



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA



JOSEIR EVANGELISTA DA CONCEIÇÃO JUNIOR

**ANÁLISE DE ÁREAS SUSCETÍVEIS A MOVIMENTOS DE MASSA SITUADAS NO
BAIRRO MORRO SÃO SEBASTIÃO - OURO PRETO - MG**

MONOGRAFIA nº 587

OURO PRETO

Julho 2026

JOSEIR EVANGELISTA DA CONCEIÇÃO JUNIOR

**ANÁLISE DE ÁREAS SUSCETÍVEIS A MOVIMENTOS DE MASSA SITUADAS NO
BAIRRO MORRO SÃO SEBASTIÃO - OURO PRETO - MG**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Geológica da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Geólogo.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a. Mônica Pessoa Neves

Coorientador: Prof. Dr. Luiz Henrique Cardoso

OURO PRETO

2026

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

C744a Conceição Junior, Joseir Evangelista da.

Análise de áreas suscetíveis a movimentos de massa situadas no bairro Morro São Sebastião - Ouro Preto - MG. [manuscrito] / Joseir Evangelista da Conceição Junior. - 2026.
86 f.

Orientadores: Prof. Dr. Luiz Henrique Cardoso, Profa. Dra. Mônica Pessoa Neves.

Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Graduação em Engenharia Geológica .

1. Movimentos de massa. 2. Taludes (Mecânica do solo) - Estabilidade. 3. Cinemática. 4. Ouro Preto (MG). 5. Ocupação urbana. I. Cardoso, Luiz Henrique. II. Neves, Mônica Pessoa. III. Universidade Federal de Ouro Preto. IV. Título.

CDU 624.137

Bibliotecário(a) Responsável: Sione Galvão Rodrigues - CRB6 / 2526



FOLHA DE APROVAÇÃO

Joseir Evangelista da Conceição Junior

Análise de áreas suscetíveis a movimentos de massa situadas no bairro Morro São Sebastião em Ouro Preto - MG

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Geológica da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Geólogo

Aprovada em 03 de agosto de 2026

Membros da banca

Doutor - Mônica Pessoa Neves - Orientador(a) - Universidade Federal de Ouro Preto
Doutor - Luiz Henrique Cardoso - Coorientador - Defesa Civil de Ouro Preto
Mestre - Laís de Carvalho F. L. Lopes - Universidade Federal de Ouro Preto
Mestre - Charles Murta - Defesa Civil de Ouro Preto

Mônica Pessoa Neves, orientadora do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 06/08/2026



Documento assinado eletronicamente por **Mônica Pessoa Neves, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 06/08/2026, às 13:23, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1154255** e o código CRC **58217DC7**.

Só se pode alcançar um grande êxito quando nos mantemos fiéis a nós mesmos.

Friedrich Nietzsche

AGRADECIMENTOS

À minha família, que sempre me apoiou e foi base em cada etapa da minha graduação.

À minha namorada, Mila, por sempre estar ao meu lado, me ajudando, incentivando e apoiando minhas decisões, mesmo nos momentos ruins.

À República Adegá, seus ex-alunos e moradores, por todo apoio, troca de ideias e ensinamentos.

Agradeço ao DEGEO, seus professores e técnicos, em especial à Prof.^a Dra.^a Mônica Pessoa Neves e ao Prof. Dr. Luiz Henrique Cardoso, pela orientação e apoio ao longo do trabalho.

Agradeço a todos os amigos que fiz durante o curso e que me ajudaram de alguma forma a alcançar os objetivos.

RESUMO

Movimentos de massa em encostas representam um problema recorrente no município de Ouro Preto (MG), devido à combinação entre relevo acidentado, elevado grau de intemperismo das rochas e ocupação urbana em áreas de encosta. Nesse contexto, o bairro Morro São Sebastião apresenta registros de instabilidades associadas às características geológicas e geotécnicas dos taludes. O presente trabalho teve como objetivo realizar uma avaliação geológico-geotécnica das condições relacionadas à ocorrência de movimentos de massa em áreas da Ladeira João de Paiva e adjacências, do bairro Morro São Sebastião, por meio da integração da análise multitemporal, do levantamento geológico-geotécnico de campo e da análise cinemática. Durante os trabalhos de campo, foram caracterizados os solos e as rochas expostos, identificadas feições de instabilidade e realizadas medições estruturais das descontinuidades e das faces dos taludes. A análise cinemática indicou possibilidades geométricas de rupturas planares, em cunha e por tombamento em alguns dos maciços rochosos avaliados. Os resultados mostraram que as instabilidades observadas estão associadas ao elevado grau de alteração dos filitos da Formação Cercadinho, à orientação de algumas descontinuidades em relação às faces dos taludes, ao escoamento superficial e às intervenções antrópicas, como cortes e ausência ou deficiência de drenagem superficial. Também foram identificados sulcos erosivos, uma cicatriz de escorregamento planar, queda e posterior rolamento de blocos e feições compatíveis com rastejo. A análise multitemporal mostrou o adensamento da ocupação urbana ao longo das vias existentes entre 2003 e 2024. A atuação dos condicionantes pode ser intensificada nos períodos de maior pluviosidade, devido ao aumento da infiltração e do escoamento superficial. A integração dos dados permitiu identificar os principais condicionantes naturais e antrópicos nos pontos levantados na área de estudo.

Palavras-chave: Movimentos de massa; instabilidade de encostas; análise cinemática; caracterização geológico-geotécnica; ocupação urbana; Ouro Preto.

ABSTRACT

Mass movements on slopes represent a recurring problem in the municipality of Ouro Preto (MG), due to the combination of rugged topography, a high degree of rock weathering, and urban occupation on hillslopes. In this context, the Morro São Sebastião neighborhood has records of instabilities associated with the geological and geotechnical characteristics of the slopes. The present study aimed to carry out a geological and geotechnical assessment of the conditions related to the occurrence of mass movements in areas along Ladeira João de Paiva and its surroundings, in the Morro São Sebastião neighborhood, through the integration of multitemporal analysis, geological-geotechnical field surveys, and kinematic analysis. During fieldwork, the exposed soils and rocks were characterized, instability features were identified, and structural measurements of discontinuities and slope faces were taken. The kinematic analysis indicated geometric potential for planar, wedge, and toppling failures in some of the evaluated rock masses. The results showed that the observed instabilities are associated with the high degree of weathering of the Cercadinho Formation phyllites, the orientation of some discontinuities in relation to the slope faces, surface runoff, and anthropogenic interventions, such as slope cuts and the absence or deficiency of surface drainage. Erosional rills, a planar slide scar, rockfall followed by block rolling, and features consistent with creep were also identified. The multitemporal analysis showed the densification of urban occupation along existing roads between 2003 and 2024. The influence of these conditioning factors may be intensified during periods of higher rainfall due to increased infiltration and surface runoff. The integration of the data allowed the identification of the main natural and anthropogenic conditioning factors at the surveyed points within the study area.

Keywords: Mass movements; slope instability; kinematic analysis; geological-geotechnical characterization; urban occupation; Ouro Preto.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Localização dos pontos estudados no bairro Morro São Sebastião, Ouro Preto (MG).	15
Figura 3.1 - Mapa do Quadrilátero Ferrífero, destacando as principais unidades geológicas e estruturas tectônicas regionais.	20
Figura 3.2 - Mapa litoestratigráfico do município de Ouro Preto, com destaque para as unidades geológicas que afloram na área do bairro Morro São Sebastião (polígono da área de estudo na cor preta).	22
Figura 3.3 – Localização da área de estudo e do município de Ouro Preto nas bacias hidrográficas.	23
Figura 3.4 - Gráfico de precipitação e temperatura do município de Ouro Preto calculados a partir de uma série de dados de 30 anos observados.	24
Figura 3.5 - Mapa hipsométrico da região de Ouro Preto, evidenciando a variação altimétrica e os locais de maior declividade na área de estudo no bairro Morro São Sebastião (área circutada pela cor preta).	25
Figura 4.1 - Mapa de Zoneamento do Plano Diretor Municipal de Ouro Preto de 1996. Detalhe para a Zona ZC1, onde fica localizado o Morro São Sebastião.	27
Figura 4.2 - Mapa de Zoneamento do Plano Diretor Municipal de Ouro Preto de 2011. Detalhe para as Zonas ZPAM e ZAR, onde fica localizado o Morro São Sebastião.	29
Figura 4.3 - Caminho tronco, onde iniciou a ocupação de Ouro Preto.	30
Figura 4.4 - Planta da cidade de Ouro Preto.	31
Figura 4.5 - Áreas com tendência a expansão urbana no núcleo urbano de Ouro Preto. A Área 2 equivale a localização do Morro São Sebastião.	32
Figura 4.6 - Vista de Ouro Preto no mirante do Morro São Sebastião.	33
Figura 5.1 - Representação esquemática de escorregamento planar.	35
Figura 5.2 - Representação esquemática de escorregamento rotacional.	36
Figura 5.3 - Esquema para a ocorrência de rastejo.	36
Figura 5.4 - Esquematização para os tipos de ruptura e condições de instabilidade.	41
Figura 6.1 – Ortofoto do bairro Morro São Sebastião de 2003.	43
Figura 6.2 – Ortofoto do bairro Morro São Sebastião de 2008.	44
Figura 6.3 – Ortofoto do bairro Morro São Sebastião de 2013.	44
Figura 6.4 – Ortofoto do bairro Morro São Sebastião de 2016.	45
Figura 6.5 – Ortofoto do bairro Morro São Sebastião de 2020.	45
Figura 6.6 – Ortofoto do bairro Morro São Sebastião de 2024.	46

Figura 6.7- Mapa de localização da área de estudo, distribuição dos pontos visitados e sobreposição com os setores de risco delimitados pela CPRM (2016) e com os dados de movimentos de massa disponibilizados pelo IDE-Sistema MG (2018), no bairro Morro São Sebastião.	47
Figura 6.8 – Ponto P1, exposição de filito da Formação Cercadinho, com grau de alteração variando entre W3 e W4 e estrutura da rocha parcialmente preservada.	48
Figura 6.9 – Ponto P1, cicatriz de escorregamento planar em talude de corte. A linha vermelha representa a crista do escorregamento.	49
Figura 6.10 - Detalhe de feições dos sulcos erosivos (em vermelho) no talude da Rua Rio de Janeiro, com variação de coloração associada ao intemperismo do material. Observa-se solo saprolítico derivado de filitos (em azul), com níveis localmente mais resistentes associados a porções mais quartzosas do maciço (em amarelo).	50
Figura 6.11 - Talude no Ponto 3 (Ladeira João de Paiva) solo residual saprolítico derivado de filitos da Formação Cercadinho com raízes expostas e evidências de erosão superficial.	51
Figura 6.12 - Exposição de filito alterado no ponto P6, com foliação preservada na porção superior do talude. As linhas vermelhas delimitam aproximadamente a faixa de ocorrência da rocha alterada (W4) e abaixo próximo à rua o solo acumulado.	52
Figura 6.13 - Talude no P4. Na porção superior, indicada pela seta branca, observa-se o maciço de itabirito com planos de fratura. Em azul, destacam-se blocos, matacões e fragmentos de itabirito dispersos ao longo da encosta, abaixo do afloramento.	53
Figura 6.14- Afloramento de itabirito da Formação Cauê no P5, em frente ao Mirante do Morro São Sebastião. A rocha apresenta bandamento composicional preservado, marcado pela alternância entre níveis ricos em quartzo e hematita	55
Figura 6.15- Talude com a rocha mergulhando aproximadamente (210°/35°) na Rua Valentim Policarpo do Ponto 7, mostrando cavidade no local e níveis hematíticos da Formação Cauê.	56
Figura 6.16- Talude de corte ao longo da Rua Valentim Policarpo, no P8, localizado na área de contato geológico entre as formações Cauê e Cercadinho. Em (A), observa-se uma porção do afloramento com bandamento preservado; em (B), o material apresenta maior grau de alteração, dificultando a identificação dessa estrutura. Também são observados sulco erosivo superficial e raízes expostas.	56
Figura 6.17 - Muro implantado na base da encosta, apresentando sinais de deformação (A). Em (B), solo coluvionar, com acúmulo de material inconsolidado e raízes expostas, associado ao movimento lento do tipo rastejo.	57

Figura 6.18 - Rede estereográfica do P1, com a face do talude representada em amarelo, os planos de xistosidade/foliação em azul, o círculo correspondente ao ângulo de atrito de 30° em vermelho, os triângulos amarelos a interseção entre os planos e os limites da janela cinemática representada pelos traços em preto.	59
Figura 6.19 – Rede estereográfica do P5, com a face do talude representada em amarelo, o bandamento S1 e os planos das famílias de fraturas em azul, o círculo do ao ângulo de atrito de 30° em vermelho, os triângulos amarelos representando as interseções entre os planos e os limites da janela cinemática em preto.	60
Figura 6.20 - Rede estereográfica do P6, com a face do talude representada em amarelo, o plano de foliação S1 e os planos das famílias de fraturas em azul, o círculo do ângulo de atrito de 30° em vermelho, os triângulos amarelos representando as interseções entre os planos e os limites da janela cinemática em preto.	61
Figura 6.21 - Rede estereográfica do ponto 7 com a face do talude em destaque. círculo vermelho representando o cone de atrito.	62
Figura 9.1 – Talude de corte no P1, localizado na Rua Rio Doce, evidências de produto de erosão linear.	75
Figura 9.2 – Vista geral da cicatriz de escorregamento planar observada no P1, em talude de corte na Rua Rio Doce.	76
Figura 9.3 – Vista geral do talude de corte no P2, localizado na Rua Rio de Janeiro, com exposição de filitos alterados da Formação Cercadinho e intercalações quartzíticas localmente mais resistentes.	77
Figura 9.4 – Ponto 2, talude de corte na Rua Rio de Janeiro, é visível a presença de material alterado associado a filitos e intercalações quartzíticas.	78
Figura 9.5 - Talude no P3, localizado na Ladeira João de Paiva, constituído por solo residual saprolítico derivado de filitos da Formação Cercadinho. Observam-se raízes expostas, erosão superficial e acúmulo de material orgânico misturado a solo fino na base.	79
Figura 9.6 - Talude no P4, localizado na Ladeira João de Paiva, com exposição de itabirito da Formação Cauê e presença de blocos, matacões e fragmentos próximos à via, compatíveis com desprendimentos localizados e posterior rolamento.	80
Figura 9.7 - Afloramento de itabirito da Formação Cauê no P5, próximo ao Mirante do Morro São Sebastião. À esquerda, apresenta-se a vista geral do afloramento; à direita, observa-se o bandamento composicional preservado, marcado pela alternância entre níveis ricos em quartzo e hematita.	81

Figura 9.8 - Afloramento de Formação Ferrífera Bandada (BIF) da Formação Cauê, próximo ao mirante do Morro São Sebastião, mostrando algumas fraturas visíveis.	82
Figura 9.10 – Detalhe do talude no Ponto 6, com filito intensamente intemperizado, foliação exposta e presença de planos de fratura (A) e foto em detalhe da rocha (B).	83

LISTA DE TABELAS

Tabela 5.1 - Descrição das classes de alteração (ISRM, 1981).	38
Tabela 5.2 – Graus de coerência.	39

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	OBJETIVOS.....	14
1.2	LOCALIZAÇÃO E ACESSO À ÁREA DE ESTUDO.....	15
2	MATERIAIS E MÉTODOS	16
3	MEIO FÍSICO: GEOLOGIA, HIDROGRAFIA E GEOMORFOLOGIA	19
3.1	GEOLOGIA REGIONAL.....	19
3.2	EVOLUÇÃO TECTÔNICA.....	20
3.3	GEOLOGIA LOCAL.....	21
3.4	HIDROGRAFIA E PLUVIOMETRIA.....	22
3.5	GEOMORFOLOGIA.....	24
4	HISTÓRICO, USO E OCUPAÇÃO DO MORRO SÃO SEBASTIÃO.....	26
4.1	USO E OCUPAÇÃO	26
4.2	HISTÓRICO.....	29
5	REFERENCIAL TEÓRICO	34
5.1	MOVIMENTOS DE MASSA E FENÔMENOS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS ASSOCIADOS.....	34
5.2	CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA.....	37
5.2.1	Caracterização Litológica	37
5.2.2	Grau de alteração	37
5.2.3	Grau de coerência	38
5.2.4	Descontinuidades.....	39
5.3	ANÁLISE CINEMÁTICA DE TALUDES	39
6	ANÁLISE DE RESULTADOS	41
6.1	ANÁLISE MULTITEMPORAL.....	42
6.2	LEVANTAMENTO DE CAMPO	46
6.3	ANÁLISE CINEMÁTICA.....	58
6.3.1	Ponto 1.....	58

6.3.2	Ponto 5.....	59
6.3.3	Ponto 6.....	60
6.3.4	Ponto 7.....	61
6.3.5	Síntese das análises cinemáticas (Projeções Estereográficas)	62
6.4	INTEGRAÇÃO E INTERPRETAÇÃO DE RESULTADOS	63
7	CONCLUSÃO	64
8	REFERÊNCIAS.....	66
9	APÊNDICE 1.....	71

1 INTRODUÇÃO

A cidade de Ouro Preto, localizada no estado de Minas Gerais, é reconhecida internacionalmente por seu valor histórico e cultural, sendo uma das primeiras cidades do Brasil a ser elevada a patrimônio nacional (Ribeiro, 2022). Fundada no final do século XVII, durante a corrida do ouro, seu centro urbano se desenvolveu sobre encostas acentuadas e vales estreitos, resultando em um traçado urbano sobre o relevo irregular. Esse padrão morfológico, combinado à elevada pluviosidade da região e ao acentuado grau de intemperismo das rochas metamórficas e metassedimentares presentes, criou condições favoráveis para a ocorrência de processos geodinâmicos, como escorregamentos de terra, movimentações lentas do solo (rastejo) e erosões concentradas (Sobreira, 2014).

O bairro Morro São Sebastião, localizado na parte norte da cidade de Ouro Preto, representa uma das áreas mais críticas sob o aspecto de ocupação irregular e consequentemente risco geológico-geotécnico (Oliveira; Sobreira, 2015; CPRM, 2016). Muitos dos assentamentos nessas encostas se estabeleceram sem planejamento prévio, sem a devida infraestrutura de drenagem de águas pluviais ou obras de contenção apropriadas, fatores que contribuem significativamente para a instabilidade do solo e rochas (CPRM, 2016).

De acordo com o Serviço Geológico do Brasil (CPRM, 2016), Ouro Preto ocupa a liderança no ranking nacional em número de áreas classificadas como de risco geotécnico, superando 300 setores mapeados definindo os setores com risco alto e muito alto. Pesquisas realizadas no site Defesa Civil de Ouro Preto indicam que o Morro São Sebastião é uma das áreas com maior incidência de escorregamentos registrados.

Portanto, este trabalho tem como objetivo avaliar os condicionantes geológicos, geotécnicos e antrópicos relacionados à ocorrência de processos de instabilidade em nove pontos localizados na Ladeira João de Paiva e adjacências, no bairro Morro São Sebastião, em Ouro Preto (MG). Para isso, foram integradas informações obtidas em levantamento de campo, análise multitemporal da ocupação urbana entre 2003 e 2024, elaboração de mapas em ambiente SIG e revisão bibliográfica e cartográfica. A partir da análise conjunta desses dados, buscou-se identificar os principais condicionantes naturais e antrópicos relacionados à instabilidade nos pontos analisados.

1.1 OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo avaliar os condicionantes geológicos, geotécnicos e antrópicos relacionados à ocorrência de processos de instabilidade de encostas por meio da integração da análise multitemporal, do levantamento geológico-geotécnico de campo e da análise cinemática das descontinuidades.

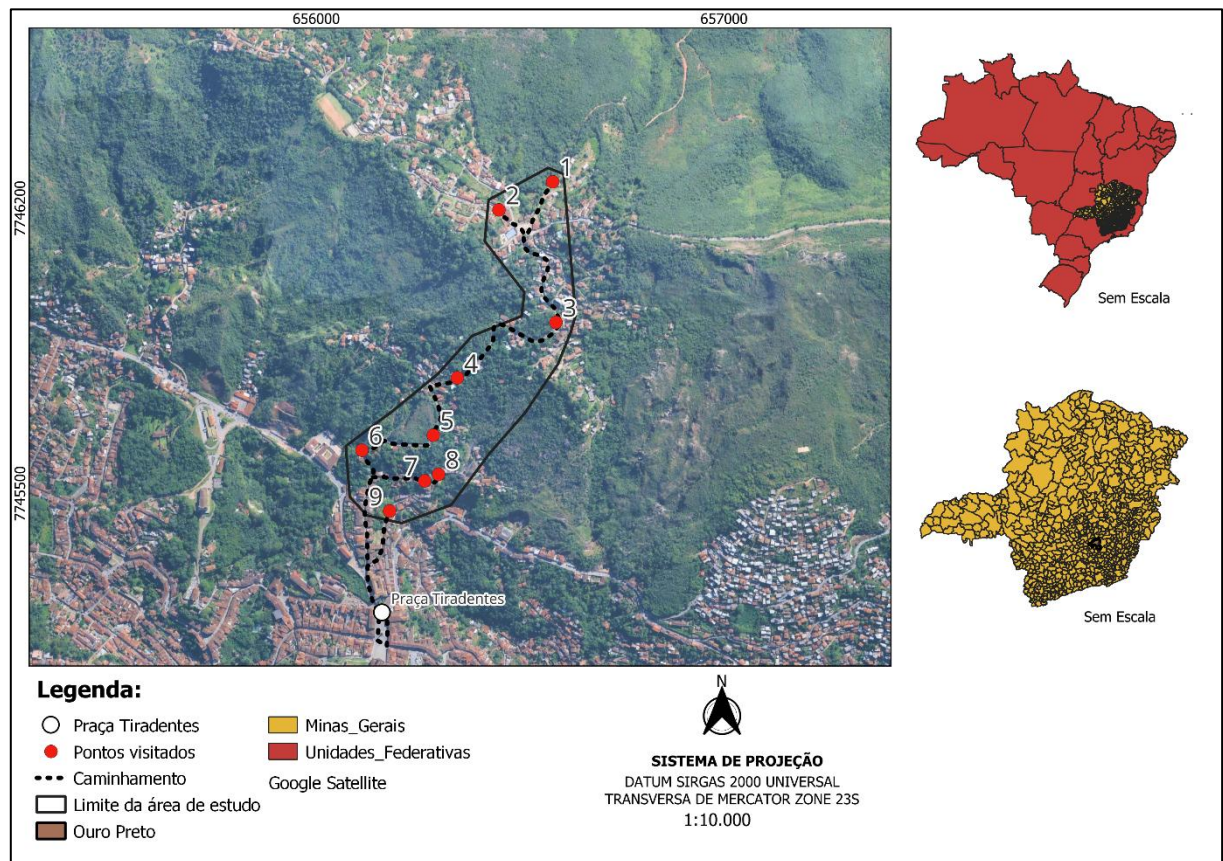
Os objetivos específicos são:

- Analisar a evolução da ocupação urbana entre 2003 e 2024 na área de estudo;
- Descrever, em campo, os solos e as rochas expostos nos pontos analisados e levantar e caracterizar as descontinuidades estruturais dos maciços rochosos;
- Identificar e descrever os principais processos de instabilidade presentes nos pontos analisados na Ladeira João de Paiva e adjacências;
- Avaliar os mecanismos potenciais de ruptura dos taludes rochosos estudados por meio de análises cinemáticas, considerando rupturas planares, em cunha e por tombamento;
- Integrar os resultados da análise multitemporal, do levantamento de campo e da análise cinemática para identificar os principais fatores condicionantes dos processos de instabilidade nos pontos analisados.

1.2 LOCALIZAÇÃO E ACESSO À ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo localiza-se no Morro São Sebastião, bairro situado na região central de Ouro Preto, no estado de Minas Gerais (FIG. 1.1). O acesso à área, partindo da Praça Tiradentes, principal referência urbana do município, pode ser realizado inicialmente pela Rua Padre Rolim, seguindo posteriormente pela Rua Henri Gorceix, que conduz até a Ladeira João de Paiva, nas proximidades do Morro São Sebastião. A partir desse ponto, o acesso aos locais analisados ocorre por meio de vias urbanas adjacentes e pequenos trechos percorridos a pé ao longo da encosta.

Figura 1.1 – Localização dos pontos estudados no bairro Morro São Sebastião, Ouro Preto (MG).



Fonte: Imagem do Google Earth (2026).

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi estruturado em etapas sequenciais, envolvendo a compilação de dados secundários, elaboração da base cartográfica, levantamento de campo, organização dos dados e análises geológico-geotécnicas, conforme descrito a seguir.

1. Revisão bibliográfica e levantamento de dados

Nesta etapa, foi realizada a revisão bibliográfica em artigos científicos, trabalhos acadêmicos, relatórios técnicos, documentos institucionais e mapas, visando reunir informações sobre os aspectos geológicos, geomorfológicos e geotécnicos da região de Ouro Preto, com enfoque no bairro Morro São Sebastião. Foram revisados os conceitos de movimentos de massa, como escorregamentos, rastejo e queda de blocos, seus mecanismos de ocorrência e fatores condicionantes. Também foram analisados os conceitos relacionados à caracterização geológico-geotécnica de maciços rochosos e solos, aos graus de alteração e coerência, às discontinuidades e à análise cinemática de taludes. Além disso, foram consultados os Planos Diretores Municipais de Ouro Preto de 1996, 2006 e 2010 e a Lei Complementar nº 93/2011, referente ao parcelamento, à ocupação e ao uso do solo urbano.

Os dados utilizados no desenvolvimento do trabalho foram reunidos da seguinte forma:

- **Base cartográfica:** dados do IDE-Sisema/MG (2018) e do IBGE (2016), base geológica de Endo (2020), na escala 1:10.000, setores de risco geológico delimitados pela CPRM (2016), Carta Topográfica do Brasil, folha Ouro Preto, elaborada pelo IBGE na escala 1:50.000, bases referentes às bacias hidrográficas e à rede de drenagem disponibilizadas pelo IBGE e pelo IDE-Sisema/MG e imagens de satélite disponíveis no QGIS;
- **Imagens históricas:** imagens disponibilizadas pelo Google Earth Pro referentes ao período entre 2003 e 2024;
- **Dados de campo:** coordenadas dos nove pontos visitados, registros fotográficos, caracterização das rochas e dos solos, feições indicativas de instabilidade e medidas de orientação das discontinuidades e das faces dos taludes.

2. Geoprocessamento e análise Multitemporal

A base cartográfica foi estruturada em ambiente SIG, utilizando o software QGIS, versão 3.34 Firenze, para caracterizar a área de estudo. A partir dos dados levantados, foram elaborados os produtos cartográficos de localização, hipsometria, hidrografia,

geologia, risco geológico e distribuição dos pontos de campo. O mapa de localização foi elaborado com os limites territoriais do IBGE, as imagens de satélite e as coordenadas obtidas em campo. Os mapas hidrográfico e de risco geológico foram apresentados, respectivamente, nas escalas de 1:15.000 e 1:5.000. Todo o tratamento dos dados foi realizado no Sistema de Referência de Coordenadas SIRGAS 2000/UTM, zona 23S.

A análise multitemporal foi realizada por meio da interpretação das imagens históricas do Google Earth Pro referentes ao período entre 2003 e 2024, com o objetivo de avaliar as alterações no padrão de ocupação urbana, a expansão das áreas construídas, a abertura de vias, as intervenções nas encostas, a supressão vegetal e as demais modificações potencialmente relacionadas ao aumento da suscetibilidade aos processos de instabilidade.

3. Levantamento geológico-geotécnico de campo:

O levantamento geológico-geotécnico foi realizado entre agosto e outubro de 2025. Foi feita a análise das condições geológicas dos 09 pontos representativos, definidos em conjunto com a Defesa Civil de Ouro Preto. Os procedimentos de campo incluíram:

- **Caracterização geológica dos afloramentos e dos solos:** nos afloramentos rochosos, foram identificados os principais litotipos e descritas a composição mineralógica, a cor, a textura, as estruturas, o grau de alteração, o grau de coerência e as discontinuidades presentes. A descrição dos maciços rochosos seguiu os critérios apresentados pela ABGE (1983, 2018). O grau de alteração foi avaliado conforme a classificação da ISRM (1981), e o grau de coerência foi determinado de acordo com as classes apresentadas por Guidicini et al. (1972). Os solos foram diferenciados entre solos de alteração e solos transportados e descritos considerando a cor, a textura, a granulometria, a estrutura, a presença de fragmentos de rocha e a relação com a rocha de origem. Também foram identificadas feições indicativas de instabilidade, como fraturas abertas, blocos instáveis, trincas, sulcos erosivos, ravinamentos e evidências de movimentos de massa;
- **Coleta de dados estruturais e levantamento das características geométricas dos taludes:** medição da orientação e caracterização das discontinuidades estruturais, como foliações, fraturas e bandamentos, além das faces dos taludes por meio de bússola geológica tipo Brunton;
- **Georreferenciamento e registro:** Coleta de coordenadas via GAIA GPS e registro fotográfico sistemático.

4. Processamento e análise dos dados:

Após o levantamento de campo, os dados coletados foram analisados e processados em escritório para posterior interpretação, a seguir:

- **Análise Cinemática:** As medidas de direção e mergulho das descontinuidades e das faces dos taludes foram processadas no software Stereonet (V. 11). Foi adotado um ângulo de atrito de 30° como parâmetro de referência único, pois não foram realizados ensaios específicos para as diferentes litologias. Esse valor, compatível com a faixa apresentada por Wyllie e Mah (2004) para rochas com atrito intermediário, permitiu comparar os pontos analisados pelo mesmo critério, não representando um parâmetro determinado para os maciços locais. Para as rupturas planar e por tombamento, foram considerados limites laterais de $\pm 20^\circ$ em relação à direção de mergulho da face do talude, por ser um valor usualmente adotado para restringir a análise às descontinuidades com orientação aproximadamente paralela à face (ROCSCIENCE, s.d.);
- **Avaliação da ocupação urbana:** Os resultados da análise multitemporal foram utilizados para avaliar a evolução do uso e ocupação do solo no bairro Morro São Sebastião entre os anos 2003 e 2024;
- **Integração e interpretação dos resultados:** Interpretação conjunta dos resultados obtidos nas análises bibliográficas, cartográficas, geológicas, geotécnicas, estruturais e multitemporais, com o objetivo de relacionar os dados de campo, a evolução da ocupação urbana, as características das rochas e solos, descontinuidades e as feições de instabilidade observadas nos pontos analisados.

3 MEIO FÍSICO: GEOLOGIA, HIDROGRAFIA E GEOMORFOLOGIA

Este capítulo apresenta a caracterização do meio físico da área de estudo, com foco nos aspectos geológicos, hidrográficos e geomorfológicos relacionados ao Morro São Sebastião, em Ouro Preto. Inicialmente, são abordadas a geologia regional, a evolução tectônica e a geologia local.

3.1 GEOLOGIA REGIONAL

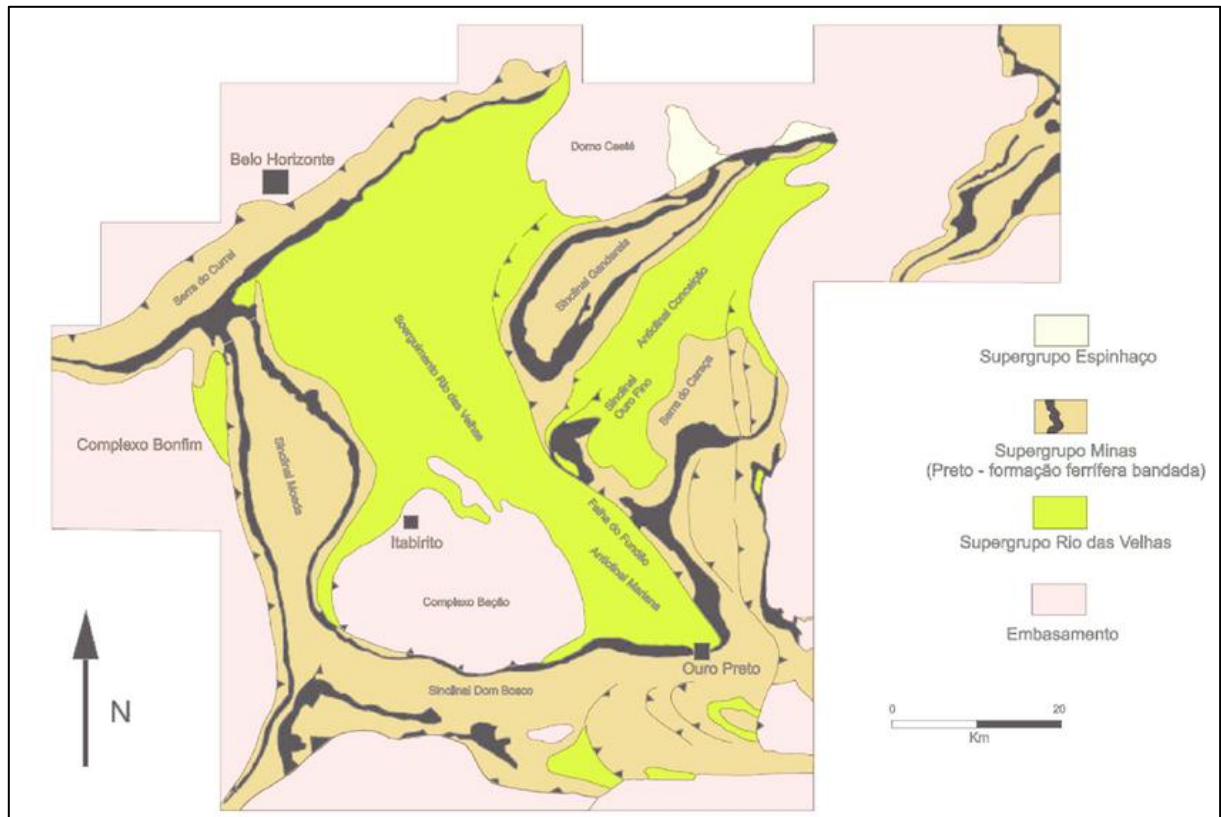
A cidade de Ouro Preto-MG está situada no Quadrilátero Ferrífero (Figura 3.1), uma das mais importantes províncias geológicas do Brasil, caracterizada por elevada complexidade estrutural e estratigráfica, resultante de múltiplos eventos tectono-metamórficos arqueanos e paleoproterozoicos (Endo *et al.*, 2020). De forma sintetizada, o arcabouço geológico regional é composto por quatro unidades principais:

- Embasamento Cristalino: composto por complexos metamórficos granito-gnáissicos de idade arqueana;
- Supergrupo Rio das Velhas: sequência do tipo greenstone belt, formada por rochas metavulcânicas e metassedimentares arqueanas;
- Supergrupo Minas: metassedimentos paleoproterozoicos, com destaque para itabiritos e quartzitos;
- Grupo Itacolomi: sequência de metassedimentos siliciclásticos mais jovem.

Essas unidades encontram-se organizadas em um arcabouço estrutural complexo, marcado por grandes estruturas dobradas, como sinclinais e anticlinais regionais, além de extensos sistemas de falhas e zonas de cisalhamento, resultantes de múltiplos eventos tectônicos que marcaram a evolução do Quadrilátero Ferrífero (Alkmim; Marshak, 1998).

O município de Ouro Preto localiza-se na porção sudeste do Quadrilátero Ferrífero, onde predomina o Supergrupo Minas, especialmente os grupos Itabira e Caraça. A geologia local é fortemente condicionada por grandes estruturas dobradas, relacionadas à Nappe de Ouro Preto e ao Sinclinal Dom Bosco, com direção preferencial E–W, que se articulam com a Anticlinal de Mariana e controlam a distribuição das unidades litológicas e a orientação estrutural regional (Dorr, 1969; Renger *et al.*, 1994).

Figura 3.1 - Mapa do Quadrilátero Ferrífero, destacando as principais unidades geológicas e estruturas tectônicas regionais.



Fonte: Alkmim e Marshak, (1998)

3.2 EVOLUÇÃO TECTÔNICA

O Quadrilátero Ferrífero (QFe) apresenta uma evolução tectônica complexa, interpretada por diferentes modelos na literatura, um desses modelos é marcada por três modos principais de deformação: (1) dobras e falhas com vergência para noroeste e norte-nordeste, resultantes da colisão orogênica Riacciana, que deu origem a sinclinais assimétricas como os de Moeda, Dom Bosco, Pitangui-Peti, Mateus Leme e. Esse regime também propiciou o aumento do metamorfismo em direção ao leste, do Complexo Bonfim, aflorando na região de Brumadinho até o Complexo Bação, aflorante na região de Cachoeira do Campo (Dorr II, 1969; Alkmim; Marshak, 1998); (2) estruturas extensionais associadas à formação de domos e quilhas, nas quais rochas supracrustais paleoproterozoicas circundam núcleos arqueanos.

Nesses domínios, indicadores cinemáticos revelam deslocamentos laterais e descendentes, além de espessuras distintas nas auréolas metamórficas ao redor dos domos (Alkmim; Marshak, 1998); (3) falhas de empurrão na borda oeste do QFe, vinculados à reativação de estruturas anteriores ao longo do flanco oeste do Sinclinal Moeda, atribuídos à tectônica Brasileira durante o Ordoviciano (Chemale *et al.*, 1994).

3.3 GEOLOGIA LOCAL

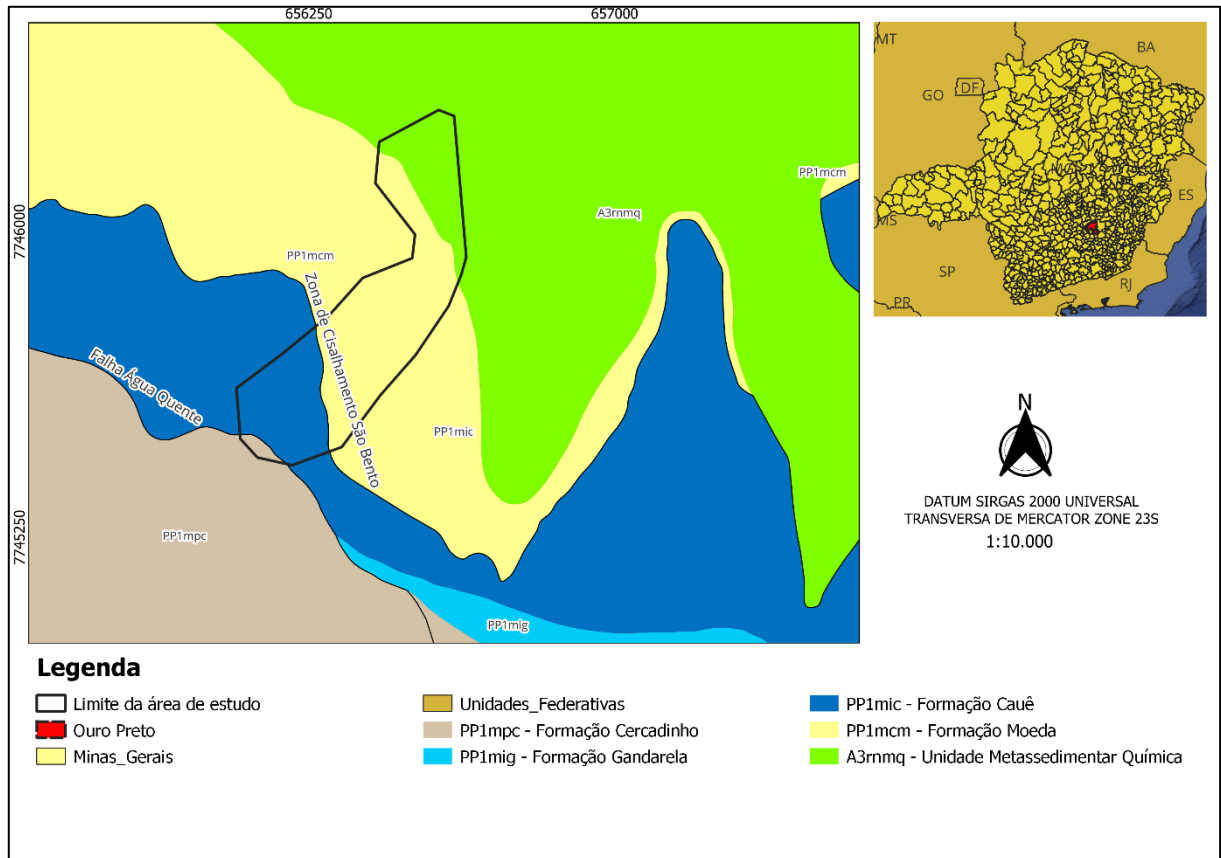
O bairro Morro São Sebastião, escolhido como local de estudo, situa-se no flanco sudeste da Anticlinal de Mariana e expõe um pacote supracrustal dos supergrupos Rio das Velhas e Minas. Sua constituição é dada, da unidade mais antiga para a mais jovem, pela Unidade Metassedimentar Química do Grupo Nova Lima, composta por xistos carbonáticos, metacherts, formações ferríferas bandadas e filitos; pela Formação Moeda, constituída predominantemente por quartzitos, com grit, metaconglomerados e filitos subordinados; pela Formação Cauê, formada principalmente por itabiritos e filitos; pela Formação Gandarela, composta por dolomitos, itabiritos dolomíticos e filitos; e pela Formação Cercadinho, constituída por quartzitos ferruginosos e filitos (Endo *et al.*, 2020; Renger *et al.*, 1994). As rochas mais suscetíveis ao intemperismo presentes na área, principalmente filitos, xistos e itabiritos quando mais alterados, favorecem o desenvolvimento de perfis de solo saprolítico e laterítico que afetam a estabilidade das encostas (CPRM, 2016).

O Morro São Sebastião está localizado na Serra de Ouro Preto, manifestação geomorfológica associada ao flanco sul da Anticlinal de Mariana, apresenta uma altitude média de 1200 metros e é composto por inúmeras ladeiras.

Tavares (2018) indica que os processos instabilizadores nas encostas da cidade estão associados à ampla ocorrência de filitos na região de Ouro Preto. Dados do IDE-Sistema (2020) indicam a ocorrência de áreas suscetíveis a movimentos de massa em setores do município onde são comuns afloramentos de filitos e rochas intensamente alteradas.

O local ainda tem a presença de falhas de empurrão associadas a Zona de Cisalhamento São Bento, que delimitam o contato entre as litologias do Supergrupo Rio das Velhas e Supergrupo Minas (Dorr, 1969). Em escala local, observam-se descontinuidades com direção preferencial NW–SE. O mapa da (Figura 3.2) mostra a litoestratigrafia da cidade de Ouro Preto e em detalhe a localidade do bairro Morro São Sebastião.

Figura 3.2 - Mapa litoestratigráfico do município de Ouro Preto, com destaque para as unidades geológicas que afloram na área do bairro Morro São Sebastião (polígono da área de estudo na cor preta).



Fonte: Endo (2020), adaptado pelo autor (2026). Escala 1:10.000

3.4 HIDROGRAFIA E PLUVIOMETRIA

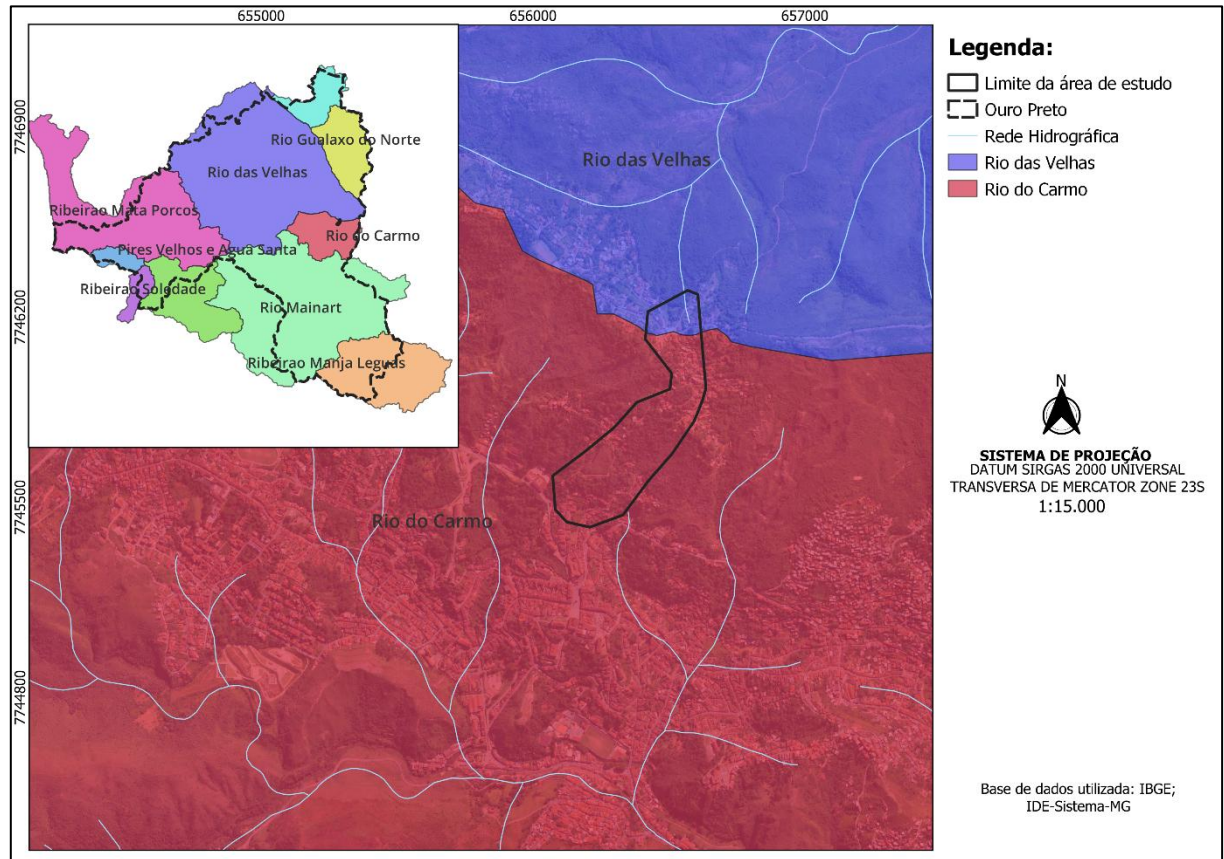
A Serra de Ouro Preto atua como divisor natural entre duas importantes bacias hidrográficas do Brasil do Rio das velhas e Rio Doce. O município em sua maior parte está em duas principais bacias: do Rio Doce e do Rio das Velhas. A Bacia do rio Doce é representada pelos Rios Mainart, Piracicaba, Gualaxo do Norte e Gualaxo do Sul. A sede é banhada pelo ribeirão do Funil, formador do rio do Carmo. Foi no seu afluente, denominado córrego do Tripuí (Plano Municipal de Saneamento Básico de Ouro preto, 2025).

A área de estudo está inserida na bacia do Rio doce na sub bacia Rio do Carmo, as redes de drenagens ocorrem geralmente nas encostas da Serra de Ouro Preto nos locais com maior altitude. A (FIG 3.3) representa a localização da área de estudo e de ouro preto nas bacias hidrográficas.

Segundo (Silva *et al.*, 2014), a deficiência nos sistemas de drenagem pluvial e a obstrução das vias de escoamento direcionam o fluxo de água para pontos específicos da encosta. Esse fenômeno gera a hipersaturação do terreno e o aumento da poropressão nas frentes

saprolíticas, culminando em movimentos de massa, especialmente em superfícies modificadas por ações antrópicas.

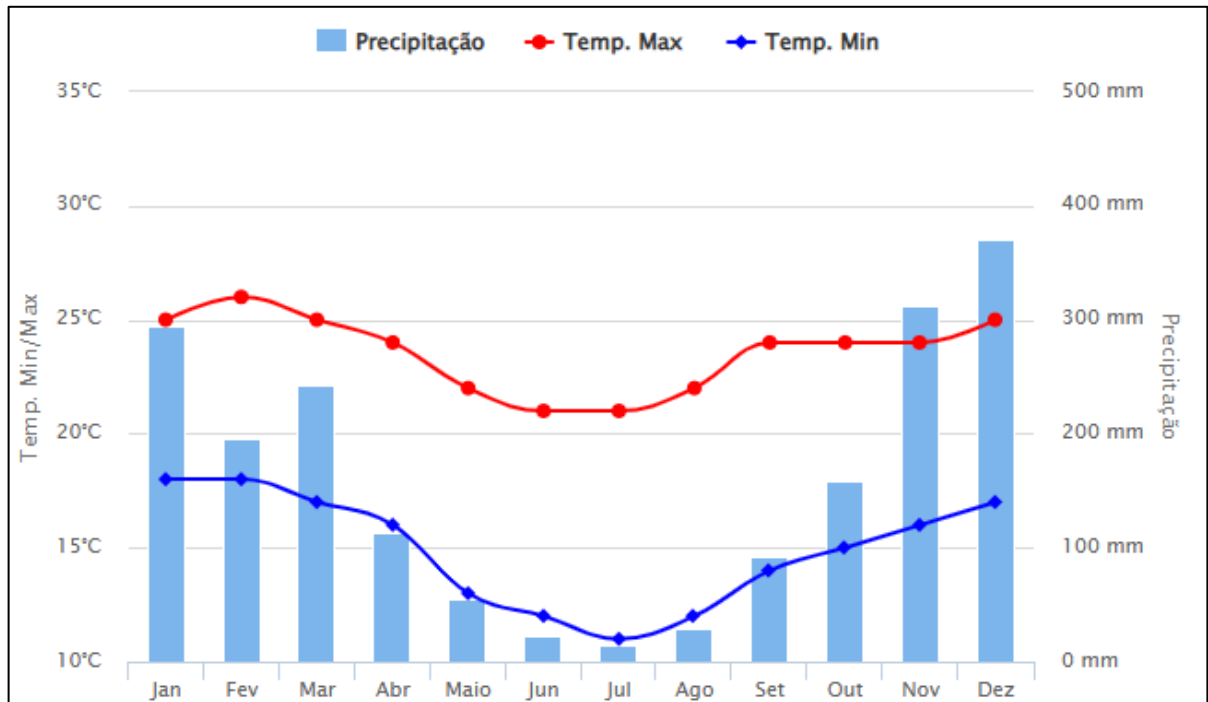
Figura 3.3 – Localização da área de estudo e do município de Ouro Preto nas bacias hidrográficas.



Fonte: Elaborado pelo autor, a partir de dados do IBGE e IDE-Sistema (2020).

Já a **(Figura 3.4)** apresenta os dados de precipitação e da temperatura, com as médias climatológicas calculadas a partir de uma série de dados calculados dos últimos 30 anos (Climatempo). É possível identificar as épocas mais chuvosas/secas e quentes/frias do município. O registo de ocorrências disponibilizados no site da Defesa Civil de Ouro Preto (OURO PRETO, [s.d.]) mostra que os movimentos de massa se concentram em maior parte nos meses de novembro, dezembro e janeiro, correspondendo ao período de maior pluviosidade, uma vez que as chuvas favorecem a infiltração e o aumento da umidade dos materiais, além de intensificarem o escoamento superficial e os processos erosivos.

Figura 3.4 - Gráfico de precipitação e temperatura do município de Ouro Preto calculados a partir de uma série de dados de 30 anos observados.



Fonte: Climatempo

3.5 GEOMORFOLOGIA

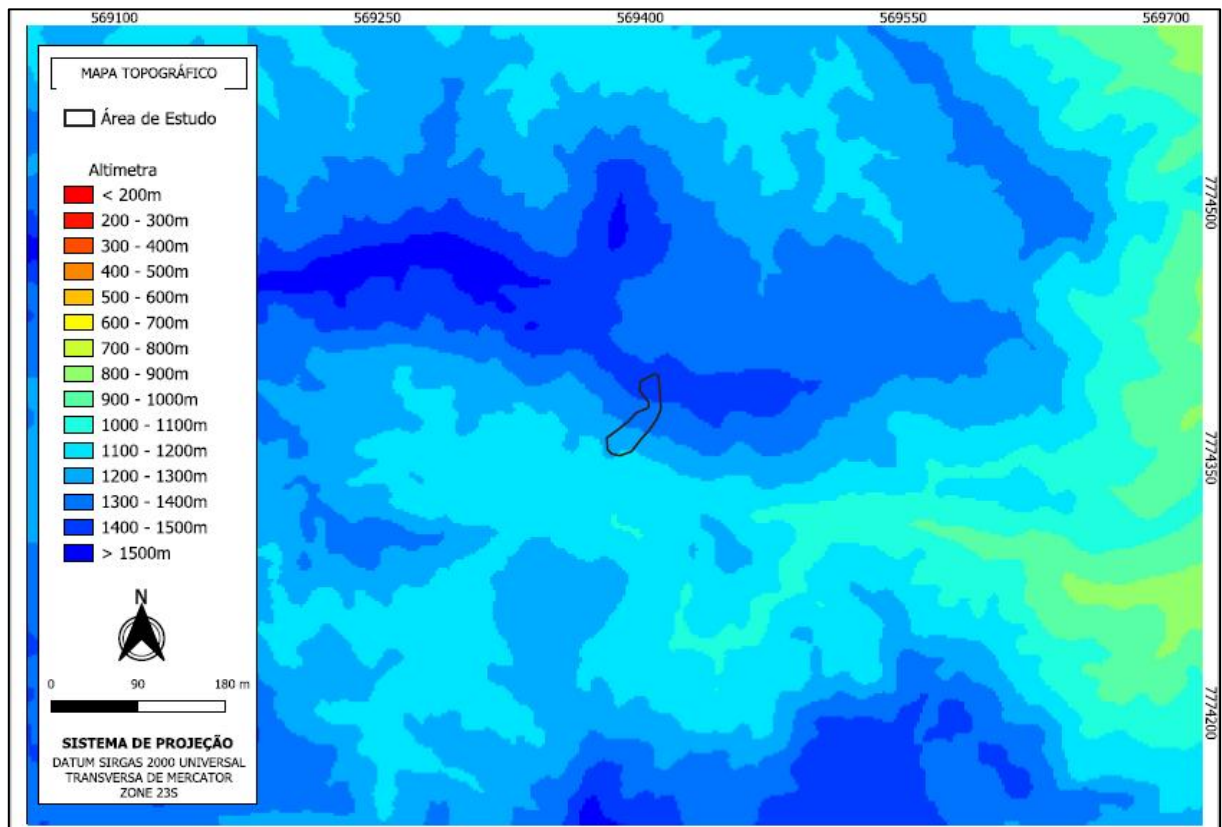
O relevo do Quadrilátero Ferrífero caracteriza-se por apresentar contrastes marcantes entre áreas de altitudes elevadas que passam de 1500 metros, como serras e cristas, e regiões mais baixas, compostas por colinas e superfícies onduladas associadas a rochas granito-gnáissicas do embasamento cristalino. A morfologia também é influenciada por terrenos acidentados, formados por vales estreitos e cristas alinhadas, onde predominam quartzito, itabirito e canga ferruginosa das sequências supracrustais (Herz, 1978).

Em imagens de satélite, litologias mais resistentes ao intemperismo, como quartzitos, apresentam aspecto rugoso, com topos angulosos e vales encaixados, enquanto rochas menos resistentes, como filitos, exibem superfície mais lisa, associada a relevos suavizados e vales amplos (Zaine, 2011). No município de Ouro Preto a distribuição das formas do relevo na região compreende cerca de 5% de áreas planas, 40% onduladas e 55% montanhosas conforme dados da (Secretaria Municipal de Cultura e Turismo de Ouro Preto, 2024).

Tratando especificamente do Morro São Sebastião, o local apresenta um relevo tipicamente montanhoso, com de alta declividade (Xavier, 2018). Essa característica é potencializada por intervenções antrópicas, como cortes para construção de moradias, muitas vezes sem a devida contenção, expondo perfis de solo espessos e de baixa coesão.

Isso tudo somando-se a direção e o mergulho das discontinuidades em relação à face do talude, bem como a declividade da encosta, podem favorecer o desenvolvimento de escorregamentos planares (Hoek e Bray, 1981). As feições geomorfológicas locais são caracterizadas por serras de desenvolvimento linear com altitudes que variam entre 800 e 1500m, (Gomes *et al.*, 1998). A (Figura 3.5) abaixo mostra o mapa hipsométrico mostrando a variação de altimetria da área de estudo em destaque no polígono na cor preta e da região de Ouro Preto.

Figura 3.5 - Mapa hipsométrico da região de Ouro Preto, evidenciando a variação altimétrica e os locais de maior declividade na área de estudo no bairro Morro São Sebastião (área circulada pela cor preta).



Fonte: Elaborado pelo autor, a partir de dados do IBGE – Carta Topográfica do Brasil, folha Ouro Preto, escala 1:50.000.

4 HISTÓRICO, USO E OCUPAÇÃO DO MORRO SÃO SEBASTIÃO

4.1 USO E OCUPAÇÃO

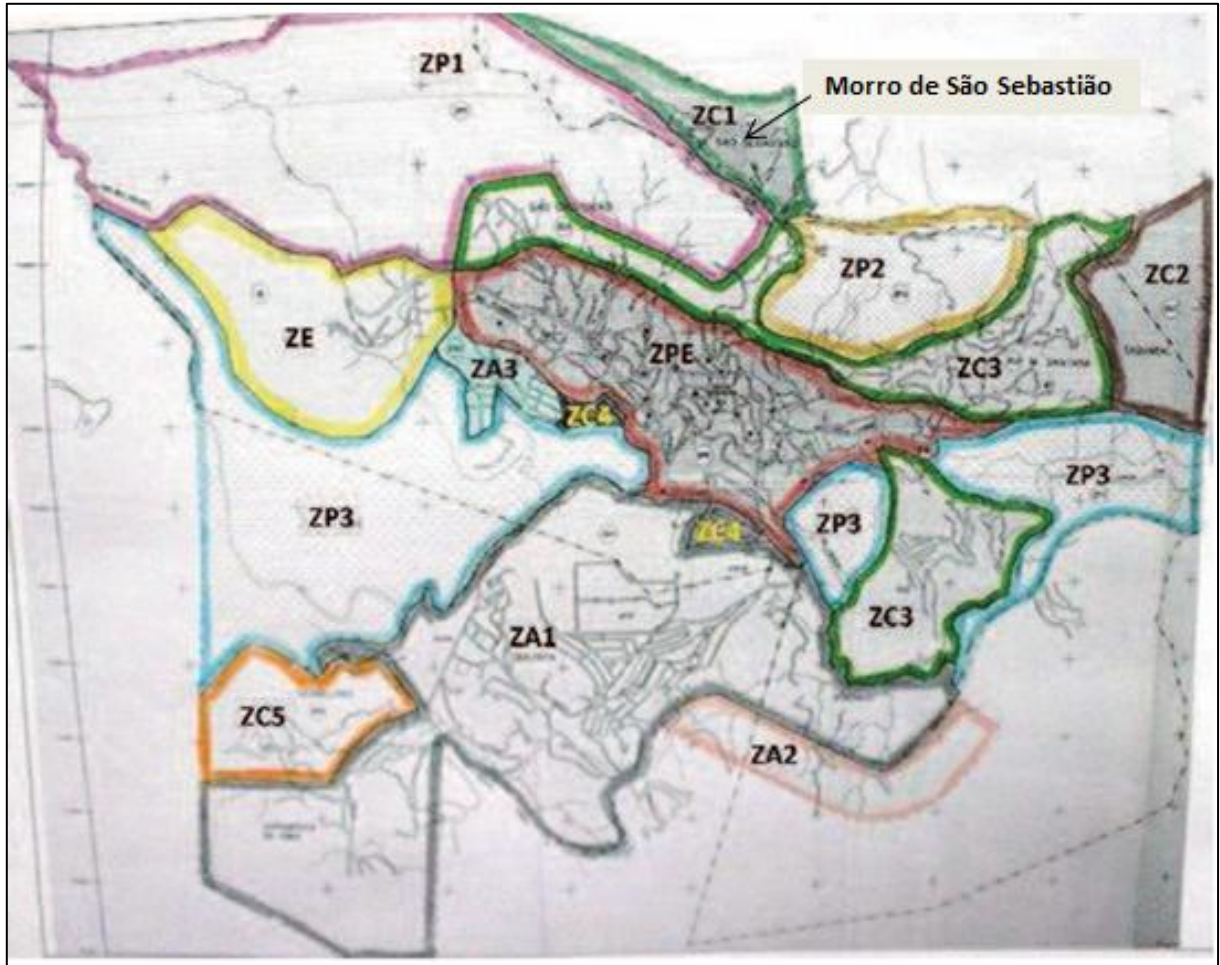
A legislação de uso e ocupação do solo é um instrumento fundamental do planejamento urbano, responsável por estabelecer normas para a utilização do território municipal, com o objetivo de orientar o crescimento das cidades de forma ordenada, sustentável e segura.

No município de Ouro Preto têm-se registro do Decreto nº 18 de outubro de 1971, que adotou o Plano Diretor do município também conhecido como Plano Viana de Lima (Teixeira, 2015), porém na maioria de sites e documentos pesquisados o primeiro Plano Diretor trata-se do ano de 1996. Posteriormente a Lei nº 71 de novembro de 1972 criou o Departamento de Patrimônio Histórico e Artístico Municipal de Ouro Preto, seguido pela Lei nº 01 de fevereiro de 1973, que criou a Secretaria de Turismo e Recreação da Prefeitura de Ouro Preto (Ramalho, 2015). Dois anos mais tarde, foi instituído o Plano de Conservação, Valorização e Desenvolvimento de Ouro Preto e Mariana, elaborado pela Fundação João Pinheiro no ano de 1975 (FJP, 1975). Este documento voltou-se predominantemente para ações de intervenção e planejamento das cidades históricas, a partir dos bens tombados estimulando o turismo cultural, também para as necessidades urbanas para manutenção da dinâmica das cidades e até mesmo pela representatividade do estado em assuntos culturais (Ramalho, 2015).

Voltando ao ano de 1996, foi publicado o Plano Diretor do Município de Ouro Preto pela Lei Complementar nº. 01, de 19 de dezembro de 1996 (Plano direto do município de Ouro Preto, 1996). Neste documento foram definidos seus objetivos, em consonância com a Lei Orgânica Municipal contendo 5 zonas principais: Zona de Proteção Especial, Zona de Proteção, Zona de Controle, Zona de Adensamento e Zona de Expansão, além de suas subdivisões. Porém segundo Vieira (2006, apud Teixeira, 2015), “esse Plano Diretor teria sido criado e aprovado tardiamente, depois que a cidade já havia sofrido uma grande expansão e saturação de sua ocupação central, ou seja, tentou controlar o que já estava fora de controle e teve que se adaptar à cidade que encontrou”.

O Morro São Sebastião, no zoneamento de 1996, foi caracterizado como ZC1 (FIG. 4.1) ou seja, uma Zona de Controle sendo, “áreas ocupadas ou pressionadas pela ocupação circundante, em virtude de apresentarem assentamentos em condições irregulares; acessibilidade e infraestrutura urbana deficiente; altas declividades e áreas de risco geológico elevado; assentamentos potencialmente conflitantes com áreas protegidas.

Figura 4.1 - Mapa de Zoneamento do Plano Diretor Municipal de Ouro Preto de 1996. Detalhe para a Zona ZC1, onde fica localizado o Morro São Sebastião.



Fonte: Plano Diretor Municipal - Lei Complementar nº. 01/1996 (Ouro Preto, 1996) *apud* Teixeira (2005)

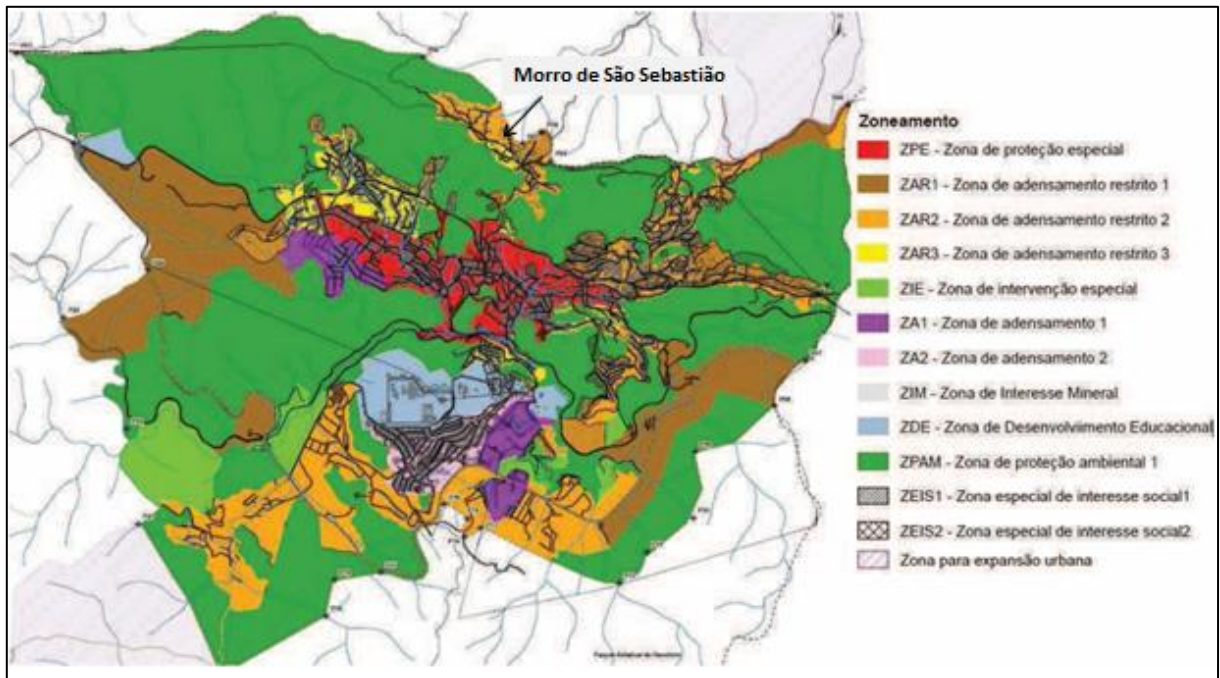
Após o Plano Diretor de 1996, houve revisão no ano de 2006 impulsionado pela criação do Ministério das Cidades, em 2003. Esse documento foi decretado pela Lei Complementar de nº 29, de 28 de dezembro (Ouro Preto, 2006a) onde foi incorporado os princípios de sustentabilidade, compatibilidade e equidade nas ações, planos, programas e projetos para nortear o desenvolvimento do município (Teixeira, 2015). O novo plano criou seis zonas em áreas urbanas a partir parâmetros de uso e ocupação do solo, estabelecidos pela Lei de Parcelamento, Ocupação e Uso do Solo Urbano (Ouro Preto, 2006b), tais como: I- Zona de Proteção Especial (ZPE); II- Zona de Proteção Ambiental (ZPAM); III- Zona de Adensamento Restrito (ZAR); IV- Zona de Adensamento (ZA); V- Zona de Especial Interesse Social (ZEIS); VI- Zona de Intervenção Especial (ZIE). Parte do Morro São Sebastião, nesse zoneamento, foi inserido ZPAM, caracterizado por áreas a serem preservadas ou recuperadas em função de suas características de relevo, geológicas e ambientais de flora, fauna e recursos hídricos, ou ainda

pela necessidade de preservação do patrimônio arqueológico ou paisagístico. No entanto nas áreas habitadas e ao entorno dos principais arruamentos está na ZAR, caracterizada por uso e ocupação do solo limitados em razão de ausência ou deficiência de infraestrutura, precariedade ou saturação da articulação viária, condições de relevo, hidrográficas e geológicas desfavoráveis e possível interferência sobre o patrimônio cultural ou natural (Ouro Preto, 2006a).

No ano de 2010 houve uma nova revisão no Plano Diretor Municipal de Ouro Preto por meio da Lei Complementar nº 91, de 28 de dezembro (Plano direto do município de Ouro Preto, 2010). Conforme o Estatuto das Cidades, Lei 10.257/2006, a revisão desses documentos é obrigatória a cada cinco anos. Nessa revisão foram feitas alterações nos perímetros urbanos de todos os distritos, com perímetros mais claros, definindo-os por acidentes geográficos e limites naturais, tais como, rios, córregos, nascentes, cumeadas e topos dos morros, bacias hidrográficas etc. (Teixeira, 2015). Foi acrescentada uma Zona de Interesse Mineral (ZIM) já que o município apresenta inúmeras áreas destinadas à mineração.

No ano de 2011, pela Lei Complementar nº 93, de 20 de janeiro que estabeleceu condições para o parcelamento, a ocupação e o uso do solo urbano do Município de Ouro Preto que subdividiu as áreas urbanas em oito zonas: I- Zona de Proteção Especial (ZPE); II- Zona de Proteção Ambiental (ZPAM); III- Zona de Adensamento Restrito (ZAR); IV- Zona de Adensamento (ZA); V- Zona de Desenvolvimento Educacional (ZDE); VI- Zona de Intervenção Especial (ZIE); VII - Zona de Interesse Mineral (ZIM) e VIII- Zona de Especial Interesse Social (ZEIS). O Morro São Sebastião, como na revisão anterior ainda está contido na ZPAM e na ZAR como na (Figura 4.2). Além disso, foram definidos perímetros de entorno para as igrejas tombadas individualmente pelo IPHAN, concretizadas com a definição da ZAR3 onde se encontra a Capela de São Sebastião.

Figura 4.2 - Mapa de Zoneamento do Plano Diretor Municipal de Ouro Preto de 2011. Detalhe para as Zonas ZPAM e ZAR, onde fica localizado o Morro São Sebastião.



Fonte: Plano Diretor Municipal - Lei Complementar nº. 93/2011 (Ouro Preto, 2011) *apud* Teixeira (2015)

Mais recentemente, foi elaborado o Plano Municipal de Redução de Riscos de Ouro Preto (PMRR), desenvolvido a partir de 2020 e concluído em 2023, por meio de parceria entre o Ministério do Desenvolvimento Regional, a Universidade Federal de Viçosa (UFV), a Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP) e a Defesa Civil. O plano teve como objetivo realizar o levantamento das áreas sujeitas a processos geológicos e hidrológicos no município e orientar ações voltadas à prevenção e redução dos riscos. Ao todo, foram delimitados 184 setores de risco, envolvendo principalmente processos de deslizamentos, quedas e rolamentos de blocos, inundações e enxurradas, além da proposição de medidas estruturais e não estruturais para os setores identificados (MARQUES *et al.*, 2023).

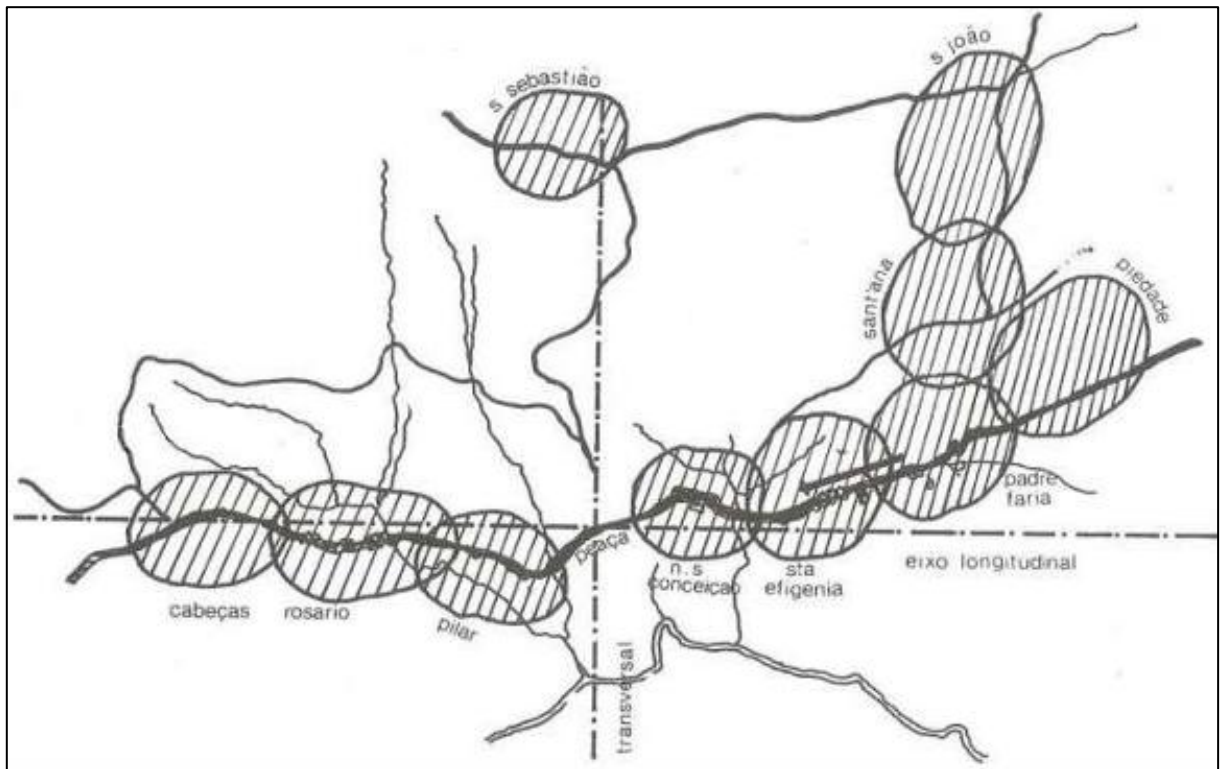
Além do mapeamento, o PMRR passou a ser utilizado pelo município como referência para o planejamento e a ocupação de áreas classificadas como de risco. A Portaria nº 12/2023 estabeleceu a possibilidade de utilização do plano na análise e aprovação de projetos, emissão de alvarás e habite-se, considerando a delimitação das áreas de risco e as condições necessárias para a ocupação dos imóveis em segurança (OURO PRETO, 2023).

4.2 HISTÓRICO

O Morro São Sebastião está localizado em área de ocupação histórica da cidade de Ouro Preto, situando-se nas proximidades do Centro Histórico. A partir do processo de intensificação

da exploração aurífera, se iniciou as primeiras ocupações do que viria a se tornar Vila Rica. O Caminho Tronco (Figura 4.3), como relatado por Vasconcellos (1957 *apud* Venâncio, 2022), foi onde o processo de ocupação da cidade se iniciou, a partir do relevo caracterizado pela topografia íngreme na região. Pelo percurso do Caminho Tronco se deu os primeiros arraiais e assentamentos de ocupação urbana, devido às atividades de mineração do ouro em torno do percurso.

Figura 4.3 - Caminho tronco, onde iniciou a ocupação de Ouro Preto.



Fonte: Vasconcellos (1957 *apud* Venâncio, 2022)

A (Figura 4.4) apresenta a planta da cidade de Ouro Preto elaborada no ano de 1888. Como na figura acima, o Morro São Sebastião também é representado. Consta nesse documento que a ocupação da cidade, naquela época, se concentrava principalmente nas porções de baixa altitude. No entanto os morros, encostas e vales apresentavam grande importância, já que passaram a ser explorados devido a ocorrência de ouro.

Figura 4.4 - Planta da cidade de Ouro Preto.

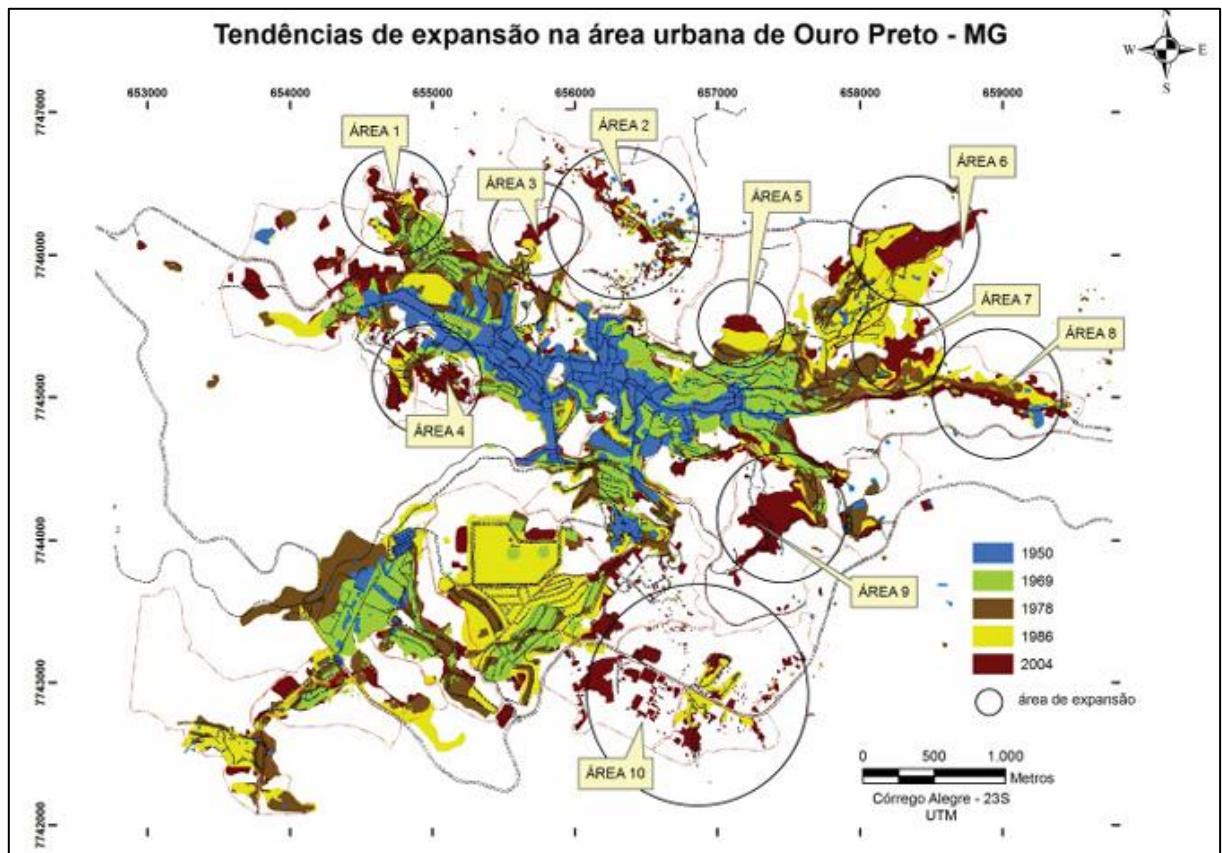


Fonte: Arquivo Público Mineiro (1888)

A partir das décadas de 50 e 60, com o surgimento da Alcan (Aluminium Limited), o núcleo histórico que se mantivera inalterado desde fins do século XVIII, sofreu um processo de expansão, sendo aproveitadas todas as áreas de sua periferia que ofereciam condições razoáveis para a ocupação, indo em direção norte, na Serra de Ouro Preto, principalmente pelos bairros Morro Santana, São Cristóvão e Morro São Sebastião (Oliveira e Sobreira, 2015). Com isso a área urbanizada passou dos 115 há, da década de 50, para 246 há na década de 60, representando um crescimento de 114%.

Os autores citados anteriormente (Oliveira e Sobreira, 2015) demarcaram 10 áreas que sofreu pressão com o crescimento urbano de Ouro Preto e o Morro São Sebastião é uma delas (Figura 4.5). Segundo os mesmos autores, essas áreas vão continuar, com o tempo, mostrando essa tendência de ocupação.

Figura 4.5 - Áreas com tendência a expansão urbana no núcleo urbano de Ouro Preto. A Área 2 equivale a localização do Morro São Sebastião.



Fonte: Oliveira e Sobreira, 2015.

Segundo Ferreira (2016) esse intenso crescimento expôs a importância de um planejamento urbano e a fragilidade do pensamento pontual que havia guiado as políticas de preservação do patrimônio cultural até então. Como resultado, foram criados o Plano de Conservação, Valorização e Desenvolvimento no ano de 1975 e o Plano Diretor do Município de Ouro Preto em 1996, neste último ainda foi previsto a criação do Parque Arqueológico do Morro da Queimada, em uma Zona de Proteção, onde são listadas áreas de “interesse paisagístico, ambiental, arqueológico, histórico e proteção de mananciais de abastecimento de água” (Plano diretor do município de Ouro Preto, 1996). A implantação deste parque, no ano de 2005, desencadeou a implementação do Ecomuseu que, no momento, é realizado parcialmente no Morro São Sebastião.

A Serra de Ouro Preto, feição geomorfológica imponente na cidade, é composta pelos bairros Morro da Queimada, Morro São Sebastião, Morro São João e Morro Santana. Atualmente a região da serra vem vivenciando um processo de expansão mobiliária devido à futura construção de condomínios e estradas de acesso na região, tais empreendimentos,

juntamente com a implantação do Monumento Municipal Arqueológico do Morro da Queimada, como um atrativo turístico, está preocupando a comunidade e impactando os seus modos de vida. Há ainda a obra Estrada da Purificação, acesso de Ouro Preto ao distrito de Antônio Pereira, com a via percorrendo os bairros Morro São Sebastião e São João (Venâncio, 2022).

Um ponto importante do bairro é a presença do Mirante do Morro São Sebastião, este ponto apresenta altitude em torno de 1260 m. O acesso se dá pela ladeira João de Paiva, por caminhada ou de veículo. Deste ponto observa-se todo o centro histórico, na parte baixa, estendendo-se para sul e de leste a oeste (Figura 4.6).

Figura 4.6 - Vista de Ouro Preto no mirante do Morro São Sebastião.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Além disso, o crescimento populacional nos bairros do Morro São Sebastião, Boa Esperança e Alto da Cruz intensificou a pressão por moradia em áreas geologicamente instáveis. As ocupações irregulares ao longo do tempo ignoraram as limitações impostas pelas características geológicas e fisiográficas da região, ajudando na degradação do ambiente natural e no aumento da vulnerabilidade social. A falta de uma revisão atualizada no plano diretor, onde áreas com essas características poderiam ter como definição a proibição e novas construções ou uma avaliação prévia para a obtenção de licença, poderia conter o avanço desordenado da ocupação e aumentar a segurança da população e do patrimônio.

Pesquisas realizadas no site da Defesa Civil de Ouro Preto indicam o Morro São Sebastião como uma das áreas com maior recorrência de problemas geotécnicos no município, como verificado em registros de ocorrência esses escorregamentos estão associados principalmente aos períodos de maior concentração de chuvas.

Esses eventos caracterizaram-se, em sua maioria, por movimentos de massa rasos do tipo planar e por processos de rastejo, afetando encostas ocupadas por moradias, vias de acesso e sistemas de drenagem urbana. Os episódios resultaram em danos materiais recorrentes, como comprometimento de residências, interdição de ruas, necessidade de remoção preventiva de moradores e execução de obras emergenciais de contenção, além de prejuízos à infraestrutura urbana local.

5 REFERENCIAL TEÓRICO

5.1 MOVIMENTOS DE MASSA E FENÔMENOS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS ASSOCIADOS

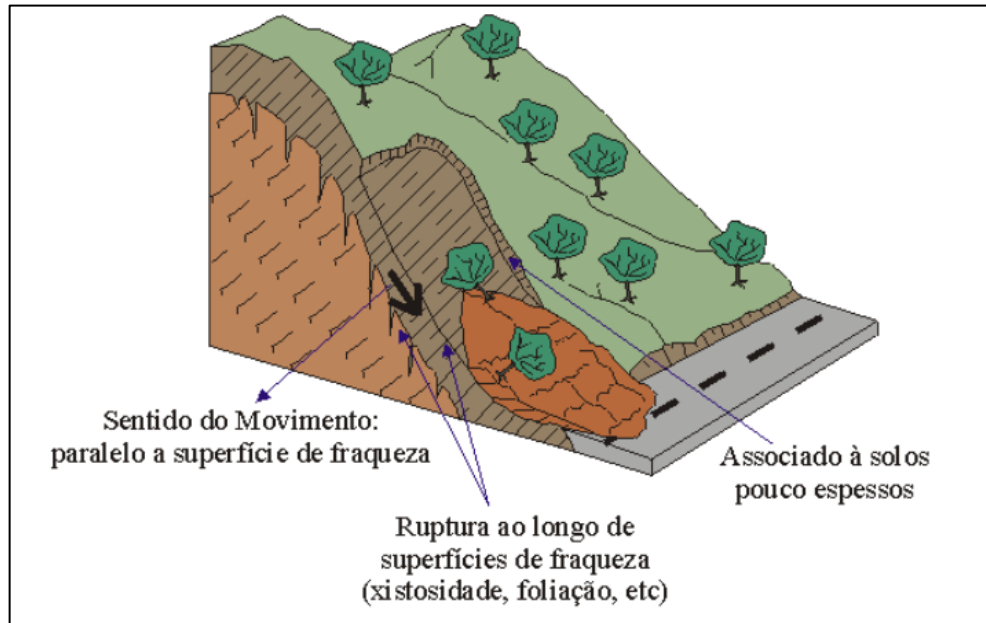
Os movimentos de massa consistem no deslocamento de materiais como solos, rochas e detritos ao longo das encostas, impulsionados principalmente pela ação da gravidade. Esses processos englobam diferentes tipos de movimentos, incluindo quedas, tombamentos, deslizamentos e fluxos, podendo envolver tanto materiais terrosos quanto rochosos e detríticos, conforme a classificação proposta na literatura clássica da geologia de engenharia (Highland; Bobrowsky, 2008). Tais fenômenos estão diretamente associados às variações no estado de tensões e às deformações que ocorrem na massa de encosta, frequentemente intensificadas pela ação da água e por processos de intemperismo (Li *et al.*, 2019).

Os escorregamentos translacionais ou planares são processos recorrentes em áreas caracterizadas por solos residuais profundos, derivados de rochas metassedimentares, como filitos e itabiritos alterados. Esses movimentos ocorrem, de forma mais frequente, durante períodos de precipitação intensa, quando o aumento da umidade provoca a redução da resistência ao cisalhamento dos solos, especialmente ao longo de superfícies de fraqueza pré-existentes, como planos de foliação, fraturas ou interfaces solo/rocha (Fernandes e Amaral, 1996). No contexto de Ouro Preto, o substrato é constituído por metassedimentos de idade paleoproteróica – filitos, xistos, quartzitos e formações feríferas, afetados por eventos tectônicos (Pinheiro; Sobreira; Lana, 2008).

No bairro Morro São Sebastião, observa-se que essas superfícies estruturais apresentam mergulho quase paralelos ao sentido das encostas, configurando uma condição estrutural desfavorável à estabilidade dos taludes (CPRM, 2016). Essa disposição geométrica favorece o

desenvolvimento de escorregamentos planares rasos, uma vez que os planos de fraqueza associados à foliação atuam como superfícies potenciais de ruptura quando mergulham concordantemente com a declividade da encosta, conforme ilustrado pela (Figura 5.1).

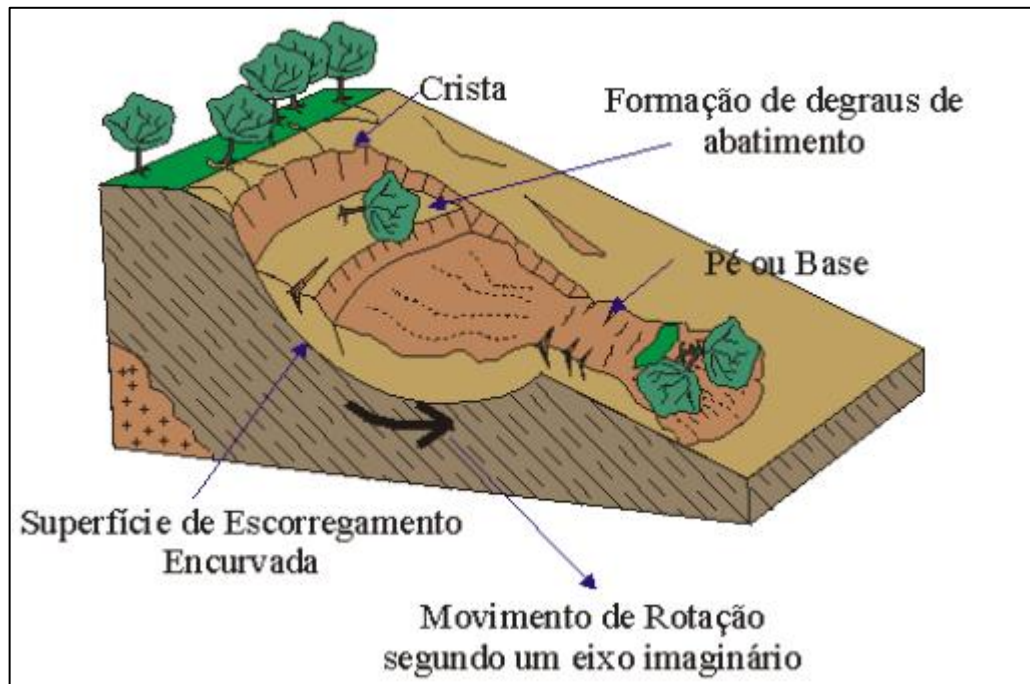
Figura 5.1- Representação esquemática de escorregamento planar.



Fonte: Igeologico (2022) *apud* Infanti Jr. e Fomasari Filho (1998)

Os escorregamentos rotacionais caracterizam-se por uma superfície de ruptura curva ao longo da qual se dá um movimento rotacional do maciço de solo (FIG. 5.2). A ocorrência destes movimentos está associada geralmente à existência de solos espessos e homogêneos, como os decorrentes da alteração de rochas argilosas. O início do movimento muitas vezes é provocado pela execução de cortes na base destes materiais, como na implantação de uma estrada, ou para construção de edificações, ou ainda pela erosão fluvial no sopé da vertente (Fernandes e Amaral, 1996).

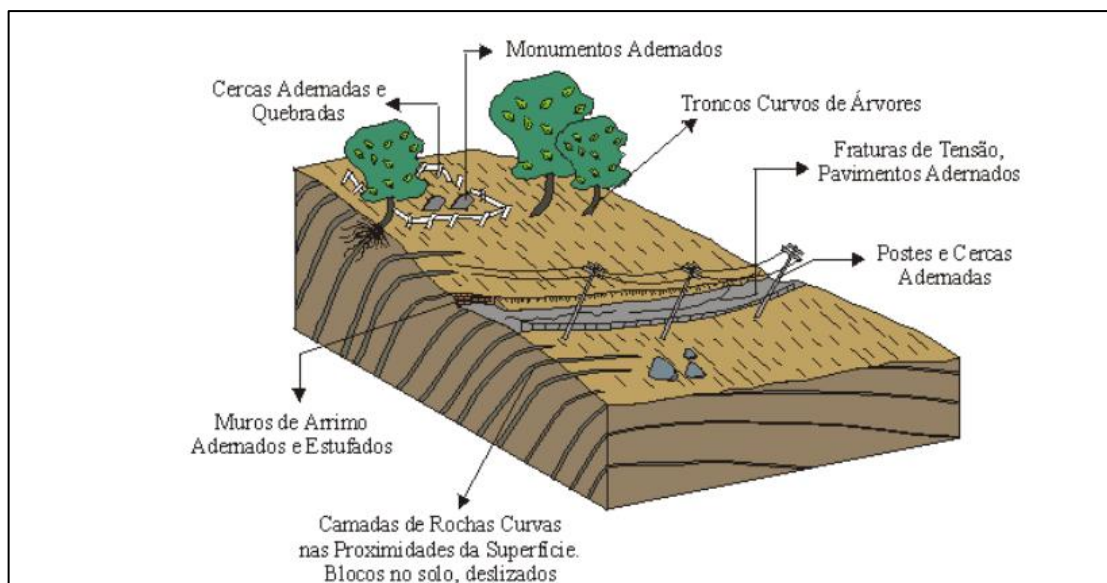
Figura 5.2- Representação esquemática de escorregamento rotacional.



Fonte: Igeologico (2022) *apud* Infanti Jr. e Fornasari Filho (1998)

Outro processo frequente nas encostas de Ouro Preto é o rastejo (Creep) ilustrado na (Figura 5.3), caracterizado pela movimentação lenta e contínua de camadas superficiais do manto de alteração, incluindo solos, regolito e materiais detriticos, normalmente abaixo do limite de ruptura. Seus efeitos são notáveis a longo e médio prazo por devido ao surgimento de trincas em edificações, inclinação em muros e deformação de calçamentos.

Figura 5.3 - Esquema para a ocorrência de rastejo.



Fonte: Igeologico (2022) *apud* Infanti Jr. e Fornasari Filho (1998)

A erosão concentrada e regressiva é um elemento significativo na degradação das encostas. O escoamento superficial descontrolado, associado à falta de sistemas de drenagem adequados, aumenta a chance de formação de ravinas e voçorocas, principalmente em locais onde o solo encontra-se debilitado por processos anteriores. (Silva *et al.*, 2014)

Esses fenômenos são influenciados por um conjunto de fatores geológico-geotécnicos, fisiográficos e antrópicos que atuam de forma integrada na desestabilização das encostas.

O bairro Morro São Sebastião está situado em área de ocupação residencial em encostas de declividade acentuada em Ouro Preto. A (CPRM, 2016), fez um levantamento que apresenta os setores de risco da cidade de Ouro Preto, levando em consideração a área de estudo, foi visto o registro de: escorregamentos translacionais rasos, rastejo e erosão regressiva, além de escorregamentos em cunha e quedas ou rolamentos de blocos. Os fenômenos foram descritos e associados à declividade elevada, mergulho das camadas geralmente quase paralelas a face das encostas entre outros fatores.

5.2 CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA

A caracterização geológico-geotécnica da área de estudo foi realizada a partir das observações obtidas durante o levantamento de campo, seguindo os critérios de descrição de maciços rochosos propostos pela ABGE (1983, 2018) e os critérios de grau de alteração da ISRM (1981). Foram considerados aspectos relacionados à litologia, ao grau de alteração, à coerência dos materiais e às características das descontinuidades observadas nos taludes quando possível.

5.2.1 Caracterização Litológica

A caracterização litológica é a identificação e descrição dos tipos de rocha presentes na área de estudo, considerando características como composição mineralógica, cor, textura, estruturas e demais aspectos que possam influenciar seu comportamento geotécnico. Segundo ABGE (1983, 2018), o reconhecimento litológico representa uma etapa fundamental na caracterização de maciços rochosos, uma vez que diferentes litologias apresentam comportamentos distintos frente aos processos de alteração e instabilidade.

5.2.2 Grau de alteração

O grau de alteração pode ser definido como o conjunto de modificações físicas e químicas a que as rochas são submetidas, resultando na degradação de suas características originais e na redução de suas propriedades mecânicas. Para um mesmo tipo litológico, quanto

mais avançado o grau de alteração, menor tende a ser a resistência da rocha e maior sua deformabilidade, influenciando diretamente o comportamento geotécnico do maciço (ABGE, 1983, 2018).

Fatores como a presença de descontinuidades, a ocorrência de argilominerais e a composição mineralógica da rocha podem favorecer o avanço dos processos de alteração. A International Society for Rock Mechanics (ISRM, 1981) propôs critérios para a descrição visual do grau de alteração em campo, considerando características como coloração, resistência, friabilidade e preservação das estruturas originais da rocha. A partir dessa avaliação, os materiais podem ser enquadrados em diferentes graus de alteração, variando desde rocha sã até rocha completamente alterado, conforme apresentado na (TAB. 4.1).

Tabela 5.1 - Descrição das classes de alteração (ISRM, 1981).

Sigla	Denominação	Descrição
W1	Rocha sã	Alteração mineralógica nula ou incipiente. Minerais preservam brilho original e cor. Resistência original da rocha não afetada pela alteração.
W2	Rocha pouco alterada	Descoloração na matriz rochosa e nas descontinuidades. Alteração mineralógica perceptível e perda de brilho. Resistência original da rocha parcialmente afetada pela alteração.
W3	Rocha moderadamente alterada	Matriz descolorida, podendo ocorrer material mais alterado das descontinuidades. Resistência afetada pelo intemperismo.
W4	Rocha muito alterada	Matriz totalmente oxidada e cores muito descoloridas. Foliação ressaltada pelo intemperismo. Resistência muito afetada pela alteração.
W5	Rocha completamente alterada	Material rochoso é decomposto em solo com estruturas reliquias. A estrutura do solo ainda é intacta.
W6	Solo residual	Material totalmente transformado em solo. Estruturação da rocha matriz totalmente destruída.

Fonte: Elaborado pelo autor. Adaptado de (ISRM, 1981).

5.2.3 Grau de coerência

O grau de coerência corresponde à resistência que a rocha apresenta à desagregação. Segundo a ABGE (1983, 2018), sua determinação está relacionada às propriedades de tenacidade, dureza e friabilidade dos materiais, podendo ser avaliada por meio de observações realizadas em campo. De modo geral, rochas menos alteradas tendem a apresentar maior coerência, enquanto rochas mais alteradas apresentam menor resistência à fragmentação e

maior facilidade de desagregação. A partir dessa avaliação, os materiais podem ser enquadrados em diferentes graus de coerência, conforme apresentado na (TAB. 4.2).

Tabela 5.2 – Graus de coerência.

Sigla	Denominação	Características da Rocha
C1	Rocha coerente	Quebra com dificuldade ao golpe do martelo, produzindo fragmentos de bordas cortantes. Superfície dificilmente riscável por lâmina de aço. Somente escavável a fogo.
C2	Rocha medianamente coerente	Quebra com dificuldade ao golpe do martelo. Superfície riscável com lâmina de aço. Escavável a fogo.
C3	Rocha pouco coerente	Quebra com facilidade ao golpe do martelo, produzindo fragmentos que podem ser partidos manualmente. Superfície facilmente riscável com lâmina de aço. Escarificável.
C4	Rocha incoerente	Quebra com a pressão dos dedos, desagregando-se. Pode ser cortada com lâmina de aço. Friável e escavável com lâmina.

Fonte: Guidicini *et al.*, (1972).

5.2.4 Descontinuidades

As descontinuidades correspondem a superfícies de fraqueza presentes nos maciços rochosos, como fraturas, foliações e bandamentos. Segundo a ABGE (1983, 2018), características como orientação, espaçamento, persistência, rugosidade e preenchimento podem influenciar o comportamento geotécnico das rochas e os mecanismos de ruptura associados.

Neste trabalho, foram avaliadas principalmente as orientações das descontinuidades observadas nos afloramentos, por meio de medições de direção e mergulho realizadas em campo com bússola geológica. Essas informações foram utilizadas para identificar as principais estruturas presentes nos maciços e subsidiar as análises cinemáticas desenvolvidas posteriormente.

5.3 ANÁLISE CINEMÁTICA DE TALUDES

A análise cinemática é uma ferramenta utilizada para verificar se a orientação das descontinuidades permite, do ponto de vista geométrico, o movimento de blocos rochosos. Segundo Silva (2023), a orientação das descontinuidades (direção e mergulho) em relação à face livre do talude é o parâmetro-chave para determinar se as estruturas possuem condições favoráveis à ruptura. Essa técnica avalia apenas a viabilidade geométrica do movimento, sem considerar as forças atuantes, utilizando projeções estereográficas para representar a relação espacial entre as estruturas.

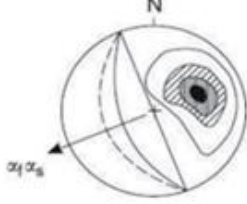
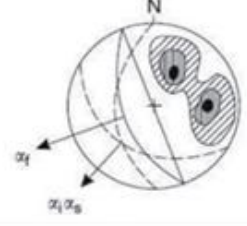
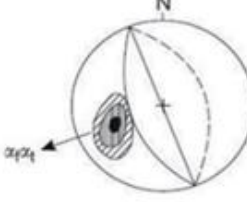
A representação de um plano no estereograma é feita por meio de círculos máximos, enquanto o seu polo corresponde a uma linha perpendicular ao plano, posicionada a 90° em

relação a ele. Para a identificação dos mecanismos potenciais de ruptura, também é necessário considerar o ângulo de atrito (ϕ) das discontinuidades presentes no maciço, que pode ser determinado por meio de ensaios de cisalhamento. No estereograma, esse parâmetro é representado por um círculo com origem no centro do diagrama, cuja dimensão varia de acordo com o valor de ϕ . De acordo com Fiori e Carmignani (2015), um bloco permanece em repouso sobre uma superfície planar quando a resultante das forças atuantes se afasta da normal à superfície por um ângulo menor que o ângulo de atrito. A janela cinemática corresponde à região do estereograma na qual os planos, os polos ou as linhas de interseção atendem simultaneamente aos critérios geométricos e ao ângulo de atrito estabelecido para cada mecanismo de ruptura.

Os critérios geométricos de ruptura em maciços de rocha são definidos pela interação entre a geometria do talude e a rede de discontinuidades. Esses critérios permitem identificar, de forma preliminar, quais mecanismos de ruptura são geometricamente possíveis em cada talude analisado. Neste trabalho, foram avaliadas as condições para rupturas planares, cunha e tombamento de blocos, considerando a orientação das discontinuidades, o mergulho da face do talude e o ângulo de atrito.

Para a ruptura planar, o deslocamento ocorre ao longo de uma discontinuidade que aflora na face do talude, apresenta direção aproximadamente paralela a ela, mergulho no mesmo sentido do talude, inferior ao mergulho da face e superior ao ângulo de atrito. Considera-se ainda uma variação de até 20° entre a direção de mergulho da discontinuidade e a direção da face do talude, admitindo-se que o movimento ocorra aproximadamente segundo o mergulho do plano (Hoek e Bray, 1981). Para a ruptura em cunha, é necessário que a linha de interseção formada entre duas discontinuidades aflore na face do talude, com mergulho inferior ao da face e superior ao ângulo de atrito. Já o tombamento consiste na rotação dos blocos em direção à face livre do talude, sendo favorecido pela presença de discontinuidades com mergulho elevado para o interior da encosta e orientação aproximadamente paralela à face, podendo estar associadas a outras estruturas que favoreçam a individualização dos blocos (Fiori e Carmignani, 2015). A (FIG. 5.4) apresenta, de forma esquemática, os tipos de ruptura e condições de instabilidade.

Figura 5.4 - Esquematização para os tipos de ruptura e condições de instabilidade.

Tipo de Ruptura	Estereograma	Condições Estruturais
Planar 		- Descontinuidade apresenta ângulo de mergulho menor que o do talude e direção paralela à face do talude. - Mergulho da descontinuidade maior que o ângulo de atrito.
Em Cunha 		- Direção da intersecção dos planos de descontinuidade próxima da direção do mergulho do talude. - O mergulho da intersecção menor que o mergulho do talude e maior que o ângulo de atrito.
Tombamento 		- Rocha resistente contendo descontinuidades com mergulho alto para dentro do talude. - Normal ao plano de tombamento com mergulho menor que a inclinação do talude e menor que o ângulo de atrito
Legenda:  Concentração dos polos Grande círculo representando a face do talude Grande círculo representando as descontinuidades.		α_f Direção do mergulho da face do talude α_s Direção de deslizamento α_t Direção de tombamento α' Direção do mergulho da linha de intersecção

Fonte: Pires B. H. G. et al. (2016).

6 ANÁLISE DE RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos a partir da análise multitemporal, do levantamento geológico-geotécnico de campo e das análises cinemáticas realizadas nos pontos estudados. A discussão busca relacionar a evolução da ocupação urbana, as características dos taludes, rochas e solos observados em campo e a orientação das descontinuidades com os principais condicionantes de instabilidade identificados na área de estudo.

6.1 ANÁLISE MULTITEMPORAL

Foi realizada a análise multitemporal da área de estudo, com intuito de observar a evolução do uso e ocupação do solo, considerando imagens compreendidas entre os anos de 2003 e 2024. Esse período foi definido a partir da imagem histórica mais antiga disponível com e da imagem mais recente selecionada para a análise. As imagens foram apresentadas em ordem cronológica, permitindo melhor visualização das alterações ocorridas ao longo do tempo, principalmente em relação ao crescimento da ocupação urbana, abertura de vias, implantação de novas construções, supressão da cobertura vegetal e intervenções em áreas de encosta. (FIG. 6.1 a FIG. 6.6)

Na imagem de 2003 (FIG. 6.1), observa-se que a ocupação já estava estabelecida nos trechos próximos à Rua Rio Piracicaba e à Rua Padre Rolim. Entre esses dois trechos, ao longo da Ladeira João de Paiva indicada na imagem, a ocupação era mais descontínua, com poucas construções separadas por espaços vegetados. Os acessos que organiza a ocupação da área também já estava presente nesse primeiro registro.

Na imagem de 2008 (FIG. 6.2), o padrão geral permanece semelhante ao observado em 2003, com alterações localizadas no entorno das construções existentes. Não se observa, nesse intervalo, um avanço uniforme da ocupação sobre toda a área delimitada. Na imagem de 2013 (FIG. 6.3), torna-se mais evidente o aumento da quantidade de construções no trecho da Ladeira João de Paiva compreendido entre as áreas já ocupadas próximas às ruas Rio Piracicaba e Padre Rolim. Esse crescimento ocorreu principalmente pelo preenchimento de espaços anteriormente vegetados entre construções já existentes.

Em 2016 (FIG. 6.4), observa-se a continuidade desse processo, com novas construções próximas à Ladeira João de Paiva e às suas ramificações. A comparação com as imagens anteriores mostra que o crescimento ocorreu principalmente ao longo dos acessos que já apareciam em 2003, sem a implantação de novas ruas dentro do limite analisado.

Na imagem de 2020 (FIG. 6.5), a ocupação apresenta-se mais adensada no trecho da Ladeira João de Paiva, com menor espaçamento entre as construções quando comparada às imagens de 2003, 2008 e 2013. Na imagem de 2024 (FIG. 6.6), esse padrão permanece, sendo observadas alterações mais localizadas em relação a 2020. Os trechos próximos às ruas Rio Piracicaba e Padre Rolim, que já apresentavam ocupação no início da série, tiveram mudanças menos expressivas do que o trecho da Ladeira João de Paiva situado entre eles.

Dessa forma, a análise multitemporal mostra que o crescimento da ocupação não ocorreu de maneira uniforme em toda a área delimitada. O principal padrão identificado foi o adensamento das construções ao longo dos acessos existentes, sobretudo no trecho da Ladeira João de Paiva que apresentava ocupação mais descontínua em 2003. Esse processo acompanha a tendência de expansão urbana no Morro São Sebastião identificada por Oliveira e Sobreira (2015).

Figura 6.1 – Ortofoto do bairro Morro São Sebastião de 2003.



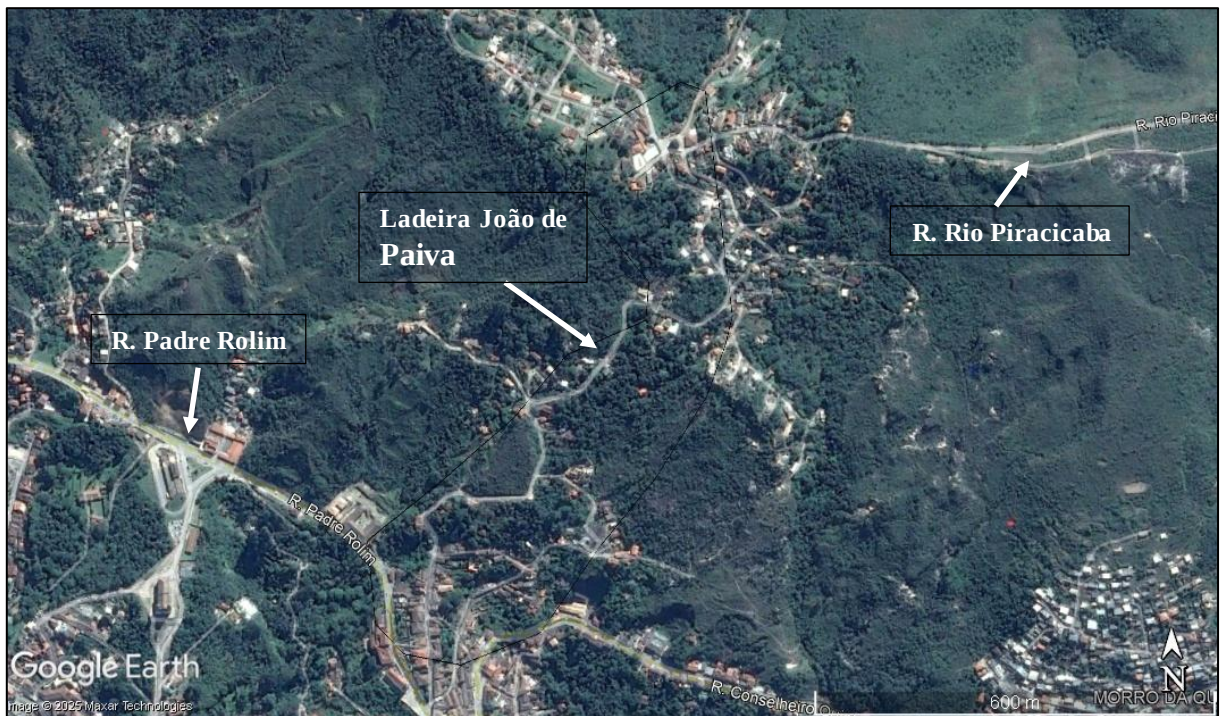
Fonte: Google Earth.

Figura 6.2 – Ortofoto do bairro Morro São Sebastião de 2008.



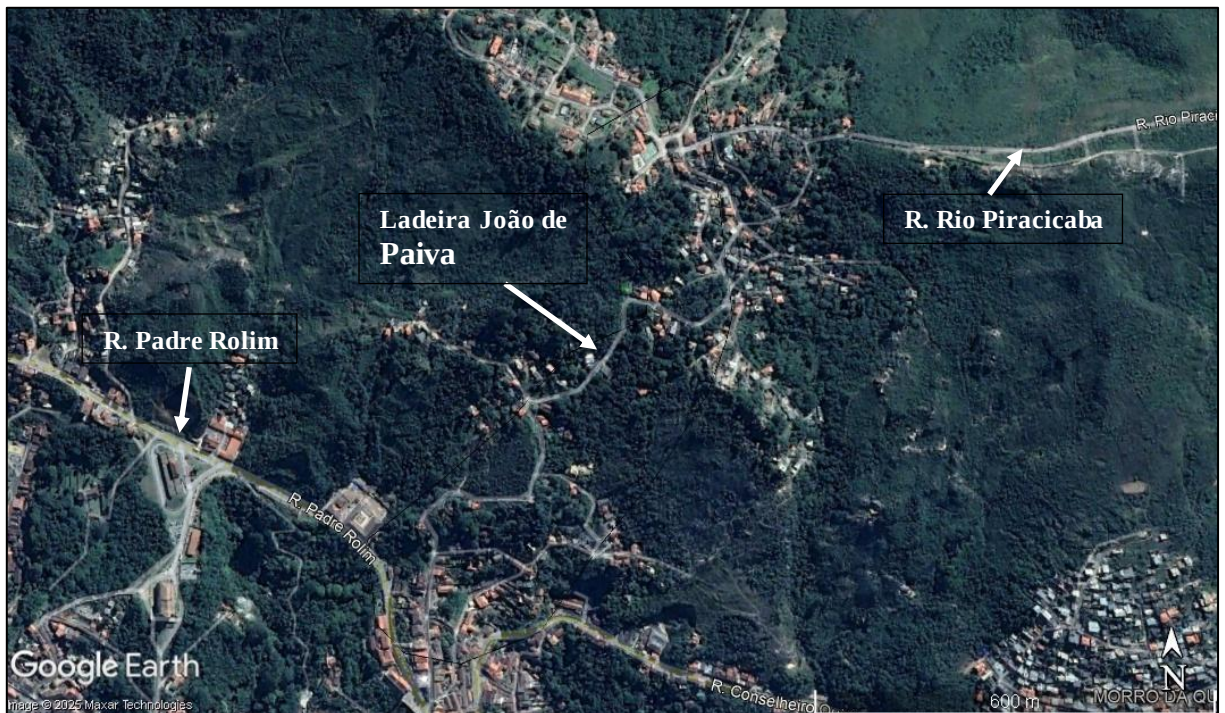
Fonte: Google Earth.

Figura 6.3 – Ortofoto do bairro Morro São Sebastião de 2013.



Fonte: Google Earth.

Figura 6.4 – Ortofoto do bairro Morro São Sebastião de 2016.



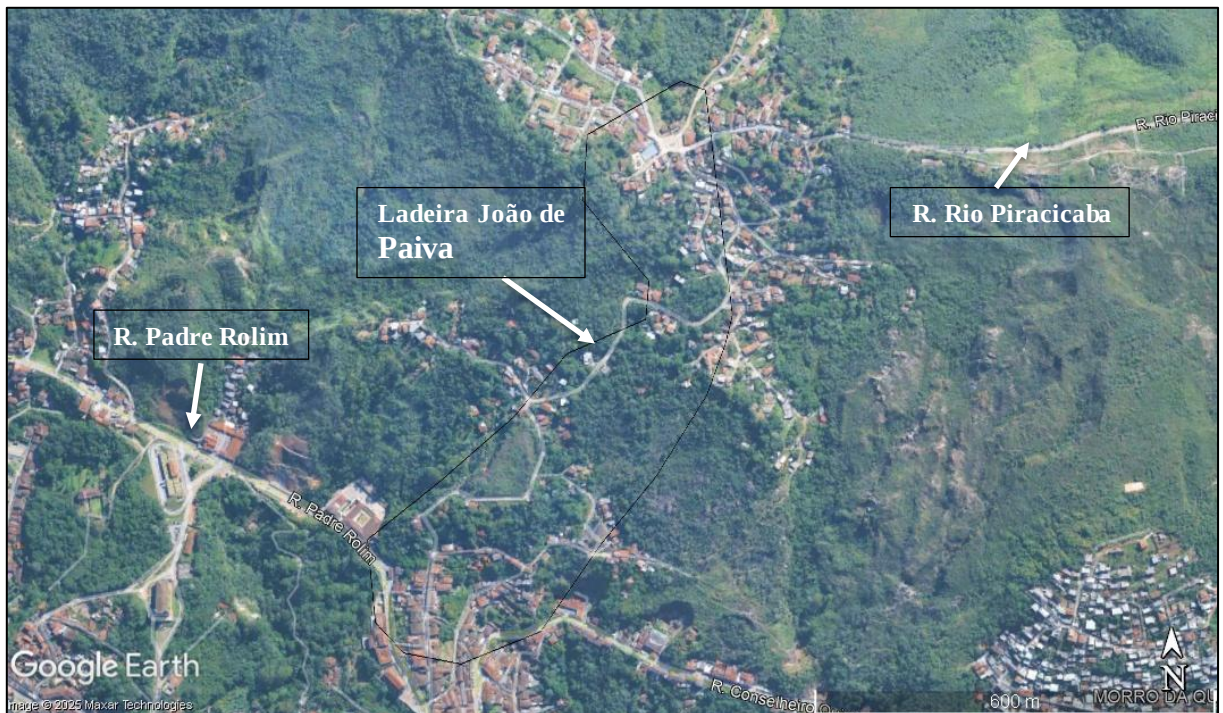
Fonte: Google Earth.

Figura 6.5 – Ortofoto do bairro Morro São Sebastião de 2020.



Fonte: Google Earth.

Figura 6.6 – Ortofoto do bairro Morro São Sebastião de 2024.



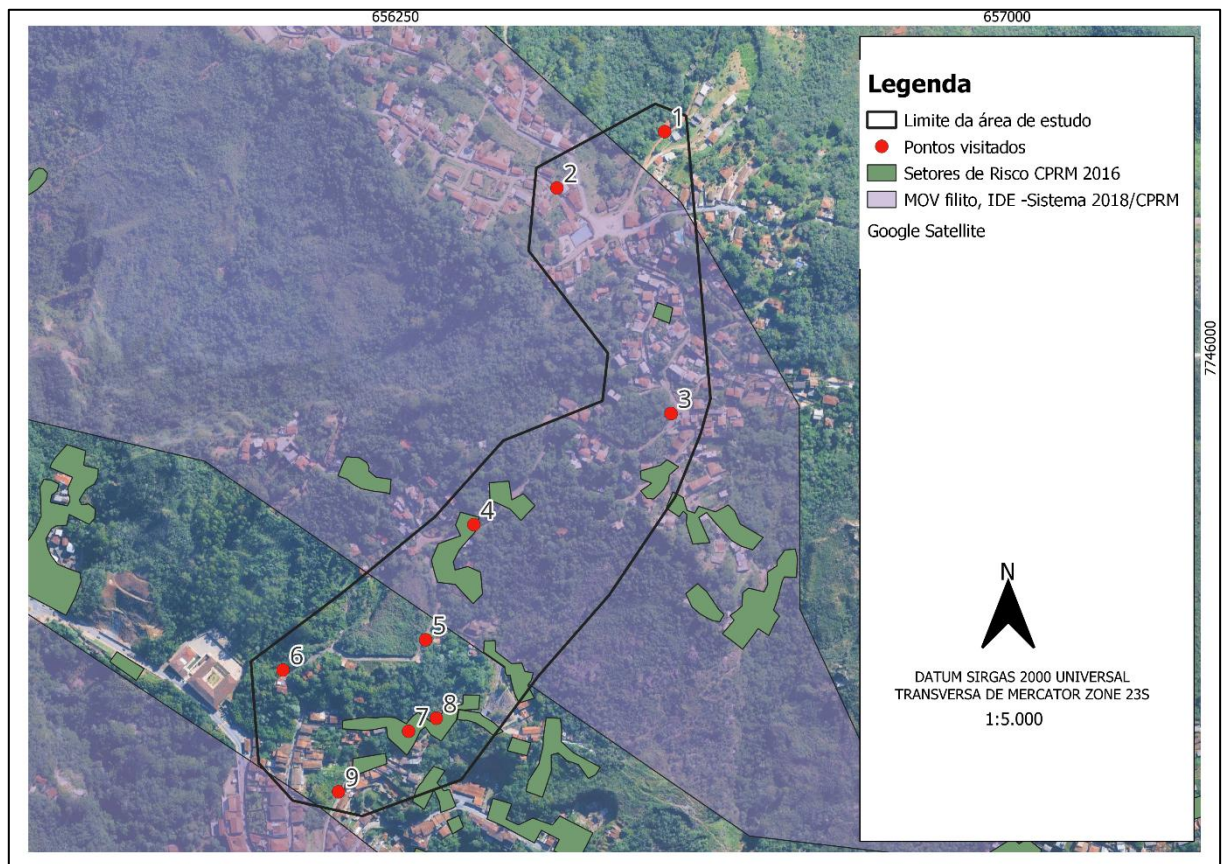
Fonte: Google Earth.

6.2 LEVANTAMENTO DE CAMPO

O levantamento de campo realizado na Ladeira João de Paiva e áreas adjacentes, foi distribuído em 9 pontos ao longo da área de estudo com o objetivo de avaliar os condicionantes geológicos, geotécnicos e antrópicos relacionados à ocorrência de processos de instabilidade nas encostas. Para complementar os dados obtidos em campo, foram inseridos no mapa os setores de alto e muito alto risco delimitados pela CPRM (2016), bem como os registros de movimentos de massa disponibilizados pelo IDE-Sisema MG (2018), (FIG. 6.7).

A tabela geral com as características individuais de cada ponto e o registro fotográfico com demais fotos são apresentados no Apêndice 1.

Figura 6.7- Mapa de localização da área de estudo, distribuição dos pontos visitados e sobreposição com os setores de risco delimitados pela CPRM (2016) e com os dados de movimentos de massa disponibilizados pelo IDE-Sistema MG (2018), no bairro Morro São Sebastião.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados da CPRM (2016) e IDE-Sistema MG (2018).

Os setores delimitados pela CPRM (2016) foram inseridos na (FIG. 6.7) com o objetivo de contextualizar os pontos de campo. De acordo com a CPRM (2016), o P4 está inserido em um setor associado a processos de deslizamento e rastejo, enquanto os pontos P7 e P8 estão inseridos em um setor associado à possibilidade de deslizamento em encosta íngreme. Esses setores foram classificados como de risco alto pela CPRM (2016). Ressalta-se que essa classificação abrange áreas maiores que os pontos levantados em campo e não foi reavaliada neste trabalho.

A análise dos pontos foi organizada considerando os principais comportamentos geológico-geotécnicos observados em campo. Os pontos foram agrupados de acordo com a litologia, os filitos alterados da Formação Cercadinho, os itabiritos da Formação Cauê, ao contato entre essas unidades e as áreas com maior influência a intervenções antrópicas. Essa organização permite relacionar as características das rochas e solos, o grau de alteração, as estruturas observadas e as feições de instabilidade presentes em cada setor.

Os pontos P1, P2, P3 e P6 apresentaram filitos da Formação Cercadinho. Nas porções menos alteradas, os filitos apresentam coloração variando entre tons avermelhados, ocre e amarronzados e granulação fina. Em alguns trechos, mesmo com o avanço do intemperismo, a estrutura da rocha permanece parcialmente preservada (FIG. 6.8). O grau de alteração dessas rochas varia entre W3 e W5 (TAB. 5.1). Em relação à coerência, a rocha foi classificada principalmente como C3 (TAB. 5.2). Nas porções superficiais dos taludes, ocorrem solos de coloração ocre a amarronzada e textura silto-argilosa.

A principal estrutura observada corresponde à xistosidade/foliação dos filitos, preservada em alguns trechos, mesmo com o avanço do intemperismo. Também foram observadas, na rocha, a exposição do material alterado e os deslocamentos ao longo da foliação. Nos solos, foram identificados sulcos erosivos, raízes expostas e acúmulo de solo coluvionar fino, de textura silto-argilosa, na base dos taludes. Esses elementos indicam processos de remoção e mobilização superficial do material, principalmente em locais com cobertura vegetal descontínua, maior inclinação e falta de drenagem adequada. No P1, foi identificada uma cicatriz de escorregamento planar em talude de corte. (FIG. 6.9).

Figura 6.8 – Ponto P1, exposição de filito da Formação Cercadinho, com grau de alteração variando entre W3 e W4 e estrutura da rocha parcialmente preservada.



Fonte: Elaborado pelo autor.

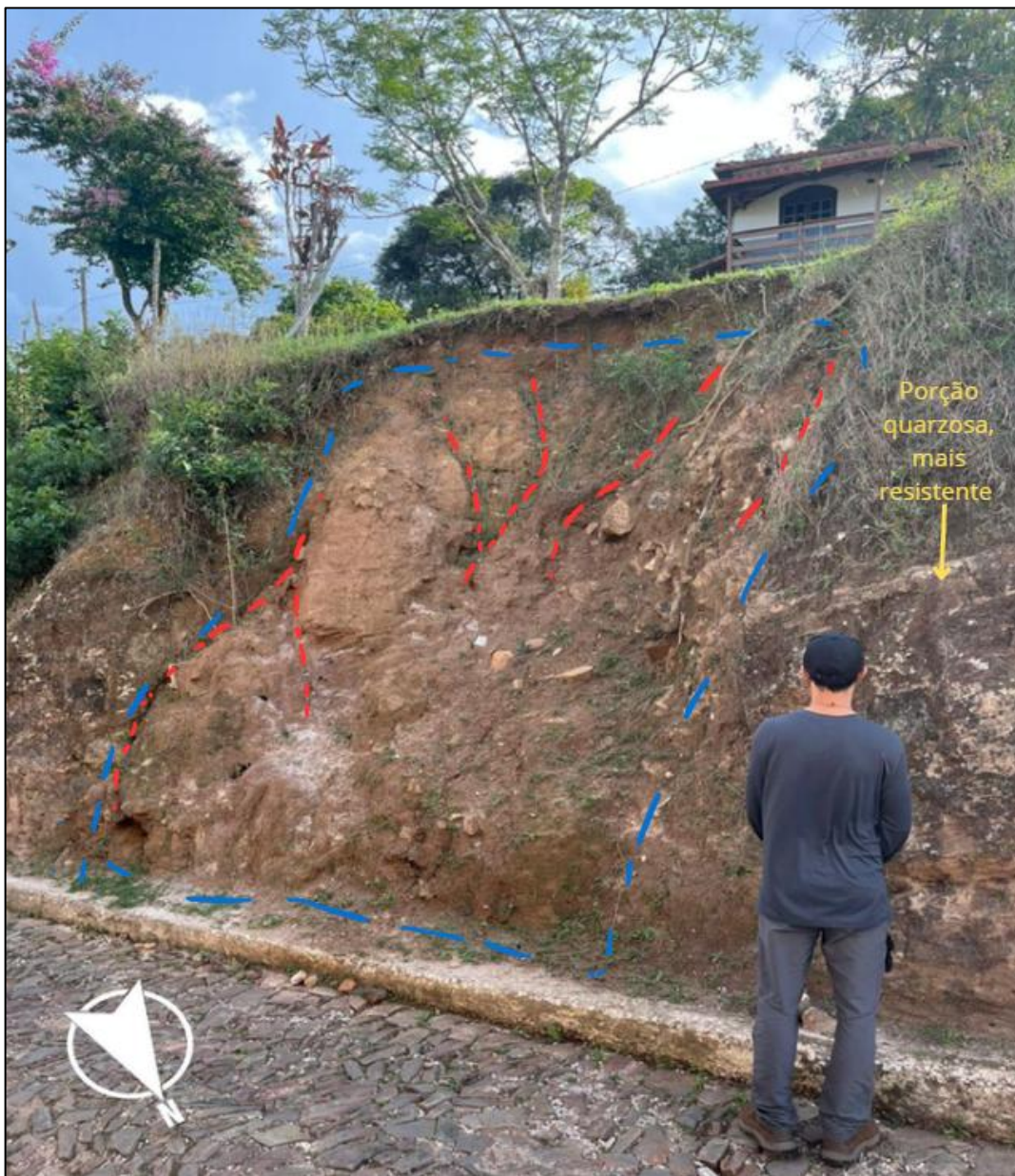
Figura 6.9 – Ponto P1, cicatriz de escorregamento planar em talude de corte. A linha vermelha representa a crista do escorregamento.



Fonte: Elaborado pelo autor.

No P2, além dos filitos alterados, ocorre a presença local porções quartzosas e níveis xistosos, formando um conjunto litológico heterogêneo, com porções mais resistentes e trechos mais friáveis. Na parte exposta do talude onde se tem predominância dos filitos, foram observados sulcos erosivos distribuídos no talude, estendendo da parte superior até a base. O desenvolvimento dessas feições pode estar ligado ao escoamento superficial causado pelas chuvas, criando caminhos preferenciais para percolação da água. As porções mais quartzosas apresentam maior resistência à erosão e permanecem mais preservadas na face do talude

Figura 6.10 - Detalhe de feições dos sulcos erosivos (em vermelho) no talude da Rua Rio de Janeiro, com variação de coloração associada ao intemperismo do material. Observa-se solo saprolítico derivado de filitos (em azul), com níveis localmente mais resistentes associados a porções mais quartzosas do maciço (em amarelo).

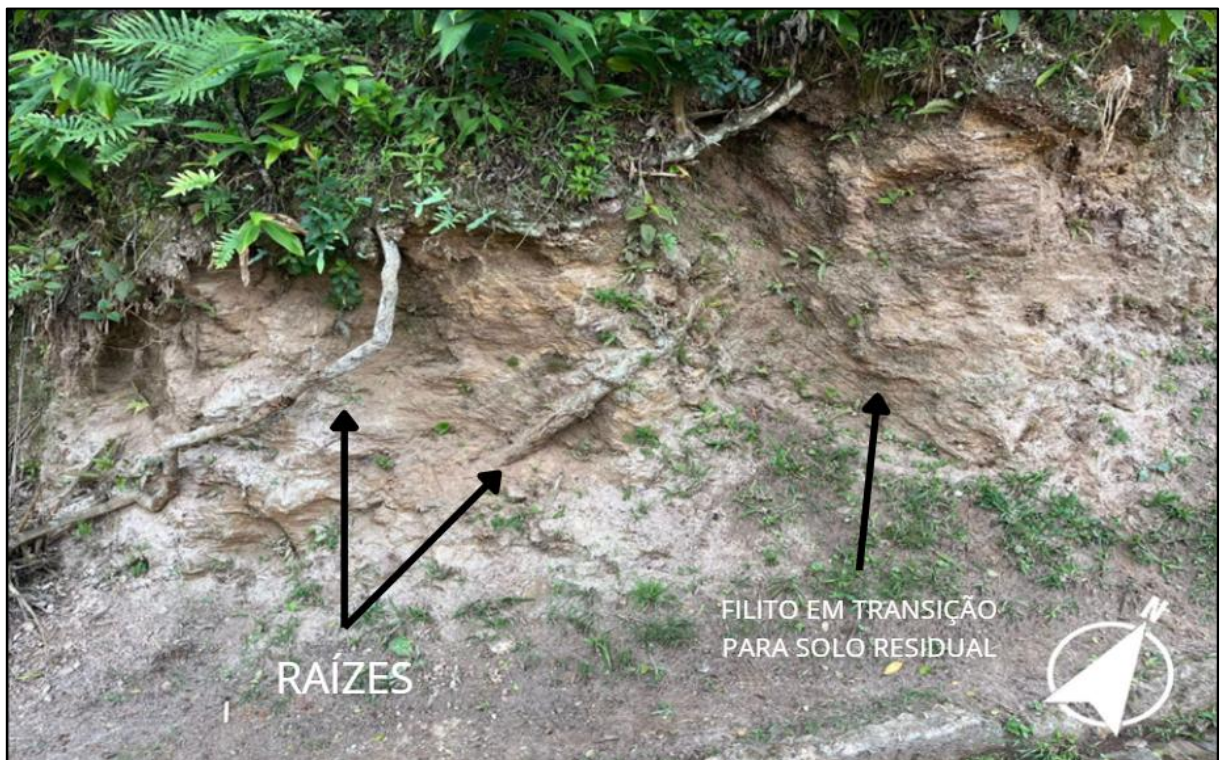


Fonte: Elaborado pelo autor

No P3, localizado na Ladeira João de Paiva, o talude apresenta filito da Formação Cercadinho em transição para solo residual. A rocha apresenta coloração amarronzada a ocre, granulometria fina, aspecto terroso e estrutura parcialmente preservada nas porções menos alteradas. O grau de alteração varia entre W4 e W5 (TAB. 5.1). Em relação à coerência, a rocha foi classificada como C3 (TAB. 5.2).

Ao longo da face do talude, foram observadas feições de erosão superficial e raízes expostas, mesmo com a presença de vegetação em sua parte superior. Na base do talude, ocorre um acúmulo localizado de solo fino, de textura silto-argilosa, misturado à matéria orgânica.

Figura 6.11 - Talude no Ponto 3 (Ladeira João de Paiva) solo residual saprolítico derivado de filitos da Formação Cercadinho com raízes expostas e evidências de erosão superficial.



Fonte: Elaborado pelo autor

No P6 (FIG. 6.12) a foliação metamórfica é bem visível, marcada por lâminas subparalelas e superfícies de fraqueza. Na parte superior do talude ocorrem raízes que penetram nas discontinuidades e contribuem para a abertura destes planos. Na base do talude, ocorre acúmulo de solo exposto. A falta de sistemas de drenagem na via pode favorecer a concentração do escoamento superficial sobre esse solo e a ocorrência de processos erosivos.

De forma geral, esses pontos apresentam diferentes condicionantes associados à instabilidade, como rochas muito alteradas, solos residuais de textura silto-argilosa expostos

nos taludes e associados à ocorrência de processos erosivos, além de cortes em taludes. Também foram observados planos de foliação com orientação desfavorável em relação às faces dos taludes, conforme demonstrado pelas medidas de atitude e pela análise cinemática apresentada no (Item. 6.3), podendo atuar como superfícies preferenciais de ruptura.

Figura 6.12 - Exposição de filito alterado no ponto P6, com foliação preservada na porção superior do talude. As linhas vermelhas delimitam aproximadamente a faixa de ocorrência da rocha alterada (W4) e abaixo próximo à rua o solo acumulado.



Fonte: Elaborado pelo autor

No P4 e P5 a rocha apresenta coloração cinza-escuro a ferruginosa, granulometria fina, bandamento composicional marcado pela alternância entre níveis ricos em hematita e níveis ricos em quartzo, além = O grau de alteração do itabirito varia entre W2 e W3 (Tabela 5.1). E em relação à coerência, os itabiritos foram classificados principalmente como C2 (TAB 5.2Tabela 5.2).

No P4, foi observado um afloramento de itabirito exposto pelo corte da via. Embora não tenham sido obtidas medidas estruturais nesse ponto, é possível observar planos de fratura que favorecem a individualização e o desprendimento de blocos do maciço. Abaixo do afloramento,

observam-se blocos, matacões e fragmentos de itabirito acumulados ao longo da encosta (FIG. 6.13). A posição desses materiais em relação ao maciço é compatível com a ocorrência de queda e posterior rolamento de blocos ao longo da encosta.

Figura 6.13 - Talude no P4. Na porção superior, indicada pela seta branca, observa-se o maciço de itabirito com planos de fratura. Em azul, destacam-se blocos, matacões e fragmentos de itabirito dispersos ao longo da encosta, abaixo do afloramento.



Fonte: Elaborado pelo autor.

No P5, em frente ao Mirante do Morro São Sebastião, o afloramento apresenta exposição representativa de itabiritos da Formação Cauê (FIG. 6.14). A rocha apresenta bandamento composicional marcado pela alternância entre níveis ricos em quartzo e hematita. Nesse ponto, o itabirito foi classificado como pouco alterado W2 (TAB. 5.1) e medianamente coerente C2 (TAB. 5.2). A principal estrutura observada corresponde ao bandamento do itabirito, com mergulhos suaves. A relação entre a orientação do bandamento e a face do talude é avaliada na análise cinemática do P5, apresentada no (Item 6.3.2). Além disso, foi observada uma clivagem plano-axial espaçada, sem abertura significativa. Durante o levantamento de campo, não foram observados sinais expressivos de erosão, deslocamento ou instabilidade ativa.

Assim, os itabiritos observados apresentam menor grau de alteração e maior coerência quando comparado aos filitos da Formação Cercadinho dos pontos anteriores. No entanto, a presença de planos de descontinuidade, como fraturas, favorece a individualização de blocos, que podem ser mobilizados por movimentos de massa do tipo queda e rolamento, como observado no P4.

Figura 6.14- Afloramento de itabirito da Formação Cauê no P5, em frente ao Mirante do Morro São Sebastião. A rocha apresenta bandamento composicional preservado, marcado pela alternância entre níveis ricos em quartzo e hematita



Fonte: Elaborado pelo autor.

Nos pontos P7 e P8 (FIG. 6.15 e FIG. 6.16), observa-se o contato geológico entre a Formação Cauê e a Formação Cercadinho. Ao longo do afloramento ocorre a passagem dos níveis de itabirito para os filitos, caracterizando o contato entre as duas unidades geológicas. O grau de alteração varia de acordo com a litologia observada, sendo o itabirito classificado como W2, enquanto os filitos apresentam graus de alteração entre W3 e W4 (Tabela 5.1). O grau de coerência foi classificado como C2 para os níveis de itabirito e C3 (Tabela 5.2) para os filitos. A principal estrutura observada corresponde ao bandamento do itabirito

Observam-se trechos em que o bandamento composicional permanece bem definido e outros com maior grau de intemperismo. Durante o levantamento de campo, não foram observados indícios significativos de erosão, deslocamentos ou evidências de instabilidade ativa.

Figura 6.15- Talude com a rocha mergulhando aproximadamente ($210^{\circ}/35^{\circ}$) na Rua Valentim Policarpo do Ponto 7, mostrando cavidade no local e níveis hematíticos da Formação Cauê.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 6.16- Talude de corte ao longo da Rua Valentim Policarpo, no P8, localizado na área de contato geológico entre as formações Cauê e Cercadinho. Em (A), observa-se uma porção do afloramento com bandamento preservado; em (B), o material apresenta maior grau de alteração, dificultando a identificação dessa estrutura. Também são observados sulco erosivo superficial e raízes expostas.



Fonte:

O ponto P9, localizado na Rua Salvador Trópia, corresponde a um talude com um muro de arrimo implantado em sua base. O solo, classificado como coluvionar, apresenta coloração avermelhada, granulometria predominantemente fina e textura silto-argilosa, com presença de fragmentos rochosos de diferentes tamanhos. A cobertura vegetal é de baixa densidade, composta predominantemente por gramíneas, com presença de raízes expostas e acúmulo de solo inconsolidado na parte superior do talude (FIG. 6.17).

O muro apresenta sinais evidentes de deformação, destacando-se a presença de trincas em sua porção frontal e a inclinação do muro de pedra seca. Essas feições são indícios de movimentação lenta do solo, do tipo rastejo. Nesse ponto, já foram registrados movimentos de massa associados a episódios de fortes chuvas ocorridos no município, o que pode ter mobilizado esse solo exposto. A ausência de drenagem superficial pode favorecer o escoamento das águas pluviais em direção ao muro, contribuindo para a ocorrência de processos erosivos no talude.

Figura 6.17 - Muro implantado na base da encosta, apresentando sinais de deformação (A). Em (B), solo coluvionar, com acúmulo de material inconsolidado e raízes expostas, associado ao movimento lento do tipo rastejo.



Fonte: Elaborado pelo autor.

6.3 ANÁLISE CINEMÁTICA

A análise foi realizada nos pontos P1, P5, P6 e P7, nos quais foi possível obter medidas representativas das descontinuidades e das faces dos taludes. Os resultados são apresentados a seguir, considerando os mecanismos de ruptura planar, em cunha e por tombamento. Cada mecanismo foi avaliado separadamente a partir da relação entre a orientação das descontinuidades, a geometria das faces dos taludes e os parâmetros adotados.

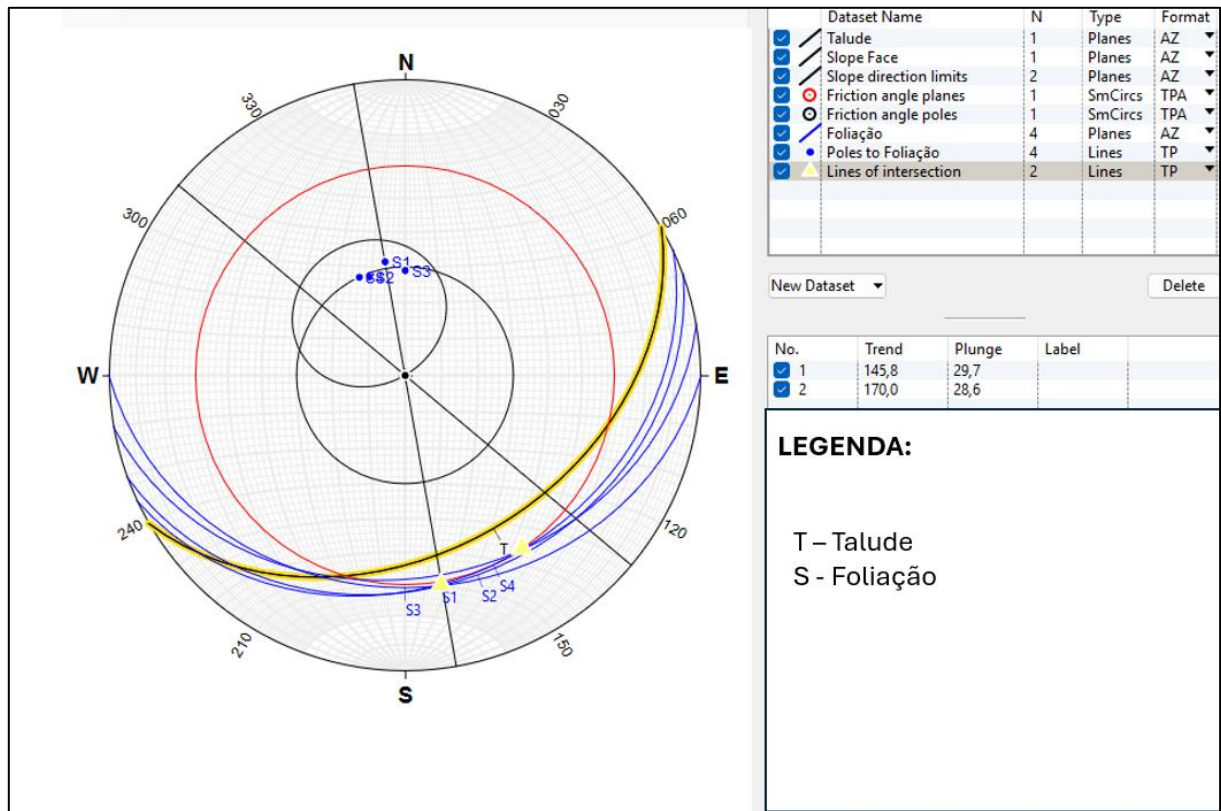
6.3.1 Ponto 1

No P1 foram consideradas as medidas de orientação da xistosidade dos filitos, pois nesse ponto não foi possível obter medidas de fraturas, uma vez que o maciço apresenta grau de alteração entre W3 e W4, com baixa preservação dos planos de fratura. Dessa forma, a análise foi baseada nos planos de xistosidade medidos nas porções em que a estrutura da rocha ainda se encontrava preservada. As orientações consideradas para o P1 foram (S1-170°/32°, S2-160°/29°, S3-155°/30° e S4-180°/29°), e a face do talude apresentou atitude T-150°/40°, conforme apresentado na rede estereográfica da (FIG. 6.18).

Após realizar a análise da projeção do P1, observa-se que há possibilidade de ruptura planar nos planos S1, S2 e S4, pois eles se encontram dentro da janela cinemática. Esses planos apresentam direção de mergulho próxima à da face do talude, mergulhos inferiores ao mergulho da face e atendem à condição de paralelismo no limite de 20°. O plano S1 apresenta mergulho maior que o ângulo de atrito adotado, enquanto S2 e S4 apresentam mergulhos muito próximos desse valor. A face do talude, com atitude (T-150°/40°), apresenta mergulho maior que o dos planos analisados, permitindo que eles aflorem na face do talude.

A projeção estereográfica indica a possibilidade geométrica de ruptura planar nos planos de xistosidade S1, S2 e S4, nas porções em que a estrutura da rocha permanece preservada. Para ruptura em cunha, as linhas de interseção S1xS4 se encontraram no meio da janela cinemática, e a interseção de S3xS4 no limite da janela, apresentando condição favorável ao mecanismo. A possibilidade geométrica de ruptura planar indicada pela análise cinemática é compatível com o mecanismo observado em campo.

Figura 6.18 - Rede estereográfica do P1, com a face do talude representada em amarelo, os planos de xistosidade/foliação em azul, o círculo correspondente ao ângulo de atrito de 30° em vermelho, os triângulos amarelos a interseção entre os planos e os limites da janela cinemática representada pelos traços em preto.



Fonte: Elaborado pelo autor.

6.3.2 Ponto 5

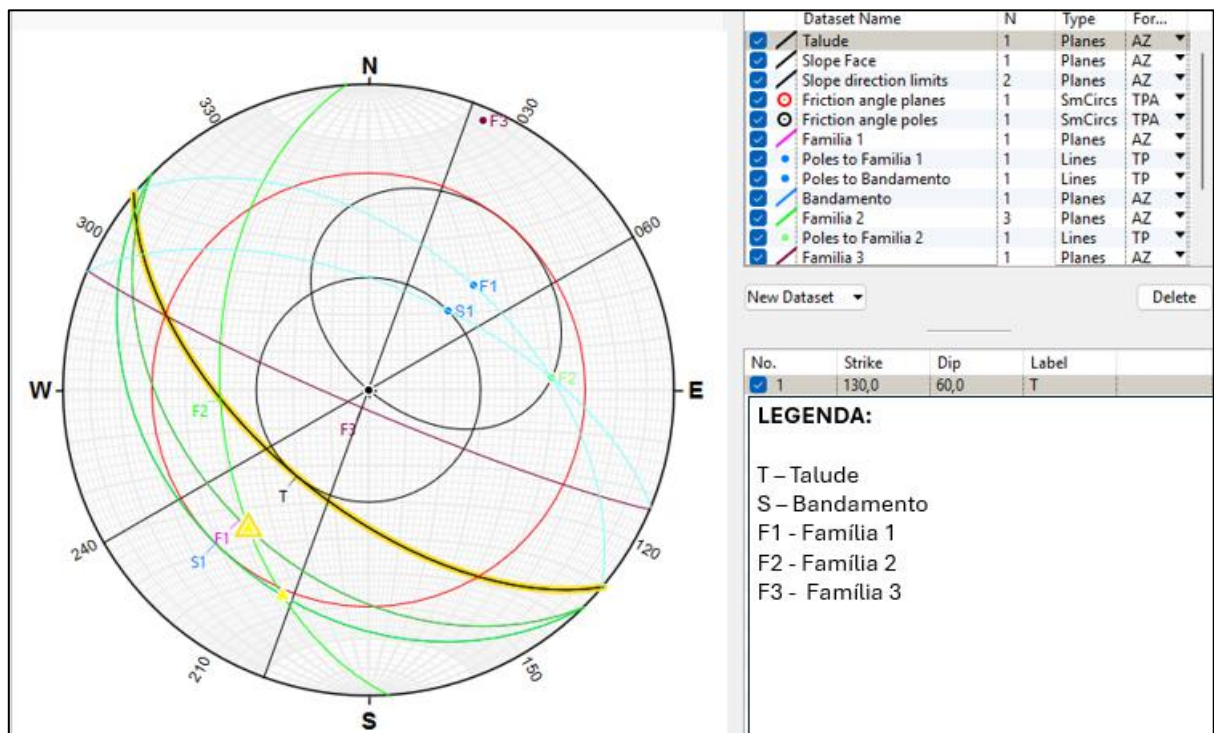
No P5, foram realizadas medições do bandamento do itabirito da Formação Cauê e das famílias de fraturas. Nesse ponto, o maciço apresenta grau de alteração W2, coerência C2 e bandamento preservado. As orientações consideradas foram (S1-225°/30°, F1-225°/27°, F2-266°/50° e F3-203°/85°), e a face do talude apresentou atitude (T-220°/60°), conforme apresentado na rede estereográfica da (FIG. 6.19).

Após realizar a análise das medidas plotadas na projeção, observa-se que, assim como no P1, o mergulho de S1 é inferior ao da face do talude e encontra-se no limite do ângulo de atrito adotado, indicando possibilidade de ruptura planar. A família F1 também apresenta direção próxima à da face do talude. A F2 não apresenta condição para ruptura planar, mas forma estruturas em cunha quando analisada com S1 e F1, pois as linhas de interseção estão dentro da área de instabilidade e afloram na face do talude, configurando geometria favorável à ruptura em cunha. As interseções F2×S1 e F2×F1 apresentam orientações de 202°/28° e 220°/39°, respectivamente, representando a direção e o mergulho das linhas de interseção

analisadas. Já a F3 apresenta condição favorável ao tombamento, pois seu polo se encontra na área de instabilidade para esse mecanismo.

Apesar do itabirito apresentar bandamento preservado, mergulhos suaves e não tenham sido observadas feições de instabilidade ativa durante o levantamento de campo, isso não elimina a possibilidade de ruptura. A análise cinemática mostra apenas se a orientação das descontinuidades em relação à face do talude permite determinado mecanismo, não significando que a ruptura esteja ocorrendo no local.

Figura 6.19 – Rede estereográfica do P5, com a face do talude representada em amarelo, o bandamento S1 e os planos das famílias de fraturas em azul, o círculo do ao ângulo de atrito de 30° em vermelho, os triângulos amarelos representando as interseções entre os planos e os limites da janela cinemática em preto.



Fonte: Elaborado pelo autor.

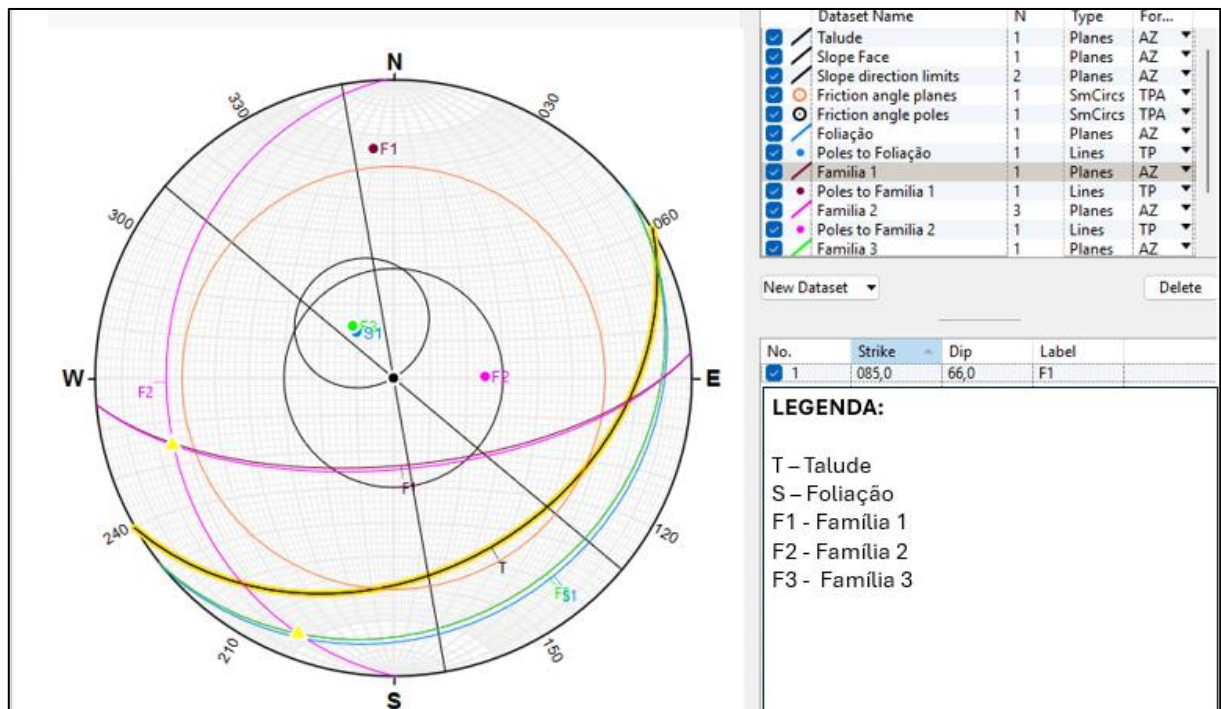
6.3.3 Ponto 6

Para o ponto 6 as orientações medias consideradas foram: (S1-141°/16°, F1-175°/66°, F2-296°/25° e F3-142°/18°) e da face do talude (T-150°/35°) apresentadas na rede estereográfica da (FIG. 6.20).

Após realizar as análises das medidas plotadas, observava-se que as famílias S1 e a F3 apresentam direção próxima à face do talude e mergulho no mesmo sentido geral da face do talude, ambas aparecem dentro da janela cinemática para ruptura planar, indicando condição geométrica favorável. Para a ruptura em cunha, os triângulos amarelos representam as linhas

de interseção entre os planos de descontinuidade. Essas interseções encontram-se fora da janela cinemática por não apresentarem orientação favorável em relação à face do talude, não indicando condição geométrica para a ocorrência desse mecanismo. Na análise de tombamento, observa-se que o polo da família F1 se encontra fora da janela cinemática definida para esse mecanismo, não indicando condição favorável ao tombamento.

Figura 6.20 - Rede estereográfica do P6, com a face do talude representada em amarelo, o plano de foliação S1 e os planos das famílias de fraturas em azul, o círculo do ângulo de atrito de 30° em vermelho, os triângulos amarelos representando as interseções entre os planos e os limites da janela cinemática em preto.



Fonte: Elaborado pelo autor.

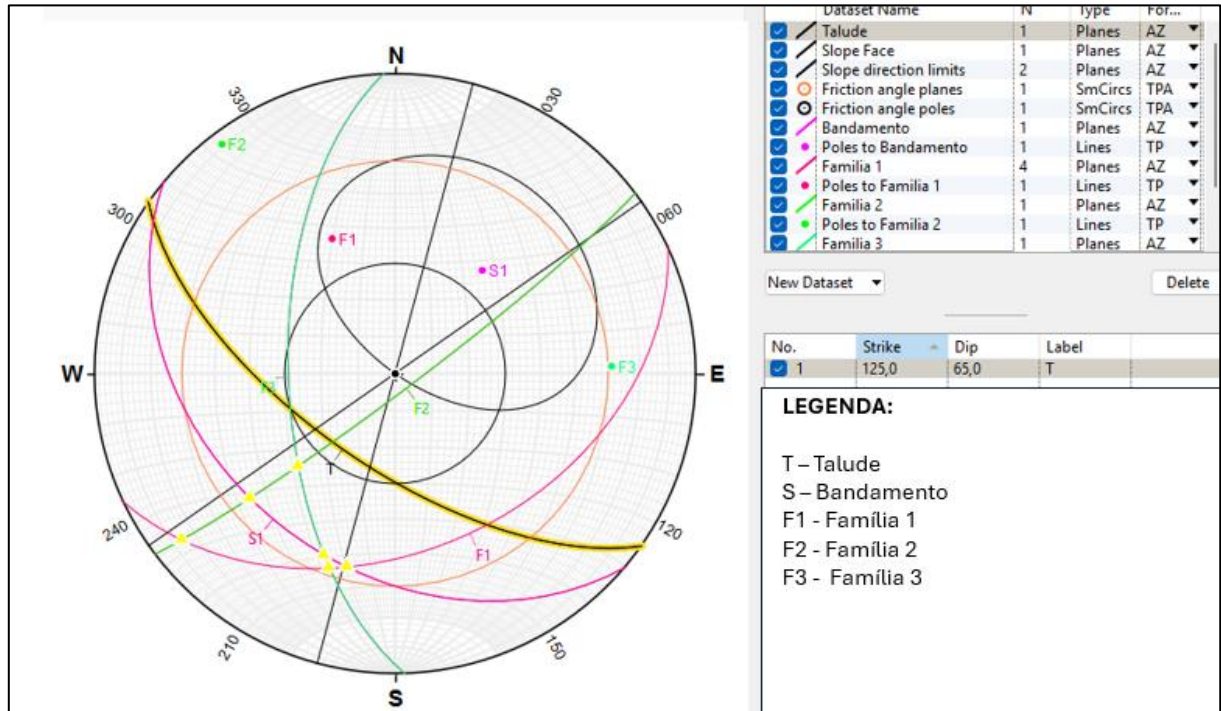
6.3.4 Ponto 7

No P7 foram registradas medidas de atitude do bandamento, as orientações medias consideradas para o P7 foram: (S1-220°/37°, F1-155°/41°, F2-143°/85° e F3-268°/61°) e da face do talude (T-215°/65°) apresentadas na rede estereográfica da (FIG. 6.21).

Após realizar as análises das medidas plotadas, na projeção, observa-se que o mergulho de S1 é inferior ao da face do talude e maior que o ângulo de atrito adotado, indicando condição favorável para ruptura planar. Além disso, as famílias de fraturas F1, F2 e F3 apresentam condição favorável para ruptura em cunha quando analisadas em conjunto com S1 e entre si, pois elas se encontram dentro da zona de instabilidade (triângulo amarelo) configurando geometria favorável. Para tombamento, a F2 apresenta condição favorável devido ao seu

elevado mergulho, superior ao limite definido por $90^\circ - \varphi$, ou seja $85 > 60$ atendendo os critérios.

Figura 6.21 - Rede estereográfica do ponto 7 com a face do talude em destaque. círculo vermelho representando o cone de atrito.



Fonte: Elaborado pelo autor

6.3.5 Síntese das análises cinemáticas (Projeções Estereográficas)

As análises cinemáticas realizadas mostraram condições favoráveis à ruptura planar em todos os pontos. No P1, associado aos filitos alterados, os planos de xistosidade S1, S2 e S4 apresentam direção semelhante à face do talude e encontram-se dentro da janela cinemática. O plano S1 apresenta mergulho superior ao ângulo de atrito adotado, enquanto S2 e S4 apresentam mergulhos muito próximos desse valor, indicando possibilidade geométrica para ruptura planar. Essa possibilidade geométrica é compatível com o mecanismo observado em campo. Nos pontos P5 e P7, associados aos itabiritos da Formação Cauê, o bandamento principal (S1) também apresentou condição favorável para ruptura planar. No P6, as famílias S1 e F3 apresentaram direção próxima à face do talude e mergulho no mesmo sentido geral da encosta, favorecendo esse tipo de ruptura.

As condições favoráveis à ruptura em cunha foram observadas nos pontos P1, P5 e P7. No P1, a linha de interseção S1×S4 encontra-se no interior da janela cinemática, indicando condição favorável a esse mecanismo, enquanto a interseção S3×S4 situa-se no limite dessa

janela, caracterizando uma condição limítrofe. Nos pontos P5 e P7, essas condições estão relacionadas à interseção entre famílias de fraturas e o bandamento do itabirito. No P5, as interseções entre $F2 \times S1$ e $F2 \times F1$ apresentaram geometria favorável dentro da zona de instabilidade. Já no P7, as famílias F1, F2 e F3 apresentaram potencial para formação de cunhas quando analisadas em conjunto com S1 e entre si.

As condições favoráveis ao tombamento foram identificadas nos pontos P5 e P7, associadas principalmente a fraturas com mergulhos elevados. No P5, a família F3 apresentou geometria compatível com tombamento, enquanto no P7 esse comportamento está relacionado à família F2. No P6, o polo da família F1 encontra-se fora da janela cinemática definida para esse mecanismo, não indicando condição favorável ao tombamento.

Esses resultados representam uma avaliação geométrica da possibilidade de ruptura e devem ser interpretados em conjunto com as condições observadas em campo.

6.4 INTEGRAÇÃO E INTERPRETAÇÃO DE RESULTADOS

A integração dos resultados foi realizada a partir da comparação entre a análise multitemporal, o levantamento geológico-geotécnico de campo e a análise cinemática. Essa comparação permitiu relacionar a evolução da ocupação urbana com as características das rochas e dos solos, as discontinuidades e as feições de instabilidade observadas nos pontos analisados.

A análise multitemporal mostrou o crescimento gradual da ocupação entre 2003 e 2024, principalmente nas proximidades da Ladeira João de Paiva e das vias adjacentes com a abertura de acessos, a implantação de construções e a redução da cobertura vegetal. Em campo, foram observados cortes em encostas, exposição de solos e rochas alteradas e locais com deficiência de drenagem superficial. Dessa forma, os processos identificados estão inseridos em uma encosta que sofreu modificações ao longo do período analisado.

Nos pontos associados aos filitos da Formação Cercadinho, os graus de alteração entre W3 e W5, a coerência predominantemente C3, a exposição dos solos e a deficiência de drenagem estão relacionados à ocorrência de sulcos erosivos e raízes expostas. No P1, a cicatriz observada corresponde a um escorregamento planar acompanhando a foliação do filito, compatível com a possibilidade geométrica indicada para S1, S2 e S4.

Nos pontos associados aos itabiritos da Formação Cauê, o P4 apresentou blocos e matacões abaixo do maciço fraturado, compatíveis com queda e posterior rolamento. A análise cinemática não foi realizada porque as medidas obtidas em um bloco desprendido não representariam sua posição original no maciço. No P5, não foram observadas feições de

instabilidade ativa, embora a análise cinemática tenha indicado condições geométricas favoráveis às rupturas planar, em cunha e por tombamento. Condições semelhantes foram identificadas no P7, mostrando que a geometria favorável não significa que o movimento esteja ativo.

No P9, as deformações do muro indicam movimento lento do tipo rastejo, relacionado ao solo presente na encosta e à deficiência de drenagem superficial. Assim, destacam-se como condicionantes naturais a alteração das rochas, as características dos solos, a orientação das descontinuidades, a geometria dos taludes. A atuação desses condicionantes pode ser intensificada durante os períodos de maior pluviosidade, devido ao aumento da infiltração e do escoamento superficial. Além disso, os cortes nas encostas, o avanço da ocupação, a redução da cobertura vegetal e a deficiência de drenagem constituem condicionantes antrópicos relevantes.

7 CONCLUSÃO

Este trabalho teve como objetivo realizar uma avaliação geológico-geotécnica das condições associadas à ocorrência de instabilidade nos pontos analisados no bairro Morro São Sebastião, em Ouro Preto (MG), a partir da integração entre levantamento de campo, análise multitemporal, análise cinemática e revisão bibliográfica.

Os resultados mostraram que os principais condicionantes associados à instabilidade estão relacionados ao grau de alteração dos filitos da Formação Cercadinho, à presença de descontinuidades. Nos pontos P1, P2, P3 e P6 foram observados sulcos erosivos e exposição de raízes. No P1, foi identificada uma cicatriz de escorregamento planar acompanhando os planos de foliação do filito. Nos pontos associados aos itabiritos da Formação Cauê, as rochas apresentaram maior resistência ao intemperismo e maior preservação das estruturas. No P4, a presença de blocos, matacões e fragmentos de itabirito dispersos abaixo do maciço fraturado é compatível com a ocorrência de queda e posterior rolamento de blocos, enquanto no P5 não foram observadas feições de instabilidade ativa.

Além das condições naturais, as intervenções antrópicas também apresentam relação com as condições observadas em alguns pontos, principalmente devido aos cortes em encostas e à ausência ou deficiência de drenagem superficial. Essa relação é observada nos pontos P1, P2, P3 e P6, onde foram identificados processos erosivos e a cicatriz de escorregamento. No P4, onde o corte da via expõe o maciço fraturado associado à queda e ao rolamento de blocos e no P9, onde a ausência de drenagem superficial favorece o direcionamento do escoamento em direção ao muro.

As análises cinemáticas indicaram condições geométricas favoráveis à ruptura planar nos pontos P1, P5, P6 e P7, à ruptura em cunha nos pontos P5 e P7 e ao tombamento nos pontos P5 e P7. Entretanto, esses resultados representam apenas a possibilidade geométrica dos mecanismos analisados. No P1, a cicatriz observada em campo corresponde a ao mecanismo potencial da análise cinemática indicou que indicou possibilidade de ruptura planar nos planos de xistosidade preservados.

No P9, foram observados indícios de movimento lento do tipo rastejo, deformações no muro implantado na base da encosta e ausência de drenagem superficial. Essas condições mostram a relação entre as intervenções realizadas no local, o direcionamento do escoamento superficial e as feições observadas durante o levantamento de campo.

Desse modo, os resultados obtidos atenderam aos objetivos propostos, permitindo caracterizar as rochas e os solos, identificar as feições de instabilidade, avaliar os mecanismos potenciais de ruptura e relacionar os condicionantes geológicos, geotécnicos, estruturais e antrópicos presentes nos pontos analisados.

8 REFERÊNCIAS

ALKMIM, F. F.; MARSHAK, S. Transamazonian orogeny in the southern São Francisco craton region, Minas Gerais, Brazil: evidence for Paleoproterozoic collision and collapse in the Quadrilátero Ferrífero. **Precambrian Research**, Amsterdam, v. 90, n. 1-2, p. 29-58, 1998.

ARQUIVO PÚBLICO MINEIRO. **Planta da cidade de Ouro Preto**. Belo Horizonte: Arquivo Público Mineiro, 1888. 1 planta, 60 × 91 cm. Código de referência: BR MGAPM PP-05-006. Disponível em: <https://atom.arquivopublico.mg.gov.br/index.php/br-mgapm-pp-05-006>.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL (ABGE). **Métodos para descrição quantitativa de descontinuidades em maciços rochosos**. São Paulo: ABGE, 1983. (Tradução, 12).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL (ABGE). **Geologia de engenharia e ambiental: métodos e técnicas**. v. 2. São Paulo: ABGE, 2018.

CHEMALE JÚNIOR, F.; ROSIÈRE, C. A.; ENDO, I. The tectonic evolution of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. **Precambrian Research**, Amsterdam, v. 65, n. 1-4, p. 25-54, 1994.

CLIMATEMPO. **Climatologia: Ouro Preto - MG**. [S. l.], [s.d.]. Disponível em: <https://www.climatepo.com.br/climatologia/170/ouropreto-mg>. 2026.

CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Ação emergencial para reconhecimento de áreas de alto e muito alto risco a movimentos de massa e enchentes: Ouro Preto, MG**. Belo Horizonte: CPRM, 2016. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/20723>.

DORR II, J. V. N. **Physiographic, stratigraphic, and structural development of the Quadrilatero Ferrifero, Minas Gerais, Brazil**. Washington, DC: U.S. Geological Survey, 1969. (Professional Paper, 641-A).

ENDO, I. *et al.* Estratigrafia e evolução estrutural do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. In: CASTRO, P. de T. A.; ENDO, I.; GANDINI, A. L. (org.). **O Quadrilátero Ferrífero: avanços do conhecimento nos últimos 50 anos**. Belo Horizonte: 3i editora, 2020. p. 70-113.

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

FERREIRA, I. D. F. **Ouro Preto, cidade patrimônio: uma perspectiva a partir do Morro Santana**. 2016. Dissertação (Mestrado em Antropologia) – Faculdade de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2016. Disponível em: <https://hdl.handle.net/1843/BUBD-ABEH2T>

FIORI, A. P.; CARMIGNANI, L. **Fundamentos de mecânica dos solos e das rochas: aplicações na estabilidade de taludes**. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO (FJP). Centro de Desenvolvimento Urbano. **Plano de conservação, valorização e desenvolvimento de Ouro Preto e Mariana: relatório síntese**. [Belo Horizonte]: FJP, 1975.

GOMES, R. C. *et al.* Condicionantes geotécnicos do espaço urbano de Ouro Preto/MG. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA*, 11., 1998, Brasília. **Anais [...]**. Brasília: ABMS, 1998. p. 363-370.

GOOGLE. **Google Earth Pro**. [S. l.]: Google LLC, 2026. Software. Disponível em: <https://www.google.com/earth/about/versions/>.

GUIDICINI, G. *et al.* Um método de classificação geotécnica preliminar de meios rochosos. *In: SEMANA PAULISTA DE GEOLOGIA APLICADA*, 4., 1972, São Paulo. **Anais [...]**. São Paulo, 1972. p. 275-282.

HERZ, N. **Metamorphic rocks of the Quadrilatero Ferrifero, Minas Gerais, Brazil**. Washington, DC: U.S. Geological Survey, 1978. (Professional Paper, 641-C).

HIGHLAND, L. M.; BOBROWSKY, P. **The landslide handbook: a guide to understanding landslides**. Reston, VA: U.S. Geological Survey, 2008. (Circular, 1325).

HOEK, E.; BRAY, J. W. **Rock slope engineering**. rev. 3. ed. London: Institution of Mining and Metallurgy, 1981.

IGEOLÓGICO. **Processos de dinâmica superficial: movimentos de massa**. 9 jan. 2022. Disponível em: <https://igeologico.com.br/processos-de-dinamica-superficial-movimentos-de-massa/>.

INFANTI JÚNIOR, N.; FORNASARI FILHO, N. Processos de dinâmica superficial. *In: OLIVEIRA, A. M. S.; BRITO, S. N. A. (org.). Geologia de engenharia*. São Paulo: ABGE, 1998. p. 131-152.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Ouro Preto: folha SF.23-X-A-III-4, MI-2573-4**. Rio de Janeiro: IBGE, 1976. 1 mapa. Escala 1:50.000. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?id=6741&view=detalhes>.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Malha municipal 2016**. Rio de Janeiro: IBGE, 2016. Base cartográfica digital. Disponível em: https://geofp.ibge.gov.br/organizacao_do_territorio/malhas_territoriais/malhas_municipais/municipio_2016/.

INTERNATIONAL SOCIETY FOR ROCK MECHANICS (ISRM). **Rock characterization, testing and monitoring: ISRM suggested methods**. Edited by E. T. Brown. Oxford: Pergamon Press, 1981.

LI, T.; WANG, S.; ZHANG, L. Rainfall-induced landslides: **mechanisms and mitigation**. *Engineering Geology*, v. 257, 2019.

MARQUES, E. A. G.; SOUZA, L. A.; SOBREIRA, F. G.; BARELLA, C. F. **Plano Municipal de Redução de Risco do Município de Ouro Preto – MG**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2023. Disponível em: <https://www.ouropreto.mg.gov.br/seguranca/pmrr>.

MINAS GERAIS. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. **IDE-Sisema: Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos**. Belo Horizonte: SEMAD, 2018. Base de dados geoespaciais. Disponível em: <https://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/webgis>.

OLIVEIRA, L. D. de; SOBREIRA, F. G. Crescimento urbano de Ouro Preto-MG entre 1950 e 2004 e atuais tendências. **Revista Brasileira de Cartografia**, Uberlândia, v. 67, n. 4, p. 867-876, 2015.

OURO PRETO (MG). Defesa Civil. **Ocorrências**. Ouro Preto, [s.d.]. Disponível em: <https://defesacivil.ouropreto.mg.gov.br/ocorrencias>.

OURO PRETO (MG). **Lei Complementar nº 1, de 19 de dezembro de 1996**. Institui o Plano Diretor do Município de Ouro Preto e dá outras providências. Ouro Preto: Prefeitura Municipal de Ouro Preto, 1996. Disponível em: <https://www.ouropreto.mg.gov.br/transparencia/leis>.

OURO PRETO (MG). **Lei Complementar nº 29, de 28 de dezembro de 2006**. Estabelece o Plano Diretor do Município de Ouro Preto. Ouro Preto: Prefeitura Municipal de Ouro Preto, 2006a. Disponível em: <https://www.ouropreto.mg.gov.br/static/lc-29-2006-plano-diretor.pdf>.

OURO PRETO (MG). **Lei Complementar nº 30, de 28 de dezembro de 2006**. Estabelece normas e condições para o parcelamento, a ocupação e o uso do solo urbano no Município de Ouro Preto. Ouro Preto: Prefeitura Municipal de Ouro Preto, 2006b. Disponível em: <https://www.ouropreto.mg.gov.br/transparencia/leis>.

OURO PRETO (MG). **Lei Complementar nº 91, de 28 de dezembro de 2010**. Altera a Lei Complementar Municipal nº 29, de 28 de dezembro de 2006, que estabelece o Plano Diretor do Município de Ouro Preto e dá outras providências. Ouro Preto: Prefeitura Municipal de Ouro Preto, 2010. Disponível em: https://ouropreto.mg.gov.br/static/arquivos/menus_areas/lei-complementar-91-plano-diretor.pdf?dc=8959.

OURO PRETO (MG). **Lei Complementar nº 93, de 20 de janeiro de 2011**. Estabelece normas e condições para o parcelamento, a ocupação e o uso do solo urbano no Município de Ouro Preto. Ouro Preto: Prefeitura Municipal de Ouro Preto, 2011. Disponível em: <https://www.ouropreto.mg.gov.br/static/lei-complementar-93-parcelamento-uso-e-ocupa-o-do-solo.pdf>.

OURO PRETO (MG). **Portaria nº 12/2023, de 21 de novembro de 2023**. Dispõe sobre a aplicação do Plano Municipal de Redução de Risco de Ouro Preto (PMRR) para análise, aprovação de projetos, emissão de alvarás e de habite-se. Diário Oficial do Município de Ouro Preto, Ouro Preto, ed. 3299, 22 nov. 2023. Disponível em: <https://ouropreto.mg.gov.br/transparencia/diario-publicacoes/3326>.

OURO PRETO (MG). Prefeitura Municipal. **Plano Municipal de Saneamento Básico de Ouro Preto**. Ouro Preto: Prefeitura Municipal de Ouro Preto, 2025. Disponível em: <https://www.ouropreto.mg.gov.br/transparencia/pmsop>.

OURO PRETO (MG). Secretaria Municipal de Cultura e Turismo. **Dados geográficos**. Ouro Preto, [s.d.]. Disponível em: <https://www.ouropreto.mg.gov.br/turismo/dados-geograficos>.

PINHEIRO, A. L.; SOBREIRA, F. G.; LANA, M. S. Riscos geológicos na cidade histórica de Ouro Preto. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE DESASTRES NATURAIS**, 1., 2004, Florianópolis. Anais [...]. Florianópolis: GEDN/UFSC, 2004. p. 87-101.

PIRES, B. H. G.; VIANA, C. D.; CAMPANHA, G. A. C. Classificação geomecânica e análise de estabilidade de taludes da mina Vau Novo (SP) com ênfase na análise de descontinuidades. **Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental**, São Paulo, v. 6, n. 1-2, p. 56-74, 2016.

RAMALHO, A. D. S. **Planejamento e preservação: a Fundação João Pinheiro e o Plano de Conservação, Valorização e Desenvolvimento de Ouro Preto e Mariana**. 2015. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2015. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/102/102132/tde-11082015-153638/pt-br.html>.

RENGER, F. E. *et al.* Evolução sedimentar do Supergrupo Minas: 500 Ma. de registro geológico no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. **Geonomos**, Belo Horizonte, v. 2, n. 1, p. 1-11, 1994.

RIBEIRO, I. P. Ouro Preto: de Monumento Nacional a Patrimônio Mundial: as relações de pertencimento e reconhecimento da comunidade local com a cidade-patrimônio. **Cadernos de História**, Belo Horizonte, v. 23, n. 38, p. 9-32, 2022.

ROCSCIENCE. **Dips documentation: planar sliding**. Toronto: Rocscience, [s.d.]. Disponível em: <https://www.rocscience.com/help/dips/v8/documentation/kinematic-analysis/planar-sliding>. Acesso em: 16 jul. 2026.

SILVA, LEDIAM DOS SANTOS; CORREIA, ROBERTO VASCONCELOS; GOMES, RAUL REIS. **Análise da suscetibilidade a deslizamentos induzidos na bacia hidrográfica do Canal de São Francisco**. Geographia, Niterói, v. 16, n. 32, p. 114-138, 2014.

SILVA, D. J. Diretrizes para a realização de análises de estabilidade de taludes utilizando os métodos de projeção estereográfica e análise cinemática e de sensibilidade. **Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental**, São Paulo, v. 13, n. 1, p. 37-55, 2023.

SOBREIRA, F. G. Mineração do ouro no período colonial: alterações paisagísticas antrópicas na serra de Ouro Preto, Minas Gerais. **Quaternary and Environmental Geosciences**, Curitiba, v. 5, n. 1, p. 55-65, 2014.

TAVARES, V. L. S. **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**. 2018. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2018. Disponível em: <http://www.repositorio.ufop.br/handle/123456789/10513>.

TEIXEIRA, R. S. **Uma conjuntura de aparências: a não construção de um sistema municipal de planejamento urbano em Ouro Preto**. 2015. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Escola de Arquitetura, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/BUBD-9WMVYU>.

VENÂNCIO, L. G. **Ecomuseu da Serra de Ouro Preto (MG): o afeto como processo museológico entre comunidade, patrimônio e território**. 2022. Dissertação (Mestrado em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável) – Escola de Arquitetura, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2022. Disponível em: <https://hdl.handle.net/1843/54523>.

WYLLIE, D. C.; MAH, C. W. **Rock slope engineering: civil and mining**. 4. ed. London: Spon Press, 2004.

XAVIER, M. O. **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**. 2018. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2018. Disponível em: <http://www.repositorio.ufop.br/handle/123456789/10102>.

ZAINE, J. E. **Método de fotogeologia aplicado a estudos geológico-geotécnicos: ensaio em Poços de Caldas, MG**. 2011. Tese (Livre-docência) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2011.

9 APÊNDICE 1

Tabela atualizada dos pontos de levantamento geológico-geotécnico											
Ponto	Norte (m)	Este (m)	Altitude (m)	Local	Litologia	Características de campo	Grau de alteração	Grau de coerência	Estrutura predominante / medidas	Feições e processos observados	Condicionantes principais
P1	7746265	656580	1405	Rua Rio Doce	Filito da Formação Cercadinho, com desenvolvimento de solo residual saprolítico em trechos do talude.	Coloração avermelhada a ocre; granulometria fina; presença de minerais micáceos; material muito alterado; nas porções mais alteradas, apresenta aspecto terroso e textura silto-argilosa, com estruturas reliquias localmente preservadas.	W3–W4	C3	Xistosidade/foliação dos filitos: 170°/32°, 160°/29°, 155°/30° e 180°/29°. Face: 150°/40°.	Sulcos erosivos; cicatriz de escorregamento planar, envolvendo material silto-argiloso mobilizado.	Grau de alteração e baixa coerência do filito; presença de solo residual saprolítico; exposição do material pelo corte do talude; atuação do escoamento superficial.
P2	7746196	656448	1408	Rua Rio de Janeiro	Filitos alterados da Formação Cercadinho, associados localmente a lentes quartzíticas e níveis xistosos.	Coloração variando entre tons avermelhados, ocre e amarelados; granulometria fina; conjunto litológico heterogêneo, com porções quartzíticas mais resistentes e porções de filito mais alteradas.	W3–W4	C3	-	Sulcos erosivos; erosão superficial; material alterado exposto; cobertura vegetal descontínua.	Intemperismo do filito; heterogeneidade litológica; exposição do material alterado; relação entre os sulcos erosivos, a foliação e as feições lineares observadas.

Tabela atualizada dos pontos de levantamento geológico-geotécnico											
Ponto	Norte (m)	Este (m)	Altitude (m)	Local	Litologia	Características de campo	Grau de alteração	Grau de coerência	Estrutura predominante / medidas	Feições e processos observados	Condicionantes principais
P3	7745920	656588	1354	Ladeira João de Paiva	Solo residual saprolítico derivado de filitos da Formação Cercadinho, com porções de rocha muito a completamente alterada.	Coloração amarronzada a ocre; granulometria fina; aspecto terroso; textura silto-argilosa; estrutura da rocha localmente preservada nas porções menos alteradas.	W4–W5	C3	Não foram obtidas medidas estruturais; estruturas reliquias da rocha permanecem localmente preservadas.	Erosão superficial; raízes expostas; remoção de material superficial; acúmulo de material fino retrabalhado e matéria orgânica na base do talude.	Elevado grau de alteração; exposição do solo residual; cobertura vegetal descontínua; acúmulo de material retrabalhado na base do talude.
P4	7745784	656346	1299	Ladeira João de Paiva	Itabirito da Formação Cauê, exposto devido ao corte da via.	Coloração cinza-escura a ferruginosa; granulometria fina; preservação das principais características da rocha de origem; sem desenvolvimento de perfil saprolítico no ponto.	W2–W3	C2	-	blocos, mata cões e fragmentos de itabirito com dimensões decimétricas a métricas; indicando desprendimentos e rolamento de blocos ao longo do tempo.	Elevada declividade do maciço; exposição pelo corte da via; possibilidade de desprendimentos localizados.
P5	7745643	656287	1258	Mirante do Morro São Sebastião	Itabirito da formação Cauê	Bandamento composicional marcado pela alternância entre níveis ricos em hematita e níveis ricos em quartzo; faixas escuras associadas à hematita e faixas claras correspondentes aos níveis quartzosos; estruturas preservadas.	W2	C2	Bandamento: 225°/30°. F1: 225°/27°; F2: 266°/50°; F3: 203°/85°. Face: 220°/60°.	Bandamento preservado; vegetação esparsa; não foram observadas feições de instabilidade ativa durante o levantamento de campo.	Orientação do bandamento e das famílias de fraturas em relação à face do talude. As condições cinemáticas representam possibilidades geométricas e não indicam, isoladamente, ruptura ativa.

Tabela atualizada dos pontos de levantamento geológico-geotécnico											
Ponto	Norte (m)	Este (m)	Altitude (m)	Local	Litologia	Características de campo	Grau de alteração	Grau de coerência	Estrutura predominante / medidas	Feições e processos observados	Condicionantes principais
P6	7745606	656112	1193	Próximo à Associação dos Antigos Alunos da Escola de Minas	Filitos alterados da Formação Cercadinho, com desenvolvimento de solo residual na porção inferior do talude.	Foliação metamórfica bem visível; lâminas subparalelas e superfícies de fraqueza; tons avermelhados, castanhos e ocre; material fino, de aspecto terroso e textura silto-argilosa.	W3–W4	C3	S1: 141°/16°. F1: 175°/66°; F2: 296°/25°; F3: 142°/18°. Face: 150°/35°.	Desplacamentos ao longo da foliação; raízes penetrando nas descontinuidades; acúmulo de material alterado na base; erosão superficial.	Intemperismo do filito; foliação preservada; raízes nas descontinuidades; ausência ou deficiência de drenagem na via; acúmulo de material alterado na base.
P7	7745531	656266	1181	Rua Valentin Policarpo	Contato geológico entre o itabirito da Formação Cauê e o filito da Formação Cercadinho, com predomínio de itabirito no afloramento analisado.	Itabirito cinza-escuro a ferruginoso, de granulometria fina e bandamento composicional preservado; filito mais alterado nas porções de contato; níveis hematíticos localmente observados.	W2 (itabirito); W3–W4 (filito)	C2 (itabirito); C3 (filito)	Bandamento: 220°/37°. F1: 155°/41°; F2: 143°/85°; F3: 268°/61°. Face: 215°/65°.	Bandamento bem definido em parte do afloramento; trechos mais alterados; presença de cavidade local; não foram observadas feições de instabilidade ativa.	Contato geológico e contraste de alteração e coerência entre as unidades; orientação das descontinuidades em relação à face do talude; possibilidades geométricas de ruptura planar, em cunha e por tombamento.
P8	7745547	656300	1179	Rua Valentin Policarpo	Contato geológico entre o itabirito da Formação Cauê e o filito da Formação Cercadinho, com predomínio de filito alterado no talude de corte.	Porções com bandamento preservado e porções mais alteradas, nas quais a estrutura é de difícil identificação; material fino, de coloração avermelhada a ocre.	W2 (itabirito); W3–W4 (filito)	C2 (itabirito); C3 (filito)	-	Sulco erosivo superficial; raízes expostas; maior alteração em parte do talude; não foram observadas evidências de instabilidade ativa.	Maior grau de alteração do filito; exposição do talude de corte; raízes expostas; contraste entre as unidades no contato geológico.

Tabela atualizada dos pontos de levantamento geológico-geotécnico											
Ponto	Norte (m)	Este (m)	Altitude (m)	Local	Litologia	Características de campo	Grau de alteração	Grau de coerência	Estrutura predominante / medidas	Feições e processos observados	Condicionantes principais
P9	7745457	656180	1162	Rua Salvador Trópia	Solo coluvionar avermelhado, sem afloramento rochoso exposto, constituído por matriz fina e fragmentos rochosos.	Granulometria predominantemente fina; textura silto-argilosa; presença de fragmentos rochosos de diferentes tamanhos; cobertura de gramíneas de baixa densidade; raízes expostas; acúmulo de material inconsolidado na parte superior do talude.	-	-	-	Indícios de movimento lento ativo do tipo rastejo; deformação e trincas no muro; ausência de drenagem superficial; local em obras durante o levantamento de campo.	Material coluvionar; ausência de drenagem superficial; possível contribuição do escoamento superficial direcionado à base do talude e ao muro; intervenções antrópicas.

Figura 9.1 – Talude de corte no P1, localizado na Rua Rio Doce, evidências de produto de erosão linear.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 9.2 – Vista geral da cicatriz de escorregamento planar observada no P1, em talude de corte na Rua Rio Doce.



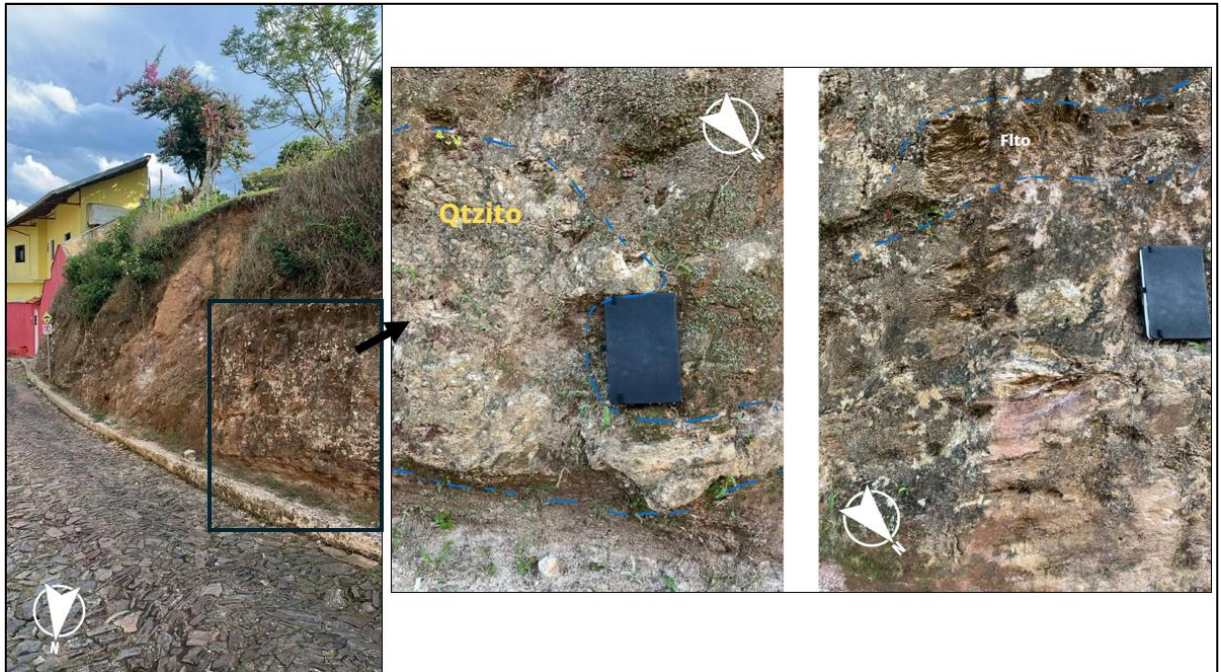
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 9.3 – Vista geral do talude de corte no P2, localizado na Rua Rio de Janeiro, com exposição de filitos alterados da Formação Cercadinho e intercalações quartzíticas localmente mais resistentes.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 9.4 – Ponto 2, talude de corte na Rua Rio de Janeiro, é visível a presença de material alterado associado a filitos e intercalações quartzíticas.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 9.5 - Talude no P3, localizado na Ladeira João de Paiva, constituído por solo residual saprolítico derivado de filitos da Formação Cercadinho. Observam-se raízes expostas, erosão superficial e acúmulo de material orgânico misturado a solo fino na base.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 9.6 - Talude no P4, localizado na Ladeira João de Paiva, com exposição de itabirito da Formação Cauê e presença de blocos, matacões e fragmentos próximos à via, compatíveis com desprendimentos localizados e posterior rolamento.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 9.7 - Afloramento de itabirito da Formação Cauê no P5, próximo ao Mirante do Morro São Sebastião. À esquerda, apresenta-se a vista geral do afloramento; à direita, observa-se o bandamento composicional preservado, marcado pela alternância entre níveis ricos em quartzo e hematita.



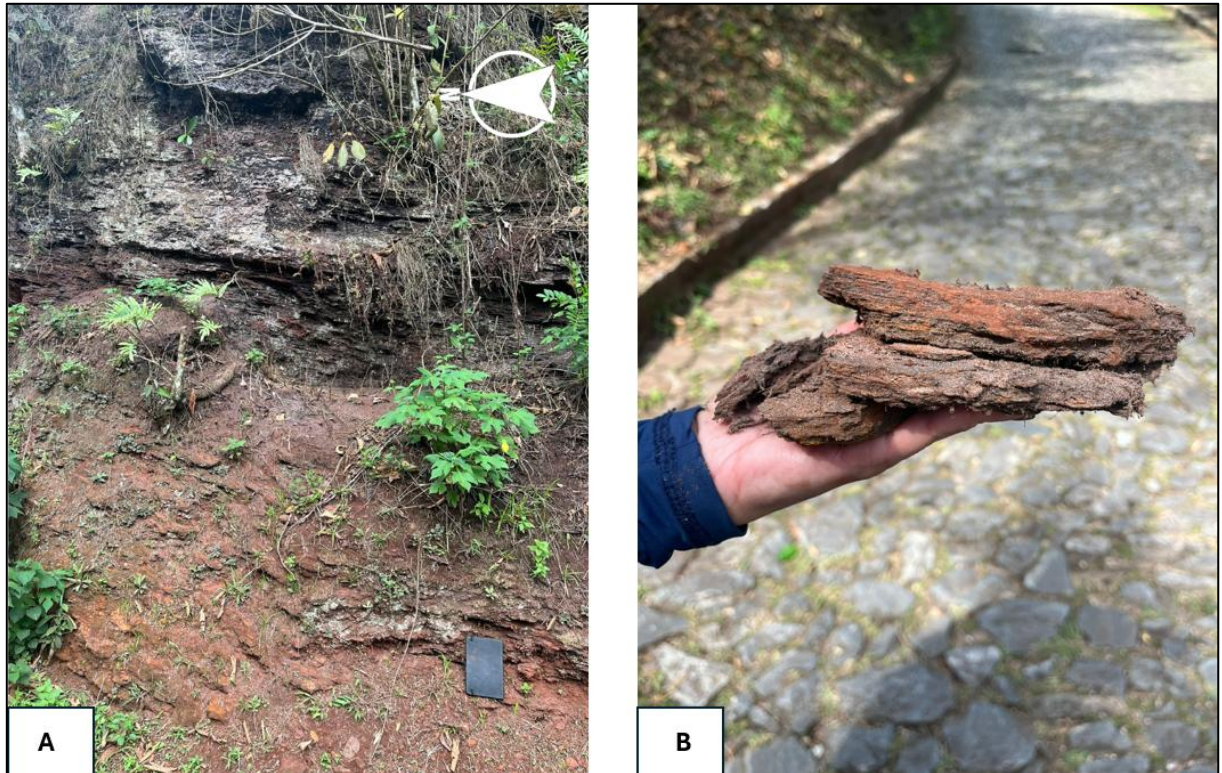
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 9.8 - Afloramento de Formação Ferrífera Bandada (BIF) da Formação Cauê, próximo ao mirante do Momo São Sebastião, mostrando algumas fraturas visíveis.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 9.9 – Detalhe do talude no Ponto 6, com filito intensamente intemperizado, foliação exposta e presença de planos de fratura (A) e foto em detalhe da rocha (B).



Fonte: Elaborado pelo autor.