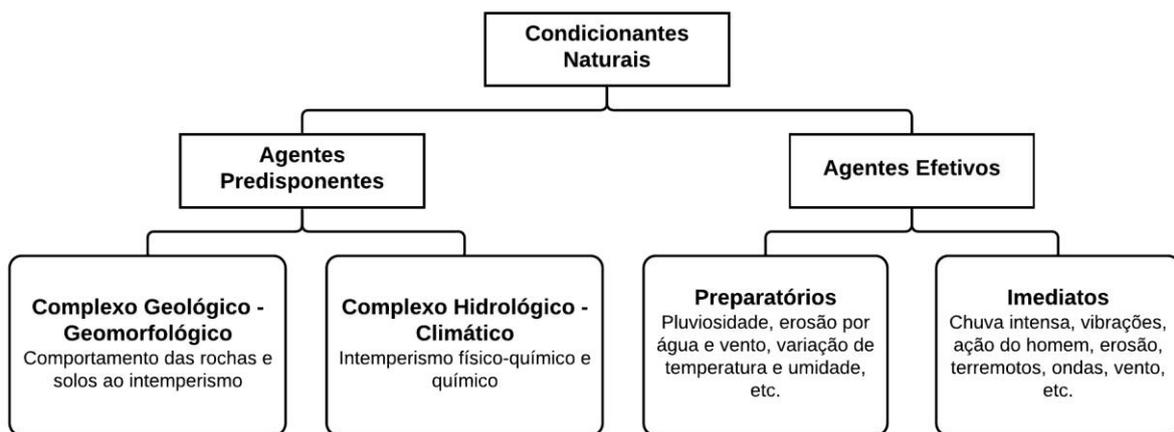


Figura 6 – Condicionantes naturais aos escorregamentos de terra.  
Fonte: Modificado de Guidicini e Nieble (1976).

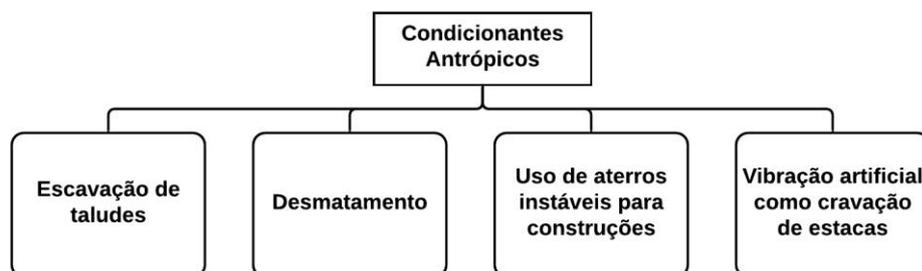


Figura 7 – Condicionantes antrópicas aos escorregamentos de terra.  
Fonte: Modificado de Highland e Bobrowsky (2008).

Os escorregamentos podem ser subdivididos em três classes de acordo com a forma do plano de ruptura e do material mobilizado: circular ou rotacional, planar ou translacional e em cunha.

### **2.2.1.1 Escorregamento Rotacional**

Os escorregamentos rotacionais (Figura 8) têm como característica principal a formação de uma superfície curva de ruptura com a concavidade voltada para cima. Segundo Nola (2015), nos escorregamentos rotacionais o material mobilizado apresenta pouca deformação, se desloca preferencialmente ao longo de superfícies de rupturas internas e gera degraus de abatimento com rachaduras concêntricas.

Tais movimentos geralmente estão relacionados à existência de solos espessos e homogêneos, como os decorrentes da alteração de rochas argilosas (Tominaga, 2007). Ahrendt (2005) destaca que esses escorregamentos são mais comuns em barragens de terra e aterros em geral, pois esse tipo de escorregamento ocorre mais em materiais homogêneos.

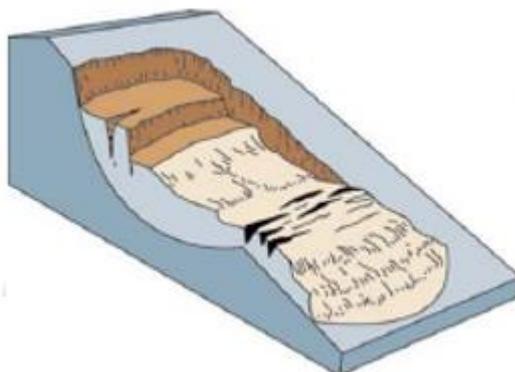


Figura 8 – Escorregamento Rotacional.  
Fonte: Highland & Bobrowsky (2008).

### **2.2.1.2 Escorregamento Planar**

Segundo Nola (2015), no escorregamento planar ou translacional, o material mobilizado se deforma enquanto desliza para fora e para baixo ao longo de uma

superfície aproximadamente plana. Planos de fraqueza em encostas contendo falhas, juntas, planos de acamamento, variações na resistência ao cisalhamento entre os estratos e superfícies entre diferentes materiais geológicos, são em geral onde estes processos ocorrem.

Fernandes e Amaral (1996) caracterizam os escorregamentos translacionais (Figura 9) como rasos, com plano de ruptura geralmente entre 0,5 a 5,0 metros de profundidade e com maiores extensões no comprimento. De acordo com Highland e Bobrowsky (2008), os materiais envolvidos neste tipo de escorregamento variam entre solo solto e não adensado a grandes placas de rochas, ou a união de ambos.

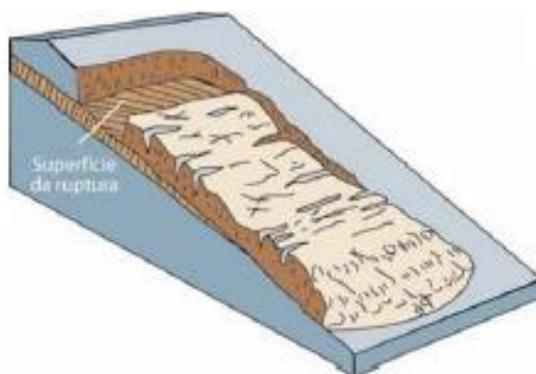


Figura 9 – Escorregamento Translacional.  
Fonte: Highland & Bobrowsky (2008).

### 2.2.1.3 Escorregamento em Cunha

Os escorregamentos em cunha (Figura 10) caracterizam-se por se formar segundo dois planos de ruptura, onde a linha de interseção destes planos é paralela ao mergulho da encosta. O material mobilizado é em geral composto por rochas, trata-se de um processo extremamente rápido e sem deformações internas (Nola, 2015).

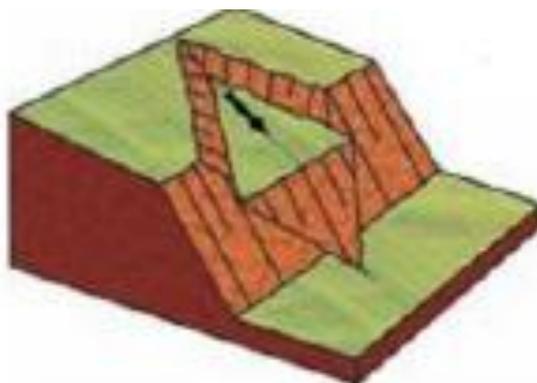


Figura 10 – Escorregamento em Cunha.  
Fonte: Tominaga *et al* (2009).

### 2.3 Patologias Indicadoras de Movimentos de Massa

Para Degussa (2008), patologia é a parte da engenharia responsável pela investigação de sintomas, mecanismos, causas e origens de defeitos nas construções civis. A concepção de uma edificação passa por três etapas: projeto, execução e utilização, falhas em uma ou mais destas etapas ocasionam defeitos que podem comprometer a segurança e durabilidade da construção.

Grande parte dos problemas patológicos são visíveis, desse modo, Souza e Ripper (1998) destacam que a presença de fissuras em elementos estruturais ou de alvenaria é um dos principais sintomas de que algo não vai bem. Segundo Oliveira (2012), a classificação das aberturas é definida de acordo com sua espessura, de forma que, aberturas menores que 0,5 milímetros são chamadas de fissuras, entre 0,5 e 1,5 milímetros são chamadas de trincas e de 1,5 a 5,0 milímetros são consideradas rachaduras.

As fissuras podem evoluir para trincas e até mesmo rachaduras, tornando-se caminho de entrada para agentes nocivos à estrutura. Neste trabalho iremos tratar, de maneira genérica, essa patologia como trincas.

Gonçalves (2015) aponta que algumas características das aberturas, como sua posição nos elementos estruturais, sua espessura, sua trajetória e seu espaçamento, podem indicar a causa ou as causas que as motivaram. De acordo com uma pesquisa realizada por Reygaerts *et al.* (1976) *apud* Lordsleem Jr., (1997), a origem das fissuras

e trincas se deve principalmente à movimentação da estrutura de concreto armado, à influência térmica e higrométrica e à movimentação da fundação. A Figura 11 retrata as possíveis causas desta patologia, ressalta-se que podem haver exceções.

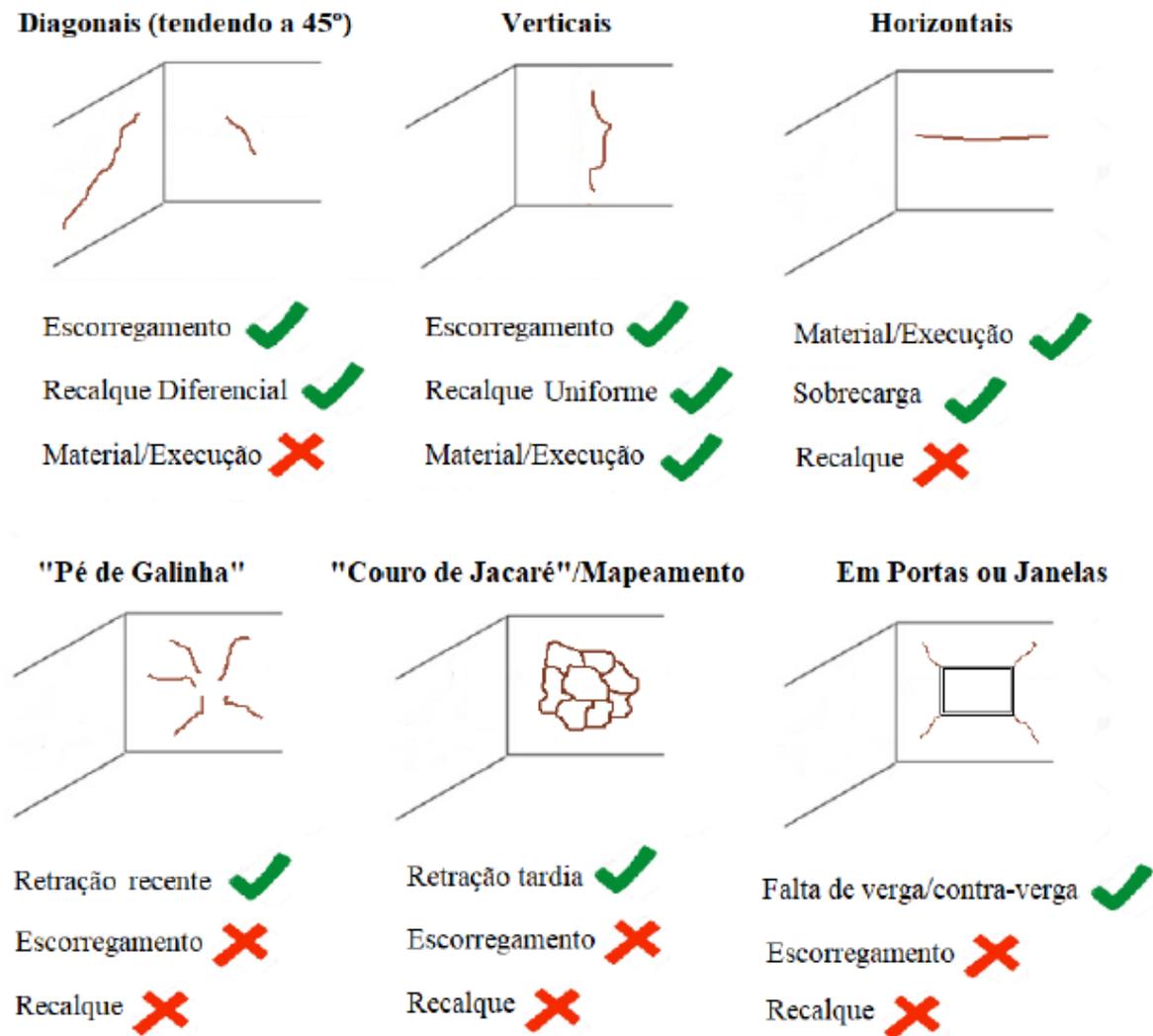


Figura 11 – Causas prováveis de trincas e fissuras.  
Fonte: Ferreira (2018).

Além das trincas e fissuras na edificação, há também outros mecanismos que podem indicar movimentos de terra através da observação direta. Highland e Bobrowsky (2008) destacam algumas características, além das fissuras, que podem apontar risco potencial de deslizamentos:

- Calçadas ou lajes que se distanciam do solo próximo a declives; solo que se afasta da fundação;
- Cercas que se encontram fora de prumo ou se apresentam de forma distinta, quando já foram em linha reta;
- Protuberâncias incomuns ou mudanças de altitude no chão, calçamentos, passeios ou calçadas;
- Postes, árvores, cercas e muros inclinados;
- Inclinação ou rachaduras excessivas no piso de concreto e fundações;
- Danos em tubulações de água ou em outras estruturas subterrâneas;
- Emperramento de portas e janelas e espaços abertos visíveis, indicando que paredes e molduras estão mudando e se deformando;
- Rangidos, estalos ou ruídos em casas, edifícios ou bosques (por exemplo, raízes rachando ou quebrando);
- Afundamento ou inclinação para baixo / queda de estradas ou caminhos;
- Nascentes, infiltrações e solo úmido ou saturado, em áreas previamente secas na base de taludes;
- Rachaduras: na neve, no gelo, no solo, em rochas ou no cume dos taludes;
- Rápido aumento ou diminuição dos níveis de cursos de água, eventualmente acompanhado de aumento de turbidez (teor de turvação da água pelo solo).

Os autores ressaltam que alguns processos apresentados podem ser oriundos de outros fenômenos que não deslizamentos, como o inchaço de solos. E ainda que para considerações mais precisas é aconselhável que se procure um perito.

## 2.4 Risco

De acordo com Corteletti (2017), o conceito de risco vem sendo debatido desde os anos 1970 com demasiado número de definições. A autora afirma que, a fim de normatizar a terminologia utilizada em estudos geológicos e geotécnicos, Varnes (1984) propôs uma nova definição para múltiplos aspectos de risco, contemplando risco específico, *hazard*, vulnerabilidade, entre outros. Conceitos recomendados por

grandes associações da categoria como a AGS (Australian Geomechanics Society), ISSMGE (International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering), ISRM (International Society for Rock Mechanics) e IAEG (International Association for Engineering Geology and the Environment) são mais frequentemente usados nos dias de hoje. A Tabela 3 traz um resumo das definições de risco.

Tabela 3 – Definições para o conceito de risco.

Autor	Definição de risco
<b>Varnes (1984)</b>	Risco total relaciona-se com número esperado de vidas perdidas, pessoas feridas, danos à propriedade e interrupção de atividade econômica, devido a um fenômeno particular para uma dada área e período de referência. Pode ser expresso pela multiplicação entre Elementos em risco (E), Perigo natural (H) e Vulnerabilidade (V).
<b>Augusto Filho <i>et al.</i> (1990)</b>	Representa a possibilidade ou probabilidade de ocorrência de algum dano a uma população (pessoas, estruturas físicas, sistemas produtivos) ou a um segmento da mesma. É uma condição potencial de ocorrência de um acidente.
<b>Cardona (<i>apud</i> Nogueira 2001)</b>	É obtido pela correlação da probabilidade de ocorrência de eventos perigosos (de consequências econômicas e sociais em um determinado local e em certo período de tempo (A) e da Vulnerabilidade (V) dos elementos expostos a tais ameaças, matematicamente expresso como a probabilidade de exceder um nível).

Fonte: Adaptado de Corteletti (2017).

Conforme apontado por Varnes (1984) e Cardona (2001), citados acima, o risco está intimamente ligado a um conjunto de elementos, entre eles a vulnerabilidade. Este item será abordado com mais destaque neste trabalho por se tratar do elemento principal da metodologia a ser aplicada.

## 2.5 Vulnerabilidade

Os desastres, apesar de classificados de acordo com as ameaças que os acarretam (naturais, tecnológicos), não estão apenas relacionados a fatores ameaçadores, são também consequência do aumento da vulnerabilidade das

pessoas, provocado por sistemas humanos. Fatores econômicos, políticos e sociais estão estreitamente ligados a esta problemática (IFRC, 2014).

Lavell (2011) descreve vulnerabilidade como a propensão de uma sociedade ou elemento dela sofrer danos. Trata-se de um fator essencial à existência ou não do risco, pois quando ausente torna a ocorrência de eventos físicos, naturais, sociais ou tecnológicos sem repercussão na sociedade.

De acordo com Kohler *et al.* (2004) a severidade de um evento está diretamente ligada à vulnerabilidade, sendo esta determinada por quatro fatores principais: o fator físico, o ambiental, o econômico e o social (Figura 12).

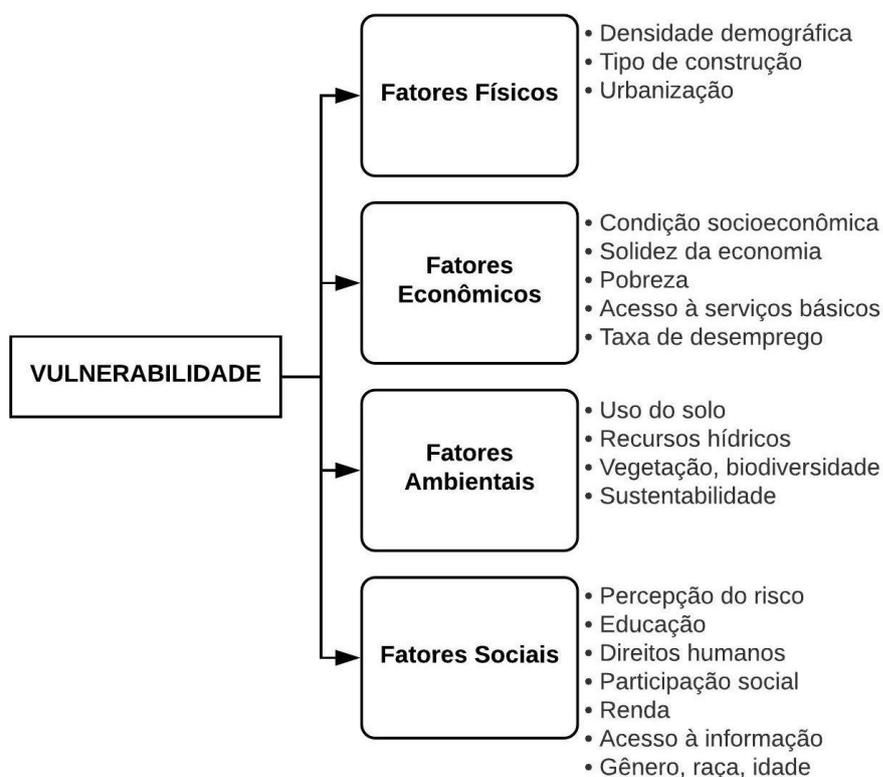


Figura 12 – Fatores ligados à vulnerabilidade.  
Fonte: Modificado de Kohler *et al.* (2004).

O conceito de vulnerabilidade é abstrato e complexo por ser dependente de diversos fatores. Corteletti (2017) aponta definições em seu trabalho (Tabela 4).

Tabela 4 – Definições para o conceito de vulnerabilidade.

Autor	Definição de vulnerabilidade
Varnes (1984)	Grau de perda de potencial (dano) de um dado elemento ou conjunto de elemento, sem risco resultante da ocorrência de fenômeno de catástrofe (desastres naturais) de uma determinada magnitude. Ela é expressa numa escala de 0 (ausência de danos) até 1 (perda total).
Zuquette (1993)	Característica intrínseca de um sujeito, sistema ou elemento que estão expostos a um evento perigoso ( <i>hazard</i> ), correspondendo à predisposição destes em serem afetados ou suscetíveis a perdas. É expressa em uma escala que varia de 0 (sem perdas) a 1 (perdas totais).

Fonte: Adaptado de Corteletti (2017).

Wilches-Chaux (1993) propõe que, a vulnerabilidade física, objeto deste estudo, refere-se à ocupação e ao adensamento populacional de áreas perigosas e as deficiências físicas de suas estruturas em absorver os efeitos dos riscos.

O cálculo da vulnerabilidade é realizado através de três modelos que se distinguem de acordo com os parâmetros envolvidos. Segundo Ferreira (2018), a metodologia de análise se classifica em:

- Qualitativa: a magnitude dos parâmetros é retratada verbalmente;
- Semi-quantitativa: os parâmetros são descritos em uma escala previamente definida e relativa;
- Quantitativa: a magnitude dos parâmetros é apresentada de forma quantitativa, com escala e mensurável.

### 2.5.1 Vulnerabilidade Física Aplicada a Movimentos de Massa

Para cada modelo de análise de vulnerabilidade, são utilizados diferentes parâmetros, que variam de acordo com o tema a ser estudado. Neste tópico, são apresentados três métodos de avaliação de vulnerabilidade a movimentos de massa

citados por Ferreira (2018) em seu trabalho, bem como suas características, aplicações, entre outros.

#### 2.5.1.1 Papathoma *et al.* (2007)

A metodologia proposta por Papathoma *et al.* (2007) determina a vulnerabilidade física a deslizamentos de terra sob uma abordagem qualitativa. Os autores desenvolveram uma equação (Equação 2.1) que abrange todos os parâmetros considerados por eles como relevantes, no que se trata da vulnerabilidade de construções à deslizamentos. O material construtivo da edificação, a idade, a altura, o tipo de fundação, a macro e a microlocalização são tidos como fatores pertinentes na análise.

$$V_b = (5a) + (4b) + (3c) + (2d) + (1e) \quad (2.1)$$

Na qual  $V_b$  expressa a vulnerabilidade dos edifícios, **a** representa o material do edifício, **b** corresponde às contenções próximas aos edifícios; **c** indica à descrição da lateral próxima à inclinação; **d** relaciona-se aos sinais de alerta à movimentação e **e** indica o número de pavimentos da construção.

A Tabela 5 exhibe os parâmetros considerados significativos à vulnerabilidade física. A partir dos códigos gerados para cada parâmetro, foi aplicado o método da Transformação Linear Simples, de modo a se obter a padronização dos fatores em valores que podem variar entre 0 e 1 (valores entre colchetes na Tabela 5). Após calculada a padronização, foram atribuídos pesos a cada critério. Segundo os autores, cada um deles tem uma relevância na avaliação da vulnerabilidade.

Tabela 5 – Parâmetros considerados influentes à vulnerabilidade física de edificações.

Parâmetro	Tipos	Pesos
<b>Material</b>	1. Concreto [0,33] 2. Alvenaria [0,66] 3. Outros (piores) [1,00]	5
<b>Contenção (do lado da inclinação)</b>	1. Alta [0,33] 2. Média [0,66] 3. Inexistente/baixa [1,00]	4
Descrição do lado da inclinação	1. Somente parede [0,33] 2. Janelas pequenas [0,66] 3. Janelas grandes [1,00]	3
Sinais de aviso de movimentação	1. Não [0,50] 2. Sim [1,00]	2
Número de pavimentos	1. Mais de um andar [0,50] 2. Um andar [1,00]	1

Fonte: Papatoma *et al.* (2007).

É importante frisar que a ponderação, bem como a transformação feita para cada tipo de parâmetro, aumenta as incertezas do método. Recomenda-se que sejam usados dados estatísticos neste tipo de análise e não somente transformações lineares, para que ela exprima a realidade de maneira mais fiel. Uma equação de vulnerabilidade física foi desenvolvida com base na ponderação realizada (Equação 2.1).

Em relação a este estudo, o valor da vulnerabilidade física se encontra entre 4,46 e 15,00. A partir das relações já expostas, constata-se que a combinação composta por um edifício de concreto, com mais de um andar, contenção alta, sem janelas do lado da inclinação e sem evidências de um potencial deslizamento de terra possui vulnerabilidade mais baixa que as demais. De acordo com Ferreira (2018), a realização da ponderação sem o uso de critérios bem definidos e, a simplicidade dos parâmetros adotados, fazem com que o método possa ser considerado menos preciso.

### 2.5.1.2 Uzielli *et al.* (2008)

A metodologia proposta por Uzielli *et al.* (2008), estima a vulnerabilidade física de acordo com o aspecto quantitativo. O potencial de dano da ameaça e a capacidade

dos elementos expostos a lidar com sua severidade, são relacionados através da Equação 2.2:

$$V = I.S \quad (2.2)$$

Onde **V** é vulnerabilidade, **I** indica a intensidade do movimento e **S** a suscetibilidade dos elementos em risco. Neste caso, intensidade e suscetibilidade são expressos em termos adimensionais.

Uzielli *et al.* (2008) definem suscetibilidade de uma estrutura como a falta de capacidade dos elementos (neste caso, das construções) expostos na área de estudo em preservar sua integridade física e funcionalidade durante a interação física com uma massa deslizante. Os autores destacam que a suscetibilidade é uma característica que não possui relação com o fator causador do processo (movimento de massa), e que ela é estimada através de fatores relacionados ao estado de conservação da construção e à tipologia estrutural.

A suscetibilidade é calculada através da Equação 2.3:

$$S_{STR} = 1 - (1 - \xi_{STY}) (1 - \xi_{SMN}) \quad (2.3)$$

Na qual **S<sub>STR</sub>** indica a suscetibilidade estrutural dos elementos; **ξ<sub>STY</sub>** relaciona-se à tipologia estrutural e **ξ<sub>SMN</sub>** é o coeficiente relacionado ao estado de conservação dos elementos, como mostram as tabelas 6 e 7.

Tabela 6 – Coeficiente referente à tipologia estrutural (**ξ<sub>STY</sub>**).

<b>Tipologia estrutural</b>	<b>Resistência</b>	<b>ξ<sub>STY</sub></b>
<b>Estruturas simples</b>	Nenhuma	1,00
<b>Estruturas leves</b>	Muito Baixa	0,90
<b>Alvenaria de pedra, concreto e madeira</b>	Baixa	0,70
<b>Alvenaria de tijolo, estrutura de concreto</b>	Média	0,50
<b>Estruturas de concreto armado</b>	Alta	0,30
<b>Estruturas reforçadas</b>	Muito Alta	0,10

Fonte: Uzielli *et al.* (2008).

Tabela 7 – Coeficiente de conservação ( $\xi_{SMN}$ ).

<b>Estado de Conservação</b>	$\xi_{SMN}$
<b>Muito ruim</b>	0,50
<b>Ruim</b>	0,40
<b>Médio</b>	0,25
<b>Bom</b>	0,10
<b>Muito bom</b>	0,00

Fonte: Uzielli *et al.* (2008).

É válido ressaltar que o modo de obtenção dos parâmetros de avaliação estrutural e de conservação não foi exposto pelos autores, e os valores adotados para o estado de conservação dos elementos são atribuídos subjetivamente, aumentando assim as incertezas associadas ao método. Nota-se que quanto maior a resistência da estrutura e melhor seu estado de conservação, menor será a suscetibilidade.

A intensidade do movimento foi definida por Hungr *et al.* (1997), de maneira qualitativa, como o conjunto de parâmetros que determinam a capacidade destrutiva de um deslizamento de terra. Este parâmetro também possui uma definição quantitativa, que analisa fatores como a profundidade da superfície de ruptura, a área do deslizamento, a altura do material acumulado, o número de estruturas afetadas e a velocidade do movimento.

A definição de Uzielli *et al.* (2008), leva em conta a interação de fatores cinéticos e cinemáticos, relacionados à energia cinética da massa deslizante (danos provocados pelo impacto nos elementos vulneráveis, construções) e ao efeito relativo ao tamanho do deslizamento, respectivamente. Os autores propõem uma equação (Equação 2.4) para descrever a intensidade da ameaça.

$$I = K_S (r_K I_K + r_M I_M) \quad (2.4)$$

Onde  $K_S$  é definido como taxa de impacto espacial (Equação 2.5),  $I_K$  é o parâmetro de intensidade cinética;  $I_M$  é o parâmetro de intensidade cinemática;  $r_K$  é o fator de relevância cinética e  $r_M$  é o fator de relevância cinemática.

$$K_S = A_i/A_t \quad (2.5)$$

Em que  $A_i$  é a área afetada pelo escorregamento e  $A_t$  a área total de impacto do evento.

A importância das energias cinética e cinemática em relação ao potencial de destruição do deslizamento é representada através dos fatores  $r_K$  e  $r_M$ , determinados pelo usuário, de forma que sua soma seja no máximo igual a 1 (Equação 2.6). A título de exemplo, os autores ilustram que o dano causado por deslizamento lento em um edifício é essencialmente causado pelo deslocamento, enquanto no caso de movimentos rápidos, predominam características cinéticas.

$$r_K + r_M = 1 \quad (2.6)$$

O cálculo do fator cinético ( $I_K$ ) é relacionado com a velocidade do movimento, como propõem Cruden e Varnes (1996) na Equação 2.7:

$$I_K \left\{ \begin{array}{ll} 0,00 & C < 5 \cdot 10^{-7} \\ 0,1 \cdot [\log(C) + 6,3] & 5 \cdot 10^{-7} < C < 5 \cdot 10^3 \\ 1,00 & C > 5 \cdot 10^3 \end{array} \right\} \quad (2.7)$$

Onde  $C$  é a velocidade do movimento (mm/s).

Os autores propõem a Equação 2.8 para o cálculo do fator de intensidade cinemático ( $I_M$ ):

$$I_M \left\{ \begin{array}{l} \frac{2D_G^2}{D_{G,t}^2} \\ 1 - \frac{2(D_{G,t} - D_G)^2}{D_{G,t}^2} \\ 1 \end{array} \quad \begin{array}{l} \frac{D_G}{D_{G,t}} \\ 0,5 \leq \frac{D_G}{D_{G,t}} \leq 1 \\ \frac{D_G}{D_{G,t}} > 1 \end{array} \right\} \quad (2.8)$$

Em que  $D_G$  é definido como o deslocamento absoluto (mm) da superfície e  $D_{G,t}$  como deslocamento total (mm) do solo para atingir o dano total da estrutura.

Ferreira (2018) destaca que este método possui aplicação bem simples, no entanto, apresenta muitas incertezas. Os coeficientes de tipologia estrutural e estado de conservação são considerados problemáticos, uma vez que sua forma de determinação não é conhecida. Além disso, o cálculo da intensidade de movimento é subjetivo, totalmente relacionado à experiência e interpretação do usuário. Dessa forma, a avaliação da vulnerabilidade torna-se mais complexa, uma variedade de questionamentos pode surgir e, ao replicar-se este método, é possível que se obtenha diferentes resultados para um mesmo cenário abordado.

### 2.5.1.3 Guillard *et al.* (2016)

Guillard *et al.* (2016) apresentam uma metodologia de cálculo para vulnerabilidade considerada semi-quantitativa. Esta classificação se deve a origem do método, proveniente de pareceres de um grupo de especialistas europeus em deslizamentos e de um grupo de especialistas geotécnicos da área de estudo (município de Loures, Portugal).

O estudo baseou-se em um banco de dados com 686 registros de deslizamentos ocorridos na área entre 1967 e 2004, e considera que futuros deslizamentos têm probabilidade de conter características semelhantes as já armazenadas no banco de dados, referentes aos deslizamentos passados. Os dados disponíveis contemplam movimentos translacionais e rotacionais, com destaque para estes últimos, utilizados nos estudos por apresentarem dados mais precisos.

A tipologia estrutural é apontada pelos autores como um dos parâmetros que favorecem a vulnerabilidade (Tabela 8), assim como destacado por Uzielli *et al.* (2008). Porém, é retratada de maneira diferente, além disso, a abordagem do parâmetro também difere da metodologia já citada.

Tabela 8 – Tipologias Estrutural.

<b>Tipologia Estrutural</b>	<b>Elementos Estruturais</b>
<b>SBT1</b>	Madeira ou metal (estruturas leves)
<b>SBT2</b>	Estrutura de terra batida ou paredes de pedras soltas
<b>SBT3</b>	Alvenaria de tijolos ou pedras
<b>SBT4</b>	Estrutura de concreto armado

Fonte: Guillard *et al.* (2016).

Os autores destacam que a vulnerabilidade física está relacionada a cenários específicos, e por isso, eles consideraram várias possibilidades de posicionamento da estrutura em relação ao talude. Neste contexto, foram apontadas nove magnitudes: cinco cenários em que o edifício está localizado no corpo do movimento, assumindo diversas profundidades da superfície deslizante (1, 3, 5, 10 e 20 m); e quatro outras situações em que o edifício está localizado no pé do talude, sob diferentes alturas de material acumulado (0,5, 1, 3 e 5 m). Os valores máximos admitidos em todos os cenários foram definidos de acordo com os maiores deslizamentos já registrados na área de estudo, o que reforça a importância de um banco de dados sólido.

Para o desenvolvimento deste método, formulou-se um questionário que foi respondido por mais de 300 especialistas, no qual atribuíram o dano potencial causado por deslizamentos de diferentes magnitudes (Tabela 9) aos quatro tipos estruturais de edifícios já citados na Tabela 8.

Tabela 9 – Vulnerabilidade e nível de danos nas construções.

<b>Vulnerabilidade Física</b>	<b>Classe de dano</b>	<b>Nível de dano nas construções</b>
<b>[0 – 0,2]</b>	Insignificante	Ligeira acumulação de material que causa danos estéticos.
<b>]0,2 ; 0,4]</b>	Leve	Sem danos estruturais – danos reparáveis: gesso, pequenas rachaduras, danos nas portas e janelas.
<b>]0,4 ; 0,6]</b>	Significante	Sem danos estruturais – danos importantes que requerem reparação complexa: deslocamento ou colapso parcial de paredes ou painéis sem comprometer a integridade estrutural, rachaduras desenvolvidas.
<b>]0,6 ; 0,8]</b>	Severo	Dano estrutural que pode afetar a estabilidade: falha ou colapso de alvenaria, colapso de pisos, quebras severas/colapso das seções de estrutura.
<b>]0,8 ; 1]</b>	Muito severo	Danos graves comprometendo seriamente a integridade estrutural; colapso do edifício.

Fonte: Guillard *et al.* (2016).

Ao observar os valores adotados para expressar a vulnerabilidade, nota-se que estes se encontram na faixa entre 0 e 1. É importante destacar que, embora a matriz utilizada para cálculo não ter sido exposta, considera-se que o método possui menor subjetividade por se basear na opinião de uma quantidade considerável de especialistas.

As Tabelas 10 e 11 apresentam o resultado obtido através da relação da vulnerabilidade média com a tipologia estrutural dos elementos, a profundidade da superfície de ruptura (no caso de escorregamentos no corpo do talude) e a altura de material acumulado (para rupturas no pé do talude).

Tabela 10 – Vulnerabilidade relacionada à cada tipologia estrutural, para rupturas no corpo do talude.

Tipologia estrutural	Profundidade da superfície de ruptura				
	1m	3m	5m	10m	20m
<b>SBT1</b>	0,60	0,73	0,84	0,90	0,90
<b>SBT2</b>	0,57	0,72	0,85	0,92	0,91
<b>SBT3</b>	0,46	0,60	0,76	0,88	0,91
<b>SBT4</b>	0,35	0,48	0,66	0,80	0,86

Fonte: Guillard *et al.* (2016).

Tabela 11 – Vulnerabilidade relacionada à cada tipologia estrutural, para rupturas no pé do talude.

Tipologia estrutural	Altura do material acumulado			
	0,5m	1m	3m	5m
<b>SBT1</b>	0,45	0,61	0,85	0,94
<b>SBT2</b>	0,38	0,53	0,78	0,93
<b>SBT3</b>	0,30	0,40	0,66	0,83
<b>SBT4</b>	0,25	0,31	0,54	0,72

Fonte: Guillard *et al.* (2016).

A partir das tabelas, podemos expressar a vulnerabilidade física média para várias condições associadas à tipologia estrutural e à movimentação do talude. Embora esta metodologia esteja vinculada a uma determinada região, é possível que ela seja utilizada como base para trabalhos em outras regiões, com o devido cuidado e modificações necessárias.

## 2.6 Metodologia para Avaliação da Vulnerabilidade Física proposta por Ferreira (2018)

Ferreira (2018) propôs uma metodologia para Avaliação da Vulnerabilidade Física visando sua aplicação no contexto geológico-geotécnico da cidade de Ouro Preto, de forma a facilitar a tomada de decisões por parte do poder público. O método é dividido em 6 fases, como retrata a Figura 13. Neste trabalho, trataremos apenas da análise

estatística de vulnerabilidade física dos locais visitados, abordando apenas as fases III e IV do estudo. A seguir, é feita uma breve descrição das fases I, II, III e IV da metodologia.

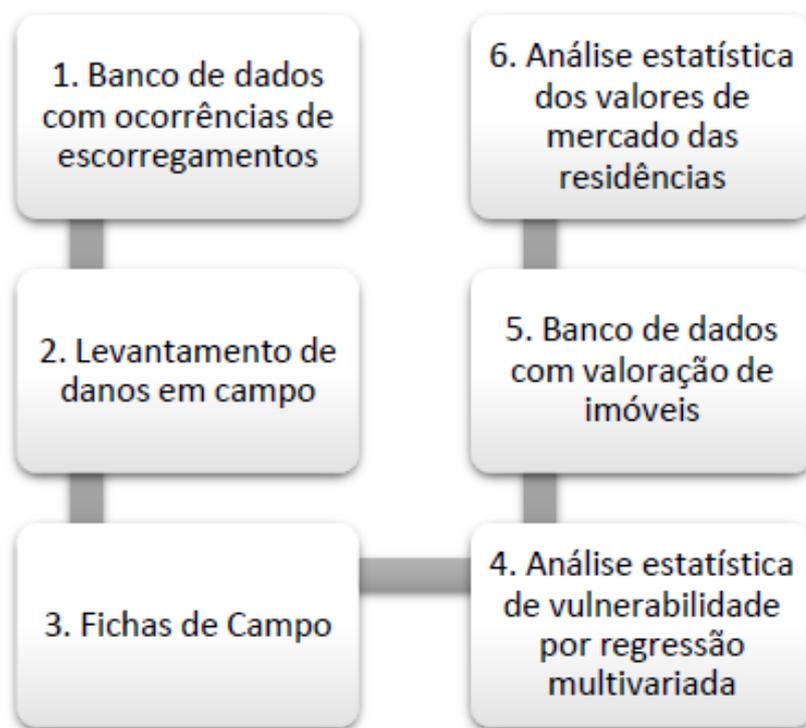


Figura 13 – Metodologia da pesquisa realizada por Ferreira (2018).  
Fonte: Ferreira (2018).

## 2.6.1 Fase I: Banco de Dados com Ocorrências de Escorregamentos

### 2.6.1.1 1ª Etapa: Banco de Dados Existente – Coleta e Filtragem

A primeira etapa da Fase I desta metodologia se baseia na análise de um banco de dados originário do projeto “Identificação das áreas de risco no distrito sede de Ouro Preto/MG” que contempla os escorregamentos ocorridos entre os anos de 1979 e 2017 em Ouro Preto.

Ferreira (2018) destaca que, com o objetivo de prever o grau de perda ou dano de uma residência em virtude de um escorregamento, a metodologia considerou

apenas dados oriundos de laudos geotécnicos da Coordenadoria Municipal de Defesa Civil, que contempla 65 ocorrências entre 2006 e 2014.

Para os locais selecionados, dentro dos registros de movimentos já ocorridos, foram avaliados os movimentos de massa do tipo escorregamento e foi verificado se havia registro de algum tipo de dano à residência resultante de tal evento.

### 2.6.1.2 2ª Etapa: Construção do Banco de Dados – Atribuição de Danos

A segunda etapa desta fase consistiu na elaboração de um banco de dados específico com as ocorrências selecionadas na primeira etapa, atribuindo para cada uma um valor de dano ente 0 e 1. Tal atribuição foi realizada com base na Tabela 12, fundamentada por fontes já existentes, como Kang e Kim (2016), Pereira *et al.* (2016) e Glade (2003).

Tabela 12 – Classificação quanto ao nível de danos.

Classe de Dano	Descrição	Dano	Descrição Detalhada
<b>Completo</b>	Parcialmente ou totalmente destruída, sendo necessária a evacuação e a reconstrução completa.	1,0	Totalmente destruída.
		0,9	Parcialmente destruída com possibilidade de ruína.
<b>Alto</b>	Parcialmente ou totalmente destruída, sendo necessária a evacuação e a reconstrução parcial.	0,8	Destruição de estruturas de alta resistência, paredes externas, pilares ou vigas, pisos ou fundações, sem possibilidade de ruína imediata.
		0,7	Destruição de estruturas de média resistência, paredes/divisórias internas (vedação), pilares ou vigas, sem possibilidade de ruína.

Tabela 13 – Classificação quanto ao nível de danos. (...)

<b>Classe de Dano</b>	<b>Descrição</b>	<b>Dano</b>	<b>Descrição Detalhada</b>
<b>Moderado</b>	Estabilidade afetada, com trincas nas paredes e deslocamentos visíveis.	0,6	Deformação ou trincas excessivas causadas por deslocamentos.
		0,5	Deslocamentos ou trincas em pisos, paredes, pilares ou vigas, desalinhamento de muro de contenção.
	Estabilidade afetada, com trincas nas paredes e deslocamentos visíveis.	0,4	Trincas em pisos, paredes, pilares ou vigas, que afetam a estabilidade da residência.
<b>Leve</b>	Trincas/fissuras nas paredes que não afetam a integridade estrutural.	0,3	Trincas superiores a 1 cm, sem afetar a integridade estrutural.
		0,2	Trincas de 0.6 mm até 1 cm, sem afetar a integridade estrutural.
		0,1	Fissuras nas paredes.
<b>Nenhum</b>	Nenhum dano aparente.	0	Nenhum dano visível.

Fonte: Ferreira (2018).

A autora adverte a importância de se caracterizar corretamente a patologia ou anomalia relatada, pois, trata-se de fenômenos que possuem várias origens. No caso específico deste estudo de avaliação do grau de dano por escorregamentos, os danos devem ser resultantes deste fenômeno.

### 2.6.2 Fase II: Levantamento de Danos em Campo

De 65 imóveis filtrados, apenas 26 aleatoriamente distribuídos pela cidade (Figura 14) foram visitados para o levantamento de danos em campo e considerados no estudo, pois os demais não apresentaram informações consistentes. De acordo com Ferreira (2018), o valor numérico de índice de danos foi determinado considerando aspectos descritivos e detalhes fotográficos dos laudos.



Figura 14 – Imóveis com danos.  
Fonte: Ferreira (2018).

### 2.6.3 Fase III: Fichas de Campo

Na Fase III foram elaboradas duas Fichas de Campo para que a coleta de dados fosse realizada de forma padronizada. Uma delas para avaliação de vulnerabilidade de imóveis em áreas urbanas (FCV), apresentada no Anexo A.1, e a outra para análise de parâmetros relativos à valoração destes imóveis (FCA), Anexo A.2.

Ferreira (2018) destaca que a Ficha de Campo de Vulnerabilidade foi gerada a partir de parâmetros comumente usados em avaliações de vulnerabilidade física, e foi dividida em 4 partes: Identificação do Imóvel; Estabilidade Estrutural (conservação estrutural, sinais de danos, entre outros); Estabilidade Geotécnica (distância do talude e danos ao terreno) e Contexto Geológico do Entorno.

Para avaliação do Estado de Conservação Estrutural foi desenvolvida uma tabela suporte (Tabela 14), onde foi observada a condição de elementos estruturais visíveis. A dissertação da autora conta com mais tabelas que exemplificam essa classificação.

Tabela 14 – Estado de conservação estrutural das moradias.

---

<b>Estado de Conservação Estrutural</b>	
<b>Alta (3)</b>	Não são visualizadas nenhuma patologia ou anomalia em elementos com função estrutural.
<b>Média (2)</b>	Existem pequenas patologias que, se mantidas nestas condições, não afetam a integridade estrutural da construção, como fissuras ou trincas de pequeno porte.
<b>Baixa (1)</b>	Foram observadas anomalias relevantes como ferragens expostas, deformações, trincas de grande porte, concreto deteriorado, dentre outros.

---

Fonte: Ferreira (2018).

Na Ficha de Campo de Avaliação são registradas características observadas em vistorias externas das edificações, utilizadas para valoração em massa dos imóveis. O Estado de Conservação (EC) e o Padrão de Acabamento (PA) são analisados conforme as Tabelas 15 e 16.

Tabela 15 – Estado de conservação das residências.

---

<b>Estado de Conservação Estrutural</b>	
<b>Ruim (1)</b>	Reparos importantes (restauração de estruturas danificadas por infiltração, reconstrução de algum elemento por determinada anomalia, e afins).
<b>Médio (2)</b>	Reparos simples (retoque de pintura, limpeza de fachada ou similares).
<b>Bom (3)</b>	Aparência de novo.

---

Fonte: Ferreira (2018).

Tabela 16 – Padrão de acabamento das residências.

<b>Padrão de Acabamento</b>	
<b>Baixo (1)</b>	Sem revestimento externo, ou apenas revestimento de reboco (em pelo menos parte da residência); Esquadrias inexistentes ou de ferro.
<b>Médio (2)</b>	Pintura em toda a residência; Esquadrias de ferro/aço.
<b>Alto (3)</b>	Pintura com textura, revestimento de pedras ou cerâmica (ou similares); Esquadrias de madeira/alumínio.

Fonte: Ferreira (2018).

#### 2.6.4 Fase IV: Análise Estatística de Vulnerabilidade por Regressão Multivariada

A técnica de Regressão Multivariada foi empregada com o objetivo de prever a vulnerabilidade em imóveis de diferentes características. A equação utilizada para este fim foi obtida através do software SisDea, com base no banco de dados citado na Fase I. Para o caso do distrito sede de Ouro Preto, foi empregue o modelo exposto pela Equação 2.9.

$$V = \frac{33,00 + 10,08 * P - 9,71 * ECE - 9,04 * D + 0,40 * L + 12,27 * X}{100} \quad (2.9)$$

Na qual,

- V indica a vulnerabilidade prevista e pode variar de 0 a 1;
- P se refere ao número de pavimentos da residência;
- ECE representa o Estado de Conservação Estrutural podendo ser: Alta (3), Média (2) ou Baixa (1);
- D relaciona-se a distância entre a residência e o talude mais próximo em metros, e varia entre 0 e 5;
- X indica se a xistosidade da rocha está a favor ou contra o movimento;
- L estabelece a litologia do talude, podendo ser Quartizo (1), Canga (2), Xisto (3), Itabirito (4), Solo (5) e Filito (6).

A Tabela 17 indica os parâmetros da Equação 2.9, definidos pela autora a partir da Fase I, Ferreira (2018) apresenta em seu trabalho algumas imagens que exemplificam a análise de tais fatores.

Tabela 17 – Parâmetros da Equação 2.9.

<b>Vulnerabilidade (V)</b>	
<b>Número de Pavimentos (P)</b>	Número de pavimentos da residência
<b>Estado de Conservação Estrutural (ECE)</b>	1 Baixo
	2 Médio
	3 Alto
<b>Distância ao talude mais próximo (D)</b>	0 0 m < d < 1 m
	1 1 m < d < 2 m
	2 2 m < d < 4 m
	3 4 m < d < 6 m
	4 6 m < d < 10 m
	5 d > 10 m
<b>Xistosidade (X)</b>	-1 Contra
	0 Sem xistosidade
	1 A favor
<b>Litologia (L)</b>	1 Quartizito
	2 Canga
	3 Xisto
	4 Itabirito
	5 Solo
	6 Filito

Fonte: Ferreira (2018).

### 3 METODOLOGIA

O presente trabalho visa a obtenção de índices de vulnerabilidade através da aplicação de uma metodologia proposta por Ferreira (2018) intitulada “Proposta metodológica de avaliação do índice de vulnerabilidade física de moradias em áreas de escorregamentos e o valor monetário da perda associado – estudo de caso: distrito sede de Ouro Preto-MG”.

O valor da vulnerabilidade física foi obtido para nove edificações localizadas no Centro Histórico de Ouro Preto. O estudo foi realizado somente nesses locais em virtude do tempo disponível e recursos limitados.

Em primeiro lugar, foram realizadas visitas *in loco* com o objetivo de observar e registrar na Ficha de Campo de Vulnerabilidade todos os parâmetros necessários à aplicação da equação capaz de prever o grau de vulnerabilidade das edificações analisadas.

Na segunda parte, realizou-se uma breve descrição dos locais e da situação encontrada, destacando-se as patologias encontradas tanto nas edificações quanto no terreno. Após essa etapa, aplicou-se a Equação 2.9 desenvolvida por Ferreira (2018), com a finalidade de avaliar estatisticamente a vulnerabilidade das edificações visitadas no trabalho de campo. Por fim, os resultados obtidos foram analisados e comparados com os valores encontrados aplicando-se as metodologias propostas por Ppathoma *et al.* (2007) e Guillard *et al.* (2016). O processo resumido é descrito no fluxograma abaixo (Figura 15).

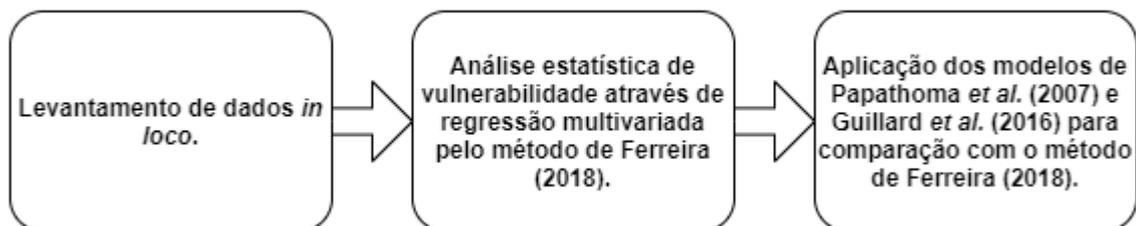


Figura 15 – Fluxograma com o resumo do processo.  
Fonte: Próprio autor.

### 3.1 Determinação dos Locais Vistoriados

A região de estudo, Centro Histórico de Ouro Preto, foi definida por sua importância histórica e cultural para a humanidade. Os locais visitados (Figura 16) foram escolhidos devido à sua localização. Contemplam locais movimentados como as ruas Barão de Camargos e Conselheiro Quintiliano, que mais a frente se transformam na rua Mariana, importante ligação entre Ouro Preto e a cidade de Mariana. Uma das edificações fica na Praça Tiradentes, local muito frequentado por turistas que chegam à cidade. Na rua Pacífico Homem, bem como na rua Costa Sena há um tráfego intenso de veículos, inclusive ônibus. A edificação existente na rua Cônego Trindade faz divisa com o jardim da Casa de Tomás Antônio Gonzaga, atualmente sede da Secretaria Municipal de Turismo, Indústria e Comércio de Ouro Preto.

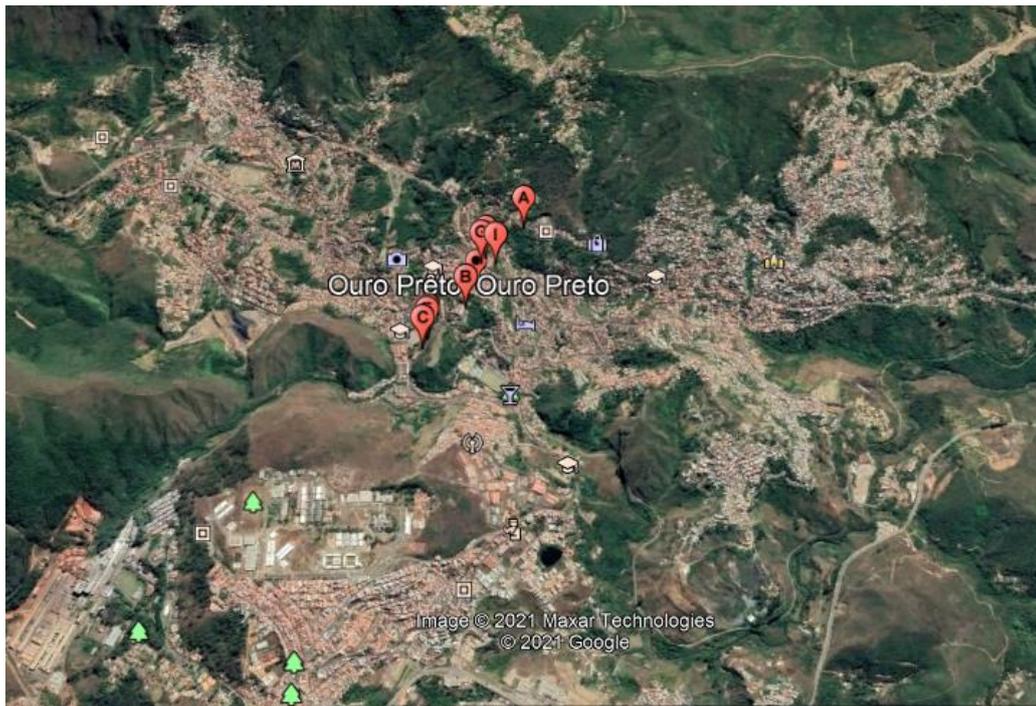


Figura 16 – Locais visitados.  
Fonte: Google Earth.

Dessa forma, a coleta de dados em campo aconteceu nos seguintes endereços:

- Rua Conselheiro Quintiliano, 254 (A);
- Rua Costa Sena, 151 (B);
- Rua Pacífico Homem, 150 (C);
- Rua Pacífico Homem, 142 (D);
- Rua Pacífico Homem, 128 (E);
- Rua Pacífico Homem, 112 (F);
- Praça Tiradentes, 09 (G);
- Rua Barão de Camargos, 32<sup>a</sup> (H);
- Rua Cônego Trindade, 20 (I);

### 3.2 Observação e Coleta de Dados

As informações foram coletadas através de inspeção visual, e compreendem as seguintes unidades da ficha de campo: estabilidade estrutural, estabilidade geotécnica e contexto geológico. Em alguns locais, foi possível acessar a parte interna das

residências, já nas edificações presentes na rua Pacífico Homem, a observação foi apenas externa, realizada pela Avenida Vitorino Dias.

### **3.3 Aplicação da Equação de Regressão Multivariada**

Os índices de vulnerabilidade foram obtidos aplicando-se uma equação de regressão multivariada obtida por Ferreira (2018) em sua pesquisa (Equação 2.9), para cada local avaliado, de acordo com os parâmetros observados em campo.

### **3.4 Análise dos Resultados**

A análise dos resultados foi feita de acordo com a classificação proposta por Ferreira (2018):

- Nula a leve [0,00-0,33];
- Média [0,34-0,66];
- Alta [0,67-1,00].

É válido ressaltar que a descrição dos locais visitados e dos valores de vulnerabilidade calculados estão ordenados através da sequência seguida no campo.

### **3.5 Aplicação de Outros Métodos de Análise de Vulnerabilidade**

Aplicou-se as metodologias propostas por Papathoma *et al.* (2007) e Guillard *et al.* (2016) para obtenção dos índices de vulnerabilidade dos locais visitados, a fim de se comparar com os valores encontrados através da metodologia de Ferreira (2018).

## 4 RESULTADOS

### 4.1 Rua Conselheiro Quintiliano, 254

Segundo os donos da casa, a residência (Figura 17) era ponto de encontro dos intelectuais que iam a cidade de Ouro Preto, o chalé localizado neste endereço pertenceu aos artistas plásticos Ivan Marquetti e Carlos Scliar. Sua construção se deu com utilização de madeira de demolição e canga, sendo terminada em meados de 1985.

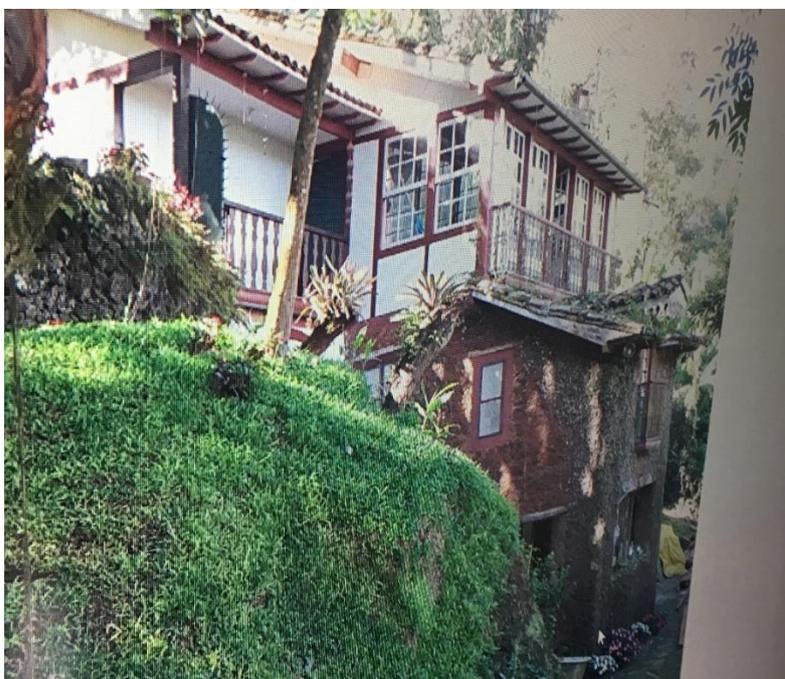


Figura 17 – Vista da residência antes do desabamento.  
Fonte: Próprio autor.

Na visita ao local, indicada pela Defesa Civil de Ouro Preto, foi observado um desabamento parcial da residência. O morador relatou a percepção de grandes trincas na noite do dia 21 de novembro de 2019, próximas ao anexo constituído de canga. O mesmo veio a desabar na madrugada do dia 22, conforme mostrado na Figura 18.



Figura 18 – Vista lateral do desabamento.  
Fonte: Próprio autor.

Segundo os proprietários, havia uma obra em curso no local onde ocorreu o desabamento para troca do piso de madeira deteriorado. Eles relataram também que as trincas na moradia já existiam há bastante tempo. Diante do cenário exposto, é possível que a obra tenha sido um gatilho que, junto ao processo de movimentação de terra já em curso desencadeou o desabamento.

Verificou-se na residência, assim como no terreno, sinais que podem indicar movimentação de terra. Na construção foram encontradas trincas diagonais como mostra as Figuras 19 e 20.



Figura 19 – Presença de trincas diagonais na edificação.  
Fonte: Próprio autor.



Figura 20 – Presença de trincas diagonais na edificação.  
Fonte: Próprio autor.

Além disso, na área externa foram encontrados outros indícios que sugerem movimentação de terra, tais como distanciamento dos pisos (Figura 21) e

abaulamento do mesmo (Figura 22). Também foram observadas trincas na parte do terreno que passou por retaludamento, conforme ilustra a Figura 23.



Figura 21 – Distanciamento dos pisos.  
Fonte: Próprio autor.



Figura 22 – Abaulamento do piso externo.  
Fonte: Próprio autor.



Figura 23 – Trincas no terreno.  
Fonte: Próprio autor.

Notou-se a presença de bananeiras na parte superior do talude e surgência de água em um determinado ponto. As bananeiras, por serem plantas de raízes curtas, não se fixam bem ao solo, contribuindo negativamente no aumento do peso a ser suportado por ele. Já a surgência de água indica saturação do solo, que pode levar a redução ou perda de coesão entre suas partículas e contribuir para um possível deslizamento.

Também foram encontradas trincas verticais na estrutura do portal de entrada localizado ao lado da residência, o que evidencia sinais de movimentação no terreno como um todo (Figura 24).



Figura 24 – Trincas no portal de entrada da residência.  
Fonte: Próprio autor.

A Tabela 18 apresenta os parâmetros utilizados na aplicação da Equação 2.9. O estado de conservação da residência foi considerado baixo pela presença de trincas de grande porte nas paredes de canga, bem como a existência de madeiras em mal estado. Aplicando-se esses valores, foi obtido o grau de vulnerabilidade de 0,68. Este valor é considerado alto, uma vez que se encontra no intervalo [0,67-1,00].

Tabela 18 – Parâmetros da Equação 2.9 para a residência da rua Conselheiro Quintiliano, 254.

Vulnerabilidade (V)		
<b>Número de Pavimentos (P)</b>		3
<b>Estado de Conservação Estrutural (ECE)</b>	1	Baixo
<b>Distância ao talude mais próximo (D)</b>	0	0 m < d < 1 m
<b>Xistosidade (X)</b>	1	A favor
<b>Litologia (L)</b>	6	Filito
<b>Vulnerabilidade (V)</b>		0,68

Fonte: Próprio autor.

#### 4.2 Rua Costa Sena, 151

A residência fica bem próxima à antiga Escola de Farmácia, no cruzamento entre as ruas Antônio Pereira, Costa Sena e Manoel Cabral (Figura 25). Na parte externa da edificação, é possível notar um pequeno desalinhamento do pilar esquerdo, bem como duas enormes trincas próximas a ele e ao telhado, conforme ilustra a Figura 26.

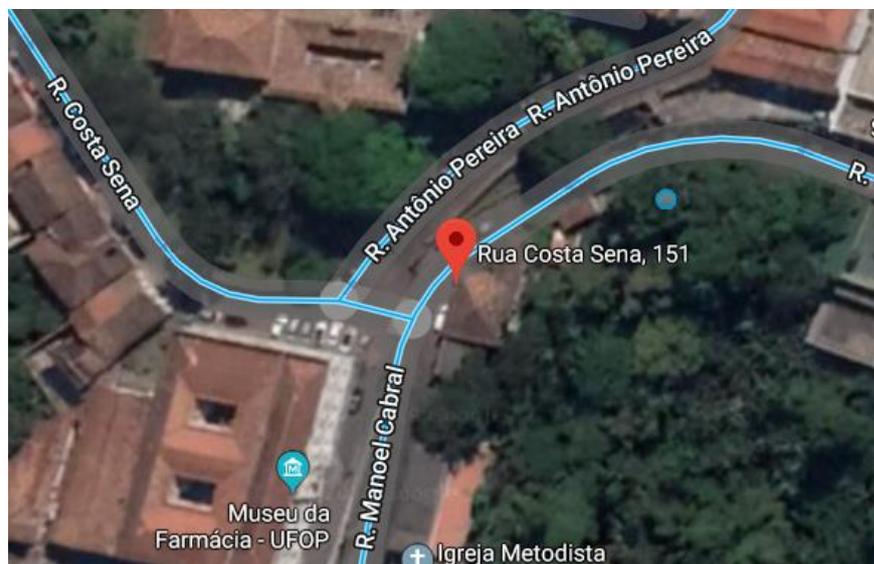


Figura 25 – Localização da residência.

Fonte: Google Maps.



Figura 26 – Grandes trincas próximas ao telhado e abaixo da janela.  
Fonte: Próprio autor.

De acordo com a proprietária, essas trincas são antigas e diversas obras foram feitas para repará-las, porém com o passar do tempo, elas retornam. Na Figura 27 é possível notar uma trinca em diagonal na fachada da casa e o desalinhamento da janela. Na parte interior da residência também foram observadas outras trincas (Figura 28).



Figura 27 – Trinca na fachada e desalinhamento da janela.  
Fonte: Próprio autor.



Figura 28 – Trinca na parte interior da residência.  
Fonte: Próprio autor.

Aparentemente, as trincas presentes na edificação podem ter relação com a trepidação causada pelo trânsito, já que as três ruas apresentam grande movimento em direção à Praça Tiradentes e em direção contrária a ela, inclusive de ônibus e micro-ônibus. Porém, o fato de que a casa está situada na crista de um talude, acrescido a observação de um padrão de desalinhamento dos paralelepípedos na frente da residência (Figura 29), implicam na possibilidade de que as anomalias tenham sido causadas também por movimentação de terra, ou pela junção dos dois fatores.



Figura 29 – Paralelepípedos desalinhados em frente à residência, vista pela janela frontal.  
Fonte: Próprio autor.

Os dados utilizados na Equação 2.9 estão descritos na Tabela 19.

Tabela 19 – Parâmetros da Equação 2.9 para a residência da rua Costa Sena, 151.

<b>Vulnerabilidade (V)</b>		
<b>Número de Pavimentos (P)</b>		3
<b>Estado de Conservação Estrutural (ECE)</b>	2	Médio
<b>Distância ao talude mais próximo (D)</b>	0	0 m < d < 1 m
<b>Xistosidade (X)</b>	1	A favor
<b>Litologia (L)</b>	6	Filito
<b>Vulnerabilidade (V)</b>		0,58

Fonte: Próprio autor.

Com base nos dados coletados e na aplicação da equação de regressão multivariada, obteve-se um grau de vulnerabilidade de 0,58. Desta forma, foi considerado uma média condição de vulnerabilidade para este estudo.

### 4.3 Rua Pacífico Homem

Devido à proximidade das quatro residências analisadas nesta rua, optou-se por analisá-las em um tópico único. Na rua Pacífico Homem, também conhecida como Morro da Forca, é possível observar um grande afloramento de filito e identificar a xistosidade presente na região (Figura 30).



Figura 30 – Afloramento de filito com destaque para o sentido de mergulho das camadas.  
Fonte: Próprio autor.

Como já citado anteriormente, a observação destas residências foi realizada somente pela parte externa, na Avenida Vitorino Dias. Dentre as casas analisadas na região, a localizada no número 150 apresenta o maior grau de vulnerabilidade (0,48), considerado médio. Tal fato pode ser explicado por ela se encontrar na crista do talude que mergulha em direção à Escola Pequeno Mundo.

Nas imagens registadas no local, é possível observar sinais de movimentação como: trincas na varanda, trinca na junção da varanda com a casa e um espaço na parte inferior da estrutura que sugere que ela esteja em balanço, conforme a Figura 31.



Figura 31 – Anomalias na residência número 150.  
 Fonte: Próprio autor.

Os parâmetros utilizados para a obtenção do índice de vulnerabilidade (Equação 2.9) são mostrados na Tabela 20.

Tabela 20 – Parâmetros da Equação 2.9 para a residência da rua Pacífico Homem, 150.

<b>Vulnerabilidade (V)</b>		
<b>Número de Pavimentos (P)</b>		1
<b>Estado de Conservação Estrutural (ECE)</b>	1	Baixo
<b>Distância ao talude mais próximo (D)</b>	0	$0\text{ m} < d < 1\text{ m}$
<b>Xistosidade (X)</b>	1	A favor
<b>Litologia (L)</b>	6	Filito
<b>Vulnerabilidade (V)</b>		0,48

Fonte: Próprio autor.

A residência de número 128 apresenta grandes e profundas trincas encontradas no muro de contenção, bem como ferragem exposta e foram os principais problemas encontrados ali, como ilustram as Figuras 32 e 33.



Figura 32 – Trincas no muro de contenção da residência número 128.  
Fonte: Próprio autor.



Figura 33 – Ferragem exposta e trincas no muro de contenção da residência número 128.  
Fonte: Próprio autor.

Os parâmetros utilizados na Equação 2.9 para a obtenção do índice de vulnerabilidade são mostrados na Tabela 21. O grau de vulnerabilidade obtido foi de 0,26 (considerado baixo).

Tabela 21 – Parâmetros da Equação 2.9 para a residência da rua Pacífico Homem, 128.

<b>Vulnerabilidade (V)</b>	
<b>Número de Pavimentos (P)</b>	3
<b>Estado de Conservação Estrutural (ECE)</b>	1    Baixo
<b>Distância ao talude mais próximo (D)</b>	2    2 m < d < 4 m
<b>Xistosidade (X)</b>	-1    Contra
<b>Litologia (L)</b>	6    Filito
<b>Vulnerabilidade (V)</b>	0,26

Fonte: Próprio autor.

A residência número 112 possui uma estrutura peculiar de apoio em sua parte de trás (Figura 34), não foram observados grandes danos à estrutura como um todo.



Figura 34 – Estrutura peculiar da residência 112.  
Fonte: Próprio autor.

O cálculo do índice de vulnerabilidade (Equação 2.9) foi feito considerando os parâmetros mostrados na Tabela 22. O grau de vulnerabilidade calculado para a edificação foi considerado baixo (0,05).

Tabela 22 – Parâmetros da Equação 2.9 para a residência da rua Pacífico Homem, 112.

Vulnerabilidade (V)		
<b>Número de Pavimentos (P)</b>		2
<b>Estado de Conservação Estrutural (ECE)</b>	3	Alto
<b>Distância ao talude mais próximo (D)</b>	1	1 m < d < 2 m
<b>Xistosidade (X)</b>	-1	Contra
<b>Litologia (L)</b>	6	Filito
<b>Vulnerabilidade (V)</b>		0,05

Fonte: Próprio autor.

O número 142 tem um grau de conservação considerado bom, porém, o muro de contenção, constituído de concreto armado e pedras aparentes, apresenta ferragem exposta (Figura 35).



Figura 35 – Ferragem aparente do muro de contenção da residência 142.  
Fonte: Próprio autor.

Os parâmetros usados na Equação 2.9 estão apresentados na Tabela 23. A residência possui grau de vulnerabilidade de 0,14.

Tabela 23 – Parâmetros da Equação 2.9 para a rua Pacífico Homem, 142.

<b>Vulnerabilidade (V)</b>		
<b>Número de Pavimentos (P)</b>		2
<b>Estado de Conservação Estrutural (ECE)</b>	3	Alto
<b>Distância ao talude mais próximo (D)</b>	0	0 m < d < 1 m
<b>Xistosidade (X)</b>	-1	Contra
<b>Litologia (L)</b>	6	Filito
<b>Vulnerabilidade (V)</b>		0,14

Fonte: Próprio autor.

#### 4.4 Praça Tiradentes, 09

Atualmente neste endereço encontra-se o Centro Acadêmico da Escola de Minas (CAEM). A edificação existente ali passou por diversas intervenções ao longo das décadas, sendo utilizada para diversos fins. Segundo registros do IPHAN, o prédio foi construído na primeira metade do século XVIII, para abrigar a Casa de Misericórdia e em 1949 um incêndio destruiu o edifício onde funcionava o atual Fórum de Ouro Preto.

Em julho de 2014, o Ministério Público do Estado de Minas Gerais (MPMG), recomendou ao município de Ouro Preto a interdição do prédio, que abrigava o CAEM e o Restaurante Universitário da UFOP, até que obras fossem realizadas para cessar o risco de desabamento. O inquérito civil aberto pelo MPMG apurou deformações e adernamento de cerca de dez graus no muro de pedra seca feito com quartzito, situado no fundo do CAEM, do Cantinho do Pão de Queijo e da Choperia (encosta localizada no Beco do Pilão).

O laudo técnico elaborado pelo Instituto Geotécnico de Ouro Preto – IGEO (2015), mencionou intervenções antrópicas no muro e no casarão secular, contribuindo para a instabilidade da encosta. Dessa forma, foi recomendada a realização de

intervenções urgentes, tais como a retirada de cargas adicionais (transformador e caixas de água) do talude a montante do muro de pedra seca, bem como o retaludamento da encosta e a drenagem neste local.

Durante a visita ao local, foi possível observar que algumas dessas recomendações foram atendidas, como a remoção das caixas de água que ficavam na parte de trás do Cantinho do Pão de Queijo e Choperia, porém a obra de retaludamento ainda não estava concluída (Figura 36). Além disso, o transformador ainda estava no local (Figura 37), e o aterro retaludado na parte posterior do prédio do CAEM não apresentava nenhum tipo de drenagem, como mostra a Figura 38. Vale ressaltar que a ausência de drenagem pode afetar a integridade do maciço e, em alguns casos, até comprometer o mesmo.



Figura 36 – Parte posterior do Cantinho do Pão de Queijo e Choperia.  
Fonte: Próprio autor.



Figura 37 – Vista do Beco do Pilão. Notar o poste e o transformador ainda no terreno.  
Fonte: Próprio autor.



Figura 38 – Talude a montante do muro de pedra. Notar a ausência de mecanismos de drenagem na estrutura.  
Fonte: Próprio autor.

No local foram observadas diversas trincas, presentes no primeiro andar na parte externa da edificação (Figura 39), no muro de divisa com a casa vizinha (Figura 40), na fundação de pedra seca (Figura 41) e no concreto projetado usado no retaludamento da encosta (Figura 42).



Figura 39 – Trinca vertical presente na parte externa do prédio do CAEM.  
Fonte: Próprio autor.



Figura 40 – Trinca no muro de divisa do prédio do CAEM com a residência vizinha.  
Fonte: Próprio autor.



Figura 41 – Trinca diagonal na fundação da edificação.  
Fonte: Próprio autor.

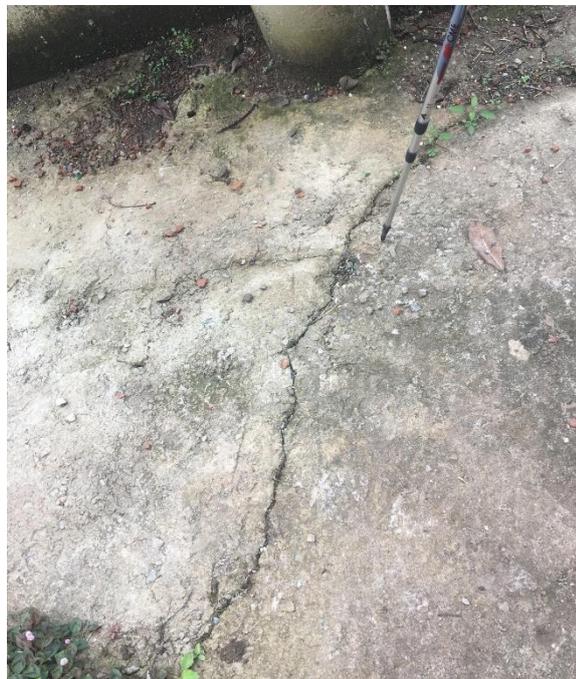


Figura 42 – Trincas presentes no concreto projetado do retaludamento da encosta à montante do muro de pedra seca.  
Fonte: Próprio autor.

O muro de pedra seca presente nos fundos da edificação (Figura 43), apresenta inclinação perceptível, bem como numerosas trincas profundas como mostra a Figura 44. O estado de conservação estrutural foi considerado baixo devido a essas trincas presentes na edificação.

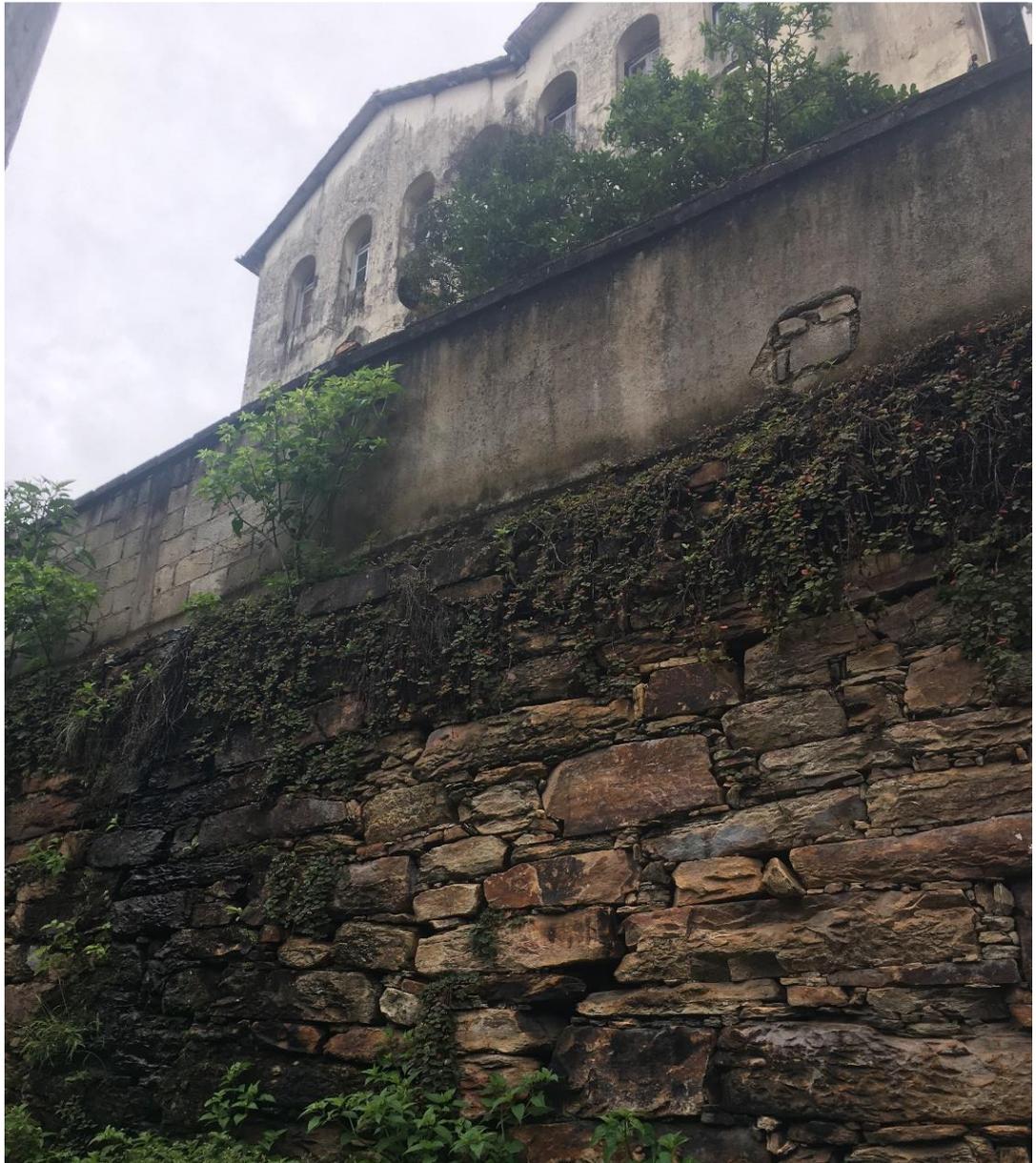


Figura 43 – Muro de pedra seca.  
Fonte: Próprio autor.



Figura 44 – Trincas presentes no muro de pedra seca.  
Fonte: Próprio autor.

Diante do exposto – trincas encontradas na edificação, no terreno, no muro de pedra seca e o adernamento do mesmo – há grandes indícios de movimentação da encosta. Segundo o IGEO, caso o muro de pedra seca venha a se romper, o material se projetaria cerca de 30 metros a jusante do local devido a energia potencial acumulada do sistema, causando grandes danos.

Através da análise realizada, foi obtido um grau de vulnerabilidade de 0,35. Este valor representa vulnerabilidade média. A Tabela 24 apresenta os parâmetros usados na Equação 2.9 para obtenção desse valor.

Tabela 24 – Parâmetros da Equação 2.9 para Praça Tiradentes, 09.

<b>Vulnerabilidade (V)</b>		
<b>Número de Pavimentos (P)</b>		3
<b>Estado de Conservação Estrutural (ECE)</b>	1	Baixo
<b>Distância ao talude mais próximo (D)</b>	1	1 m < d < 2 m
<b>Xistosidade (X)</b>	-1	Contra
<b>Litologia (L)</b>	6	Filito
<b>Vulnerabilidade (V)</b>		0,35

Fonte: Próprio autor.

#### 4.5 Rua Barão de Camargos, 32A

Esse local é vizinho ao edifício da Praça Tiradentes e foi selecionado durante visita ao local anterior, devido as diversas trincas presentes nessa edificação (Figura 45). Segundo a moradora da residência, a trinca já existia há alguns anos e se intensificou com a movimentação de terra proveniente de uma obra realizada no terreno ao lado (Cantinho do Pão de Queijo e Choperia). No pavimento térreo da residência, observou-se o deslocamento de cerâmicas, bem como a existência de severas trincas em diversos cômodos (Figuras 46 e 47). O estado de conservação do edifício foi considerado baixo devido à essas patologias encontradas.



Figura 45 – Trincas presentes no exterior da residência 32A.  
Fonte: Próprio autor.



Figura 46 – Trincas presentes no interior da residência 32A.  
Fonte: Próprio autor.



Figura 47 – Trinca diagonal presente no interior da residência.  
Fonte: Próprio autor.

A situação da edificação é preocupante, o grau de vulnerabilidade encontrado por meio da Equação 2.9 foi de 0,44 (considerado médio). Os parâmetros utilizados são mostrados na Tabela 25.

Tabela 25 – Parâmetros da Equação 2.9, rua Barão de Camargos, 32A.

<b>Vulnerabilidade (V)</b>		
<b>Número de Pavimentos (P)</b>		3
<b>Estado de Conservação Estrutural (ECE)</b>	1	Baixo
<b>Distância ao talude mais próximo (D)</b>	0	0 m < d < 1 m
<b>Xistosidade (X)</b>	-1	Contra
<b>Litologia (L)</b>	6	Filito
<b>Vulnerabilidade (V)</b>		0,44

Fonte: Próprio autor.

#### 4.6 Rua Cônego Trindade, 20

A residência número 20 faz divisa com o jardim existente nos fundos da Casa de Gonzaga. No limite entre os dois lotes, há um muro de pedra seca que apresenta sinais de movimentação, tais como presença trincas (Figura 48) e abaulamento (Figura 49).



Figura 48 – Detalhe de uma trinca no muro de pedra seca.  
Fonte: Próprio autor.



Figura 49 – Abaulamento do muro de pedra seca.  
Fonte: Próprio autor.

A Figura 50 ilustra um portal que liga o muro a casa e transmite os esforços provenientes de seu deslocamento à edificação. É possível verificar, na parte interna da residência, trincas resultantes dessa movimentação, conforme mostrado na Figura 51.



Figura 50 – Portal que interliga a residência ao muro de pedra seca.  
Fonte: Próprio autor.

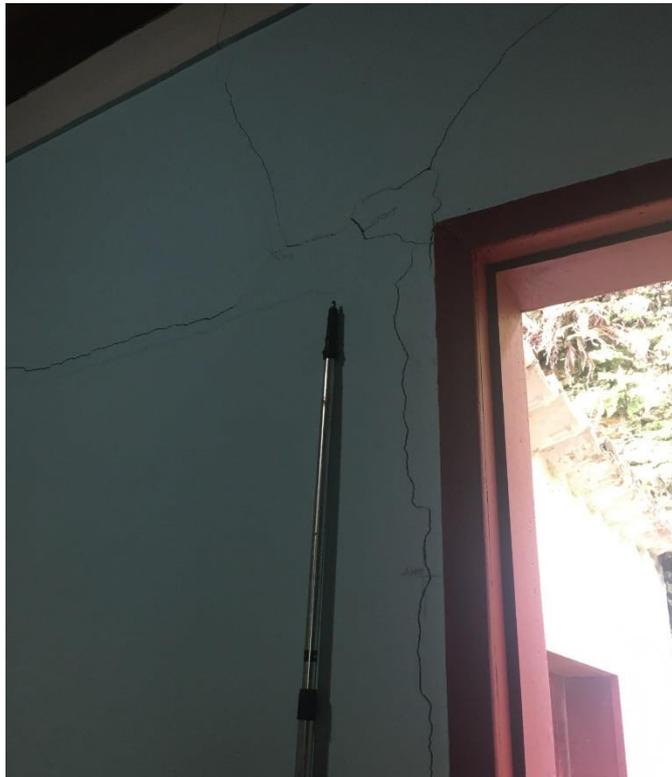


Figura 51 – Trincas no interior da casa.  
Fonte: Próprio autor.

Diante do exposto, optou-se também pela realização de uma visita à Casa de Gonzaga, na Rua Cláudio Manoel, 61. No local há um aterro, que possivelmente está se movimentando em direção ao muro. Na região do aterro próxima à residência, é possível notar desalinhamento e trincas na canaleta, bem como sua obstrução com pequenos galhos, terra e folhas secas (Figura 52).



Figura 52 – Desalinhamento, trinca e obstrução da canaleta.  
Fonte: Próprio autor.

A partir da análise realizada, foi possível encontrar 0,39 como grau de vulnerabilidade, considerado médio. A Tabela 26 expõe os parâmetros usados.

Tabela 26 – Parâmetros da Equação 2.9 para a rua Cônego Trindade, 20.

<b>Vulnerabilidade (V)</b>		
<b>Número de Pavimentos (P)</b>		1
<b>Estado de Conservação Estrutural (ECE)</b>	1	Baixo
<b>Distância ao talude mais próximo (D)</b>	1	1 m < d < 2 m
<b>Xistosidade (X)</b>	1	A favor
<b>Litologia (L)</b>	6	Filito
<b>Vulnerabilidade (V)</b>		0,39

Fonte: Próprio autor.

#### 4.7 Resumo

A Tabela 27 apresenta o resumo dos índices de vulnerabilidade física obtidos, bem como as classificações adotadas.

Tabela 27 – Resumo dos índices de vulnerabilidade.

<b>Endereço</b>	<b>Índice de vulnerabilidade</b>	<b>Classificação</b>
<b>Rua Pacífico Homem, 112</b>	0,05	Leve
<b>Rua Pacífico Homem, 142</b>	0,14	Leve
<b>Rua Pacífico Homem, 128</b>	0,26	Leve
<b>Praça Tiradentes, 09</b>	0,35	Média
<b>Rua Cônego Trindade, 20</b>	0,39	Média
<b>Rua Barão de Camargos, 32A</b>	0,44	Média
<b>Rua Pacífico Homem, 150</b>	0,48	Média
<b>Rua Costa Sena, 151</b>	0,58	Média
<b>Rua Conselheiro Quintiliano, 254</b>	0,68	Alta

Fonte: Próprio autor.

#### 4.8 Comparativo Entre Metodologias

De acordo com as metodologias de Papathoma *et al.* (2007) e Guillard *et al.* (2016), propostas na revisão bibliográfica, foram feitos cálculos com a finalidade de comparar os resultados gerados.

Os valores estão na escala habitual de 0 a 1, em que 0 representa vulnerabilidade nula e 1 alta vulnerabilidade. Nota-se que em alguns locais, há uma divergência expressiva entre os resultados.

É possível observar também, que os valores obtidos através da metodologia proposta por Guillard *et al.* (2016) se assemelham bastante entre si. Isso se deve ao fato de que a maioria das residências analisadas tinham a mesma tipologia estrutural (SBT4) e eram casos de rupturas no corpo do talude, nesse caso, considerou-se uma profundidade de ruptura de 2 metros. Analisando-se o banco de dados com registros de escorregamentos ocorridos em Ouro Preto, verificou-se um valor de até 2,0 m na maioria dos registros em que foram apresentadas informações quanto à profundidade de ruptura. Portanto, foi adotado uma profundidade de 2 m. Como não há essa opção nas tabelas do método, realizou-se uma adaptação, foram obtidos os índices para 1 e 3 metros e, logo depois, foi feita a média entre eles.

Aplicando-se a metodologia elaborada por Papathoma *et al.* (2007), é possível encontrar resultados que variam entre 4,46 e 15. Após a obtenção desses valores, foi realizada uma interpolação linear para transformá-los na escala habitual que vai de 0 a 1. Os valores obtidos se assemelham bastante aos encontrados usando-se a metodologia de Ferreira (2018). Uma das possíveis causas deste fato pode ser a semelhança entre os tipos de parâmetros utilizados nas metodologias, embora Papathoma *et al.* (2007) tenha feito o uso dos parâmetros de forma mais resumida que Ferreira (2018).

A Tabela 28 mostra a comparação entre os índices de vulnerabilidades obtidos através das metodologias propostas por Ferreira (2018), Papathoma *et al.* (2007) e Guillard *et al.* (2016). É válido ressaltar que foram feitas algumas adaptações para a aplicação das metodologias de Papathoma *et al.* (2007) e Guillard *et al.* (2016).

Tabela 28 – Comparação entre as metodologias.

Local	Índice de vulnerabilidade e Classificação		
	Ferreira (2018)	Papathoma <i>et al.</i> (2007)	Guillard <i>et al.</i> (2016)
Rua Pacífico Homem, 112	0,05	0,22	0,42
<b>Classificação</b>	Leve	-	Significante
Rua Pacífico Homem, 142	0,14	0,19	0,42
<b>Classificação</b>	Leve	-	Significante
Rua Pacífico Homem, 128	0,26	0,19	0,42
<b>Classificação</b>	Leve	-	Significante
Praça Tiradentes, 09	0,35	0,47	0,42
<b>Classificação</b>	Média	-	Significante
Rua Cônego Trindade, 20	0,39	0,33	0,66
<b>Classificação</b>	Média	-	Severo
Rua Barão de Camargos, 32A	0,44	0,44	0,42
<b>Classificação</b>	Média	-	Significante
Rua Pacífico Homem, 150	0,48	0,49	0,42
<b>Classificação</b>	Média	-	Significante
Rua Costa Sena, 151	0,58	0,60	0,42
<b>Classificação</b>	Média	-	Significante
Rua Conselheiro Quintiliano, 254	0,68	0,63	0,53
<b>Classificação</b>	Alta	-	Significante

Fonte: Próprio autor.

Ressalta-se que o método de Uzielli *et al.* (2008) não foi utilizado nessa comparação por apresentar muitas incertezas, conforme já explícito no item 2.5.1.2.

## 5 CONCLUSÃO

Os desastres naturais, cada vez mais frequentes no cotidiano da população brasileira, apresentam causas relacionadas a junção de características físicas e climáticas do meio com a ação humana. A cidade de Ouro Preto possui condições propícias à ocorrência de tais fenômenos, em especial, movimentos gravitacionais de massa, que não só ameaçam a conservação do patrimônio cultural e histórico existente, como também, o bem-estar da população.

Este trabalho foi realizado através de visitas *in loco*. Buscou-se observar algumas características que mais tarde foram relacionadas ao grau de vulnerabilidade obtido. Índícios de movimentação no terreno, bem como a presença de patologias no mesmo, nas residências, distância ao talude mais próximo, litologia, xistosidade, conservação estrutural e número de pavimentos foram os critérios apurados. Após essa etapa, aplicou-se a metodologia proposta por Ferreira (2018) para a obtenção dos índices de vulnerabilidade física de cada edificação. Em última análise, um breve comparativo foi feito entre os resultados alcançados através de outras sistemáticas.

Os resultados obtidos demonstram que dois terços dos locais avaliados apresentam vulnerabilidade de média a alta. Notou-se uma relação entre o valor de vulnerabilidade e os parâmetros considerados. Quanto maior o número de pavimentos, mais vulnerável é a edificação e quanto melhor o estado de conservação estrutural, menor a vulnerabilidade apresentada por ela. Observou-se também que quanto menor a distância ao talude e a resistência da litologia que o constitui, maior a vulnerabilidade da residência. Por fim, foi possível verificar a influência da xistosidade do material, sendo que, quando esta encontra-se a favor do movimento a vulnerabilidade aumenta e, do mesmo modo, quando se encontra contrária à direção do movimento, a vulnerabilidade diminui.

Quanto maior o grau de vulnerabilidade física de uma edificação, maiores as consequências relacionadas à ocorrência de escorregamentos. Desta forma, a

obtenção e avaliação da vulnerabilidade relacionada às edificações, foco deste trabalho, é muito relevante para o município. Percebeu-se que muitas edificações no Centro Histórico de Ouro Preto apresentam um grau de vulnerabilidade física que pode ser considerado preocupante.

Durante das visitas realizadas (exceto nas residências da Rua Pacífico Homem), os moradores relataram que convivem há anos com algumas das patologias observadas, como as trincas. Informaram que não deram tanta relevância a estas questões por falta de orientação, por não terem ciência da gravidade da situação ou por serem problemas conjuntos, como é o caso da Rua Cônego Trindade.

Foi constatado que nenhuma medida foi tomada em vários imóveis que apresentam indícios de danos causados por movimentação de massa. Outros pontos no centro da cidade também exibem evidências de tal movimentação, como é o caso da rua Joaquim Jacinto Araújo, em que é possível verificar um deslocamento de cerca de 70 centímetros no meio fio que, segundo informações de pessoas locais, foi construído em 2018.

Diante do exposto, conclui-se que um longo e detalhado trabalho de mapeamento e classificação quanto à vulnerabilidade deve ser feito na cidade, principalmente nas edificações centenárias do Centro Histórico.

Com isso, espera-se que o poder público realize ações efetivas de orientação e conscientização da população, além de obras de contenção nos locais necessários, afim de se preservar o patrimônio e o mais importante, a vida das pessoas.

## REFERÊNCIAS

AHRENDT, A. (2005). **Movimentos de massa gravitacionais – Proposta de um sistema de previsão: Aplicação na área urbana de Campos do Jordão – SP**. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, 390p.

BARBOSA, A. A. (2004). **Cidade e Habitação em Minas nos Séculos XVIII-XIX**. Disponível em: < [http://www.nomads.usp.br/disciplinas/SAP5846/mono\\_Ana.htm](http://www.nomads.usp.br/disciplinas/SAP5846/mono_Ana.htm)>. Acesso em novembro de 2020.

BONUCCELLI, T.; ZUQUETTE, L.V. (1999). **Movimentos gravitacionais de massa e erosões na cidade histórica de Ouro Preto, Brasil**. Revista Portuguesa de Geotecnia, n. 85, p. 59-80.

BUENO, F.A.B. (2019). **A paisagem de Ouro Preto como espacialização no tempo: A experiência e a vivência do Morro da Queimada**. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Arquitetura, 468p.

CASTRO, COIMBRA. (1999). **Manual sobre planejamento em defesa civil**. Volume I, Ministério da Integração Nacional, Brasília, DF.

CASTRO, J.M.G. (2006). **Pluviosidade e movimentos de massa nas encostas de Ouro Preto**. Dissertação de Mestrado em Ciências da Engenharia Civil da UFOP, Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, MG. p.120.

COLIN, Sílvio. **Técnicas construtivas do período colonial**. 2010. Disponível em: <<https://coisasdaarquitetura.wordpress.com/2010/09/06/tecnicas-construtivas-doperiodo-colonial-i/>> Acesso em novembro de 2020.

CORTELETTI, R.C. (2017). **Metodologia para análise de riscos geológico-geotécnicos em ferrovias: Estrada de Ferro Carajás (EFC)**. 1 ed. Ouro Preto, MG: Editora UFOP. 222p.

CPRM (2016). **Ação Emergencial para reconhecimento de áreas de alto e muito alto risco a movimentos de massa e enchentes**. Relatório de atualização de mapeamento, Ouro Preto-MG. 60p.

CRUDEN, D.M.; VARNES, D.J (1996). **Landslide types and processes. Landslides, Investigation and mitigation.** Transportation Research Board, special report 247, p.36–75.

DEGUSSA. (2003). **Manual de Reparo, Proteção e Reforço de Estruturas de Concreto.** Ed. Red. Rehabilitar. São Paulo.

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

FERREIRA, S. de P. (2018). **Proposta metodológica de avaliação do índice de vulnerabilidade física de moradias em áreas de escorregamentos e o valor monetário da perda associado – estudo de caso: distrito sede de Ouro Preto-MG.** 2018. Dissertação de Mestrado em Geotecnia no NUGEO, Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, MG. p.111.

FONTES, M.M.M. (2011). **Contribuição para o desenvolvimento da metodologia de análise, gestão e controle de riscos geotécnicos para a área urbana da cidade de Ouro Preto.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. NUGEO. 132p.

GLADE, T. (2003). **Vulnerability Assessment in Landslide Risk Analysis.** Beitrag zur Erdsystemforschung. P. 123-146.

GOMES, R.C., ARAÚJO, L.G., BONUCCELLI, T. e SOBREIRA, F.G. (1998). **Condicionantes Geotécnicos do Espaço Urbano de Ouro Preto / MG.** XI Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica. p.363-370.

GONÇALVES, E. A. B. (2015). **Estudo das patologias e suas causas nas estruturas de concreto armado de obras de edificações.** Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro.

GUERREIRO, M. R. (2000). **A Lógica Territorial na Gênese e Formação das Cidades Brasileiras: O caso de Ouro Preto. Urbanismo de origem portuguesa.** Comunicação apresentada no Colóquio “A Construção do Brasil Urbano”. Lisboa. p.1-12.

GUIDICINI, G. & NIEBLE, C.M. (1976). **Estabilidade de taludes naturais e de escavação**. Edgard Blucher/EDUSP, p.167.

GUIDICINI, G. & NIEBLE, C. M. (1984). **Estabilidade de Taludes Naturais e de Escavação**. São Paulo: 2a ed. Edgard Blücher, 194p.

GUILLARD-GONÇALVES, C., ZÊRERE, J. L., PEREIRA, S., GARCIA, A. C. (2016). **Assessment of physical vulnerability of buildings and analysis of landslide risk at the municipal scale: application to the Loures municipality, Portugal**, Natural Hazards and Earth System Sciences, Vol. 16, p. 311-331.

HIGHLAND, L. M.; BOBROWSKY, P. (2008). **The landslide handbook – A guide to understanding landslides**. Reston, Virginia, U.S. Geological Survey Circular 1325, 129p.

HUNGR, O. (1997). **Some methods of landslide intensity mapping**. Proceedings of the International Workshop on Landslide Risk Assessment, Balkema, Rotterdam, p. 215-226.

HUNGR, O.; LEROUEILL, S.; PICARELLI, L. (2014). The Varnes classification of landslide types, an update. *Landslides*, v.11, n.2, p.167-194.

IFRC (2014). International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies. **World Disasters Report 2014**. Focus on culture and risk. Lyon, France: Imprimerie Chirat, 2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE (2010). **População no último CENSO**. Disponível em <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/ouro-preto/panorama>>. Acesso em novembro de 2020.

INSTITUTO DE PATRIMÔNIO HISTÓRICO E ARTÍSTICO NACIONAL (IPHAN). **Ouro Preto (MG)**. Disponível em: <<http://portal.iphan.gov.br/mg/pagina/detalhes/1293/>>. Acesso em dezembro de 2020.

INSTITUTO GEOTÉCNICO DE OURO PRETO. IGEO (2015). **Parecer Técnico – IG-1404-DEC-E-LT01-00**.

KANG, H, KIM, Y. (2016). **The physical vulnerability of diferente types of building structure to debris flow events**. Natural Hazards, v. 80, n. 3, p.1475-1493.

KOHLER, A.; JÜLICH, S.; BLOEMERTZ, L. **Risk Analysis – a basis for disaster risk management**. GTZ, Eschborn, 2004. 76p.

LAVELL, A. (2001). **Gestión de riesgos ambiental es urbanos**. Lima: FLACSO/La Red, 13p. Disponível em <[http://www. desenredando. Org /public/articulos/ index.html](http://www.desenredando.Org/public/articulos/index.html)>. Acesso em dezembro de 2020.

LORDSLEEM JÚNIOR, A. C. (1997). **Sistemas de recuperação de fissuras da alvenaria de vedação: avaliação da capacidade de deformação**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Departamento de Engenharia de Construção Civil, Universidade de São Paulo. São Paulo.

MINISTÉRIO PÚBLICO DE MINAS GERAIS. (2014). **Recomendação nº 15/2014. Recomenda ao Município de Ouro Preto e ao Corpo de Bombeiros adoção de medidas urgentes de prevenção de sinistro**. Disponível em <<https://www.mpmg.mp.br/comunicacao/noticias/mpmg-pede-a-interdicao-do-centro-academico-da-escola-de-minas-em-ouro-preto.htm>>. Acesso em outubro de 2020.

NOLA, I.T.S. (2015). **Avaliação de dados geológico - geotécnicos prévios para elaboração de carta de eventos perigosos de movimentos de massa gravitacionais por meio de redes neurais artificiais e probabilidade**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geotecnia. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos.

OLIVEIRA, A. M. D. (2012). **Fissuras, trincas e rachaduras causadas por recalque diferencial de fundações**. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, p. 96.

PAPATHOMA, M., NEUHAUSER, B., RATZINGER, K., WENZEL, H., DOMINEY-HOWE, D. (2007). **Elements at risk as a framework for assessing the vulnerability of communities to landslides**. Natural Hazards and Earth System Sciences, Vol. 7, p. 765-779.

PARIZZI, M. G. *et al.* (2011). **Processos de movimentos de massa em Belo Horizonte, MG**. Geografias, Belo Horizonte, v. 1, n. 7, p.58-87.

PEREIRA, S., GARCIA, R. A. C., ZÊRERE, J. L., OLIVEIRA, S. C., SILVA, M. (2016). **Landslides quantitative risk analysis of building at the municipal scale based on a rainfall triggering scenario**. Natural Hazards and Risks, v. 8, p-624-648.

SILVA, A. C. R. (2013). **A Influência das Atividades Econômicas no Traçado e na Forma Urbana da Cidade Brasileira entre 1741 e 1912: o Caso das Cidades de Ouro Preto, Santos e Manaus**. Tese de Doutorado. Universidade do Porto, Porto.

SOBREIRA, F.G.; ARAÚJO, L.G. (1992). **Proposta de metodologia para o enfrentamento do problema das encostas em Ouro Preto**. REM – Revista Escola de Minas, v. 45, n. 1-2, p.208-209.

SOBREIRA, F. G.; FONSECA, M. A. (2001). **Impactos Físicos e Sociais de Antigas Atividades de Mineração em Ouro Preto, Brasil**. Revista Geotecnia. n. 92, p.5-27.

SOUZA, V.; RIPPER, T. (1998). **Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto**. Pini. São Paulo.

TAVARES, V. L. S. (2018). **Proposta de Metodologia para Índice de Risco (iR) no Distrito Sede do Município de Ouro Preto/MG: Uma Contribuição para a Hierarquização das Áreas de Risco e as Tomadas de Decisões**. Dissertação de Mestrado em Geotecnia no NUGEO, Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, MG. p.152.

TOMINAGA L.K. (2007). **Avaliação de metodologias de análise de risco a escorregamentos: aplicação de um ensaio em Ubatuba, SP**. Tese de Doutorado, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, USP, 220p, anexos.

TOMINAGA, L.K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. (2009). **Desastres naturais: conhecer para prevenir**. São Paulo: Instituto Geológico. 196p.

UNITED NATIONS EDUCATIONAL, SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION. UNESCO. (2014). **Map of inscribed property Clarification adopted**. Disponível em: <  
[https://whc.unesco.org/en/list/124/multiple=1&unique\\_number=136](https://whc.unesco.org/en/list/124/multiple=1&unique_number=136)> Acesso em novembro de 2020.

UNISDR, and CRED (2015), **The Human Cost of Weather-Related Disasters 1995–2015**, United Nations Off. Disaster Risk Reduction (UNISDR) and Centre Res. Epidemiol. Disasters (CRED), Geneva, Switz.

UZIELLI, M., NADIM, F., LACASSE, S., KAYNIA, A. M. (2008). **A Conceptual Framework for Quantitative Estimation of Physical Vulnerability to Landslides**, Engineering Geology, ELSEVIER, Vol. 102, p. 251-256.

VARNES, D. J. E laeg (1984). **Landslides Hazard Zonation: A Review of Principles and Practice**. Comission on Landslides ans other Mass-Movements. United Nations Educational, UNESCO. Paris, France. 63p.

VARNES, D.J. (1978). **Slope movement types and process. Landslides - analysis and control**. Transportation Research Board, Special Report 176, p.11-13.

VASCONCELLOS, S. de. (1977). **Vila Rica: formação e desenvolvimento, residências**. São Paulo: Perspectiva. 214 p. (Debates)

WILCHES-CHAUX, Gustavo. **La vulnerabilidad global**. In: MASKREY, Andrew. (Org.). Los desastres no son naturales. Bogotá: Tercer Mundo Editores, p. 9-50, out. 1993.

XAVIER, M., O. (2018). **Mapeamento da Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa utilizando a Análise Estatística do Valor Informativo aplicada ao Distrito Sede da Cidade Histórica de Ouro Preto-MG**. Dissertação de Mestrado em Gotecnia no NUGEO, Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, MG. p.110.

## **ANEXO A – FICHAS DE CAMPO**

## A.1 Ficha de Campo de Vulnerabilidade (FCV). Ferreira (2018).

	<b>MESTRADO PROFISSIONAL NUCLEO DE GEOTECNIA</b>	<b>UFOP</b>	<b>NUGEO - ESCOLA DE MINAS -</b>
Data da vistoria: ____/____/____		<b>FICHA DE CAMPO - VULNERABILIDADE</b>	
<b>1 - Identificação</b>			
Endereço: _____			
Bairro: _____			
Referência das Fotos: _____			
Coordenadas Geográficas do Setor: X: _____ Y: _____			
<b>Unidade (Estabilidade Estrutural)</b>			
<b>Conservação Estrutural</b>	<input type="checkbox"/> Alta	<input type="checkbox"/> Média	<input type="checkbox"/> Baixa
<b>Estruturas de Contenção</b>	<input type="checkbox"/> Nenhuma	<input type="checkbox"/> Gabião	<input type="checkbox"/> Concreto Armado
<input type="checkbox"/> Alvenaria de Pedra	<input type="checkbox"/> Sustentável	<input type="checkbox"/> Concreto Ciclóptico	<input type="checkbox"/> Muro de Alvenaria
<b>Danos ao elemento</b>	<input type="checkbox"/> Fundação	<input type="checkbox"/> Pilares	<input type="checkbox"/> Vigas
<input type="checkbox"/> Infiltração	<input type="checkbox"/> Desabamento muro	<input type="checkbox"/> Desabamento parcial residência	<input type="checkbox"/> Ferragem exposta
<b>Unidade (Estabilidade Geotécnica)</b>			
<b>Distância ao talude</b>	<input type="checkbox"/> 0m<d<1m	<input type="checkbox"/> 1m<d<2m	<input type="checkbox"/> 2m<d<4m
<input type="checkbox"/> 6m<d<10m	<input type="checkbox"/> d>10m	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Danos ao terreno</b>	<input type="checkbox"/> Trincas no terreno	<input type="checkbox"/> Deslizamento	<input type="checkbox"/> Pavimentação danificada
<b>Contexto Geológico</b>			
<b>Material Predominante</b>	<input type="checkbox"/> Filito	<input type="checkbox"/> Solo	<input type="checkbox"/> Itabirito
<input type="checkbox"/> Canga	<input type="checkbox"/> Quartizito	<b>Xistosidade</b>	<input type="checkbox"/> A Favor
<b>Tipo de Encosta</b>	<input type="checkbox"/> Natural	<input type="checkbox"/> Aterro	<input type="checkbox"/> Corte
<b>Sinais de Movimentação</b>	<input type="checkbox"/> Ondulações na superfície	<input type="checkbox"/> Embarrigamento	<input type="checkbox"/> Desalinhamento de árvores, muros.
<input type="checkbox"/> Famílias de fraturas se cruzando	<input type="checkbox"/> Fuga de finos da parede rochosa	<b>Nº Pavimentos:</b> _____	
<b>Observações</b>			

## A.2 Ficha de Campo de Avaliação (FCA). Ferreira (2018).

	<b>MESTRADO PROFISSIONAL NUCLEO DE GEOTECNIA</b>	<b>UFOP</b>	<b>NUGEO - ESCOLA DE MINAS -</b>
Data da vistoria: ____/____/____		<b>FICHA DE CAMPO - VALOR DE MERCADO</b>	
<b>1 - Identificação</b>			
Endereço: _____			
Bairro: _____			
Referência das Fotos: _____			
Coordenadas Geográficas do Setor: X: _____ Y: _____			
<b>Unidade (Valor de Mercado)</b>			
<b>Estado de Conservação</b>	<input type="checkbox"/> Ruim	<input type="checkbox"/> Médio	<input type="checkbox"/> Bom
<b>Padrão de Acabamento</b>	<input type="checkbox"/> Baixo	<input type="checkbox"/> Médio	<input type="checkbox"/> Alto
<b>Esquadrias</b>	<input type="checkbox"/> Madeira	<input type="checkbox"/> Alumínio	<input type="checkbox"/> Ferro <input type="checkbox"/> Aço
<b>Revestimento Externo</b>	<input type="checkbox"/> Pintura	<input type="checkbox"/> Reboco	<input type="checkbox"/> Emboço <input type="checkbox"/> Chapisco
<input type="checkbox"/> Cerâmica	<input type="checkbox"/> Pedra	<input type="checkbox"/> Textura	<input type="checkbox"/> Nenhum <b>Área: _____</b>
<b>Observações</b>			