



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO  
ESCOLA DE MINAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL



Vinícius Miguel de Sá Moura

**Avaliação de práticas de monitoramento geotécnico e de drenagem aplicadas a obras e  
feições geotécnicas em Ouro Preto, MG**

Ouro Preto

2025

VINÍCIUS MIGUEL DE SÁ MOURA

**AVALIAÇÃO DE PRÁTICAS DE MONITORAMENTO GEOTÉCNICO E DE  
DRENAGEM APLICADAS A OBRAS E FEIÇÕES GEOTÉCNICAS EM OURO  
PRETO, MG**

Trabalho Final de Curso apresentado como  
parte dos requisitos para obtenção do Grau de  
Engenheiro Civil na Universidade Federal de  
Ouro Preto.

Data da aprovação: 28/08/2025

Área de concentração: Geotecnia, hidrologia e gestão urbana.

Orientador: Prof. Dr. Felipe Campos Loch – UFOP

Ouro Preto

2025

## SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

M929a Moura, Vinícius Miguel de Sá.

Avaliação de práticas de monitoramento geotécnico e de drenagem aplicadas a obras e feições geotécnicas em Ouro Preto, MG. [manuscrito] / Vinícius Miguel de Sá Moura. - 2025.  
115 f.

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

1. Engenharia civil - Instrumentação. 2. Administração - Avaliação de riscos. 3. Urbanização. I. Loch, Felipe de Campos. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 624

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



## FOLHA DE APROVAÇÃO

**Vinícius Miguel de Sá Moura**

**Avaliação de práticas de monitoramento geotécnico e de drenagem aplicadas a obras e feições geotécnicas em Ouro Preto, MG**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de engenheiro civil.

Aprovada em 28 de agosto de 2025

### Membros da banca

Prof. Dr. Felipe de Campos Loch - Orientador (Universidade Federal de Ouro Preto)  
Prof.a Dra. Daniela Antunes - (Universidade Federal de Ouro Preto)  
Eng. Felipe Silvério Augusto - (Prefeitura Municipal de Ouro Preto)

Prof. Dr. Felipe de Campos Loch, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 10/09/2025



Documento assinado eletronicamente por **Felipe de Campos Loch, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 10/09/2025, às 17:46, 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](http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **0971352** e o código CRC **AD42C93A**.

*Dedico este trabalho aos meus pais, que sempre me apoiaram e estiveram presentes incondicionalmente. Esta conquista não seria possível sem a força e a determinação que me transmitiram. Sou eternamente grato pelos ensinamentos e amor transmitidos que moldam quem sou hoje.*

## **AGRADECIMENTOS**

Gostaria de expressar minha profunda gratidão a todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste Trabalho de Conclusão de Curso. Esta jornada, que hoje se encerra, foi marcada por anos de dedicação, e sua conclusão só foi possível graças ao apoio que recebi.

Em primeiro lugar, dedico este trabalho à minha família, meu porto seguro e maior inspiração. Aos meus pais, Patrícia e Francisco, por cada sacrifício e por serem a base de tudo. À minha irmã, Estefânia, pela cumplicidade e por ser uma referência constante. Às minhas avós, Mariana e Guiomar, por todo o suporte e benevolência, e a meus avôs Raimundo e Deusdete (in memoriam), a quem presto uma carinhosa homenagem.

Uma menção especial à minha amada Ludmylla, por trilhar esta jornada comigo, com amor e compreensão, e à sua família, por todo o carinho.

Agradeço imensamente aos professores do Departamento de Engenharia Civil (DECIV) e de outras áreas da Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), que, mais do que transmitir conhecimento, ofereceram valiosas lições de vida.

Expresso minha gratidão aos colegas da Secretaria de Obras de Ouro Preto, Defesa Civil e demais departamentos da Prefeitura Municipal de Ouro Preto, pela rica experiência profissional compartilhada. Sem o apoio e compreensão de todos, não seria possível a maior parte da imersão que esse trabalho pôde proporcionar.

Por fim, agradeço à minha República Oito e Oitenta, que foi mais do que um lar, uma família que me moldou. Não há palavras suficientes para expressar minha gratidão a cada um de vocês por fazerem parte desta história.

## RESUMO

O presente trabalho teve como motivação a investigação sobre o monitoramento de obras e feições geotécnicas no município de Ouro Preto, MG. O objetivo principal foi avaliar a metodologia atualmente aplicada para monitoramento, identificando a situação atual das atividades, avaliando fragilidades e possíveis pontos de melhoria. A metodologia como um todo incluiu uma revisão da literatura sobre estabilização de encostas, drenagem e gerenciamento de riscos, e a aplicação de um questionário a profissionais da área, como engenheiros e técnicos. Para analisar os dados, foi utilizado um método quali-quantitativo, que envolveu a análise de frequências de respostas e o cálculo de um Índice de Aprovação baseado na escala Likert, para avaliar a percepção sobre a eficiência dos métodos de monitoramento. Como resultado, a pesquisa identificou que, embora as condições geológicas e de assentamento urbano sejam um fator relevante, deficiências institucionais e estruturais agravam a situação do gerenciamento de riscos. A conclusão aponta que a gestão de riscos geotécnicos no município é percebida como não preventiva. Para aprimorar a segurança, sugere-se a adoção de práticas preventivas, que envolvem ações estruturais e melhorias no sistema de forma geral.

**Palavras-chaves:** Instrumentação, Gerenciamento de riscos e desastres, Urbano.

## **ABSTRACT**

The present study was motivated by an investigation into the monitoring of geotechnical works and talus in the municipality of Ouro Preto, MG. The main objective was to evaluate the methodology currently applied for monitoring, identifying the current situation of activities, and assessing weaknesses and possible points for improvement. The methodology as a whole included a literature review on slope stabilization, drainage, and risk management, as well as the application of a questionnaire to professionals in the field, such as engineers and technicians. To analyze the data, a quali-quantitative method was used, which involved the analysis of response frequencies and the calculation of an Approval Index based on the Likert scale, to evaluate the perception of the effectiveness of the monitoring methods. As a result, the research identified that, although the geological and urban settlement conditions are a relevant factor, institutional and structural deficiencies aggravate the risk management situation. The conclusion points out that the management of geotechnical risks in the municipality is perceived as non-preventive. To improve safety, the adoption of preventive practices is suggested, which involve structural actions and general improvements in the system.

**Keywords:** Instrumentation, Risk and disaster management, Urban.



## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 – Deslizamento de encosta próxima ao terminal rodoviário de Ouro Preto em 2012.....                                              | 19 |
| Figura 2 - Gráfico de classificação da velocidade do movimento de massa, escala logarítmica.....                                          | 23 |
| Figura 3 - Bloco diagrama de um movimento complexo de movimento de massa .....                                                            | 25 |
| Figura 4 – Exemplificação de muro de contenção a gravidade típico (em gabião) .....                                                       | 33 |
| Figura 5 – Exemplo de muro de contenção à flexão típico.....                                                                              | 34 |
| Figura 6 – Funcionamento do solo grampeado genericamente.....                                                                             | 35 |
| Figura 7 – Ilustração esquemática demonstrando o funcionamento do solo reforçado de maneira genérica – com paramento e sem paramento..... | 36 |
| Figura 8 – Comparativo entre solo grampeado e cortina atirantada.....                                                                     | 37 |
| Figura 9 – Combinação de proteção superficial com gramíneas e condutores de águas pluviais em um talude.....                              | 38 |
| Figura 10 – Apresentação de projeto de drenagem interna para muro de contenção de flexão.....                                             | 40 |
| Figura 11 – Representação gráfica da disposição de drenos profundos em condições diferentes.....                                          | 41 |
| Figura 12 - Exemplos de inclinômetro removível e fixo, com tubo vertical e horizontal.....                                                | 47 |
| Figura 13 – Representação esquemática do funcionamento do piezômetro de Casagrande.....                                                   | 49 |
| Figura 14 – Exemplificação de extensômetro múltiplo de haste.....                                                                         | 51 |
| Figura 15 – Exemplo da aplicação de extensômetro tipo corda vibrante em geogrelha. ..                                                     | 52 |
| Figura 16 – Ponto de partida da placa de recalque .....                                                                                   | 53 |
| Figura 17 – Marco superficial metálico.....                                                                                               | 54 |
| Figura 18 – Modelo típico de marco topográfico pré-moldado disponível no mercado. ..                                                      | 55 |
| Figura 19 – Modelo comercial de fissurômetro tipo tell-tale.....                                                                          | 57 |
| Figura 20 – Fissurômetro tipo corda vibrante ou crackmeter.....                                                                           | 58 |
| Figura 21 – Fluxograma para criação de planos informacionais, análise em método SIG e síntese de resultados. ....                         | 60 |
| Figura 22 – Exemplo de calha para medição de vazão (vertedouro). ....                                                                     | 61 |
| Figura 23 – Exemplo de um molinete hidrométrico.....                                                                                      | 62 |

|                                                                                               |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 24 – Metodologia para implementação de limnígrafo em cálculo de vazão em bueiros ..... | 62 |
| Figura 25 – Construção de um medidor de vazão eletromagnético típico. ....                    | 63 |
| Figura 26 – Fluxograma de trabalho. ....                                                      | 67 |
| Figura 27 – Gráfico dos dados referentes à Questão 1 do questionário. ....                    | 75 |
| Figura 28 - Gráfico dos dados referentes à Questão 2 do questionário.....                     | 76 |
| Figura 29 - Gráfico dos dados referentes à Questão 3 do questionário.....                     | 77 |
| Figura 30 - Gráfico dos dados referentes à Questão 4 do questionário.....                     | 79 |
| Figura 31 - Gráfico dos dados referentes à Questão 5 do questionário.....                     | 81 |
| Figura 32 - Gráfico dos dados referentes à Questão 13 do questionário.....                    | 81 |
| Figura 33 - Gráfico dos dados referentes à Questão 12 do questionário.....                    | 84 |
| Figura 34 - Gráfico dos dados referentes à Questão 15 do questionário.....                    | 87 |
| Figura 35 - Gráfico dos dados referentes à Questão 19 do questionário.....                    | 92 |

## LISTA DE TABELAS

|                                                                                                                                                          |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1 – Classificação do poder destrutivo baseado pela velocidade do movimento de massa. ....                                                         | 24 |
| Tabela 2 – Tradução e adaptação dos termos apresentados pela Figura 3 .....                                                                              | 25 |
| Tabela 3 - Tipologia de problemas vinculados às formas de sua ocorrência em taludes e principais causas responsáveis pelo fenômeno .....                 | 26 |
| Tabela 4 – Classificação para definição de tipologia de intervenção por grupo. ....                                                                      | 31 |
| Tabela 5 – Relação de peso para notação do Índice de Aprovação.....                                                                                      | 71 |
| Tabela 6 – Dados referentes à Questão 1 do questionário.....                                                                                             | 75 |
| Tabela 7 - Dados referentes à Questão 2 do questionário. ....                                                                                            | 76 |
| Tabela 8 - Dados referentes à Questão 3 do questionário. ....                                                                                            | 77 |
| Tabela 9 - Dados referentes à Questão 4 do questionário. ....                                                                                            | 79 |
| Tabela 10 - Dados referentes à Questão 5 do questionário. ....                                                                                           | 80 |
| Tabela 11 - Dados referentes à Questão 13 do questionário. ....                                                                                          | 81 |
| Tabela 12 - Dados referentes à Questão 11 do questionário. ....                                                                                          | 83 |
| Tabela 13 - Dados referentes à Questão 12 do questionário. ....                                                                                          | 84 |
| Tabela 14 - Dados referentes à Questão 14 do questionário. ....                                                                                          | 86 |
| Tabela 15 - Dados referentes à Questão 15 do questionário. ....                                                                                          | 87 |
| Tabela 16 - Dados referentes à Questão 16 do questionário. ....                                                                                          | 87 |
| Tabela 17 – Relação entre fatores de funcionalidade dos instrumentos estudados e numeração da questão. ....                                              | 88 |
| Tabela 18 - Dados referentes à eficiência - Questão 6 do questionário. ....                                                                              | 89 |
| Tabela 19 - Dados referentes à periodicidade - Questão 7 do questionário. ....                                                                           | 89 |
| Tabela 20 - Dados referentes à calibração - Questão 8 do questionário. ....                                                                              | 90 |
| Tabela 21 - Dados referentes à manutenção - Questão 9 do questionário.....                                                                               | 90 |
| Tabela 22 - Dados referentes à quantidade - Questão 10 do questionário. ....                                                                             | 90 |
| Tabela 23 – Índice de aprovação compilado referente aos instrumentos de monitoramento. ....                                                              | 91 |
| Tabela 24 - Dados referentes aos aspectos necessários para alcançar melhorias em práticas de monitoramento geotécnico - Questão 19 do questionário. .... | 92 |

## SUMÁRIO

|                                                                                          |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. Introdução.....                                                                       | 14 |
| 1.1. Objetivo .....                                                                      | 15 |
| 2. Revisão da literatura.....                                                            | 17 |
| 2.1. Geotecnia – Contexto urbano .....                                                   | 17 |
| 2.2. Drenagem urbana e obras geotécnicas.....                                            | 20 |
| 2.3. Estabilização de encostas.....                                                      | 21 |
| 2.3.1. Movimentos de massa - Classificação.....                                          | 22 |
| 2.3.2. Estabilidade de taludes .....                                                     | 26 |
| 2.3.3. Análise de estabilidade de taludes .....                                          | 28 |
| 2.3.4. Métodos de estabilização de encostas .....                                        | 30 |
| 2.4. Gerenciamento de desastres e riscos .....                                           | 41 |
| 2.4.1. Sistemas e métodos de monitoramento geotécnico .....                              | 44 |
| 2.4.2. Planejamento e ação .....                                                         | 63 |
| 3. Metodologia .....                                                                     | 66 |
| 3.1. Método de pesquisa adotado.....                                                     | 67 |
| 3.2. Amostragem e tópicos em discussão .....                                             | 68 |
| 3.3. Ética da pesquisa .....                                                             | 69 |
| 3.4. Análise dos dados .....                                                             | 70 |
| 3.4.1. Índice de Aprovação .....                                                         | 71 |
| 4. Resultados e discussões.....                                                          | 74 |
| 4.1. Perfil dos entrevistados.....                                                       | 74 |
| 4.2. Desafios geotécnicos no município de Ouro Preto.....                                | 77 |
| 4.3. Conhecimentos sobre métodos e equipamentos de monitoramento geotécnico.....         | 80 |
| 4.4. Percepção de áreas críticas em Ouro Preto avaliadas pelos entrevistados .....       | 83 |
| 4.5. Infraestrutura de drenagem e técnicas de estabilização aplicadas no Município ..... | 85 |
| 4.6. Avaliação e condições operacionais do monitoramento geotécnico em Ouro Preto        | 88 |
| 4.7. Propostas e expectativas de melhoria no monitoramento e gestão de riscos .....      | 91 |
| 4.8. Discussão integradas dos resultados.....                                            | 94 |
| 5. Considerações finais.....                                                             | 97 |
| 5.1. Sugestões para trabalhos futuros .....                                              | 98 |

|                   |     |
|-------------------|-----|
| Referências ..... | 100 |
| Apêndice I.....   | 110 |

## 1. INTRODUÇÃO

A estabilidade de encostas e a eficiência dos sistemas de drenagem são questões importantes para a segurança e sustentabilidade das obras geotécnicas. O tema mostra-se ainda mais especial em regiões de relevo acidentado, alta incidência pluviométrica e região de rochas brandas, submetidas a intenso intemperismo químico, segundo Ferreira et al. (2004). O município de Ouro Preto, Minas Gerais, insere-se com um exemplo desse contexto. O monitoramento dessas estruturas durante sua vida útil é essencial para a prevenção de deslizamentos de terra, erosão do solo e falhas estruturais, minimizando riscos ambientais e socioeconômicos. No entanto, a aplicação de métodos eficientes de monitoramento e gestão dessas estruturas pode ser discutida, com o objetivo de analisar a situação atual e encontrar novas técnicas aplicáveis.

A crescente expansão urbana em áreas de topografia acidentada tem intensificado ainda mais os desafios geotécnicos em cidades brasileiras, tornando a segurança de encostas e a gestão de riscos de desastres uma preocupação central para a engenharia e o planejamento territorial (Oliveira e Sobreira, 2015). A ocupação desordenada, a deficiência em sistemas de drenagem e a ausência de um monitoramento contínuo de estruturas geotécnicas aumentam significativamente os riscos de instabilidade do solo, podendo resultar em deslizamentos, erosões e colapsos estruturais (Brito et al., 2024). Nesse contexto, a análise de métodos de monitoramento de obras e feições geotécnicas, bem como a avaliação das práticas de drenagem e vida útil de elementos de estabilização, associam-se a formulação de estratégias eficazes de mitigação de riscos e para o desenvolvimento urbano sustentável.

O problema de pesquisa deste trabalho consiste em identificar a aplicação dos métodos de monitoramento de obras geotécnicas e drenagens no município em estudo, considerando condições geológicas, climáticas e estruturais. A cidade serve como um estudo de caso relevante devido às suas características geológicas e urbanas complexas. A cidade é marcada por um relevo acidentado e uma ocupação histórica que, em muitos casos, se deu sobre terrenos de alta suscetibilidade a movimentos de massa. Deslizamentos já ocorreram em vias importantes, como a Rua Padre Rolim, ilustrando a vulnerabilidade do ambiente construído e a urgência de uma gestão de riscos eficaz. Além das ações eminentemente corretivas em obras geotécnicas, surge também a preocupação em reconhecer de maneira preventiva áreas com feições similares a outras que já estiveram sujeitas à degradação anteriormente (Costa, 2010),

integrando o mapeamento de riscos à gestão do espaço urbano. O reconhecimento preventivo de situações de risco, no contexto da geotecnia, está frequentemente associado a métodos de instrumentação.

A instrumentação geotécnica é uma das principais ferramentas para o monitoramento de feições geotécnicas, permitindo a coleta de dados essenciais para a tomada de decisões em todas as fases de um projeto (Carvalho et al., 1991 *apud* Silva, 2021). Por meio de equipamentos como inclinômetros, piezômetros, extensômetros, marcos topográficos, e através de Sensoriamento Remoto, é possível acompanhar o desempenho de estruturas ao longo do tempo, medindo deslocamentos, pressões da água nos poros e deformações. No entanto, a implementação desses sistemas vai além da simples escolha dos equipamentos, exige uma abordagem de engenharia multifacetada, que envolve critérios diversos de variedade, frequência e gerenciamento (Pinto, 2006).

Em suma, este estudo teve como propósito analisar e discutir métodos aplicáveis ao monitoramento de obras geotécnicas e drenagens no município de Ouro Preto. A metodologia da pesquisa combinou uma revisão da literatura sobre geotecnia urbana, estabilização de encostas e gerenciamento de riscos, com a coleta de dados primários por meio da aplicação de um questionário a profissionais da área, como engenheiros e técnicos. Os dados foram analisados a partir de um método quali-quantitativo, incluindo a análise de frequência de respostas e a mensuração de um Índice de Aprovação baseado na escala *Likert*.

### 1.1. OBJETIVO

Este trabalho teve como objetivo geral avaliar as práticas de monitoramento geotécnico e de drenagem aplicadas em obras de estabilização de encostas no município de Ouro Preto, MG, identificando sua situação atual, limitações e oportunidades de aprimoramento.

Para atingir esse objetivo, são estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- Compreender a correlação entre o meio urbano de Ouro Preto, as obras geotécnicas, as drenagens e as técnicas de monitoramento descritas na literatura;
- Identificar os principais desafios enfrentados no monitoramento de obras geotécnicas e drenagens no município;
- Mapear áreas críticas de instabilidade geotécnica em Ouro Preto;

- Analisar as metodologias de monitoramento e gerenciamento de risco atualmente empregadas e sua eficácia ao longo da vida útil das estruturas;
- Avaliar o potencial de adoção de novas tecnologias e técnicas para aprimorar o monitoramento das feições geotécnicas;
- Analisar as percepções e sugestões de profissionais da área sobre práticas de monitoramento e manutenção preventiva.

O desenvolvimento dos objetivos neste estudo envolve a revisão bibliográfica sobre monitoramento geotécnico e drenagem, bem como a aplicação de um questionário direcionado a engenheiros da administração pública e técnicos envolvidos na área. O questionário permitirá compreender os desafios enfrentados, as soluções mais eficazes utilizadas atualmente e a possibilidade de implantação de novas metodologias. A partir da análise dos dados coletados, espera-se contribuir para a formulação de estratégias que aprimorem o monitoramento e a gestão das obras geotécnicas em Ouro Preto.



## 2. REVISÃO DA LITERATURA

De acordo com Fornan (1995), um dos principais desafios no planejamento do uso da terra é garantir a sustentabilidade ambiental, levando em conta a constante transformação das paisagens. Esse processo deve equilibrar tanto os aspectos ambientais quanto os humanos, considerando um horizonte temporal que englobe múltiplas gerações.

O crescimento urbano acelerado e desordenado tem intensificado os desafios geotécnicos enfrentados pelas cidades brasileiras, especialmente aquelas situadas em terrenos de topografia acidentada, como é o caso de Ouro Preto (Oliveira e Sobreira, 2015). A ocupação irregular de encostas, a deficiência nos sistemas de drenagem e a ausência de um monitoramento contínuo de estruturas geotécnicas aumentam significativamente os riscos de instabilidade do solo, podendo resultar em deslizamentos, erosões e colapsos estruturais.

A presente revisão da literatura busca explorar quatro aspectos essenciais dentro dessa temática. Primeiramente, será abordado o contexto urbano da geotecnia, discutindo a relação entre a ocupação territorial e os desafios técnicos enfrentados. Em seguida, serão analisadas as interações entre drenagem urbana e obras geotécnicas, ressaltando a importância do controle adequado do manejo de águas urbanas para a estabilidade de encostas. O terceiro ponto abordará as técnicas de estabilização de encostas, com ênfase em métodos construtivos e medidas preventivas. Por fim, serão discutidos os métodos de monitoramento e instrumentação, destacando as ferramentas disponíveis para o acompanhamento da segurança de estruturas geotécnicas ao longo de sua vida útil.

Ao estruturar essa análise, pretende-se fornecer um panorama abrangente sobre os desafios e soluções relacionados à geotecnia urbana, contribuindo para a formulação de estratégias eficazes voltadas à mitigação de riscos e ao desenvolvimento sustentável das cidades.

### 2.1. GEOTECNIA – CONTEXTO URBANO

O crescimento urbano acelerado tem intensificado os desafios relacionados à geotecnia, especialmente em cidades com relevo acidentado e histórico de ocupação desordenada, como é o caso de Ouro Preto (Pinheiro, Sobreira e Lana, 2003). A expansão das áreas urbanas sobre terrenos instáveis, aliada a intervenções inadequadas no solo e falhas nos sistemas de drenagem,

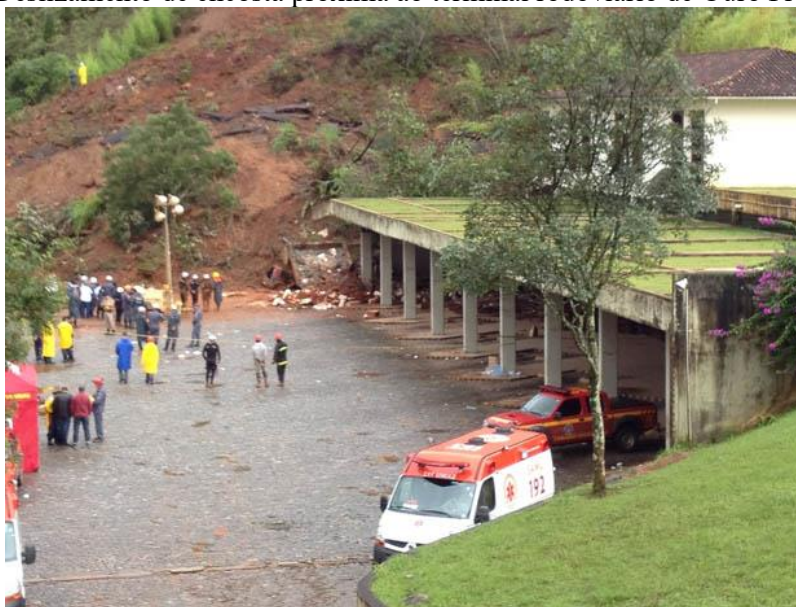
aumenta a vulnerabilidade a deslizamentos, subsidências e outros processos geotécnicos adversos.

A geotecnia urbana compreende o estudo e aplicação de técnicas voltadas para a interação entre infraestruturas construídas e o meio geológico-geotécnico. Dentro desse campo, são abordados aspectos como estabilidade de encostas, fundações de edificações, contenções e impacto das obras de engenharia sobre o ambiente natural e construído. O comportamento do solo e das rochas em meio a cargas urbanas é um fator determinante para a segurança e durabilidade das estruturas. Nessa perspectiva, o acompanhamento da atuação de estruturas geotécnicas e a observação de seu desempenho ao longo da vida útil agregam ainda mais relevância – pois se contextualizam em um espaço com alto nível de interferências.

Em cidades históricas, como Ouro Preto, onde se observa uma diversificada ocupação urbana associada a um planejamento urbano historicamente deficitário, os equipamentos urbanos coexistem de modo revolvido e caótico. A infraestrutura urbana e o conjunto construtivo alterado afetam significativamente o ambiente, relacionando-se a processos erosivos de feições naturais, movimentos de massa e enchentes – como também contaminação de solo e água (Nola e Zuequette, 2021). É comum encontrar vielas estreitas adjacentes a um grande número de edificação – muitas das vezes não correspondendo a padrão construtivo adequado pela legislação municipal. Em paralelo, há redes de infraestrutura enterradas, como água e esgoto e; aéreas, como eletrificação – que exigem atenção durante as modificações executadas no terreno.

O apelo pela atenção às redes urbanas existentes e edificações também se protagoniza ao longo da manutenção e garantia da vida útil das estruturas geotécnicas, não se restringindo à fase de projeto e execução. Os fenômenos de instabilidade de encostas, movimentos de massa e ruptura de estruturas de contenção afrontam diretamente à segurança de transeuntes e o patrimônio urbano, seja público ou de iniciativa privada. A Figura 1 exemplifica um caso que ocorreu no Município de Ouro Preto, onde uma de suas principais vias de circulação (rua Padre Rolim) fora completamente interditada por conta de um grave deslizamento de solo ocorrido.

Figura 1 – Deslizamento de encosta próxima ao terminal rodoviário de Ouro Preto em 2012.



Fonte: Luísa Torres/TV Globo Minas (2012).

Todas as condições existentes são indispensáveis de consideração durante a realização de obras de estabilização de encostas e drenagens e, contudo, pesam na escolha do método ou tipo de estrutura. Nessas áreas devem ser levados em consideração tanto os métodos convencionais de estabilização quanto abordagens inovadoras que preservem o patrimônio arquitetônico e cultural, assim como a condição existente da infraestrutura urbana. O objetivo, por fim, é causar o menor impacto e viabilizar os métodos economicamente, tecnicamente e ambientalmente (Menezes et al., 2021).

De acordo com Nola e Zuquette (2021), a sede do município de Ouro Preto se encontra localizado em área fortemente consolidada em filito, xisto, rochas brandas, alteradas e materiais associados ao processo coluvionar. Destaca-se também uma porção geológica do município que esteve condicionado a forte intemperismo e que caracteriza material em situação não adensada, compreendendo uma diversificação do perfil geológico-geotécnico que pode incluir solo laterítico, saprólitos e sedimentos de depósitos rochosos.

Atividades de controle e planejamento da ocupação urbana é indispensável à administração pública, que se responsabiliza por estender sua infraestrutura e regularizar ocupações habitacionais de risco. O mapa de zoneamento de riscos é um importante instrumento para orientar políticas públicas (Fontes, 2011). Ele, por si só, representa apenas uma diretriz e não substitui a necessidade de análises quantitativas sobre o grau de estabilidade ou instabilidade de uma encosta específica.

Fontes (2011) afirma também que há um forte apelo por estruturas de arrimo, sendo que soluções de controle do escoamento de águas subsuperficiais e subterrâneas podem trazer o resultado esperado.

Existem condições que inviabilizam a execução de obras de contenções ou estabilização de contenções, medidas de controle e investigativas devem ser tomadas a fim de garantir a segurança ao longo da vida útil da feição (Haeri, 2016). Tais condições ocorrem em terrenos excessivamente acidentados com altas cristas, ou interferências com patrimônios históricos e elementos ambientais de preservação. Dessa forma, a geotecnia urbana desempenha um papel essencial na sustentabilidade e resiliência das cidades, garantindo que o crescimento e a ocupação do solo ocorram de maneira segura e planejada. Segundo (Xavier, 2014), intervenções irregulares, como construções, cortes e aterros, alteram a paisagem e influenciam a estabilidade das encostas. Áreas com padrões estruturais mais precários são mais suscetíveis a movimentos do solo. Assim, a ação humana é um fator crucial para a suscetibilidade geotécnica em áreas urbanas e deve ser considerada em mapeamentos, especialmente quando utilizados para estudos de perigo e risco. No caso de Ouro Preto, a aplicação de técnicas geotécnicas eficazes é fundamental para minimizar riscos e preservar tanto a segurança da população quanto o patrimônio histórico da cidade, tendo em vista a ação antrópica imprevisível e vultuosa.

## 2.2. DRENAGEM URBANA E OBRAS GEOTÉCNICAS

A drenagem urbana refere-se ao conjunto de sistemas e técnicas projetadas para gerenciar o escoamento das águas pluviais em regiões urbanizadas. Com o crescimento das cidades e a expansão da impermeabilização do solo, o escoamento superficial das águas de chuva se intensifica, aumentando o risco de instabilidades geotécnicas, como erosão, escorregamentos de encostas e saturação do solo (Tucci, 2008). Dessa forma, a gestão eficiente da drenagem urbana é essencial para minimizar impactos ambientais, proteger a estabilidade de encostas e garantir a segurança das infraestruturas.

A ausência ou ineficiência dos sistemas de drenagem urbana pode resultar em uma série de problemas ambientais e estruturais nas cidades, com destaque para os impactos sobre a estabilidade geotécnica. O acumulado de águas em encostas relaciona ao nível de saturação e reduzindo a resistência das encostas, favorecendo deslizamentos (Silva et al., 2015). A NBR 11682 (Brasil, 1991) menciona que o processo de saturação de solos deve ser evitado e

mitigado, através de técnicas de drenagem. Apesar de normalmente consideradas em dimensionamento de estruturas geotécnicas, a saturação do solo deve ser evitada através de métodos de drenagem superficial e profunda. Os materiais sobre efeito da umidade excessiva podem desencadear fenômenos indesejáveis, como bombeamento de finos, *piping* ou colmatação de artefatos drenantes (Augustin e Aranha, 2006). Solos colapsíveis, por exemplo, estão sujeitos a redução do seu volume sobre efeito do umedecimento, promovendo novas configurações da estrutura intermolecular e possível rearranjo que cause instabilidade (Britto, 2020).

O controle de escoamento de águas superficiais e infiltrantes é ação indispensável em obras e projetos geotécnicos. A análise engloba também processos degradativos como o desenvolvimento de erosões e voçorocas. De qualquer modo, pode estar ligado a escopos da mera estabilização de encosta, como também, de obras de macrodrenagem que envolvem o assunto da geotecnia. Sistemas de canalização de cursos d'água exigem uma atenção especial quanto ao processo erosivo, sendo necessário o dimensionamento de sua geometria e determinação dos materiais adequados para redução da velocidade e consequente erosão (Verdum, Vieira e Caneppele, 2006).

A gestão ambiental e sustentável, bem como a urbanização de espaços públicos, são fatores que correlacionam à estabilização de encostas e drenagem urbana. Estudos comprovam que implantação de biomantas promovem a redução da água escoada em até 32% e redução de 80% do solo erodido (Uzeda *apud* Bezerra, 2024). A menção a métodos de drenagem e estabilização sustentáveis são pontos de atenção, pois ao contrário do sistema convencional, que conduz a drenagem das águas pluviais por meio de coletores subterrâneos, os SUDS (Sistemas sustentáveis de drenagem urbana) se destacam pelo controle do escoamento superficial diretamente na fonte, ou seja, o mais próximo possível do ponto onde a chuva atinge o solo. Dessa forma, o escoamento é reduzido por meio de tecnologias que favorecem a evaporação, a evapotranspiração, a infiltração no solo e o armazenamento temporário da água (Toscan Neto, 2019).

### 2.3. ESTABILIZAÇÃO DE ENCOSTAS

A segurança de taludes formados por materiais geomecânicos, como solos, rochas alteradas, fraturas e discontinuidades, é uma preocupação constante nas áreas de Engenharia Civil e Geotécnica. Esse desafio se manifesta tanto em encostas naturais quanto em taludes artificiais,

como aterros e pilhas. Em diversas obras e intervenções humanas, a análise da estabilidade dos taludes é um fator determinante para o projeto, sendo geralmente representada por um coeficiente de segurança mínimo ou por outras métricas, como a probabilidade de ruptura. Além disso, observa-se um aumento na ocorrência de eventos de movimentação de massa em encostas naturais, os quais podem ter maior ou menor influência da ação humana (Gerscovich, Vargas e Campos, 2023).

### 2.3.1. Movimentos de massa - Classificação

Os movimentos de massa são processos naturais ou induzidos que envolvem o deslocamento de solos, rochas ou materiais antrópicos ladeira abaixo, geralmente sob a influência da gravidade. Esses fenômenos constituem um dos principais agentes de instabilidade em áreas urbanas e rurais, representando riscos significativos à segurança de pessoas, edificações e à infraestrutura viária. A compreensão dos tipos de movimentos de massa é indeclinável para o planejamento urbano, a prevenção de desastres e a concepção de métodos para estabilização.

A classificação dos movimentos de massa pode ser feita com base em diferentes critérios, sendo o mais utilizado aquele proposto por Cruden e Varnes, 1978 posteriormente adaptado por órgãos como o Serviço Geológico do Brasil (CPRM). Essa classificação leva em conta o tipo de material envolvido (rocha, solo ou material inconsolidado) e a forma do movimento (queda, tombamento, escorregamento, fluência ou deslizamento complexo).

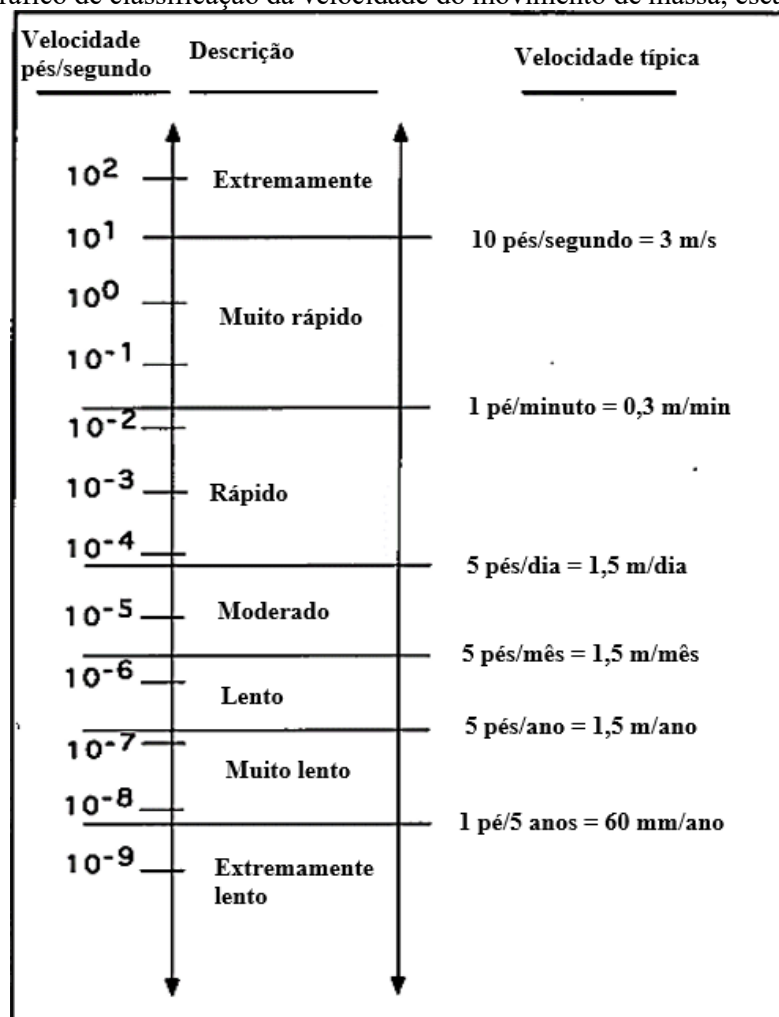
Entre os principais tipos, destacam-se:

- **Quedas:** caracterizadas pela movimentação rápida de blocos de rocha ou solo que se desprendem de encostas abruptas, caindo livremente ou rolando encosta abaixo.
- **Deslizamentos:** ocorrem quando uma massa de solo ou rocha desliza sobre um plano de ruptura definido, podendo ser rotacional ou translacional. São os movimentos mais comuns em áreas urbanizadas.
- **Fluxos ou corridas de massas:** envolvem materiais saturados com água, que se comportam como fluidos, como nos casos de fluxos de lama ou detritos, muito frequentes em períodos chuvosos.
- **Tombamentos:** acontecem quando blocos ou colunas de material se inclinam e giram em torno de um ponto de apoio, geralmente em taludes íngremes.

- **Movimentos complexos ou espalhamento:** combinam mais de um tipo de movimento, como escorregamentos seguidos de fluxo, o que dificulta o diagnóstico e a previsão do comportamento da massa.

Além da proposição da classe do movimento, Varnes (1978) também propõe método sistematização dos eventos baseado em taxa de movimento, ou velocidade do movimento – conforme a Figura 2.

Figura 2 - Gráfico de classificação da velocidade do movimento de massa, escala logarítmica.



Fonte: Adaptado de Varnes (1978).

O aumento da velocidade do movimento de massa acompanha a amplificação do risco apresentado, sendo que se espera que movimentos de massa extremamente rápidos podem causar danos ou perdas significativos às propriedades e pessoas. A classificação do movimento de massa de Varnes (1978) descreve 7 níveis de periculosidade do fenômeno, criando uma descrição e delimitando a natureza do evento para cada classe de velocidade. A Tabela 1 apresenta a numeração mencionada.

Tabela 1 – Classificação do poder destrutivo baseado pela velocidade do movimento de massa.

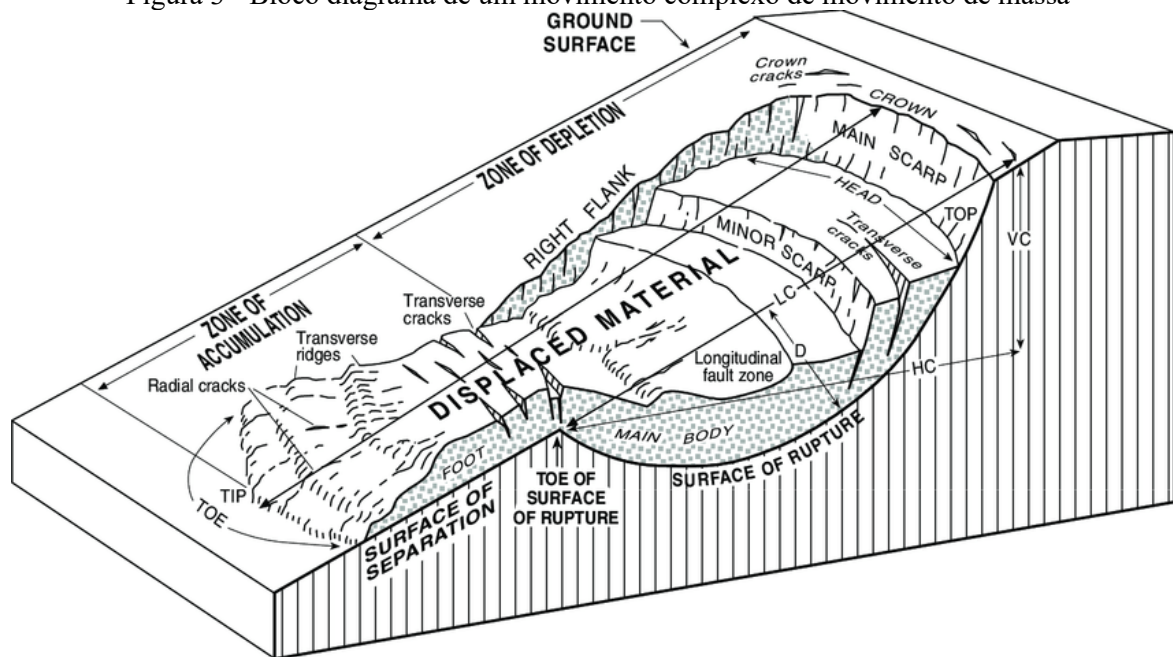
| <b>Velocidade<br/>do<br/>movimento</b> | <b>Provável poder destrutivo</b>                                                                                                                                                                                    |
|----------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1                                      | Imperceptível sem instrumentos. Construção possível com precauções.                                                                                                                                                 |
| 2                                      | Algumas estruturas permanentes não são danificadas pelo movimento.                                                                                                                                                  |
| 3                                      | Obras corretivas podem ser realizadas durante o movimento. Estruturas insensíveis podem ser mantidas com manutenção frequente, caso o deslocamento total não seja grande durante uma fase específica de aceleração. |
| 4                                      | Algumas estruturas temporárias e insensíveis podem ser mantidas temporariamente.                                                                                                                                    |
| 5                                      | Fuga e evacuação possíveis. Estruturas, pertences e equipamentos destruídos.                                                                                                                                        |
| 6                                      | Catástrofe de grande violência. Edifícios destruídos pelo impacto do material deslocado. Muitas mortes. Fuga improvável.                                                                                            |
| 7                                      | Catástrofe de grande violência. Edifícios destruídos pelo impacto do material deslocado. Muitas mortes. Fuga improvável.                                                                                            |

Fonte: Adaptado de Varnes (1978).

Silveira (2016) alega que a razão também do grande uso da classificação proposta por Varnes (1978) seria pela sua apresentação de bloco-diagramas tridimensionais dos movimentos, referente à Figura 3 com os termos traduzidos e adaptados na Tabela 2. Hutchinson et al. (1980) propôs um sistema de classificação que abrange todos os tipos de movimentos de solo e rocha. Esse sistema é reconhecido como um dos mais completos e detalhados existentes, pois leva em consideração diversos fatores, como a morfologia da massa em movimento, o tipo de material envolvido, o mecanismo de ruptura, a velocidade do deslocamento, as condições hidrogeológicas e as características estruturais do solo — aspectos semelhantes aos considerados na classificação de Varnes (1978). No entanto, por sua complexidade, essa classificação exige uma quantidade significativa de dados sobre os processos envolvidos, o que pode dificultar sua aplicação prática em campo. O autor organizou os principais tipos de movimentos de massa em seis categorias, que incluem: alívio de tensões (*rebound*), rastejo (*creep*), grandes deformações em cristas de montanhas e taludes (*sagging*), escorregamentos, fluxos de detritos, tombamentos, quedas e movimentos complexos.



Figura 3 - Bloco diagrama de um movimento complexo de movimento de massa



Fonte: Varnes (1978)

Tabela 2 – Tradução e adaptação dos termos apresentados pela Figura 3

| <b>Termo em inglês</b>    | <b>Tradução para português</b> |
|---------------------------|--------------------------------|
| Ground surface            | Superfície do terreno          |
| Zone of depletion         | Zona de redução                |
| Right flank               | Flanco direito                 |
| Crown                     | Topo/crista                    |
| Main scarp                | Escarpa principal              |
| Head                      | Cabeça                         |
| Top                       | Topo                           |
| Minor scarp               | Escarpa menor                  |
| Displaced material        | Material deslocado             |
| Longitudinal fault zone   | Zona de falha longitudinal     |
| Main body                 | Corpo principal                |
| Surface of rupture        | Superfície de ruptura          |
| Toe of surface of rupture | Dedo da superfície de ruptura  |
| Foot                      | Pé                             |
| Toe                       | Dedo                           |
| Tip                       | Ponta                          |
| Surface of separation     | Superfície de separação        |
| Zone of accumulation      | Zona de acumulação             |
| Crown cracks              | Rachaduras na coroa            |
| Transverse cracks         | Rachaduras transversais        |
| Transverse ridges         | Cumes transversais             |
| Radial cracks             | Rachaduras radiais             |

Fonte: Autor (2025).

### 2.3.2. Estabilidade de taludes

A Associação Brasileira de Geologia de Engenharia define a estabilização de taludes ou encostas como um conjunto de intervenções realizadas em uma vertente natural ou alterada, com o objetivo de aprimorar sua resistência. Esse processo atua sobre os fatores relacionados às características dos materiais que compõem o terreno e sobre os agentes que desencadeiam movimentos instáveis. Esses movimentos podem ser superficiais, como erosões e escorregamentos rasos, ou mais profundos, como quedas de blocos e corridas de lama. Entre os principais fatores que influenciam a instabilidade estão a geologia (litologia, composição e estrutura das rochas), a morfologia (inclinação e extensão da encosta) e a hidrogeologia (presença de águas superficiais e subterrâneas).

A estabilidade de um talude pode ser obtida de duas maneiras: reduzindo as forças que provocam a instabilidade ou aumentando as forças que contribuem para sua estabilidade. Para projetar um talude seguro de forma adequada, é fundamental considerar informações obtidas em investigações de campo, resultados de ensaios laboratoriais, análises de estabilidade realizadas, métodos de execução da obra, seu plano de manutenção e, acima de tudo, contar com o bom senso do engenheiro responsável (Bassaneli e Corrêa, 2016).

A Tabela 3 representa sucintamente, fatores relacionados aos problemas enfrentados em estabilidade de taludes, qualitativamente e também podem interferir em análises quantitativas.

Tabela 3 - Tipologia de problemas vinculados às formas de sua ocorrência em taludes e principais causas responsáveis pelo fenômeno

| TIPO DE PROBLEMA         | FORMA DE OCORRÊNCIA                                              | PRINCIPAIS CAUSAS                                                      |
|--------------------------|------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| Erosão                   | Em talude de corte e aterro (em sulcos e diferenciada)           | Deficiência de drenagem                                                |
|                          | Longitudinal ao longo da plataforma                              | Deficiência de proteção superficial                                    |
|                          | Localizada e associada a obras de drenagem (ravinas e boçorocas) | Concentração de água superficial e/ou interceptação do lençol freático |
|                          | Interna em aterros ( <i>piping</i> )                             | Deficiência ou inexistência de drenagem interna                        |
| Desagregação superficial | Empastilhamento superficial em taludes de corte                  | Secagem ou umedecimento do material                                    |
|                          | Superficial                                                      | Presença de argilo-mineral expansivo ou desconfinamento do material    |
|                          | Profundo                                                         | Inclinação acentuada do talude                                         |
|                          | Formas e dimensões variadas                                      | Relevo energético e descontinuidades do solo e da rocha                |

| TIPO DE PROBLEMA         | FORMA DE OCORRÊNCIA                                                 | PRINCIPAIS CAUSAS                                                                                                                           |
|--------------------------|---------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Escorregamento em corte  | Superficial em corte ou encostas naturais                           | Saturação do solo                                                                                                                           |
|                          | Profundo em cortes                                                  | Evolução por erosão                                                                                                                         |
|                          | Formas de dimensões variadas                                        | Corte de corpo de talude                                                                                                                    |
|                          | Movimentação de grandes dimensões e generalizada em corpo de talude | Alteração por drenagem                                                                                                                      |
|                          | Atingindo a borda do aterro                                         | Compactação inadequada da borda                                                                                                             |
|                          | Atingindo o corpo do aterro                                         | Deficiência de fundação, drenagem e proteção superficial; má qualidade do material; compactação inadequada; inclinação inadequada do talude |
| Escorregamento em aterro | Atingindo o corpo do aterro                                         | Deficiência de fundação, drenagem e proteção superficial; má qualidade do material; compactação inadequada; inclinação inadequada do talude |
| Recalque em aterro       | Deformação vertical da plataforma                                   | Deficiência de fundação, drenagem; rompimento de bueiro; compactação inadequada                                                             |
| Queda de blocos          | Geralmente em queda livre                                           | Ação da água e de raízes na descontinuidade do maciço rochoso                                                                               |
| Rolamento de blocos      | Movimento de bloco por rolamento em cortes ou encostas naturais     | Descalçamento da base por erosão                                                                                                            |

Fonte: Adaptado de Marangon (2006) *apud* Bassaneli et al. (2016).

No que diz respeito aos movimentos de massa, Zezêre (2005), *apud* Ferraz e Valadão (2021), destaca que existem diversas combinações entre materiais e agentes desencadeadores, o que leva à criação de diferentes propostas de classificação. Algumas classificações agrupam movimentos semelhantes em categorias distintas, enquanto outras utilizam a mesma denominação para movimentos com características diferentes. Fernandes e Amaral (1996), *apud* Ferraz e Valadão (2021), apontam que todas as propostas de classificação dos movimentos de massa possuem limitações, já que os movimentos tendem a ser mais complexos do que as categorias sugerem, podendo apresentar diversas classes em um único evento. Por sua vez, Tominaga et al. (2009), *apud* Ferraz e Valadão (2021), observam que, devido à variedade de materiais e processos envolvidos, os movimentos de massa podem assumir diferentes formas. Eles destacam a classificação de Varnes, de 1978, amplamente utilizada no cenário internacional, mas também ressaltam que a proposta de Augusto Filho (1992), *apud* Ferraz e Valadão (2021), é uma das mais reconhecidas nas pesquisas geomorfológicas brasileiras,

conforme também afirmam Gerscovich (2016) e o próprio Tominaga et al. (2009) *apud* Ferraz e Valadão (2021).

### 2.3.3. Análise de estabilidade de taludes

Basicamente, estabilizar uma encosta consiste em, de forma preventiva, elevar o fator de segurança ao longo de sua área, levando em conta as potenciais movimentações de massa por meio de técnicas de estabilidade. Em seguida, é necessário definir soluções corretivas capazes de conter esses movimentos e, por fim, realizar o monitoramento adequado para permitir diagnósticos precisos (Gerscovich, 2018).

Fundamentalmente, a compreensão sobre o conceito de estabilidade de talude remete às propriedades do solo, especialmente aos esforços cisalhantes. A resistência ao cisalhamento do solo influencia de maneira relevante sobre a capacidade do solo em suportar cargas e conservar a sua estabilidade (Barbosa e Dias, 2000). O alcance da resistência mecânica ao cisalhamento do solo ocasiona situação de instabilidade eminente e conflui com a ruptura da encosta. A resistência ao cisalhamento é expressa pelo modelo de Coulomb (Equação 1) a seguir:

$$\tau = c + (\sigma * tg\phi) \quad (1)$$

Onde:

$\tau$  – resistência ao cisalhamento

c- coesão

$\sigma$  – tensão efetiva à face de cisalhamento

$\phi$  – ângulo de atrito interno do material

A análise da estabilidade, propriamente dita, pode ser desenvolvida através de 2 caminhos, sendo estes:

- Verificação pontual de ocorrência de zonas de equilíbrio ou ruptura, comparando tensões atuantes contra as tensões admissíveis. Pode ser denominado como método de análise de tensões em plano qualquer, obtida através das equações de equilíbrio em relação a eixos coordenados onde  $\Sigma F_x = 0$ ,  $\Sigma F_y = 0$  e  $\Sigma F_z = 0$  (Gerscovich, 2008).
- Discretização de modelos de massa triviais ou verossímeis e verificação quanto ao equilíbrio mecânico através dos métodos de equilíbrio limite (Caputo, 1988).

Para que um talude seja considerado estável, é necessário que ele se encontre em equilíbrio de forças. Dessa forma, a avaliação de sua estabilidade envolve a análise da possibilidade de ocorrência de deslizamentos de massa em encostas naturais ou construídas (Gerscovich, 2008). Em termos gerais, essa análise é realizada com base no conceito de fator de segurança, o qual representa a razão entre a soma dos momentos resistentes ( $M_r$ ) e a soma dos momentos que provocam o deslizamento ( $M_a$ ) (Dyminski, 2008). Os métodos mais conhecidos e utilizados atualmente são o método dos elementos finitos e os métodos do equilíbrio limite.

A análise através de elementos finitos, ou Método dos Elementos Finitos (MEF), é feita através da discretização de nós em uma malha do meio em que se pretende estudar. A precisão do modelo, pode ser mais definida através do incremento do número de nós estudados (Alves Filho, 2013).

Os métodos do equilíbrio limite assumem as seguintes hipóteses:

- o solo é um material que se rompe de forma brusca sem sofrer deformação;
- utilização de valores médios de parâmetros de resistência;
- material homogêneo e contínuo numa mesma camada;
- as equações de equilíbrio estático são válidas até a iminência de ruptura, e
- o fator de segurança (FS) é constante ao longo da linha de ruptura.

Os métodos são mais bem definidos por alguns autores, divergindo de alguma forma sobre suas considerações. Dentre as metodologias, podem ser destacadas as mais utilizadas atualmente que são:

- Método das fatias;
- Método Fellenius;
- Método Bishop;
- Método de Janbu;
- Método de Morgenstern-Price;
- Método de Spencer.

Os métodos de equilíbrio limite (MEL) são usados para analisar a estabilidade de taludes avaliando o equilíbrio entre forças ou momentos que atuam sobre uma superfície de

deslizamento potencial. A principal diferença entre eles está na forma como consideram o equilíbrio e as simplificações adotadas:

Métodos simples, como o de Swedish (ou círculo de Fellenius), consideram apenas o equilíbrio de momentos, sendo mais indicados para situações estáticas e taludes homogêneos.

Métodos mais avançados, como Bishop Simplificado, Janbu, Morgenstern-Price e Spencer, levam em conta diferentes combinações de equilíbrio de forças e momentos (alguns apenas em uma direção, outros em ambas), permitindo maior precisão em taludes complexos, heterogêneos ou com presença de água.

Em resumo, os métodos diferem principalmente pela complexidade e pelo rigor com que tratam o equilíbrio das forças e momentos no interior do talude.

#### **2.3.4. Métodos de estabilização de encostas**

As soluções estruturais para áreas de encostas visam garantir a estabilidade das encostas, o que só é possível quando se adota uma abordagem integrada. De acordo com Ministério das Cidades (2023), o objetivo é prevenir ocorrência de desastres vinculados a deslizamento das encostas, erosões, solapamento em margens e o fluxo de detritos diversos, como outros processos relacionados a movimento gravitacional de massa. O Ministério também indica que existam soluções diversas que podem trabalhar em conjunto: proteção superficial dos taludes e encostas, obras de movimentação de terra e trabalho em rocha, como também muros de contenção – seja à gravidade ou flexão. Além do mais destacam-se técnicas como cortinas, solos grampeados, micro estacas, grelhas com ancoragem e muros de impacto.

Filho e Virgili (1998) estabelecem que obras de estabilização de encostas podem ser classificadas de acordo com a natureza dos serviços a serem executados e intervenções propostas, sendo estruturais, não estruturais ou mera proteção mecânica. Tal classificação pode ser observada na Tabela 4.

Tabela 4 – Classificação para definição de tipologia de intervenção por grupo.

| <b>Grupo</b>                     | <b>Tipo</b>                                   |
|----------------------------------|-----------------------------------------------|
| Obras sem estrutura de contenção | Retaludamentos (corte e aterro)               |
|                                  | Drenagem (superficial, subterrânea, de obras) |
|                                  | Proteção superficial (naturais e artificiais) |
| Obras com estrutura de contenção | Muros de gravidade                            |
|                                  | Atirantamentos                                |
|                                  | Aterros reforçados                            |
|                                  | Estabilização de blocos                       |
| Obras de proteção                | Barreiras vegetais                            |
|                                  | Muros de espera                               |

Fonte: Adaptado de Filho e Virgili (1998).

Em geral, obras de mera estabilização de taludes envolve a reconfiguração do talude (retaludamento em cortes ou reconstrução em aterros), a aplicação de coberturas superficiais com materiais naturais ou artificiais, se necessário, um sistema de drenagem eficiente adaptado à microbacia local, além da construção de estruturas de contenção, como muros de arrimo, quando necessário (Filho e Virgili, 1998)

Por outro lado, Barros et al. (2017) menciona que estruturas de contenção, ou arrimo, são obras civis executadas com o intuito de promover estabilidade contra ruptura de maciços de terra ou rocha, sendo suporte evitando o escorregamento causado pelo seu peso próprio ou carregamentos externos. As análises envolvem a instância do equilíbrio conjunto, formado pelo maciço e a própria estrutura. Sendo assim, necessária a verificação da estabilidade e própria e resistência do aparato construído, além da análise global de estabilidade.

Barreiras de impacto são convenientes para controlar riscos e prejuízos, relacionados a movimentação de massa, permitindo o seu deslocamento porém causando a sua retenção (Silveira, 2024), não evitando a instabilidade da encosta que já tenha ocorrido. As barreiras de contenção são classificadas em dois grandes grupos: rígidas e flexíveis. Essa distinção se baseia principalmente na forma como são construídas, nos materiais empregados, em seu formato e onde são instaladas na encosta, informa Silveira (2024). Santos (2019) disserta que a principal função dessas barreiras é amortecer o impacto. Elas fazem isso distribuindo a tensão do contato por toda a sua extensão, o que, por sua vez, reduz o pico de energia gerado pelos blocos de rocha em queda.

#### 2.3.4.1. Retaludamento

Essa técnica de estabilização de taludes baseia-se na modificação da sua geometria com o objetivo de melhorar suas condições de estabilidade. As mudanças podem ser aplicadas em pequenas porções ou em toda a extensão do talude, incluindo atividades como cortes e a construção de aterros compactados (Freu, 2012).

Segundo Freu (2012), com base em análises de estabilidade que utilizam os parâmetros geotécnicos do solo, são estabelecidas as inclinações finais adequadas para o talude. A fase de corte envolve a remoção dos materiais presentes no talude original, enquanto a etapa de aterro consiste em compactar o solo sobre uma base preparada, garantindo propriedades adequadas de resistência, deformação e permeabilidade.

Além disso, são implantadas plataformas intermediárias (banquetas), associadas a um sistema de drenagem e proteção superficial, com a finalidade de controlar o escoamento da água da chuva e evitar processos erosivos.

#### 2.3.4.2. Proteção superficial

Segundo Uzeda (2024), métodos de proteção superficial são soluções preventivas contra erosões, e almejam a manutenção da estabilidade das encostas em níveis de segurança admissíveis. Os sistemas de proteção superficial têm como finalidade revestir o talude, protegendo contra a erosão e reduzindo a infiltração decorrente da precipitação de chuva. A proteção pode ser através de vegetação ou através de impermeabilização (concreto projetado, geotêxtil, etc). A proteção superficial associada a um sistema de drenagem superficial pode, em muitos casos, ser suficiente para estabilização do talude.

Quando se trata de estabilizar encostas sem usar estruturas de contenção, existem três abordagens principais: proteção superficial, retaludamento e estabilização de blocos (Uzeda, 2024). A proteção superficial de taludes visa, como o nome indica, proteger a superfície da encosta. Seu principal objetivo é prevenir a erosão e evitar que a camada mais superficial do solo fique encharcada. Ambos os problemas podem diminuir a resistência interna do solo ou da rocha e alterar a forma da encosta, o que, em última instância, pode levar a um deslizamento ou ruptura.



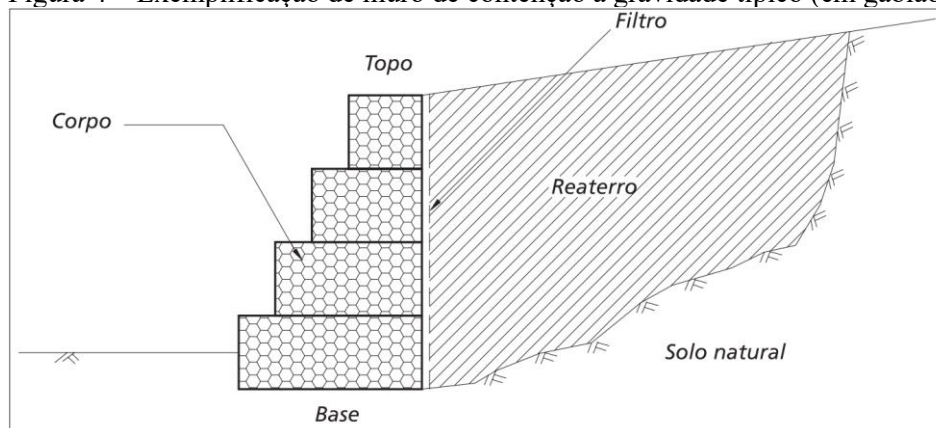
Existem métodos também da realização da proteção superficial em conjunto com o reforço mecânico do solo como o solo grampeado verde, que permite esta integração de soluções.

#### 2.3.4.3. Estruturas de contenção

##### a. Muros de contenção a gravidade

Estruturas de contenção a gravidade atuam utilizando o seu peso próprio e muitas vezes o peso de uma parte do bloco de solo para a estabilidade do conjunto (Barros et al., 2017). Os materiais utilizados e o formato da estrutura são variados. É formado por um corpo maciço que pode ser construído em concreto ciclópico, pedras argamassadas, gabiões ou união de materiais diversos. À cargo de exemplo, a Figura 4 apresenta um modelo de muro de contenção em gabião, no qual o maciço a ser contido é suportado por elemento de grande volume e peso.

Figura 4 – Exemplificação de muro de contenção a gravidade típico (em gabião)



Fonte: Maccaferri (2017)

De acordo com Barros et al. (2017), a grande vantagem dos muros de gravidade é a sua simplicidade construtiva. Geralmente, não é preciso mão de obra especializada para construí-los. No entanto, se o objetivo é vencer grandes desníveis, eles se tornam inviáveis devido ao alto consumo de material, o que acaba restringindo seu uso a estruturas de pequeno e médio porte.

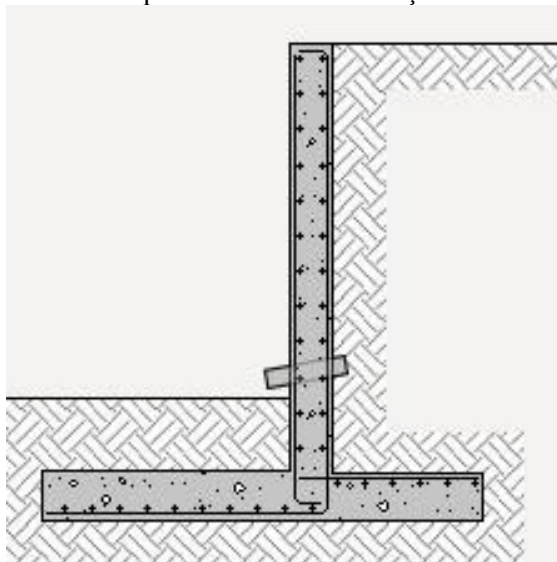
##### b. Muros de contenção a flexão

De acordo com Gerscovich (2016), muros à flexão são estruturas mais esbeltas e têm um formato que lembra a letra "L" em seu corte. Elas conseguem resistir à pressão do solo (empuxo) através da flexão, e se mantêm de pé usando parte do próprio peso do solo que se apoia sobre a

base da estrutura. (Souza, 2022b) ressalta que são elaborados em concreto armado, inviabilizando economicamente sua execução em alturas além de 5 metros.

Segundo Moliterno (1994), a base de um muro de flexão costuma ter uma largura que varia entre 50% e 70% da altura total do muro. Quando os muros de flexão são mais altos (acima de 5 metros, aproximadamente), é uma boa prática usar contrafortes. Isso ajuda a aumentar a estabilidade da estrutura, prevenindo o tombamento. Além disso, para melhorar ainda mais a estabilidade, esses muros podem ser ancorados na base com tirantes ou chumbadores. Essa técnica é especialmente útil em duas situações: quando há pouco espaço disponível para a base do muro ou quando o solo na fundação é resistente o suficiente para receber a ancoragem (Moliterno, 1994). A Figura 5 exemplifica um muro de flexão típico, com a inserção de barbacã em sua parede vertical para drenagem e alívio da poropressão em seu interior.

Figura 5 – Exemplo de muro de contenção à flexão típico.



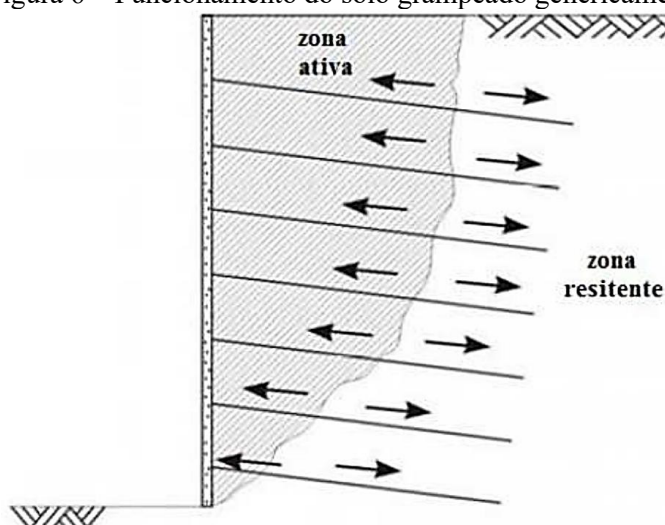
Fonte: Escola Engenharia (2019).

### c. Solo grampeado

O solo grampeado é uma técnica eficiente de reforço do solo no local, aplicável tanto em taludes naturais quanto em cortes resultantes de escavações. O reforço é feito por meio da instalação de elementos lineares passivos, semirrígidos e capazes de suportar esforços de flexão composta, conhecidos como grampos. Esses grampos podem ser constituídos por barras ou tubos de aço, ou ainda por materiais sintéticos, sendo instalados horizontal ou inclinadamente no talude para resistirem às forças de tração e cisalhamento (Ortigão, 2007).

De acordo com Silva (2006) funcionamento do solo grampeado se baseia na ideia de que o solo atrás da encosta pode ser dividido em duas áreas distintas. A primeira área, que fica mais perto da superfície do talude, é chamada de zona ativa. Essa zona é delimitada por uma linha imaginária onde o solo potencialmente se romperia. A segunda área é a zona passiva. É nesta segunda zona, mais estável, que os grampos de solo devem ser instalados para garantir a estabilidade. O funcionamento de um solo grampeado é simplificado através da Figura 6, que representa o sentido das forças atuantes de resistência e sollicitação.

Figura 6 – Funcionamento do solo grampeado genericamente.



Fonte: Silva (2006)

O revestimento de taludes reforçados com grampos de solo, que serve para proteger da erosão, estabilizar a superfície e ancorar os grampos, costumava ser feito principalmente com concreto projetado. No entanto, por questões ambientais e econômicas ligadas ao alto consumo de cimento, novas soluções estão surgindo (Souza, 2022). Uma alternativa promissora é o uso de *pads* de concreto, que são pequenas faixas de concreto projetado aplicadas apenas no topo dos grampos para ancorá-los na face do talude. O restante da superfície é coberto por vegetação, tornando o processo mais ágil e econômico, além de ser mais sustentável).

#### **d. Solo reforçado**

Trata-se de uma técnica de reforço do solo através na introdução de camadas de geossintéticos (geotêxteis, geogrelhas ou fitas metálicas) no maciço de aterro, conferindo resistência à tração ao solo (Benjamin, 2006 *apud* Vervloet e Puppín, 2022). Normalmente, o paramento do aterro é protegido com alvenaria ou placas de concreto.

De acordo com Vervloet e Puppín, 2022, a engenharia geotécnica encontrou nos elementos de reforço uma solução eficaz e atrativa para construir estruturas de contenção. Isso permitiu o desenvolvimento de vários tipos de contenções que aproveitam o solo local, tornando-o um material de engenharia viável. A Figura 7 demonstra de maneira esquemática o funcionamento do solo reforçado, demonstrando a atuação dos geossintéticos com e sem o reforço do paramento vertical.

Figura 7 – Ilustração esquemática demonstrando o funcionamento do solo reforçado de maneira genérica – com paramento e sem paramento.



Fonte: Huesker (2025).

#### **e. Cortina atirantada**

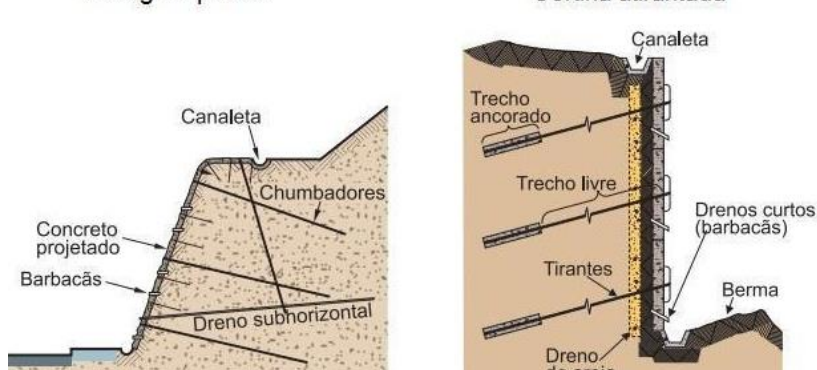
A cortina atirantada é uma estrutura vertical usada em taludes e escavações para conter a pressão do solo e evitar instabilidades. Considerada uma obra de infraestrutura, é muito comum em obras rodoviárias e na construção de subsolos de edifícios (AECweb, 2023). O elemento é composto por painéis que são empurrados contra o solo por meio de tirantes. Esses tirantes são instalados na horizontal, passando pelos painéis e se ancorando em uma espécie de "bulbo" de calda de cimento, que fica dentro do solo. Depois de instalados, os tirantes são esticados (protendidos) para que os painéis atinjam a rigidez, estabilidade e contenham a encosta.

Ritter e Morgado (2017) aferem que cortinas atirantadas surgem como uma solução eficiente para superar limitações em projetos de contenção. Elas são amplamente utilizadas em desníveis superiores a 5 metros ou quando não há espaço suficiente para a fundação de um muro. Além disso, são ideais para cortes em terrenos com alta carga ou para conter aterros de solos com baixa resistência. As cortinas atirantadas possuem maior vida útil e apresenta-se como o método mais seguro, usualmente não exigem fundações cravadas em seu inferior.

O Manual da GeoRio (2014) menciona que as cortinas consistem em estruturas de concreto armado, normalmente com espessura variando entre 20 e 30 centímetros, que são fixadas em profundidade por meio de elementos metálicos chamados tirantes, inseridos no talude. Esses tirantes têm a função de resistir a esforços de tração e transferi-los para o solo.

Após a perfuração do talude e a colocação dos tirantes, é realizada a injeção de uma calda de cimento sob pressão no interior do furo. Esse processo forma um bulbo que fixa o tirante na parte mais estável do maciço. Com a cura da calda de cimento, os tirantes são então protendidos e conectados à estrutura de concreto, gerando uma força oposta à movimentação do talude. A carga sustentada pelo tirante é transferida ao maciço por meio do bulbo de ancoragem, o que aumenta a tensão efetiva perpendicular à base da superfície potencial de ruptura e, consequentemente, eleva a resistência ao cisalhamento do solo. A Figura 8 descreve de maneira comparativa os principais elementos da cortina atirantada, em relação ao solo grampeado.

Figura 8 – Comparativo entre solo grampeado e cortina atirantada.



Fonte: Talus Engenharia (2021).

A parte do tirante que permanece exposta fora do solo, normalmente protegida por uma capa de concreto, é denominada cabeça do tirante. A porção situada entre essa cabeça e o bulbo de ancoragem é conhecida como trecho livre. Nesse segmento, a barra de aço não está aderida à calda de cimento e costuma ser revestida com graxa. De acordo com a NBR 5629 (Brasil, 2018), esse trecho deve ter, no mínimo, 3 metros de comprimento.

#### 2.3.4.4. Sistemas de drenagens

##### a. Sistema de drenagem superficial

Conforme Santana (2006) *apud* Cavalcanti (2017), a construção de sistemas de drenagem superficial visa aumentar a estabilidade do solo, levando em conta não apenas a área imediata,

mas toda a bacia hidrográfica. Para as regiões de morro, é crucial que o planejamento desses sistemas seja feito para a microbacia específica, prevenindo inundações durante chuvas fortes. A drenagem da água ocorre tanto por meio dos cursos d'água naturais quanto por uma estrutura formal, que precisa seguir o relevo do terreno para garantir o escoamento eficiente da água.

Obras de drenagem e proteção superficial devem ser consideradas prioridades em projetos de estabilização. A correta execução da drenagem superficial é o pilar na contenção de problemas gerais de instabilização. A falta destes sistemas atuando de forma eficiente danificam estruturas e feições geotécnicas (Augusto Filho e Virgili, 1998 *apud* Cavalcanti, 2017).

O IPT-SP, *apud* Bandeira et al. (2003) descreve que intervenções de drenagem superficial podem englobar determinados elementos em projeto, sendo definidos:

- Sistema de drenagem superficial, como canaletas, caixas de passagem, escadas hidráulicas, dentre outros;
- Proteção superficial com material vegetal em regiões expostas;
- Acessos para pedestres associados ao sistema de drenagem;
- Proteção vegetal de margens de canais de drenagem;
- Desmonte de matacões e blocos de rocha, serviços ligados à uso de equipamentos e/ou serviços manuais.

A Figura 9 representa uma condição típica da combinação de sistemas de proteção e drenagem superficial em uma encosta.

Figura 9 – Combinação de proteção superficial com gramíneas e condutores de águas pluviais em um talude.



Fonte: Geoestável (acessado em 23 de julho de 2025)



### **b. Sistema de drenagem de estruturas de contenção**

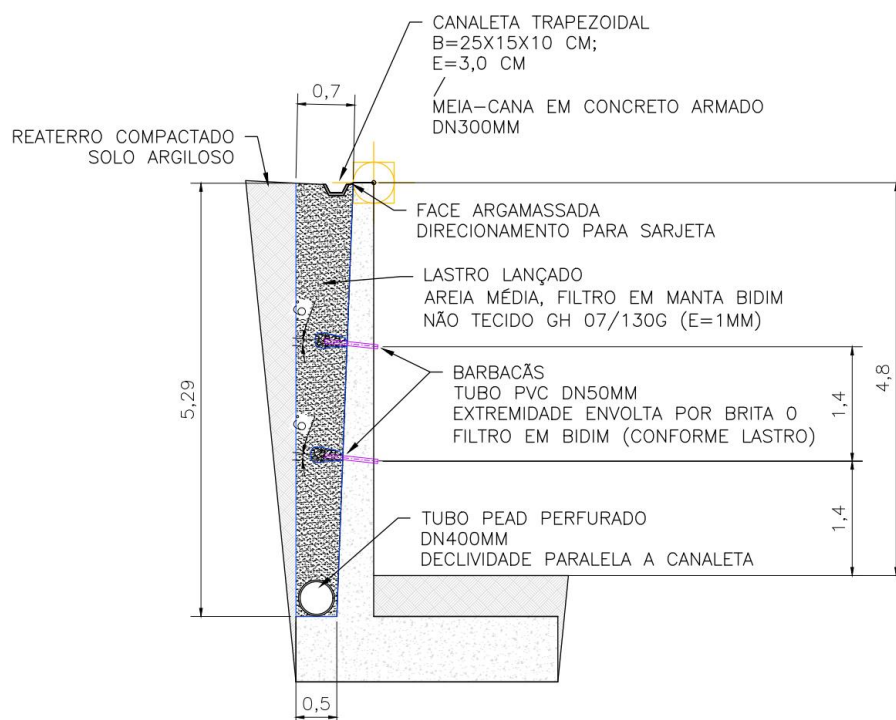
Bandeira et al. (2003) informam que rupturas em estruturas de arrimo e contenções frequentemente estão associadas a falha de sistemas de drenagem internos ou inexistência. Os empuxos ativos são significativamente incrementados em função da saturação do material de reaterro ou envolvido no tardoz. O objetivo da drenagem interna é reduzir a poropressão e, por sua vez, a resultante do empuxo.

Em geral podem ser destacados drenos subterrâneos e deságues. Os drenos subterrâneos servem para controlar as pressões da água no interior do maciço, rebaixando o nível piezométrico e o gradiente hidráulico, reduzindo o regime do fluxo à condição de regime permanente (Bandeira et al., 2003). Normalmente inseridos em material granular com maior permeabilidade, dentro de valas, são conduzidos por tubulações (usualmente perfuradas) envoltos em material filtrante para separação de finos. O deságue pode ser feito em caixas coletores, ou saídas d'água diversas. (Bandeira et al., 2003) também indicam que os sistemas podem atuar com a utilização de barbacãs, que são drenos feitos na face das estruturas. Normalmente em envolvidos em tela de nylon ou material geotêxtil, com diâmetro normalmente até 75 mm. O tubo deve se estabelecer em uma inclinação média de 5° que permite o fluxo d'água do interior do maciço para a face externa do muro.

O Departamento de Estradas e Rodagem de São Paulo (2006), menciona diretrizes relacionadas a gabiões. Destaca-se dentro do contexto da drenagem interna de contenções, que tais estruturas normalmente não trabalha com estruturas complementares de drenagem, como barbacãs e drenos subterrâneos. O alto índice de vazios presente entre pedras de mão, permite que ocorra o escoamento de águas no seu interior. Tal efeito só se validará com a correta instalação de material geotêxtil na região do reaterro (DER-SP, 2006), realizando o filtro e impedimento da transição dos materiais finos para dentro do muro.

A Figura 10 exemplifica a condição de um muro projeto, contendo um conjunto de drenos: superficial e internos.

Figura 10 – Apresentação de projeto de drenagem interna para muro de contenção de flexão.



Fonte: Autor (2025).

### c. Sistema de drenagem profunda

A drenagem profunda é uma técnica empregada para melhorar a estabilidade de maciços de solo. Ela atua reduzindo as pressões neutras internas, o que, por sua vez, aumenta a resistência do solo ao cisalhamento e controla o fluxo da água subterrânea. Essencialmente, a drenagem profunda envolve o rebaixamento do lençol freático para um nível abaixo da base da massa de solo que precisa ser estabilizada. Para alcançar esse rebaixamento, são instalados sistemas de drenagem (como poços, galerias, trincheiras ou drenos) abaixo do nível desejado, permitindo que a água do solo escoe para esses coletores e seja removida por gravidade, bombeamento ou outros métodos apropriados (Terzaghi e Peck, 1967 *apud* Cavalcanti, 2017)

Drenos profundos são geralmente instalados em profundidades de 1,50 a 2,00 metros com o objetivo principal de captar e aliviar o lençol freático, protegendo assim a estrutura da estrada. Sua instalação é recomendada em trechos de corte, em terrenos planos onde o lençol freático esteja próximo ao subleito, e também em áreas que podem ficar saturadas perto da base de taludes (DNIT, 2006).

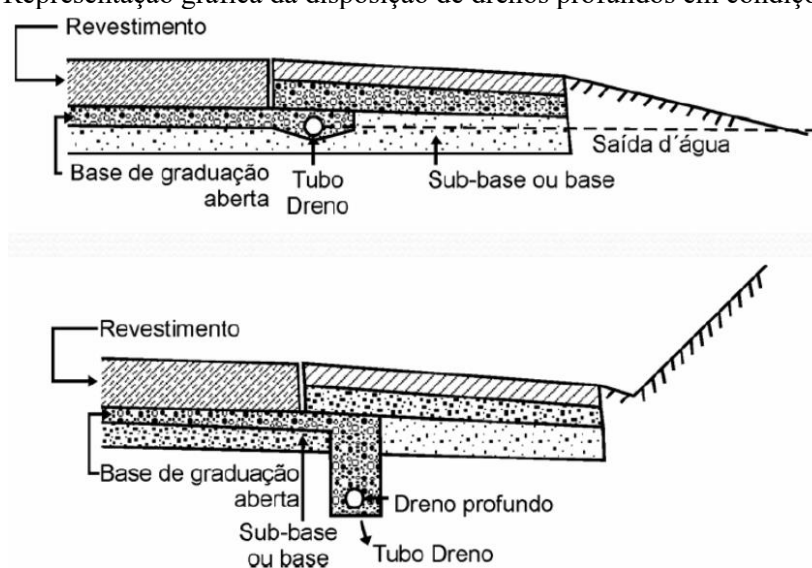


Conforme instrução técnica do Manual de drenagem de rodovias (DNIT, 2006), aplicável também genericamente a drenagem de encostas, os materiais lançados nas valas diferenciam-se em 3 (três) categorias:

- Materiais filtrantes: areia, agregados britatos, geotêxtil, dentre outros;
- Materiais drenantes: britas, cascalho grosso lavado, etc.
- Materiais condutores: tubulações em concreto, de forma geral, cerâmicos, de fibrocimento, plásticos (inclusive poliméricos) e metálicos.

Os elementos de tubulação, quando instalados, devem permitir a entrada da água sendo perfurados ou compostos por material com porosidade suficiente não impermeabilizante. A separação entre os diferentes materiais é feita com geotêxtil que impedem a passagem de finos entre as fases. Conforme o DNIT (2006), os drenos podem ser chamados de “drenos cegos” quando não há colocação de tubulações em seu interior. A Figura 11 apresenta a comparação entre drenos profundos instalados em faixas de aterro e faixas de corte de taludes.

Figura 11 – Representação gráfica da disposição de drenos profundos em condições diferentes.



Fonte: (MELO, [S.d.])

## 2.4. GERENCIAMENTO DE DESASTRES E RISCOS

Desastres ambientais são eventos catastróficos que resultam de fenômenos naturais intensos, cujos impactos negativos podem ser agravados pela interferência humana. A convivência da humanidade com esses eventos é uma constante desde os primórdios, pois fenômenos como tempestades severas de longa recorrência, erupções vulcânicas, terremotos, avalanches,

períodos de estiagem e deslizamentos de terra sempre ocorreram e continuarão a ocorrer nas regiões suscetíveis à sua manifestação (Alves, 2017 *apud* Tanus, 2018).

A definição de risco é discutido e cabe diferentes entendimentos dentro de cada contexto. A imprecisão do acerca do termo “risco” indica perigo potencial ou a percepção desse perigo (Veyret, 2007 *apud* Cavalcante, 2013); como também a noções de incerteza, exposição ao perigo, prejuízos ou perdas materiais e humanos – estando associado à processos naturais e antropomórficos (Almeira, 2010 *apud* Cavalcante, 2013).

De acordo com Turner et al. (2003) *apud* Rabello (2022), os riscos em desastres se desenvolvem em torno dos conceitos de vulnerabilidade e resiliência. A vulnerabilidade descreve quão preparado um sistema ou comunidade está para enfrentar e se recuperar de um desastre, seja ele causado pela natureza ou por outros fatores. Quando um desastre acontece, ele expõe as fragilidades existentes, que muitas vezes têm raízes em questões sociais, políticas, econômicas ou ambientais. Em outras palavras, a vulnerabilidade é a facilidade com que algo ou alguém pode ser afetado por um evento adverso. Desastres funcionam como um raio-X, revelando as fraquezas ocultas de uma sociedade, que podem estar ligadas à forma como as pessoas vivem, são governadas, produzem riqueza ou interagem com o meio ambiente (Damacena, 2012).

A capacidade adaptativa de um sistema, seja ele uma comunidade ou uma região, é a sua resiliência. Isso significa o quão bem ele consegue lidar com os desafios e se recuperar de desastres. Ao analisar essa capacidade, observamos tanto os impactos e perdas (como vidas, produção econômica e solo) quanto os ajustes e adaptações que são feitos (como a criação de novas políticas e estratégias para enfrentar futuros desastres) (Rabello, 2022).

É crucial que as fases de resposta imediata a emergências, compensação de perdas e a reconstrução (ou mesmo o deslocamento de pessoas) sejam sempre guiadas por uma abordagem preventiva. O objetivo é nos preparar melhor para futuras catástrofes e suas consequências. Para isso, a prevenção e mitigação de desastres envolvem a avaliação e gestão de riscos e vulnerabilidades, conforme apontado por Ceron (2020) *apud* Rabello (2022).

Em resumo, a capacidade de se adaptar é sobre aprender com o que aconteceu e se fortalecer para o futuro. Isso inclui desde a análise do que foi perdido até a implementação de novas medidas e o planejamento para evitar que os mesmos problemas se repitam.

A gestão, ou gerenciamento, de riscos é um processo que busca identificar e entender as diferentes ameaças que podem causar problemas, sejam elas frequentes, intensas ou de grande escala. Para isso, são realizadas intervenções que permitem modificar as condições de risco. Em outras palavras, a gestão de riscos é um conjunto de ações, estratégias e ferramentas usadas para interferir nas condições de vulnerabilidade (ou seja, o quão suscetível algo é a um impacto) e/ou para agir diretamente sobre as ameaças (Sarmiento, 2008). O objetivo final é reduzir ou amenizar os riscos existentes, tornando a comunidade ou sistema mais seguro e preparado.

Diversos pesquisadores, como Ross (2006), já destacaram a importância de considerar as dinâmicas das geociências ao planejar o uso e a ocupação do solo em diferentes níveis. Complementando essa ideia, Trombeta et al. (2014) sugerem que, para que o planejamento ambiental possa realmente incluir a análise de vulnerabilidade, é fundamental um estudo integrado de seus diversos componentes. Isso permite que os órgãos públicos definam áreas prioritárias para a gestão.

Tratando-se especificamente de risco geotécnico relacionado deslizamentos (*Landslide Risk Managment*), 3 (três) grandes etapas são determinadas, conforme menção de Fell & Hartford (1997) e Fell et al. (2005) *apud* Bandeira, Coutinho e Alheiros (2010).

- a. Análise do risco (*Risk Analysis*);
- b. Avaliação do risco (*Risk Assessment*);
- c. Gerenciamento do risco (*Risk Management*).

De modo geral, a análise de risco é um processo que abrange a análise do perigo e a avaliação das consequências. A análise do perigo, por sua vez, foca em descrever o evento perigoso, incluindo sua frequência de ocorrência (a probabilidade anual). Para caracterizar esse processo, recomenda-se seguir a classificação de Cruden & Varnes (1996), que considera o tipo de movimento, a área afetada, a velocidade, o mecanismo, a localização e a distância percorrida.

Já a análise das consequências envolve a identificação e quantificação do que está em risco (como bens e pessoas), a probabilidade de que sejam atingidos em um determinado tempo e espaço, sua vulnerabilidade (ou seja, a probabilidade condicional de danos a propriedades ou de perdas de vidas/feridos) (Bandeira et al. 2010).

De acordo com Bandeira et al. (2010), a etapa de avaliação do risco então pega essa análise de risco e a julga com base em critérios de aceitabilidade. Finalmente, a gestão dos riscos entra em

cena, utilizando a avaliação anterior para reduzir o risco a um nível aceitável. Isso é feito diminuindo a probabilidade de acidentes e suas consequências, por exemplo, através do desenvolvimento de sistemas de monitoramento, alertas e planos de evacuação.

#### **2.4.1. Sistemas e métodos de monitoramento geotécnico**

Um programa, ou sistema, eficaz para monitorar uma estrutura geotécnica depende intrinsecamente da consideração das especificidades de seu projeto, construção e operação. Isso dita a escolha e a quantidade dos instrumentos, a periodicidade das medições e os parâmetros que serão acompanhados. Além disso, a capacidade de adaptação é crucial: o programa deve ser atualizado prontamente caso surjam condições inesperadas que exijam mais instrumentação, ou quando os critérios de controle e os planos de emergência forem revisados (Souza et al., 2023).

Souza et al. mencionam também que outros aspectos são importantes para a efetividade do monitoramento, como a instalação adequada (quando utilizada instrumentação), calibração e manutenções periódicas dos equipamentos. Cabe também a verificação quanto à qualidade e confiabilidade dos dados. Os autores também mencionam que o alto volume de dados gera desafios relacionados a aquisição, gestão e armazenamento. Contudo, cabe uma equipe com capacidade técnica significativa para análise de dados e tomada de decisões.

##### **2.4.1.1. Monitoramento e instrumentação**

De acordo com Acevedo (2013), um dos motivos centrais para a realização de instrumentações geotécnicas é a capacidade de coletar informações. Esses dados são cruciais para auxiliar os engenheiros a tomar decisões bem fundamentadas em todas as fases de um projeto. No entanto, o uso da instrumentação geotécnica vai muito além de simplesmente escolher os equipamentos. Trata-se de um processo de engenharia detalhado e faseado, que se inicia com a clara definição de um objetivo e culmina na aplicação prática dos dados coletados. Cada etapa desse processo é vital para o sucesso ou fracasso do programa como um todo. Dunnicliff (1988) destaca que esses processos de engenharia dependem da combinação da capacidade dos instrumentos e da habilidade dos profissionais em analisar as informações.

O monitoramento de estruturas geotécnicas e taludes compreendem, além da utilização de equipamentos e instrumentos físicos, inspeções visuais. As inspeções visuais são uma ferramenta essencial no controle e na prática da engenharia, desempenhando um papel crucial

na manutenção e preservação de obras. Conforme destaca Silva (2021), essa técnica visa identificar sinais visíveis de risco ou alterações que ocorrem em maciços rochosos ou terrosos, sendo geralmente conduzida pelo responsável técnico do projeto. Sua importância é ainda maior, especialmente quando realizadas no início do estudo, na fase de exploração, pois permitem detectar deteriorações que, no futuro, poderiam comprometer a segurança e a funcionalidade da estrutura (Gomes, 2002 *apud* Silva, 2021).

A metodologia definida por Pinto (2006) segue os seguintes critérios:

- **Variação da inspeção:** O tipo de inspeção a ser realizada pode mudar, abrangendo desde verificações de rotina até análises mais especializadas ou emergenciais, conforme a etapa da vida útil da obra/estrutura, sua relevância ou a ocorrência de eventos incomuns;
- **Frequência das verificações:** A regularidade com que as inspeções são realizadas;
- **Competência do inspetor:** A qualificação técnica da equipe responsável pela inspeção, que deve ser capaz de converter os indícios observados em relatórios claros e úteis;
- **Inspeções pós-evento crítico:** É mandatório realizar inspeções após a ocorrência de eventos excepcionais, como deslizamentos, grandes inundações ou terremotos;
- **Foco na detecção de problemas:** A inspeção se concentrará nos pontos cruciais das estruturas, com o objetivo de identificar deteriorações ou sinais de desgaste pelo tempo;
- **Gerenciamento de dados:** O processamento adequado dos dados coletados durante a observação e a sua correta comunicação.

Além dos métodos visuais, as ferramentas de instrumentação desempenham um papel crucial em estruturas geotécnicas. Elas envolvem a instalação de equipamentos em estruturas de apoio, taludes e construções subterrâneas. Com isso, os dados coletados são analisados para verificar o desempenho da estrutura e, também, para comparar os resultados com o que foi previsto no modelo teórico durante a fase de projeto, validando assim as suposições iniciais (Carvalho et al, 1991 *apud* Silva, 2021).

Conforme explicado por Dunnicliff (2001), a prática da engenharia de instrumentação geotécnica é uma combinação da capacidade de medição do equipamento (o instrumento) e da técnica utilizada para realizar a medição.

Essa área da engenharia instrumental se divide em duas vertentes. A primeira foca na determinação in loco das características do solo ou das rochas, como sua resistência, capacidade de compressão e permeabilidade. Essa etapa é tipicamente realizada nas fases de exploração e execução do projeto (Silva, 2021).

A segunda vertente está ligada ao monitoramento e à avaliação do desempenho das estruturas, medindo aspectos como pressões da água, tensões totais, cargas de deformações e de tensões. Essa aplicação é mais comum nas fases de construção e operação das estruturas (Dunnicliff, 2001).

Dada a importância da instrumentação como suporte fundamental para o monitoramento, seus objetivos e critérios seguem os mesmos princípios. Portanto, a instrumentação deve ser vista como uma das melhores ferramentas para aprimorar os modelos de cálculo e de dimensionamento. No entanto, é crucial lembrar que ela nunca deve substituir um projeto bem elaborado (Ralph Peck, 1973).

A instrumentação relacionada neste estudo envolve em sua maior parte a segunda vertente indicada por Dunnicliff (2001) – que avaliam desempenho e o monitoramento das estruturas geotécnicas.

#### **a. Inclínômetros**

O inclinômetro é um equipamento utilizado para medir movimentos tanto na vertical quanto na horizontal. Na geotecnia, ele é composto por um tubo guia (chamado calha inclinométrica) que é instalado no solo ou em uma estrutura, um torpedo que se move dentro desse tubo e uma unidade para ler os dados (Silva, 2021).

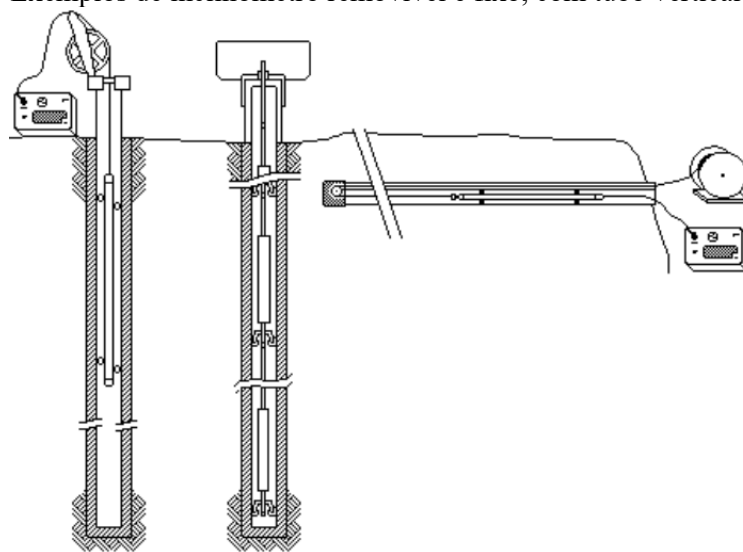
De acordo com Dunnicliff (1988), as características mais importantes do inclinômetro são seus sensores. Eles conseguem detectar mudanças no ângulo do tubo guia em relação à sua posição vertical e dividir a profundidade em segmentos retos, cuja medida é definida pela distância entre os pontos de referência internos do aparelho.

Silva (2021) diz que as sondas do inclinômetro são responsáveis por medir os deslocamentos que ocorrem em planos perpendiculares, permitindo o cálculo tanto da direção quanto da intensidade desses movimentos. Para garantir a precisão das medições, a extremidade do tubo inclinométrico precisa estar em um ponto estável. Por essa razão, esses instrumentos são

geralmente instalados fora da área onde o terreno está sujeito a deslocamentos. Dada a importância da instrumentação como suporte fundamental para o monitoramento, seus objetivos

O Laboratório e Geotecnia da Universidade Federal da Bahia define um modelo de inclinômetro que pode diferenciar-se de duas maneiras: removível ou fixo, conforme a Figura 12. O inclinômetro é basicamente uma haste cilíndrica que possui um sensor de inclinação interno, além de duas ou quatro rodas em suas laterais. Essas rodas se encaixam em sulcos específicos dentro de um tubo flexível que é enterrado no solo, garantindo que o sensor siga a trajetória desse tubo. A inclinação do tubo é então medida em intervalos regulares, e a partir desses ângulos, é possível calcular o deslocamento de cada parte do tubo. Geralmente, esse tubo é inserido em um furo de sondagem, e as medições de deslocamento são realizadas periodicamente para acompanhar os movimentos do solo ao longo do tempo.

Figura 12 - Exemplos de inclinômetro removível e fixo, com tubo vertical e horizontal.



Fonte: Naresi Engenharia (acesso em 02 de agosto de 2025).

No modelo fixo, vários sensores são instalados permanentemente ao longo do tubo, geralmente com um espaçamento de um a quatro metros. Essa opção é preferível para locais onde o acesso ao tubo é complicado. Já no modelo removível, um único sensor é inserido no tubo até sua extremidade e, à medida que é retirado, a inclinação do tubo é registrada em intervalos que correspondem ao comprimento do próprio inclinômetro. Esta última modalidade é a mais comum devido ao seu custo mais acessível em comparação com a versão fixa. É importante notar que os ensaios com inclinômetros podem ser realizados tanto com o tubo enterrado na vertical quanto na horizontal.

## b. Piezômetros

De acordo com Silva (2021), a garantia da segurança em estruturas geotécnicas é alcançada através da supervisão e do monitoramento contínuo das condições. Para isso, deve-se observar e compreender as poropressões – ou seja, as pressões da água nos poros do solo ou da rocha – tanto nos pontos onde há contenções construídas como também em taludes naturais ou executados.

A instrumentação dessas poropressões proporciona a caracterização das condições de drenagem que foram utilizadas além da eficiência do dispositivo de impermeabilização, medindo a evolução das pressões que se desenvolve dentro do maciço exercida pelo fluido (água) no interior dos poros do solo ou rocha (Fonseca, 2003).

Conforme Rocha (2014) *apud* Silva (2021) aponta, os piezômetros são os instrumentos padrão para medir a pressão hidrostática e o nível da água subterrânea em projetos geotécnicos.

Este equipamento possibilita o acompanhamento da posição do nível da água e suas mudanças ao longo do tempo, o que é valioso para:

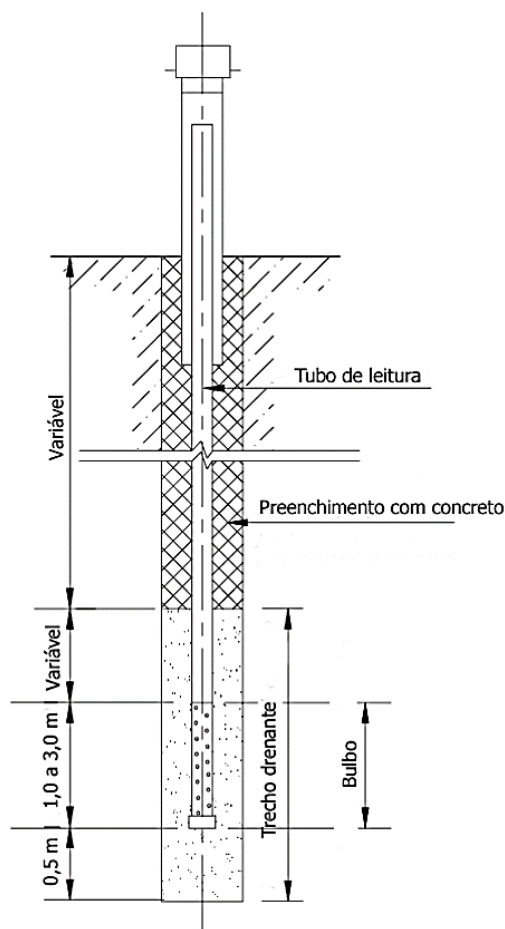
- Confirmar a estabilidade de taludes;
- Monitoramento em áreas sujeitas a altas pressões;
- Realizar o controle em áreas de aterros.

Existem principalmente duas categorias de piezômetros: os piezômetros de tubo ascendente, também conhecidos como piezômetros de Casagrande, e os piezômetros com diafragmas, que incluem os piezômetros de corda vibrante, o piezômetro pneumático e o piezômetro *strain-gauge* (Rocha, 2014 *apud* Silva, 2021).

De acordo com Torres (2010), o piezômetro de Casagrande (ou *standpipe*) é o mais empregado por sua simplicidade e pela confiabilidade dos resultados que gera. O piezômetro de Casagrande consiste em um tubo de PVC perfurado, inserido em um furo de sondagem e envolto por uma manta geotêxtil – de acordo com a Figura 13. Após a instalação, o furo é preenchido com um material drenante, geralmente areia (Oliveira et al., 2019).



Figura 13 – Representação esquemática do funcionamento do piezômetro de Casagrande.



Fonte: ITAIPU (2004).

No piezômetro pneumático, a pressão da água empurra uma membrana, que por sua vez comprime um gás. Ao ler, conecta-se um indicador. Quando a pressão do gás supera a da água, ele vaza. O instrumento detecta esse vazamento, corta o gás, e a pressão do gás cai até equilibrar a da água. Nesse ponto, a pressão do gás medida indica indiretamente a poropressão (Sestrem, 2012).

Os piezômetros hidráulicos, segundo Gaioto (2003), usam uma célula porosa conectada a dois tubos e um leitor. Funcionam como os pneumáticos, mas transmitem a pressão da água por um fluido líquido. A poropressão da estrutura é levada pelos tubos até manômetros para leitura direta no local.

Segundo Fonseca (2003), os piezômetros elétricos são dispositivos que contam com um diafragma de aço inoxidável, ao qual estão fixados sensores chamados extensômetros de resistência elétrica. Quando esse diafragma se deforma, ocorre uma mudança na resistência

elétrica dos extensômetros, o que, por sua vez, altera o sinal elétrico gerado. Esse sinal elétrico resultante é diretamente proporcional à poropressão (pressão da água nos poros) presente dentro da feição geotécnica. Uma unidade de leitura, então, capta esse sinal elétrico e o converte para indicar o valor da pressão interna da barragem.

### **c. Extensômetros**

Ao contrário dos inclinômetros, os extensômetros fornecem dados diretamente relacionados ao comprimento de um ponto específico que está sendo monitorado. Eles são empregados quando o objetivo é medir os deslocamentos relativos entre dois pontos predefinidos, que podem estar localizados em furos de sondagem ou em aterros (Silva, 2021).

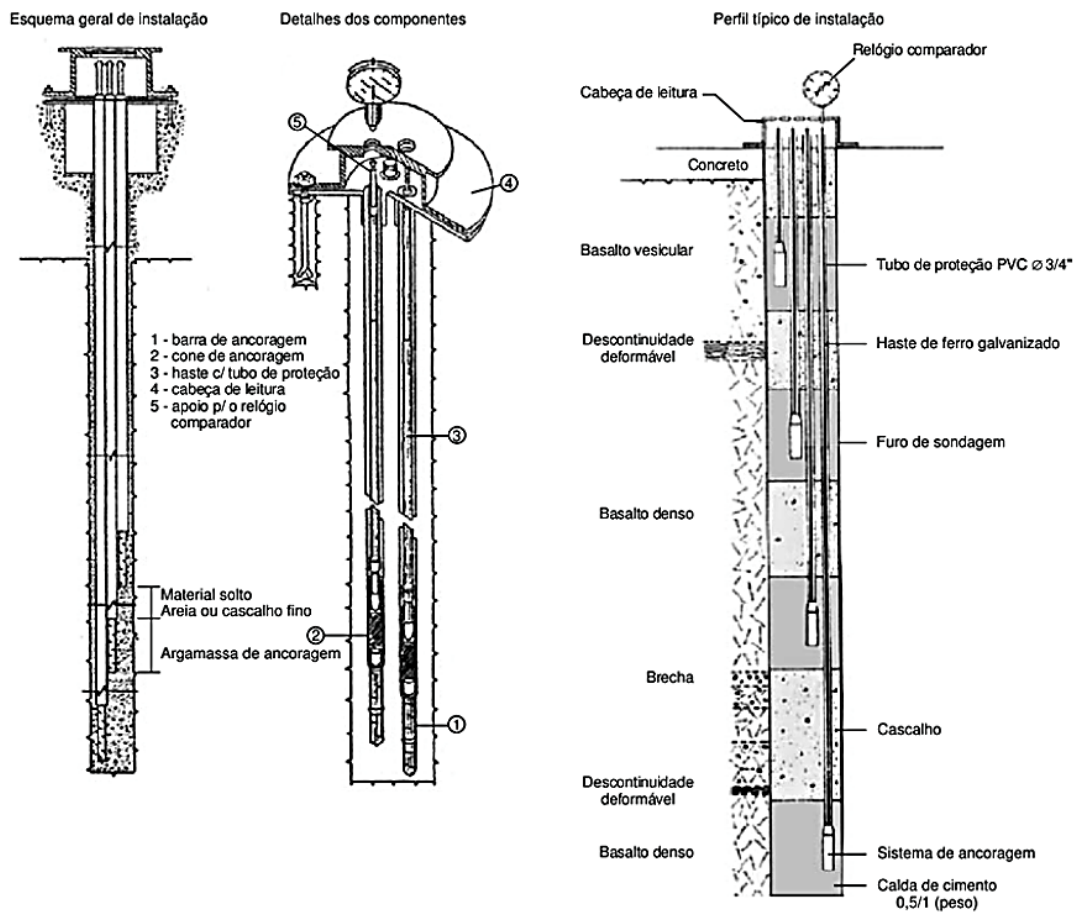
De acordo com Silva (2021), esses equipamentos são frequentemente utilizados em áreas onde se espera que o solo sofra movimentos diferenciais em pontos já identificados. Tais locais são tipicamente encontrados em zonas de transição entre materiais com diferentes capacidades de deformação, como é comum em aterros ou solos naturais, e também em regiões próximas a cortinas de aterro, entre outros.

Rocha (2014) afirma que o principal propósito do extensômetro é coletar informações sobre quaisquer deslocamentos verticais que possam ocorrer na área onde estão instalados. Os dois tipos mais comuns de extensômetros em uso são os de sonda e os de haste. De acordo com o autor, o monitoramento pode ser aplicado nos seguintes contextos de interesse:

- Deslocamentos verticais em regiões escavadas, fundações e aterros;
- Zonas de transição em obras de arte especial.

A Figura 14 exemplifica o funcionamento típico do extensômetro de haste.

Figura 14 – Exemplificação de extensômetro múltiplo de haste.



Fonte: Matos (2002) apud Silva Neto (2010).

Os extensômetros de sonda, que englobam modelos como os magnéticos e os de corda vibrante (Figura 15), são comumente empregados em solos. Sua principal vantagem é a habilidade de suportar e medir grandes deformações que ocorrem nesses materiais.

Figura 15 – Exemplo da aplicação de extensômetro tipo corda vibrante em geogrelha.



Fonte: FG Moretti (2025).

#### **d. Células de carga**

Silva (2021) menciona que células de carga são equipamentos comumente empregados em estruturas que utilizam ancoragens ou outros sistemas de contenção reforçados. Seu propósito principal é monitorar as forças (cargas) atuantes nos elementos de reforço, como os cordões de pregagens (atirantamentos), tanto durante a fase de controle de qualidade da obra quanto ao longo de toda a sua vida útil.

É de conhecimento também o uso do macaco hidráulico para aferimento dos esforços resistentes, porém depender apenas de um macaco hidráulico para realizar testes em estruturas pode levar a erros consideráveis. Mesmo com aferições (calibrações) do equipamento, é fácil que a margem de erro na carga aplicada chegue a 20% (Silva, 2021).

Esses desvios ocorrem porque o desalinhamento da carga gera uma força lateral no pistão, o que eleva significativamente o atrito. Para resolver essa questão, são empregadas células de carga, que monitoram e controlam a aplicação da carga durante todo o procedimento (Torres, 2010).

#### **e. Placas de recalque**

As placas de recalque normalmente são feitas de uma chapa retangular à qual se prende uma haste de metal, protegida por um tubo de PVC (Figura 16). Essa placa é colocada na superfície da camada de solo inferior onde se quer medir os assentamentos. À medida que o aterro vai sendo construído e elevado, novos segmentos do tubo são adicionados para que ele permaneça

visível. Esses tubos costumam ter um metro de comprimento, e é útil usar cores alternadas para ajudar a identificar a altura do aterro. Os recalques são então determinados usando métodos topográficos, observando a mudança de nível do topo do tubo (Bouch, 2017).

Bouch (2017) complementa que os marcos metálicos superficiais são instalados na cota máxima do aterro, semelhante ao modelo da Figura 17. Os elementos possuem uma forma geométrica semelhante a um pino que serve como uma mira, permitindo que os recalques sejam lidos também através de instrumentos topográficos, como teodolitos, estação total ou nível.

Figura 16 – Ponto de partida da placa de recalque



Fonte: Teixeira (2012) apud Bouch (2017).

Figura 17 – Marco superficial metálico.



Fonte: Meksol (2025).

#### **f. Monitoramento topográfico**

O monitoramento topográfico de estruturas geotécnicas (contenções e taludes) pode ser realizado de formas diversas.

Queiroz (2024) estabelece que podem ser utilizados equipamentos de estação total em todas estruturas, para monitoramento topográfico preciso – conferindo coordenadas, distâncias e ângulos. O objetivo de tal verificação é a detecção de deformações e modificações de estruturas, serve também como auxílio no monitoramento de estruturas de sustentação.

Para efetuar as medições, o topógrafo deve iniciar o processo a partir de um ponto de referência estabelecido (como um marco de nivelamento ou *benchmark*), para então proceder com as observações nos demais pontos de interesse (Silva, 2021).

Os elementos a serem observados na topografia são pinos de bronze com 100 mm de comprimento e 16 mm de diâmetro. Eles são fixados diretamente em estruturas de contenção,

aterros, túneis e em construções próximas à obra, o que permite registrar deslocamentos na vertical ou em pontos específicos (Rocha, 2014).

A coleta de dados nesses pontos é feita de forma automatizada, empregando uma estação total. Embora seja possível medir deformações com equipamentos GPS que se comunicam via satélite, esses aparelhos, no entanto, ainda não oferecem leituras com a precisão necessária (Sousa, 2001).

A concepção e as dimensões dos marcos geodésicos seguem as diretrizes estabelecidas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) na sua Norma de Serviço nº 001/2008, datada de 1º de setembro de 2008, que trata da Padronização de Marcos Geodésicos. Conforme essa norma, os marcos são construídos em formato de tronco de pirâmide, apresentando 18 cm x 18 cm no topo, 30 cm x 30 cm na base e uma altura de 40 cm. No topo de cada marco, uma placa metálica é fixada para identificar o ponto. A ilustração na Figura 18 demonstra um exemplo de marco com outras especificações, que estão sujeitas a variação de acordo com mercado ou exigência.

Figura 18 – Modelo típico de marco topográfico pré-moldado disponível no mercado.



Fonte: Irmãos Oliveira (2025).



Em outras palavras, esse método consiste em instalar pontos de controle topográficos em locais estratégicos, distantes da área direta de influência da obra. A intenção é que esses pontos permaneçam inalterados por um longo período, servindo como referências fixas (ou *benchmarks*). A partir dessas referências, as demais observações podem ser realizadas, possibilitando a determinação das deformações verticais (cota ou elevação, representadas pelo eixo Z) de cada um dos outros pontos monitorados (Torres, 2010 apud Silva, 2021).

Silva (2021) também estabelece um modelo de ancoragem de marcos topográficos, para garantir a precisão e a estabilidade das medições, as marcas de referência são firmemente fixadas em locais que não sofrem movimentação. Para isso, é instalado um tubo de revestimento, que pode ser de PVC ou ferro galvanizado, com um diâmetro aproximado de 50 mm. Esse tubo é inserido a grandes profundidades, geralmente atingindo 30 metros, para assegurar que as marcas permaneçam inalteradas.

#### **g. Fissurômetros**

É comum que estruturas de engenharia desenvolvam trincas ou rachaduras com o tempo. Isso ocorre devido a fatores como o recalque do solo de fundação, mudanças de temperatura ou até mesmo a influência de construções próximas (Silva, 2021). Essas fissuras indicam o comportamento da estrutura e são monitoradas para acompanhar a variação de sua abertura ao longo do tempo.

Para essa medição, utiliza-se um aparelho chamado fissurômetro. Esse instrumento serve para quantificar os movimentos em um ponto específico de uma trinca ou rachadura, seja em estruturas de concreto ou rocha. Os tipos mais comuns de fissurômetros são o *tell-tale* e o *crackmeter* (que pode usar a tecnologia de corda vibrante). A Figura 19 apresenta um modelo comercial de fissurômetro tipo *tell-tale*, enquanto que a Figura 20 apresenta o *crackmeter*.

Fissurômetro *tell-tale*:

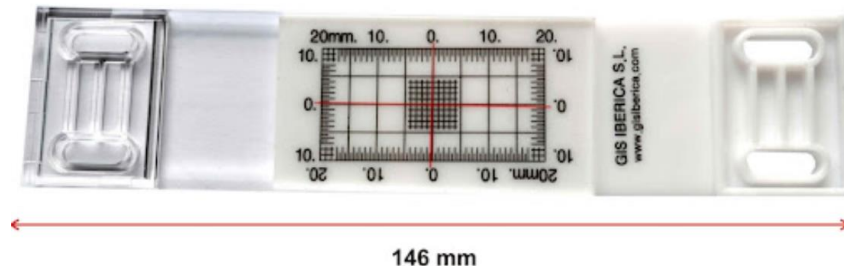
- O fissurômetro *tell-tale* é composto por duas partes de plástico transparente, "A" e "B". A parte "A" possui uma linha de referência, e a "B", retangular e graduada em milímetros, tem ranhuras que se alinham com a parte "A" quando sobrepostas (Torres, 2010);
- Instalado em edifícios ou estruturas de contenção, mede a abertura ou fechamento de trincas. À medida que a fissura se move, as placas deslizam uma sobre a outra,



permitindo a leitura do movimento por um cursor e escala no instrumento (Torres, 2010);

- Este fissurômetro tem precisão de 1 mm e alcance de 20 mm. Sua principal vantagem é ser um equipamento barato e de fácil leitura (Rocha, 2014).

Figura 19 – Modelo comercial de fissurômetro tipo *tell-tale*.



Fonte: Gis Iberica (2025).

Fissurômetro de corda vibrante ou *crackmeter*:

- O fissurômetro de corda vibrante, também conhecido como *crackmeter*, é composto por um sensor de corda vibrante e dois pinos. Esses pinos são fixados nas extremidades de uma fissura, e o sensor é montado entre eles, conectando as duas partes (Torres, 2010);
- Quando a distância da fissura se modifica, a frequência do sensor se altera. O aparelho então registra essa variação e, utilizando fatores de calibração, a converte em milímetros ou polegadas (Rocha, 2014);
- Ao ser instalado, uma leitura inicial é realizada, servindo como "zero" ou valor de referência. Todas as leituras posteriores são comparadas a essa base para calcular a amplitude do movimento da fissura e a taxa de aceleração desse movimento (Rocha, 2014);
- Uma das grandes vantagens dos fissurômetros de corda vibrante é sua alta precisão e a capacidade de automatizar o monitoramento dos movimentos superficiais em estruturas de concreto ou rocha (Torres, 2010).

Figura 20 – Fissurômetro tipo corda vibrante ou crackmeter.



Fonte: ACRE Surveying solutions (2025).

#### **h. Sensoriamento remoto.**

O sensoriamento remoto, pode ser compreendido como um complemento do monitoramento topográfico sendo considerado uma topografia de alta resolução (Queiroz, 2024). Métodos de levantamento planialtimétrico desta modalidade podem trazer percepções de deformações e mapeamento de superfícies de estruturas diversas.

O sensoriamento remoto foi criado para obter imagens da superfície da Terra à distância. A definição clássica é: "Sensoriamento remoto é uma técnica de obtenção de imagens dos objetos da superfície terrestre sem que haja um contato físico de qualquer espécie entre o sensor e o objeto." (Meneses e Almeida, 2012)

Para uma visão mais científica, de acordo com os autores, o sensoriamento remoto exige:

- **Ausência de contato:** Não há contato físico entre o sensor e o objeto.
- **Transmissão da informação:** A informação do objeto é transmitida pelo espaço vazio.
- **Radiação eletromagnética:** A comunicação entre o objeto e o sensor ocorre por meio de radiação eletromagnética.

Com base nisso, uma definição mais científica é: "Sensoriamento remoto é uma ciência que visa o desenvolvimento da obtenção de imagens da superfície terrestre por meio da detecção e medição quantitativa das respostas das interações da radiação eletromagnética com os materiais terrestres."

Isso significa que o sensoriamento remoto funciona registrando a radiação eletromagnética (como a luz solar refletida) emitida ou refletida pelos objetos, normalmente mapeados por drones. Sensores que não detectam radiação eletromagnética (como magnetômetros aerotransportados, que medem campos magnéticos) não são considerados sensoriamento remoto (Meneses e Almeida, 2012).

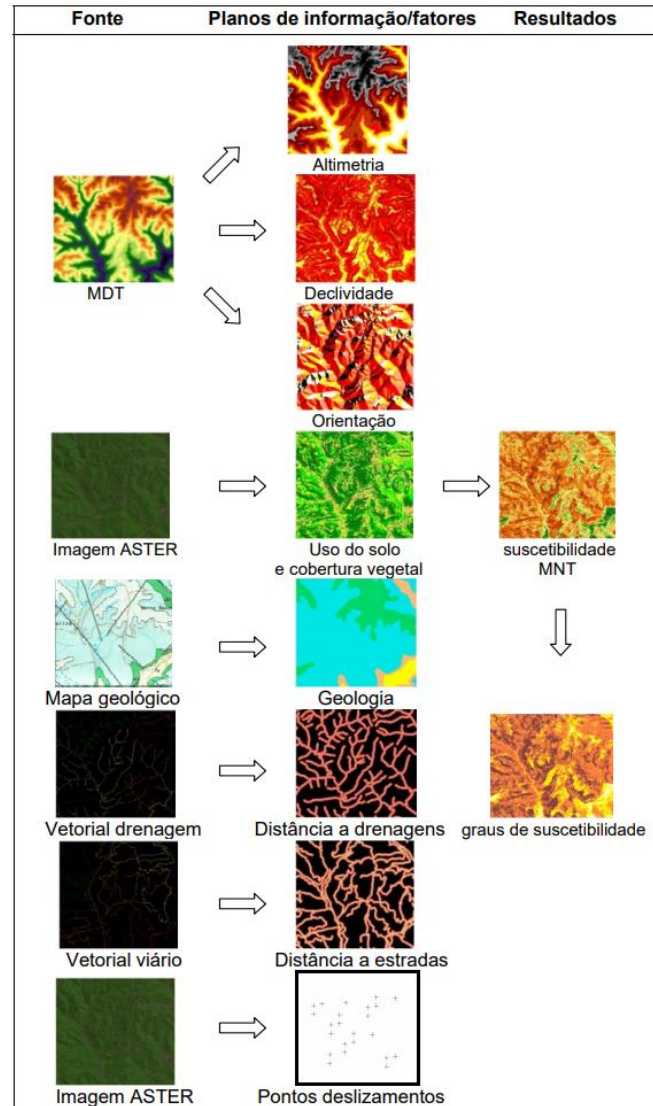
O SR (Sensoriamento Remoto) normalmente atua relacionado ao método SIG – Sistema de Informações Geográficas. O é uma ferramenta poderosa que funciona como um conjunto de facilidades e instrumentos computacionais para arquivar, recuperar, transformar e apresentar dados espaciais, permitindo a análise de diversos processos. Ele possibilita a sobreposição de mapas temáticos e a integração de outros dados para uma análise mais aprofundada (Vanacôr, 2006).

A Figura 21 apresenta de forma esquemática o funcionamento do sistema SIG em razão do Sensoriamento Remoto para monitoramento geotécnico e análise de risco e susceptibilidade de movimentos. Vanacôr (2006) estabelece que as funções básicas do SIG podem ser agrupadas da seguinte forma:

- **Análise geográfica:** Combina informações temáticas distribuídas geograficamente, realizando operações como superposição de polígonos, ponderação de temas, medições (perímetro, área), tabulação cruzada e consulta a bancos de dados.
- **Processamento digital de imagens:** Foca no tratamento de imagens de satélite, incluindo realce, modificação de histograma, filtragem espacial, classificação estatística, entre outros, para extrair informações relevantes.
- **Modelagem de redes:** Estruturas de linhas interligadas que armazenam dados sobre recursos de diferentes áreas. Os nós e arcos dessas redes possuem características próprias, que dependem do contexto cultural e da aplicação.
- **Produção cartográfica:** Visa a criação de cartas e mapas com recursos gráficos sofisticados. Inclui funções como interatividade, áreas de plotagem, colocação de legendas, textos explicativos e notas de crédito. Símbolos e atributos são fundamentais nessa produção.
- **Modelagem numérica do terreno:** Tem como objetivo o cálculo de declividade, volume e cortes transversais do terreno. Suas funções incluem a determinação do

modelo a partir de pontos esparsos, geração de mapas de controle (isolinhas), mapas de declividade e aspecto, visualização 3D (com imagens) e cálculos de volumes e perfis.

Figura 21 – Fluxograma para criação de planos informacionais, análise em método SIG e síntese de resultados.



Fonte: Vanacôr (2006).

#### i. Medidores de vazão

Costa et al. (2007) investigam a técnica de vertedores portáteis para medir pequenas vazões em microbacias, visando aprimorar o conhecimento das condições hídricas. A vazão é crucial para estudos hidrológicos/hidrogeológicos e pode ser determinada por vários métodos. A técnica de vertedores portáteis, ainda pouco conhecida no Brasil, é apresentada como uma alternativa prática e econômica.

O levantamento envolve medições diárias de vazão em pontos de interesse. Os vertedores são barreiras com uma abertura de formato geométrico definido, onde a altura da lâmina d'água (carga) é usada para calcular a vazão (Costa et al., 2007).

Costa et al. (2007) discutem sobre confiabilidade de vertedores portáteis em microbacias, solução econômica para medir vazões. Embora os picos de vazão nem sempre tenham sido registrados (devido a transbordamento ou longo intervalo de leitura), no estudo realizado foi possível caracterizar o período de recessão, permitindo a determinação do fluxo de base e outros índices hídricos. Problemas como assoreamento e erosão das margens ocorreram em algumas microbacias, mas adaptações foram feitas.

A leitura do nível da água em campo é simples e não exige mão de obra especializada. A consistência dos dados pode ser também verificada através de medições paralelas com o método volumétrico (Figura 22), que é considerado mais preciso para pequenas vazões (Rantz, 1982), demonstrando a confiabilidade dos vertedores portáteis.

Figura 22 – Exemplo de calha para medição de vazão (vertedouro).



Fonte: Costa et al. (2007).

Métodos adicionais podem ser utilizados para conferência da vazão, conforme descreve (Maldonado et al., 2015).

- **Molinete:** É o método mais usual para estimativa de vazão e se baseia em medição da velocidade em pontos diversos da seção transversal do corpo d'água, denomina-se molinete hidrométrico (Santos et al., 2001). Molinetes comuns utilizados possuem uma hélice e um contador de giros. Cada volta da hélice gera um impulso que é registrado

por um contador, conectado a um cronômetro. A vazão é obtida de forma indireta, conhecendo-se a área da seção em estudo. A Figura 23 apresenta um conjunto do molinete hidrométrico utilizado medições hidráulicas.

Figura 23 – Exemplo de um molinete hidrométrico.



Fonte: Ismael (2012).

- **Bueiros e transdutores de pressão:** Para calcular a carga hidráulica, um aparelho chamado limnógrafo pode ser posicionado antes do bueiro. Além disso, um sensor de pressão acoplado ao limnógrafo em uma altura específica permite registrar automaticamente o nível da água a cada quinze minutos. Devido ao fato de o sensor de pressão medir a coluna de água acima dele, um levantamento topográfico deve complementar o estudo (Maldonado et al., 2015). Esse levantamento determina a diferença de altura entre o limnógrafo e a base do bueiro, garantindo que o valor fornecido pelo equipamento correspondesse diretamente à carga hidráulica. A Figura 24 demonstra um exemplo trabalho de campo na realização da medição.

Figura 24 – Metodologia para implementação de limnógrafo em cálculo de vazão em bueiros

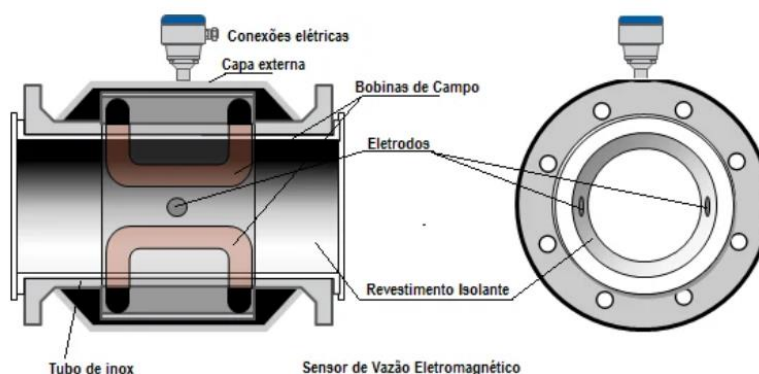


Fonte: Maldonado et al. (2015)



- **Equipamento eletromagnético:** O método eletromagnético, referente a Figura 25, para medir a velocidade da água funciona com base na Lei de Faraday. Basicamente, quando a água, que atua como um condutor, se move através de um campo magnético, ela gera uma corrente elétrica (Tunipseed e Sauer, 2010). A mudança no campo magnético causada por esse movimento da água induz uma força eletromotriz que é diretamente proporcional à velocidade do fluxo (Maldonado et al, 2015).

Figura 25 – Construção de um medidor de vazão eletromagnético típico.



Fonte: CONAUT (2025).

#### 2.4.2. Planejamento e ação

No contexto das políticas públicas, planejamento e ação frente ao gerenciamento de riscos, os instrumentos são os meios ou recursos empregados para alcançar as metas estabelecidas em uma área de gestão específica. Por exemplo, Carvalho (2001) destaca o plano diretor como uma ferramenta fundamental para a política municipal de desenvolvimento e expansão urbana. O propósito desse plano é organizar o crescimento das funções sociais da cidade e assegurar o bem-estar dos moradores (Rabello, 2022).

No Brasil, um dos principais mecanismos para lidar com desastres é a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil, que distribui a responsabilidade pela redução de riscos entre os níveis federal, estadual e municipal de governo. Um avanço significativo nesse sentido foi a criação do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN). O CEMADEN é encarregado de emitir alertas de desastres para o Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres (CENAD). Por sua vez, o CENAD é responsável por comunicar esses alertas aos órgãos municipais de defesa civil.

No município de Ouro Preto, institui-se o COMDEC – Coordenadoria Municipal de Defesa Civil, pela Lei Complementar Nº 19, de 9 de outubro de 2006. A COMDEC de Ouro Preto é o órgão responsável por coordenar as ações de defesa civil no município. Suas principais atribuições incluem:

- Gerenciar e realizar as atividades de defesa civil.
- Manter dados atualizados, elaborar planos anuais e prever recursos orçamentários para ações preventivas e emergenciais.
- Treinar pessoas e informar o Sistema Nacional de Defesa Civil (SINDEC) sobre ocorrências e atividades.
- Propor a declaração de emergência ou calamidade pública, distribuir suprimentos em desastres e atuar na busca, salvamento, primeiros socorros e deslocamento para abrigos.
- Criar bancos de dados e mapas de riscos, implementar medidas estruturais e não-estruturais, promover campanhas educativas e monitorar áreas de risco.
- Implantar núcleos comunitários (NUDEC's), treinar voluntários e buscar colaboração de empresas, instituições e comunidades.
- Atuar no restabelecimento de serviços públicos, reconstrução de moradias, reordenação urbana e recuperação de áreas degradadas após desastres.
- Ficar atenta aos alertas de outros órgãos para executar planos operacionais.

A estrutura da COMDEC conta com Assessoria Técnica, Assessoria Operacional e um Conselho Municipal de Defesa Civil.

Prioridades para instrumentos de gestão de riscos de desastres incluem a redução de riscos, o conhecimento sobre esses riscos e a implementação de medidas para mitigá-los. Além disso, é crucial aumentar a conscientização da população, reduzir os riscos e preparar respostas a desastres em todos os níveis (UNISRD, 2016).

Sulaiman (2021) apud Rabello (2022) destaca a importância de avaliar as ferramentas de gerenciamento de riscos de desastres naturais por meio de indicadores. Isso permite uma compreensão mais precisa dos danos, a identificação de áreas mais vulneráveis e a previsão de tendências. O autor também enfatiza a necessidade de uma abordagem integrada e participativa na elaboração e análise dos instrumentos, envolvendo tanto a gestão pública quanto a sociedade



no planejamento territorial e urbano, e na implementação de medidas que promovam a resiliência.

Antonelli et al. (2020) através do Serviço Geológico do Brasil (SGB) descreve um manual que estabelece as diretrizes técnicas e metodológicas para a criação de mapas de suscetibilidade a movimentos de massa e inundações, além de como organizar os dados geoespaciais do projeto. Também inclui os procedimentos para verificar no campo os mapas preliminares gerados por modelos espaciais.

Seguindo as metas da Coordenação do Projeto Cartas de Suscetibilidade do Serviço Geológico do Brasil (SBG), o manual fornece instruções para estruturar os dados geoespaciais e validar os pré-mapas em campo.

Essas instruções permitem que as equipes criem as Cartas de Suscetibilidade de forma padronizada, disponibilizando os resultados digitalmente, tanto em Sistemas de Informações Geográficas (SIG) quanto no Banco de Dados do SBG.

### 3. METODOLOGIA

Este capítulo detalha o delineamento da pesquisa, os procedimentos adotados para a coleta de dados e as técnicas de análises empregadas, garantindo a rigorosidade científica e a reprodutibilidade do estudo.

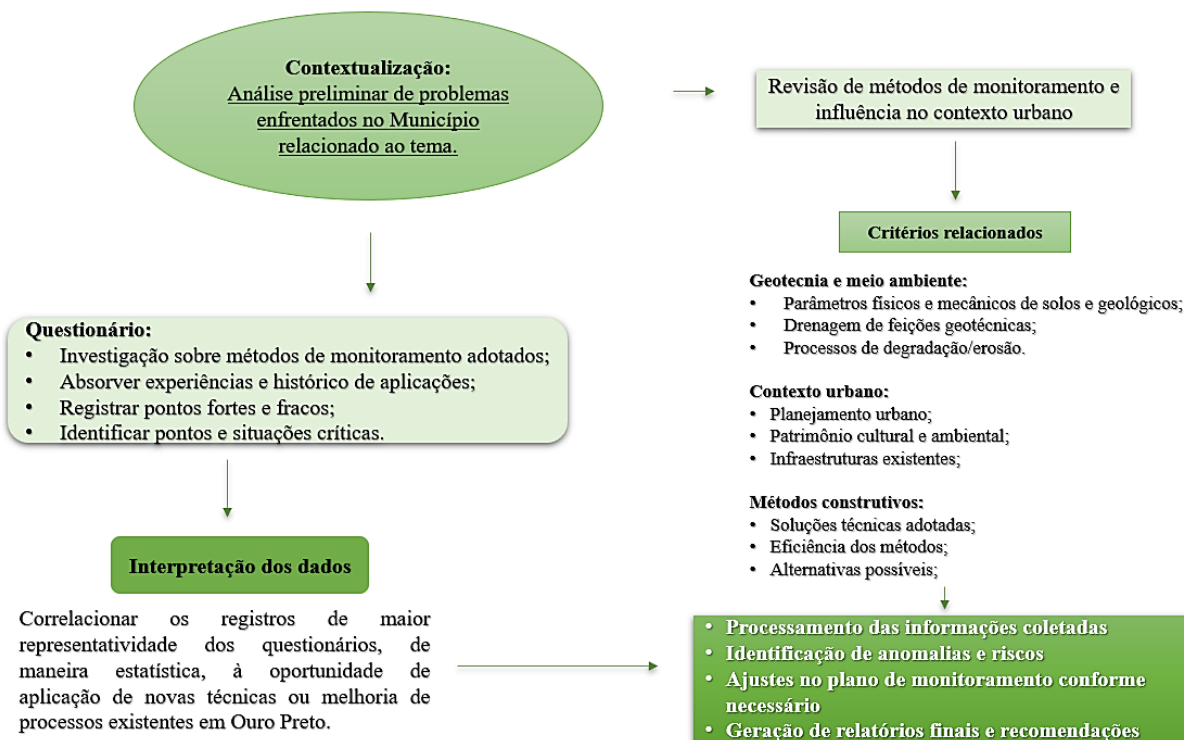
Tendo em vista a complexidade da análise sobre os métodos de monitoramento de obras e feições geotécnicas, drenagens e vida útil de elementos de estabilização de encostas no contexto urbano de Ouro Preto, a presente pesquisa adota uma abordagem que combina a revisão bibliográfica aprofundada com uma investigação empírica qualitativa. Para tanto, aplica-se a técnica de levantamento de dados primários por meio de questionários, direcionados a profissionais e especialistas que atuam diretamente com a temática na região.

Essa estratégia permite a obtenção de percepções, experiências e conhecimentos práticos de atores-chave da administração pública municipal de Ouro Preto, bem como de técnicos e acadêmicos com expertise na área geotécnica e de gerenciamento de riscos, enriquecendo a análise e fornecendo um panorama realista sobre os desafios e as soluções empregadas localmente.

O fluxograma da Figura 26 descreve de forma lógica a metodologia adotada para realização do trabalho. O fluxo do trabalho inicia-se com a contextualização, fazendo uma análise preliminar dos problemas. Em seguida, revisou-se os métodos de monitoramento existentes e sua influência no contexto urbano, estabelecendo critérios para as áreas de geotecnia e drenagem, contexto urbano e métodos construtivos.

Paralelamente, um questionário foi utilizado para coletar informações, absorver experiências e identificar pontos críticos. Os dados coletados foram então interpretados, buscando oportunidades para aplicar novas técnicas ou melhorar processos já existentes em Ouro Preto. Por fim, as informações são processadas para identificar riscos, buscar caminhos de melhorias e gerar discussões finais com recomendações.

Figura 26 – Fluxograma de trabalho.



Fonte: Autor (2025).

### 3.1. MÉTODO DE PESQUISA ADOTADO

O método de pesquisa adotado procura trazer um caráter quali-quantitativo, que procura descrever a experiência dos entrevistados através de respostas preferencialmente objetivas pré-determinadas.

O método científico pode ser abordado de duas maneiras principais: quantitativa e qualitativa, embora nem todos os pesquisadores concordem com essa separação (Oliveira, 1999). A abordagem quantitativa busca mensurar dados por meio de estatísticas, enquanto a abordagem qualitativa se dedica a entender a experiência humana em contextos sociais e a interpretar a realidade de forma contextualizada (Flick, 2009).

A pesquisa se deu através de um formulário sucinto de tempo médio de resposta total entre 2 e 5 minutos, com objetivo de motivar o atendimento ao questionário. O formulário contempla um total de 20 perguntas.

As perguntas são na maioria questões objetivas de múltipla escolha, compondo em alguns casos respostas bem definidas com base no contexto. Há itens também que representa grau de

afinidade, ou aprovação com certa resposta, através do método da escala *Likert*, impondo uma escala de 0 a 5 pontos – em grau de concordância. Conforme Singh (2006), a escala Likert, em sua forma inicial, é composta por um conjunto de afirmações relacionadas a situações verídicas ou imaginárias. Ela se baseia na percepção dos participantes, que são solicitados a indicar seu nível de aprovação ou desaprovação (em diferentes intensidades) frente a uma declaração apresentada em uma escala de medição. Nessa escala, as diversas declarações se conectam, revelando uma faceta particular da atitude do indivíduo em relação ao tema em questão.

Em um momento final abre-se um espaço opcional para livre dissertação, dessa forma torna-se possível coletar opiniões não previstas inicialmente e, por consequência, motivar novas observações dentro do trabalho.

O formulário foi desenvolvido através da plataforma *Google Forms* que traz grande agilidade e praticidade na elaboração e anotação de respostas. Por fim, será possível compilar as respostas e gerar uma análise dos dados quantitativa e gráfica, explicitando os resultados da pesquisa. A coleta para análise foi realizada após alcançar-se o número de 25 respostas.

### 3.2. AMOSTRAGEM E TÓPICOS EM DISCUSSÃO

A amostra de entrevistados será direcionada (não probabilística), sendo indivíduos de função técnica correlata às áreas:

- Engenharia Civil;
- Geologia;
- Hidrologia;
- Defesa Civil;
- Gerenciamento urbano.

O critério de amostragem foi adotado a partir da seleção de profissionais atuantes nas áreas de que remetem ao tema do estudo. A escolha desses campos se baseou na relevância de suas atuações para a análise de métodos de monitoramento e gerenciamento de riscos geotécnicos.

A seleção das entidades foi intencional, direcionada através de convite formal e o encontro presencial com o intuito de dialogar, explicitar os objetivos do trabalho e demonstrar apoio, se necessário, na realização do questionário.

Inicialmente, fora esperado um número mínimo de 20 entrevistados, sendo uma quantidade coerente, considerando o contexto do Município de Ouro Preto e as entidades disponíveis que atuam em convergência ou próximo ao tema da pesquisa.

Os tópicos adotados no questionário são concisos em relação ao tema do trabalho e objeto de pesquisa. Discute-se sobre obras geotécnicas no município, métodos construtivos mais adotados, ações corretivas e preventivas, em paralelo também é tratada a influência do manejo de águas pluviais e planejamento urbano no município. Outras perguntas são direcionadas aos métodos de monitoramento, planos de ação e instrumentação. O objetivo foi compreender as percepções sobre as entidades em relação a utilidade das ferramentas, o grau de entendimento sobre desempenho de obras geotécnicas, o monitoramento e planos de ação em gerenciamento de desastres.

O questionário utilizado como ferramenta metodológica deste estudo se encontra no Apêndice I, ao final do documento.

### 3.3. ÉTICA DA PESQUISA

A condução de qualquer pesquisa que envolva a participação humana, como é o caso da aplicação de questionários, exige o estrito cumprimento de princípios éticos para salvaguardar os direitos, a privacidade e o bem-estar dos participantes. No contexto deste estudo, que busca obter percepções de agentes da administração pública, técnicos e acadêmicos de Ouro Preto, a ética em pesquisa assume um papel central para garantir a confiabilidade e a legitimidade dos dados coletados.

Para garantia da conformidade ética, foi fundamental a apresentação de um **Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE)** a todos os participantes antes da aplicação do questionário. O TCLE é um documento formal que informa o participante sobre:

- Natureza e objetivos da pesquisa;
- Como o questionário será aplicado e o tempo estimado para a participação;
- Quaisquer riscos potenciais (mínimos, neste caso) ou benefícios diretos da participação (embora o principal benefício seja o avanço do conhecimento);
- A garantia de que as identidades dos participantes serão preservadas e que as respostas serão tratadas de forma anônima, sem vinculação direta à pessoa ou instituição, a menos que explicitamente autorizado. Isso é crucial para encorajar respostas honestas e abertas;

- O direito de recusar a participar ou de retirar o consentimento a qualquer momento, sem qualquer prejuízo;
- Informações de contato do pesquisador e do orientador para esclarecimento de dúvidas.

A obtenção do consentimento livre e esclarecido foi formalizada pela opção de "concordo" em questionários online, que ateste sua compreensão das informações e sua decisão voluntária de participar. Esse procedimento não apenas atende às diretrizes éticas estabelecidas pelos órgãos de pesquisa, mas também reforça a transparência e a responsabilidade do pesquisador perante aqueles que contribuirão com suas valiosas experiências e conhecimentos para o desenvolvimento deste trabalho.

### 3.4. ANÁLISE DOS DADOS

A etapa de análise dos dados é crucial para transformar as informações coletadas em conhecimento significativo, permitindo responder aos objetivos da pesquisa. Dada a natureza do instrumento de coleta, que combina questões objetivas de múltipla escolha, escalas *Likert* e um espaço para livre escrita, a abordagem de análise será mista, integrando métodos quantitativos e qualitativos para uma compreensão abrangente das percepções e experiências dos participantes.

Para as questões de múltipla escolha e de escala *Likert*, a análise será predominantemente quantitativa e estatística. As perguntas de múltipla escolha sem correlação com grau de afinidade, será analisada individualmente, identificando os itens com maior frequência assinalada e comparando-os com os demais.

Demais questões, dissertativas, são analisadas em sua totalidade listando tópicos mais mencionados. Respostas peculiares com notória singularidade, também são destacadas caso haja relevante coerência em vista do que é notado pela literatura e o que se observa no contexto do município de Ouro Preto.

O espaço para livre escrita ao final do questionário representa um rico material para uma análise qualitativa. As respostas abertas, que capturam comentários, sugestões, exemplos ou complementos detalhados, serão submetidas à Análise de Conteúdo ou Análise Temática. Este processo envolverá as seguintes etapas:

- I. Primeira leitura de todas as respostas para obter uma visão geral do conteúdo.
- II. Organização do material e formulação de hipóteses e indicadores que fundamentarão a interpretação.
- III. Codificação das respostas, identificando unidades de significado ou categorias temáticas recorrentes (por exemplo, "desafios de manutenção", "necessidade de capacitação", "eficácia de métodos específicos de monitoramento", "limitações orçamentárias").
- IV. Sistematização das categorias, quantificando a frequência de cada tema e estabelecendo relações entre eles. Será feita uma interpretação aprofundada, buscando extrair os insights, as justificativas para as escolhas objetivas e as nuances que as respostas quantitativas, por si só, não conseguiriam revelar.

#### 3.4.1. Índice de Aprovação

As questões desenvolvidas através de escala *Likert* são pontuadas em termos de grau de afinidade, neste caso será aferido como Índice de Aprovação.

O Índice de Aprovação nada mais é do que uma média ponderada da frequência de respostas, atribuindo o peso de 0% a 100%, conforme a relação apresentada pela Tabela 5. A razão adotada se baseia no critério da escala proporcional (Morais, 2005). Nessa modalidade a unidade de medida intervala entre o ‘zero’ (não sei opinar) e intensidade máxima (concordo totalmente). Adotando a linearidade aritmética entre os graus de aprovação da resposta, o acréscimo do peso na escala se torna 25%, que representa um quarto de aprovação linearmente.

Tabela 5 – Relação de peso para notação do Índice de Aprovação.

| <b>Resposta</b>     | <b>Peso</b>   |
|---------------------|---------------|
| Concordo totalmente | 100%          |
| Concordo            | 75%           |
| Neutro              | 50%           |
| Discordo            | 25%           |
| Discordo totalmente | 0%            |
| Não sei opinar      | Não se aplica |

Fonte: Autor (2025).

O cálculo do Índice de Aprovação é obtido através da Equação 2, sendo que o item “Não sei opinar” é desprezado do somatório.

$$\text{Índice de Aprovação} = \frac{100\%*F_a + 75\%*F_b + 50\%*F_c + 25\%*F_d + 0\%*F_e}{F_{tot}} \quad (2)$$

Considerando que,

$F_a$ : Frequência absoluta da resposta “Concordo totalmente”;

$F_b$ : Frequência absoluta da resposta “Concordo”;

$F_c$ : Frequência absoluta da resposta “Neutro”;

$F_d$ : Frequência absoluta da resposta “Discordo”;

$F_e$ : Frequência absoluta da resposta “Discordo totalmente”;

$F_{tot}$ : Somatório de respostas desprezando a frequência absoluta de “Não sei opinar”.

A codificação das respostas em escala *Likert* trará um valor que representa o nível de aprovação dos entrevistados para determinados questionamentos, em termos de porcentagem.

Perguntas selecionadas, que relacionam de forma geral o estado atual dos equipamentos de monitoramento e operação, serão conduzidas para a classificação de um índice geral. Esse índice geral compilado se trata simplesmente de uma média aritmética entre os Índices de Aprovação individuais das perguntas, alcançando um valor representativo para a pesquisa. As perguntas 6, 7, 8, 9 e 10 relacionam, respectivamente, eficiência, periodicidade, calibração, manutenção e quantidade, todas direcionadas a equipamentos de monitoramento geotécnico no município de Ouro Preto. O Índice de Aprovação compilado se dará através da Equação 3, sabendo que se calcula para a quantidade de 5 termos (número de questões).

$$\text{Índice de Aprovação compilado} = \frac{I.A._6 + I.A._7 + I.A._8 + I.A._9 + I.A._{10}}{5} \quad (3)$$

Sendo que,

$I.A._6$ : Índice de aprovação para a Questão 6;



*I.A.*<sub>7</sub>: Índice de aprovação para a Questão 7;

*I.A.*<sub>8</sub>: Índice de aprovação para a Questão 8;

*I.A.*<sub>9</sub>: Índice de aprovação para a Questão 9;

*I.A.*<sub>10</sub>: Índice de aprovação para a Questão 10.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo dedica-se à apresentação e à interpretação dos resultados obtidos por meio da pesquisa de campo, essencial para responder aos objetivos propostos neste trabalho. A coleta de dados foi estruturada a partir de um questionário composto por questões objetivas e dissertativas, o que demanda uma abordagem analítica multifacetada. Inicialmente, a análise será conduzida de forma segregada, explorando as respostas de cada tipo de questão individualmente.

As questões objetivas permitirão identificar padrões e quantificar percepções sobre os métodos de monitoramento, enquanto as questões dissertativas oferecerão insights qualitativos aprofundados sobre as experiências, desafios e sugestões dos participantes. Posteriormente, será realizada uma análise global e integrada, buscando correlacionar os achados de ambos os formatos de questões, a fim de construir uma compreensão abrangente e robusta sobre a temática central da pesquisa. Essa abordagem permitirá não apenas a validação cruzada das informações, mas também a emergência de novas perspectivas e a formulação de discussões mais ricas, conectando os dados empíricos ao referencial teórico e ao contexto específico de Ouro Preto.

### 4.1. PERFIL DOS ENTREVISTADOS

O questionário aplicado obteve respostas de profissionais com formações acadêmicas e experiências diversificadas, observou-se uma visão ampla sobre a percepção do monitoramento geotécnico e das práticas de estabilização de encostas no município de Ouro Preto.

A maioria dos participantes possui formação em Engenharia Civil (36%), o que era esperado, considerando o tema central do estudo e a predominância desse perfil profissional em atividades relacionadas à infraestrutura urbana e geotécnica. Em seguida, destacam-se os respondentes com ensino médio (16%) e formação técnica (12%), refletindo a participação de profissionais de campo, como técnicos e agentes da Defesa Civil, que desempenham funções importantes nas rotinas de monitoramento e manutenção de obras de contenção.

Outras formações relevantes incluem Arquitetura e Urbanismo (8%), Engenharia Geológica/Geologia (8%), Engenharia Urbana (8%), Engenharia Ambiental (4%), Engenharia

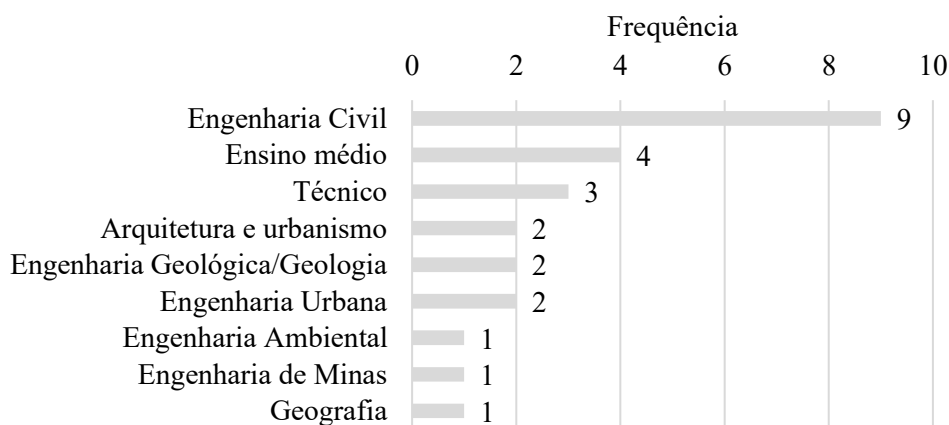
de Minas (4%) e Geografia (4%). Essa diversidade de áreas evidencia a interdisciplinaridade necessária para enfrentar os desafios relacionados ao tema do estudo. As respostas estão sintetizadas na Tabela 6 e plotadas no gráfico da Figura 27, referente à formação acadêmica dos indivíduos (Questão 1 do questionário).

Tabela 6 – Dados referentes à Questão 1 do questionário.

| <b>Resposta</b>               | <b>Frequência</b> | <b>Percentual</b> |
|-------------------------------|-------------------|-------------------|
| Engenharia Civil              | 9                 | 36,0%             |
| Ensino médio                  | 4                 | 16,0%             |
| Técnico                       | 3                 | 12,0%             |
| Arquitetura e urbanismo       | 2                 | 8,0%              |
| Engenharia Geológica/Geologia | 2                 | 8,0%              |
| Engenharia Urbana             | 2                 | 8,0%              |
| Engenharia Ambiental          | 1                 | 4,0%              |
| Engenharia de Minas           | 1                 | 4,0%              |
| Geografia                     | 1                 | 4,0%              |

Fonte: Autor (2025).

Figura 27 – Gráfico dos dados referentes à Questão 1 do questionário.



Fonte: Autor (2025).

Quanto à experiência profissional, observou-se uma distribuição relativamente equilibrada: 32% dos respondentes possuem entre 5 e 10 anos de atuação, seguidos por 28% com menos de 5 anos de experiência, 24% entre 10 e 20 anos, e 16% com mais de 20 anos de atuação. Essa distribuição indica uma participação significativa de profissionais em início ou meio de carreira, ao passo que uma parcela menor representa profissionais mais experientes.

Essa composição sugere que a percepção sobre os desafios e limitações das práticas de monitoramento geotécnico no município é influenciada tanto pela visão de profissionais com vivência prática recente quanto por aqueles com uma trajetória mais consolidada, tal análise possibilita contemplação de diversas perspectivas. As respostas estão sintetizadas na Tabela 7

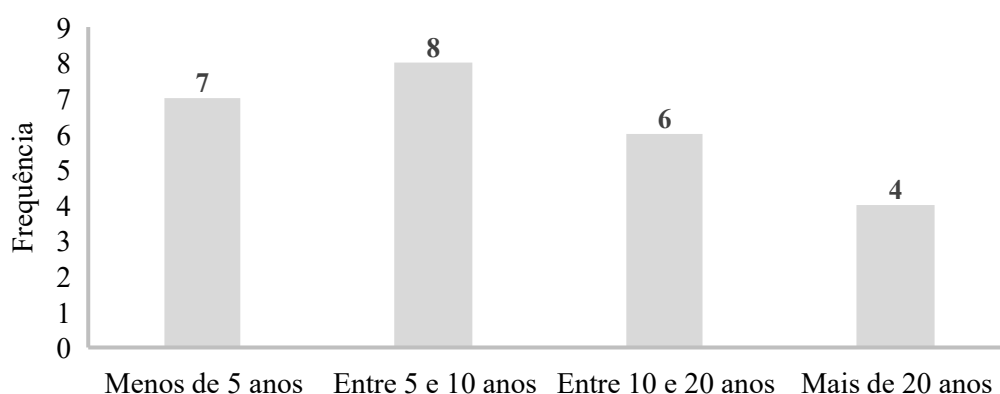
e plotadas no gráfico da Figura 28, referente ao tempo de atuação dos entrevistados (Questão 2 do questionário).

Tabela 7 - Dados referentes à Questão 2 do questionário.

| <b>Resposta</b>    | <b>Frequência</b> | <b>Percentual</b> |
|--------------------|-------------------|-------------------|
| Menos de 5 anos    | 7                 | 28%               |
| Entre 5 e 10 anos  | 8                 | 32%               |
| Entre 10 e 20 anos | 6                 | 24%               |
| Mais de 20 anos    | 4                 | 16%               |

Fonte: Autor (2025).

Figura 28 - Gráfico dos dados referentes à Questão 2 do questionário.



Fonte: Autor (2025).

Em relação ao vínculo institucional, a grande maioria dos respondentes atua em órgãos públicos, com 70,8% vinculados à Prefeitura Municipal de Ouro Preto (PMOP), distribuídos entre diversas secretarias, como Desenvolvimento Urbano, Obras, Planejamento, Meio Ambiente e Defesa Civil. Profissionais vinculados à Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP) representam 12,5%, com participação de docentes e técnicos de departamentos como Engenharia Civil (DECIV), Engenharia Urbana (DEURB), Arquitetura (DEARQ), Engenharia Ambiental (DEAMB), Engenharia de Minas (DEMIN) e Geologia (DEGEO). O setor privado também corresponde a 12,5% dos respondentes, enquanto 4,2%, que representa um indivíduo vinculado ao Instituto Estadual de Florestas (IEF).

A predominância de profissionais do setor público, especialmente da PMOP, evidencia a centralidade das instituições municipais na gestão direta das áreas de risco e no acompanhamento das obras de estabilização. Entretanto, a participação de membros da universidade e do setor privado indica uma interação relevante entre academia, poder público e iniciativa privada, aspecto essencial para a construção de soluções técnicas mais integradas. As

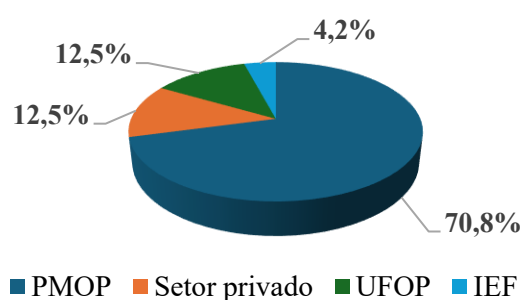
respostas estão sintetizadas na Tabela 8 e plotadas no gráfico da Figura 29, que refere ao local de atuação dos entrevistados (Questão 3 do questionário).

Tabela 8 - Dados referentes à Questão 3 do questionário.

| <b>Resposta</b> | <b>Frequência</b> | <b>Percentual</b> |
|-----------------|-------------------|-------------------|
| PMOP            | 17                | 70,8%             |
| Setor privado   | 3                 | 12,5%             |
| UFOP            | 3                 | 12,5%             |
| IEF             | 1                 | 4,2%              |

Fonte: Autor (2025).

Figura 29 - Gráfico dos dados referentes à Questão 3 do questionário.



Fonte: Autor (2025).

O perfil dos respondentes revela uma amostra alinhada ao contexto prático da problemática investigada, composta majoritariamente por profissionais que atuam diretamente na gestão de riscos e na execução de intervenções em Ouro Preto. A representatividade de diferentes formações, especialmente da Engenharia Civil e de áreas correlatas, assegura a pertinência das percepções captadas.

Por outro lado, a expressiva presença de profissionais com menos de 10 anos de experiência pode indicar uma necessidade de fortalecimento da memória técnica institucional, com ações de capacitação continuada e valorização da expertise de profissionais mais experientes. Essa composição etária e institucional dos respondentes é um ponto importante para a análise das percepções sobre o conhecimento e a eficácia dos métodos de monitoramento, que é explorada nos tópicos seguintes.

#### 4.2. DESAFIOS GEOTÉCNICOS NO MUNICÍPIO DE OURO PRETO

A partir das respostas obtidas no questionário, foi possível identificar os principais desafios enfrentados pelos profissionais no contexto da gestão geotécnica de Ouro Preto. Os respondentes puderam selecionar múltiplas alternativas, apontando os fatores que consideram

mais críticos para a solução dos problemas relacionados à estabilização de encostas e drenagem urbana no município (Questão 4 do questionário).

O desafio enfrentado no município mais citado foi “Condições geológicas e/ou geotécnicas do assentamento urbano”, indicado por 26% dos participantes. Esse resultado reforça a compreensão de que as características naturais do terreno, associadas à topografia acidentada, à presença de solos residuais e à complexidade geológica da região, constituem um fator limitante intrínseco para a urbanização e manutenção da infraestrutura urbana. A ocupação de áreas suscetíveis a escorregamentos, associada à evolução histórica do traçado urbano, agrava essa situação.

A percepção de que 'Monitorar e agir frente a situações de risco' é um desafio foi expressa por 25% dos participantes. Esse resultado aponta para possíveis oportunidades de melhoria nos processos de identificação e gestão de riscos.

O 'Manejo de águas pluviais (drenagem urbana e de encostas)' foi apontado por 23% dos participantes. Esse dado aponta para uma percepção de que as soluções de drenagem podem ser insuficientes em resposta ao volume e intensidade das chuvas. A manutenção regular é chave para a garantia da operacionalidade adequada e vida útil prolongada, que minimiza riscos de erosão e de contaminação (Silva e Shroder, 2022 *apud* Brito et al., 2024). Outras questões estão também associadas, como ligações de água residenciais e esgoto. De acordo com Brito et al. (2024) pode ocorrer a obstrução que dificulta a passagem, promovendo acúmulo de líquidos e proliferação de espécies biológicas indesejadas.

Outros desafios relevantes foram a “Preservação do patrimônio material e à vida em desastres urbanos” (16%) e a “Inviabilidade orçamentária ou financeira para execução de obras” (9%). O primeiro reflete o constante dilema entre a necessidade de intervenção em áreas de risco e a obrigatoriedade de preservação do patrimônio histórico e cultural, uma realidade muito presente no contexto de Ouro Preto. Já a restrição orçamentária surge como um fator limitante para a execução de obras de estabilização de maior porte, impactando diretamente na efetividade das ações, assim como impactar nas atividades de monitoramento.

Por fim, foi citada ainda a “Ausência de equipe técnica com expertise para a real solução” (2%), apontando uma possível preocupação pontual com a formação e capacitação dos profissionais que atuam diretamente nas ações de monitoramento e intervenção. Porém, tal fator é pouco

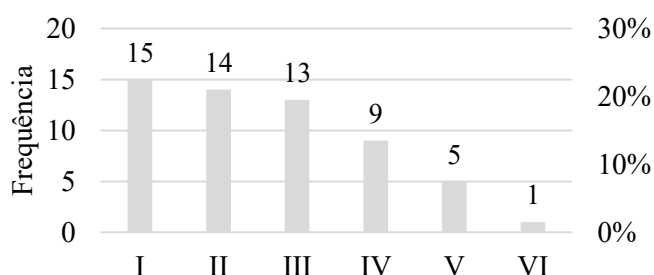
assinalado frente às demais alternativas apontadas pelos entrevistados. As respostas estão sintetizadas na Tabela 9 e plotadas no gráfico da Figura 30.

Tabela 9 - Dados referentes à Questão 4 do questionário.

| <b>Resposta</b>                                                  | <b>Índice</b> | <b>Frequência</b> | <b>Percentual</b> |
|------------------------------------------------------------------|---------------|-------------------|-------------------|
| Condições geológicas e/ou geotécnicas do assentamento urbano     | I             | 15                | 26%               |
| Monitorar e agir frente a situações de situações de risco        | II            | 14                | 25%               |
| Manejo de águas pluviais (drenagem urbana e de encostas)         | III           | 13                | 23%               |
| Preservação do patrimônio material e à vida em desastres urbanos | IV            | 9                 | 16%               |
| Inviabilidade orçamentária ou financeira para execução de obras  | V             | 5                 | 9%                |
| Ausência de equipe técnica com expertise para a real solução     | VI            | 1                 | 2%                |

Fonte: Autor (2025).

Figura 30 - Gráfico dos dados referentes à Questão 4 do questionário.



Fonte: Autor (2025).

Esses dados indicam que, embora fatores naturais sejam determinantes para a situação geotécnica do município, as deficiências estruturais e institucionais, como a falta de monitoramento eficiente e a limitação de recursos humanos e financeiros, agravam significativamente o cenário. A inter-relação entre esses desafios sugere que soluções isoladas não seriam suficientes; é necessária uma abordagem sistêmica, que integre aspectos técnicos, operacionais e institucionais.

Além disso, a percepção dos profissionais entrevistados dialoga com estudos que apontam para a ascensão de programas e projetos relacionados ao gerenciamento de riscos, em vistas de ações após desastres – comportamento que está associado a uma cultura assistencialista (Oliveira e Robaina, 2015). De acordo com o autor, ocorre uma lacuna entre o período do processo de produção do espaço nas cidades marcado pela desigualdade da propriedade de solo urbano – e

o devido gerenciamento de risco desses espaços, principalmente aqueles desfavoráveis, que emergiu nas últimas décadas.

#### 4.3. CONHECIMENTOS SOBRE MÉTODOS E EQUIPAMENTOS DE MONITORAMENTO GEOTÉCNICO

A avaliação do conhecimento dos respondentes sobre os métodos e equipamentos utilizados para o monitoramento geotécnico em Ouro Preto revelou importantes lacunas, tanto em relação à familiaridade com as tecnologias existentes quanto ao conhecimento sobre sua aplicação prática no município.

Ao serem questionados sobre quais equipamentos de monitoramento geotécnico conheciam a utilização em Ouro Preto, 24,3% dos participantes afirmaram “não saber opinar”. Este dado evidencia um nível considerável de desconhecimento sobre os métodos utilizados, o que pode ser interpretado como um reflexo da pouca difusão de informações técnicas dentro dos órgãos públicos.

Entre os equipamentos mais citados, destacam-se o drone (21,6%) e o inclinômetro (21,6%), o que sugere que tecnologias de mais fácil visualização ou comumente utilizadas em atividades de vistoria e mapeamento (como drones) possuem maior reconhecimento entre os profissionais. Em contrapartida, equipamentos tradicionalmente associados a medições mais técnicas e precisas, como piezômetro/INA (10,8%), estação total (10,8%), teodolito (8,1%) e sismógrafo (2,7%), apresentaram menor índice de citação. As respostas estão sintetizadas na Tabela 10 e plotadas no gráfico da Figura 31, referente aos instrumentos de monitoramento conhecidos utilizados em Ouro Preto (Questão 5 do questionário).

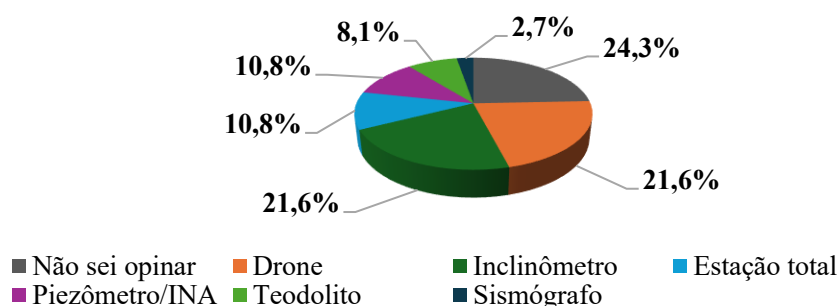
Tabela 10 - Dados referentes à Questão 5 do questionário.

| <b>Pergunta</b> | <b>Frequência</b> | <b>Percentual</b> |
|-----------------|-------------------|-------------------|
| Não sei opinar  | 9                 | 24,3%             |
| Drone           | 8                 | 21,6%             |
| Inclinômetro    | 8                 | 21,6%             |
| Estação total   | 4                 | 10,8%             |
| Piezômetro/INA  | 4                 | 10,8%             |
| Teodolito       | 3                 | 8,1%              |
| Sismógrafo      | 1                 | 2,7%              |

Fonte: Autor (2025).



Figura 31 - Gráfico dos dados referentes à Questão 5 do questionário.



Fonte: Autor (2025).

Esse cenário aponta para uma realidade em que o conhecimento sobre equipamentos de monitoramento de campo é restrito a um pequeno grupo técnico, enquanto a maioria dos profissionais, especialmente aqueles de áreas administrativas ou operacionais, possui pouco ou nenhum contato direto com essas tecnologias.

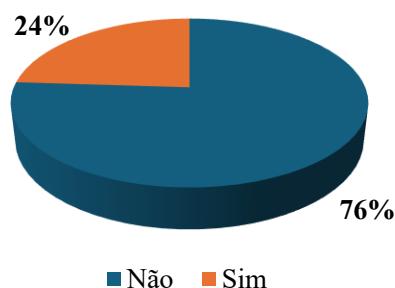
Ao serem indagados se conheciam algum sistema ou programa de acompanhamento contínuo das áreas de risco em Ouro Preto, 76% dos respondentes responderam “não”. Apenas 24% afirmaram conhecer algum tipo de sistema ou iniciativa. As respostas estão sintetizadas na Tabela 11 e plotadas no gráfico da Figura 32, referente ao conhecimento de programas de acompanhamento contínuo das áreas de risco de Ouro Preto (Questão 13 do questionário).

Tabela 11 - Dados referentes à Questão 13 do questionário.

| Resposta | Frequência | Percentual |
|----------|------------|------------|
| Não      | 19         | 76,0%      |
| Sim      | 6          | 24,0%      |

Fonte: Autor (2025).

Figura 32 - Gráfico dos dados referentes à Questão 13 do questionário.



Fonte: Autor (2025).

Os 6 respondentes afirmativos, alegam que há a atuação da Defesa Civil de Ouro Preto, realizando trabalhos como mapeamento de áreas de risco e utiliza instrumentos e centros de

monitoramento. Outras respostas incluem o envolvimento de Universidades e a utilização de Mapas Geotécnicos.

Existe uma baixa percepção por parte dos respondentes sobre a existência e o funcionamento de sistemas de acompanhamento de riscos, o que pode indicar a necessidade de uma maior divulgação das ações realizadas pelos órgãos competentes.

Ademais, as respostas demonstram conhecimento focado quase que exclusivamente na Defesa Civil, mostrando que este é o principal ator percebido pela população ou pelos participantes da pesquisa.

Os métodos mencionados (mapas geotécnicos, mapeamento, monitoramento 24 horas) indicam a utilização de práticas conhecidas, mas a falta de detalhamento nas respostas sugere que o conhecimento sobre o funcionamento desses sistemas é limitado, mesmo entre os que afirmam conhecê-los.

Em resumo, a análise revela um cenário onde, apesar de existirem ações de monitoramento, o conhecimento sobre esses sistemas não está disseminado entre os participantes. A Defesa Civil é o principal ponto de referência, e a percepção geral é de que há uma falta de visibilidade sobre como esses programas operam na prática. Esse resultado evidencia a ausência de uma cultura de monitoramento sistemático das feições geotécnicas no município, ou, pelo menos, a falta de divulgação eficiente das práticas existentes. Mesmo que alguns instrumentos sejam instalados pontualmente, a inexistência de um programa institucionalizado de acompanhamento contínuo parece ser uma realidade, conforme percebido pelos próprios profissionais da área.

A predominância de equipamentos mais visuais (como drones) nas respostas pode indicar uma tendência à utilização de tecnologias de vistoria mais acessíveis e de fácil operação, em detrimento de instrumentos que exigem uma estrutura de monitoramento mais robusta e permanente.

A ausência de um programa oficial de monitoramento contínuo das áreas de risco, ou a falta de comunicação sobre sua existência, compromete a capacidade de antecipação de desastres, reduzindo a gestão de riscos a uma atuação possivelmente não preventiva.

#### 4.4. PERCEPÇÃO DE ÁREAS CRÍTICAS EM OURO PRETO AVALIADAS PELOS ENTREVISTADOS

A identificação das áreas mais críticas em relação à estabilidade geotécnica e ao manejo de drenagem é uma tarefa básica para direcionar ações de monitoramento e intervenção. No questionário aplicado, os participantes puderam indicar as localidades do município que consideram mais problemáticas, tanto pela frequência de ocorrências quanto pela severidade dos riscos associados.

Foi questionado aos respondentes se concordavam com a afirmação de que a maior parte dos locais críticos, que apresentam risco geológico-geotécnico, se encontram no perímetro do centro histórico de Ouro Preto. As respostas indicaram uma percepção dividida.

O dado mais relevante é o elevado percentual de discordância (52% discordaram e 8% discordaram totalmente), indicando que, segundo a percepção dos profissionais, os problemas geotécnicos e de drenagem não se concentram exclusivamente no centro histórico, mas estão distribuídos em diversas áreas do município, incluindo bairros periféricos e distritos. Essa percepção está alinhada com a expansão desordenada do perímetro urbano e a ocupação irregular de encostas, fenômenos observados nas últimas décadas. As respostas estão sintetizadas na Tabela 12, em grau de aprovação geral em relação a afirmação: A maior parte dos locais críticos que apresentam risco geológico-geotécnico se encontram no perímetro do centro histórico (Questão 11 do questionário).

Tabela 12 - Dados referentes à Questão 11 do questionário.

| <b>Resposta</b>        | <b>Frequência</b> | <b>Percentual</b> |
|------------------------|-------------------|-------------------|
| Concordo totalmente    | 1                 | 4%                |
| Concordo               | 7                 | 28%               |
| Neutro                 | 0                 | 0%                |
| Discordo               | 13                | 52%               |
| Discordo totalmente    | 2                 | 8%                |
| Não sei opinar         | 2                 | 8%                |
| <b>Aprovação geral</b> | <b>41,3%</b>      |                   |

Fonte: Autor (2025).

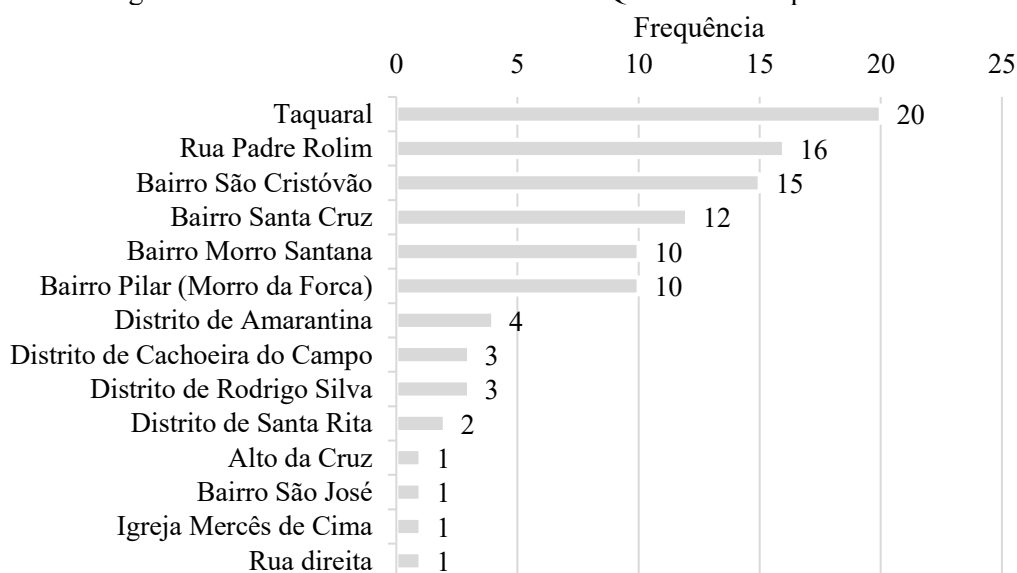
Os entrevistados foram indagados especificamente também quanto as localidades que consideram mais críticas em relação a desafios geotécnicos enfrentados (Questão 12 do questionário), as respostas estão sintetizadas na Tabela 13 e plotadas no gráfico da Figura 33.

Tabela 13 - Dados referentes à Questão 12 do questionário.

| <b>Resposta</b>                | <b>Frequência</b> | <b>Percentual</b> |
|--------------------------------|-------------------|-------------------|
| Taquaral                       | 20                | 20,2%             |
| Rua Padre Rolim                | 16                | 16,2%             |
| Bairro São Cristóvão           | 15                | 15,2%             |
| Bairro Santa Cruz              | 12                | 12,1%             |
| Bairro Morro Santana           | 10                | 10,1%             |
| Bairro Pilar (Morro da Forca)  | 10                | 10,1%             |
| Distrito de Amarantina         | 4                 | 4,0%              |
| Distrito de Cachoeira do Campo | 3                 | 3,0%              |
| Distrito de Rodrigo Silva      | 3                 | 3,0%              |
| Distrito de Santa Rita         | 2                 | 2,0%              |
| Alto da Cruz                   | 1                 | 1,0%              |
| Bairro São José                | 1                 | 1,0%              |
| Igreja Mercês de Cima          | 1                 | 1,0%              |
| Rua direita                    | 1                 | 1,0%              |

Fonte: Autor (2025).

Figura 33 - Gráfico dos dados referentes à Questão 12 do questionário.



Fonte: Autor (2025).

A predominância de locais fora do perímetro histórico tradicional confirma a percepção de que o risco geotécnico em Ouro Preto extrapola as áreas tombadas e impacta fortemente bairros de expansão urbana e distritos, onde as deficiências em infraestrutura de drenagem e controle de ocupação são mais evidentes.

Os resultados evidenciam uma distribuição dispersa das áreas de risco geotécnico em Ouro Preto, o que impõe desafios adicionais à gestão municipal, especialmente no que se refere à priorização de intervenções e alocação de recursos. A percepção de que os problemas não estão

restritos ao centro histórico também revela a necessidade de ampliar o foco das ações de monitoramento e mitigação, que frequentemente priorizam as áreas tombadas por conta das exigências de preservação do patrimônio cultural.

A Rua Padre Rolim, por exemplo, localiza-se em uma área central e combina fatores como crescimento urbano, intervenções em terreno natural e um desafio geotécnico provocado pela Formação Cercadinho (Souza, 2025). O autor menciona que a foliação natural da formação favorece infiltração e a percolação de água, o que reduz atrito e aumenta instabilidade, especialmente com a alta erodibilidade. A alternância entre rocha intacta e alterada (inclusive saprólitos) é capaz de propiciar formação de áreas de acumulação de água, que cria bolsões com níveis de água suspensos. A distribuição de água dos maciços pode desencadear movimentos de massa (Souza, 2025). Bairros como Taquaral, São Cristóvão e Santa Cruz apresentam características típicas de periferias urbanas, como ocupação irregular e infraestrutura precária de drenagem, o que eleva sua vulnerabilidade.

No caso específico do bairro Taquaral, Vieira (2023) informa que a foliação está voltada no sentido sul – seguindo a direção da inclinação dos taludes naturais. Cortes e ocupações irregulares podem favorecer o alívio de tensões nas camadas foliares, situação propícia para escorregamentos. As pesquisas desenvolvidas nesse trabalho reafirmam os estudos de Vieira (2023) e Souza (2025), que concordam em afirmar a susceptibilidade à deslizamentos e instabilidade das regiões periféricas em Ouro Preto que se encontram em terrenos de relevo com inclinações acentuadas.

Esses dados reforçam a importância de desenvolver um mapeamento geotécnico detalhado e atualizado, que permita visualizar a extensão dos riscos em uma escala municipal, incorporando não apenas a perspectiva técnica, mas também a realidade socioeconômica das áreas afetadas. Essa abordagem é crítica para a elaboração de um plano de gestão de riscos que seja territorialmente abrangente e socialmente justo.

#### 4.5. INFRAESTRUTURA DE DRENAGEM E TÉCNICAS DE ESTABILIZAÇÃO APLICADAS NO MUNICÍPIO

A eficiência da infraestrutura de drenagem e das técnicas de estabilização de encostas é determinante para a redução dos riscos geotécnicos em municípios com características como as de Ouro Preto. A etapa do questionário aplicado buscou identificar a percepção dos

profissionais sobre a adequação desses sistemas, além de mapear quais técnicas de contenção são mais empregadas na prática.

Ao serem questionados sobre a adequação da infraestrutura de drenagem urbana para minimizar os impactos das chuvas, a maioria dos respondentes apresentou uma visão negativa. As respostas estão sintetizadas na Tabela 14 em grau de aprovação geral em relação a afirmação: A infraestrutura de drenagem no município é adequada para minimizar os impactos das chuvas (Questão 14 do questionário).

Tabela 14 - Dados referentes à Questão 14 do questionário.

| <b>Resposta</b>        | <b>Frequência</b> | <b>Percentual</b> |
|------------------------|-------------------|-------------------|
| Concordo totalmente    | 0                 | 0%                |
| Concordo               | 4                 | 16%               |
| Neutro                 | 3                 | 12%               |
| Discordo               | 10                | 40%               |
| Discordo totalmente    | 8                 | 32%               |
| Não sei opinar         | 0                 | 0%                |
| <b>Aprovação geral</b> | <b>28,0%</b>      |                   |

Fonte: Autor (2025).

Esse resultado, com 72% de discordância (total ou parcial), evidencia uma percepção generalizada de que os sistemas de drenagem existentes no município são insuficientes ou ineficazes para conter os efeitos das chuvas intensas.

Os participantes também foram questionados sobre as técnicas de estabilização mais utilizadas em áreas de risco no município.

A predominância dos muros de gravidade, especialmente os de gabião e ciclópico, confirma a preferência por soluções consagradas e de execução relativamente simples, que oferecem boa relação custo-benefício para obras emergenciais. No entanto, essas técnicas possuem limitações, sobretudo em relação à durabilidade e à capacidade de atender a situações de grande instabilidade, típicas de encostas de maior altura ou com solos de baixa resistência.

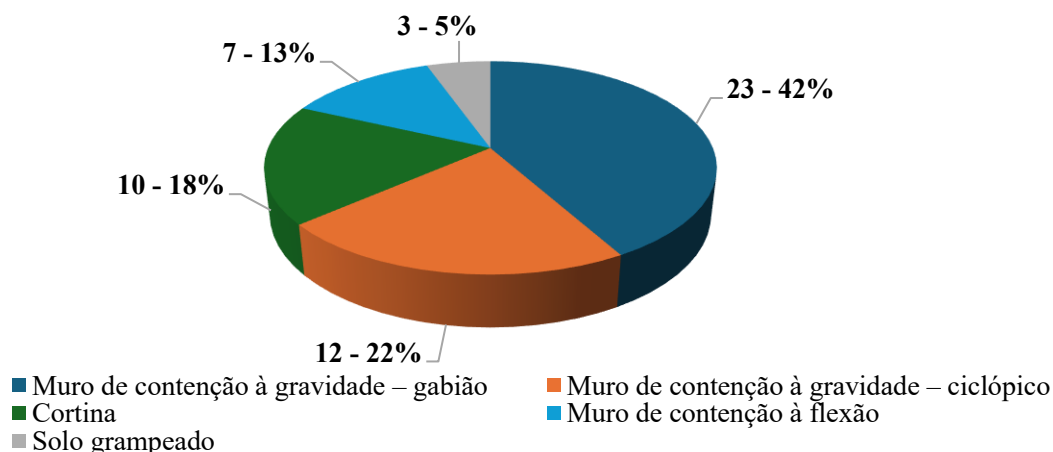
Por outro lado, técnicas mais modernas e eficientes, como o solo grampeado, aparecem com uma baixa frequência de citação (5,5%), o que sugere que ainda são pouco aplicadas ou conhecidas no contexto municipal, possivelmente em função de restrições orçamentárias, falta de expertise técnica local. As respostas estão sintetizadas na Tabela 15 e plotadas no gráfico da Figura 34, referente aos métodos de estabilização de encostas conhecidos mais utilizados em Ouro Preto (Questão 15 do questionário).

Tabela 15 - Dados referentes à Questão 15 do questionário.

| <b>Resposta</b>                           | <b>Frequência</b> | <b>Percentual</b> |
|-------------------------------------------|-------------------|-------------------|
| Muro de contenção à gravidade – gabião    | 23                | 41,8%             |
| Muro de contenção à gravidade – ciclópico | 12                | 21,8%             |
| Cortina                                   | 10                | 18,2%             |
| Muro de contenção à flexão                | 7                 | 12,7%             |
| Solo grampeado                            | 3                 | 5,5%              |

Fonte: Autor (2025).

Figura 34 - Gráfico dos dados referentes à Questão 15 do questionário.



Fonte: Autor (2025).

A respeito da recorrência de manutenções preventivas sobre as estruturas existentes de estabilização de encostas, a percepção dos participantes foi majoritariamente negativa. As respostas estão sintetizadas na Tabela 16 em grau de aprovação geral em relação a afirmação: É recorrente a manutenção preventiva sobre estruturas existentes de estabilização de encostas (Questão 16 do questionário).

Tabela 16 - Dados referentes à Questão 16 do questionário.

| <b>Resposta</b>        | <b>Frequência</b> | <b>Percentual</b> |
|------------------------|-------------------|-------------------|
| Concordo totalmente    | 2                 | 8%                |
| Concordo               | 2                 | 8%                |
| Neutro                 | 2                 | 8%                |
| Discordo               | 11                | 44%               |
| Discordo totalmente    | 5                 | 20%               |
| Não sei opinar         | 3                 | 12%               |
| <b>Aprovação geral</b> | <b>33,0%</b>      |                   |

Fonte: Autor (2025).

Esse dado revela uma fragilidade evidente nas rotinas de manutenção preventiva, que, quando negligenciadas, comprometem a vida útil das estruturas de contenção e elevam o risco de falhas estruturais, especialmente durante períodos chuvosos. A conservação da estrutura e o

prolongamento da sua durabilidade são essenciais e para isso é necessário realizar projetos de manutenção e limpeza. O cuidado regular com esse tipo de construção evita e controla o aparecimento de problemas, como rachaduras, infiltrações e outros danos (Brito et al., 2024).

#### 4.6. AVALIAÇÃO E CONDIÇÕES OPERACIONAIS DO MONITORAMENTO GEOTÉCNICO EM OURO PRETO

O questionário aplicado também buscou avaliar a percepção dos profissionais sobre a eficiência e as condições operacionais dos métodos de monitoramento geotécnico utilizados em Ouro Preto. Foram abordados aspectos como a eficácia dos sistemas, periodicidade das leituras, calibração e manutenção dos equipamentos, além da quantidade de instrumentos disponíveis. Todos os parâmetros foram analisados e conduzidos para uma definição geral caracterizada pela Tabela 17.

Tabela 17 – Relação entre fatores de funcionalidade dos instrumentos estudados e numeração da questão.

| <b>Fator</b>  | <b>Questionário</b> | <b>Tabela</b> |
|---------------|---------------------|---------------|
| Eficiência    | Questão 6           | Tabela 18     |
| Periodicidade | Questão 7           | Tabela 19     |
| Calibração    | Questão 8           | Tabela 20     |
| Manutenção    | Questão 9           | Tabela 21     |
| Quantidade    | Questão 10          | Tabela 22     |

Fonte: Autor (2025).

Quando questionados sobre a eficiência dos métodos de monitoramento geotécnico em uso no município, apenas 12% dos respondentes afirmaram concordar (totalmente ou parcialmente) com a afirmação de que os métodos são eficientes. Um percentual considerável (36%) declarou “não saber opinar”, e 28% discordaram (totalmente ou parcialmente) da eficiência das práticas atuais. Esse cenário pode indicar uma percepção generalizada de insatisfação ou desconhecimento acerca da efetividade dos métodos empregados, indicando a ausência de processos transparentes e rotinas consolidadas de avaliação. As respostas referentes ao quesito eficiência estão sintetizadas na Tabela 18.

No que se refere à periodicidade das leituras dos instrumentos de monitoramento, 28% dos participantes discordaram (totalmente ou parcialmente) que a frequência é adequada, enquanto apenas 12% concordaram (totalmente ou parcialmente) com essa afirmação. O índice de “não sei opinar” foi ainda mais elevado, atingindo 48% dos respondentes. A elevada proporção de respostas neutras ou de desconhecimento sugere que não existe um calendário formal de leituras



divulgado ou seguido de forma padronizada entre os diferentes setores envolvidos. As respostas referentes ao quesito periodicidade estão sintetizadas na Tabela 19.

A situação é ainda mais crítica nos aspectos relacionados à manutenção e à calibração dos instrumentos. Para ambas as questões, apenas 8% dos participantes concordaram que os procedimentos são adequados, enquanto 28% discordaram (totalmente ou parcialmente) e mais da metade dos respondentes (52%) afirmou “não saber opinar”. Esses resultados indicam uma clara deficiência na gestão dos processos de controle e manutenção dos equipamentos, comprometendo a confiabilidade dos dados obtidos e, conseqüentemente, a segurança das intervenções. As respostas estão sintetizadas na Tabela 20 para o quesito manutenção, e Tabela 21, para o quesito calibração.

Em relação à quantidade de equipamentos disponíveis, a percepção foi majoritariamente negativa: 44% dos participantes discordaram (totalmente ou parcialmente) que a quantidade é adequada, enquanto apenas 8% concordaram. Outros 40% afirmaram não ter opinião formada sobre o tema. Essa percepção corrobora a ideia de que os instrumentos de monitoramento são insuficientes para atender à demanda existente, o que pode resultar em um acompanhamento pontual e ineficaz das áreas de risco. As respostas referentes ao quesito quantidade estão sintetizadas na Tabela 22.

Tabela 18 - Dados referentes à eficiência - Questão 6 do questionário.

| <b>Resposta</b>        | <b>Frequência</b> | <b>Percentual</b> |
|------------------------|-------------------|-------------------|
| Concordo totalmente    | 2                 | 8%                |
| Concordo               | 1                 | 4%                |
| Neutro                 | 6                 | 24%               |
| Discordo               | 2                 | 8%                |
| Discordo totalmente    | 5                 | 20%               |
| Não sei opinar         | 9                 | 36%               |
| <b>Aprovação geral</b> | <b>39,1%</b>      |                   |

Fonte: Autor (2025).

Tabela 19 - Dados referentes à periodicidade - Questão 7 do questionário.

| <b>Resposta</b>        | <b>Frequência</b> | <b>Percentual</b> |
|------------------------|-------------------|-------------------|
| Concordo totalmente    | 1                 | 4%                |
| Concordo               | 2                 | 8%                |
| Neutro                 | 3                 | 12%               |
| Discordo               | 5                 | 20%               |
| Discordo totalmente    | 2                 | 8%                |
| Não sei opinar         | 12                | 48%               |
| <b>Aprovação geral</b> | <b>40,4%</b>      |                   |

Fonte: Autor (2025).

Tabela 20 - Dados referentes à calibração - Questão 8 do questionário.

| <b>Resposta</b>        | <b>Frequência</b> | <b>Percentual</b> |
|------------------------|-------------------|-------------------|
| Concordo totalmente    | 0                 | 0%                |
| Concordo               | 2                 | 8%                |
| Neutro                 | 3                 | 12%               |
| Discordo               | 5                 | 20%               |
| Discordo totalmente    | 2                 | 8%                |
| Não sei opinar         | 13                | 52%               |
| <b>Aprovação geral</b> | <b>35,4%</b>      |                   |

Fonte: Autor (2025).

Tabela 21 - Dados referentes à manutenção - Questão 9 do questionário.

| <b>Resposta</b>        | <b>Frequência</b> | <b>Percentual</b> |
|------------------------|-------------------|-------------------|
| Concordo totalmente    | 0                 | 0%                |
| Concordo               | 1                 | 4%                |
| Neutro                 | 5                 | 20%               |
| Discordo               | 4                 | 16%               |
| Discordo totalmente    | 2                 | 8%                |
| Não sei opinar         | 13                | 52%               |
| <b>Aprovação geral</b> | <b>35,4%</b>      |                   |

Fonte: Autor (2025).

Tabela 22 - Dados referentes à quantidade - Questão 10 do questionário.

| <b>Resposta</b>        | <b>Frequência</b> | <b>Percentual</b> |
|------------------------|-------------------|-------------------|
| Concordo totalmente    | 0                 | 0%                |
| Concordo               | 2                 | 8%                |
| Neutro                 | 2                 | 8%                |
| Discordo               | 7                 | 28%               |
| Discordo totalmente    | 4                 | 16%               |
| Não sei opinar         | 10                | 40%               |
| <b>Aprovação geral</b> | <b>28,3%</b>      |                   |

Fonte: Autor (2025).

Considerando os fatores analisados (eficiência, periodicidade, calibração, manutenção e quantidade), o índice geral de aprovação das condições operacionais do monitoramento geotécnico, ou Índice de Aprovação Compilado, em Ouro Preto foi de **35,7%**, valor baixo e que pode denotar a necessidade de revisão dos processos de monitoramento, abrangendo desde a aquisição de novos equipamentos até a implementação de políticas de manutenção preventiva e capacitação técnica. A Tabela 23, descreve a relação definida para descrição do índice compilado.

É de suma importância salientar que, em média, **45,6%** não souberam opinar em cada uma das perguntas relacionadas às condições de operação dos instrumentos. Dado revela provável confiabilidade comprometida ou pouco discernimento dos entrevistados com relação aos tópicos. O fator também pode estar ligado à divulgação das informações. Há a hipótese de que

as informações sobre operação de instrumentos de monitoramento não são difusas, restringindo-se provavelmente a grupos específicos.

Tabela 23 – Índice de aprovação compilado referente aos instrumentos de monitoramento.

| <b>Fator</b>                         | <b>Nota</b>  |
|--------------------------------------|--------------|
| Eficiência                           | 39,1%        |
| Periodicidade                        | 40,4%        |
| Calibração                           | 35,4%        |
| Manutenção                           | 35,4%        |
| Quantidade                           | 28,3%        |
| <b>Índice de aprovação compilado</b> | <b>35,7%</b> |

Fonte: Autor (2025).

A pesquisa revela uma percepção de fragilidade no monitoramento geotécnico municipal. O elevado número de respostas 'não sei opinar' pode estar relacionado tanto a desafios operacionais quanto a uma necessidade de maior integração e comunicação entre as equipes de gerenciamento de riscos.

Há, ainda, a percepção de que a quantidade de instrumentos é insuficiente e que os processos de leitura e manutenção são ineficientes, o que pode resultar em um monitoramento não preventivo. Essa dinâmica compromete a capacidade de antecipação e pode elevar os riscos para a população em períodos de chuvas intensas.

Diante disso, os dados apontam para a importância de, além da aquisição de equipamentos, uma melhoria do monitoramento de forma geral, levando em conta todos os fatores estudados. As melhorias contemplariam rotinas de calibração, manutenção, capacitação das equipes e eficiência na análise dos dados.

#### 4.7. PROPOSTAS E EXPECTATIVAS DE MELHORIA NO MONITORAMENTO E GESTÃO DE RISCOS

O questionário também buscou levantar sugestões e expectativas dos profissionais sobre ações que poderiam fortalecer o monitoramento geotécnico e a gestão de riscos em Ouro Preto. As respostas revelaram uma visão clara sobre as carências estruturais e institucionais que dificultam a adoção de uma política eficiente e preventiva de gestão de desastres.

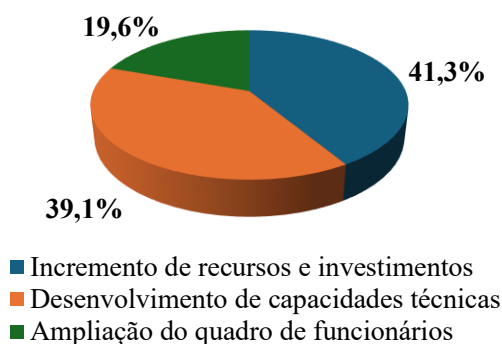
Entre as alternativas apresentadas, os participantes puderam selecionar quais aspectos consideram mais urgentes para a melhoria das práticas de monitoramento geotécnico. Em geral, as prioridades estão sintetizadas na Tabela 24 e plotadas no gráfico da Figura 35.

Tabela 24 - Dados referentes aos aspectos necessários para alcançar melhorias em práticas de monitoramento geotécnico - Questão 19 do questionário.

| <b>Resposta</b>                         | <b>Frequência</b> | <b>Percentual</b> |
|-----------------------------------------|-------------------|-------------------|
| Incremento de recursos e investimentos  | 19                | 41,3%             |
| Desenvolvimento de capacidades técnicas | 18                | 39,1%             |
| Ampliação do quadro de funcionários     | 9                 | 19,6%             |

Fonte: Autor (2025).

Figura 35 - Gráfico dos dados referentes à Questão 19 do questionário.



Fonte: Autor (2025).

O incremento de recursos financeiros foi o aspecto mais citado, evidenciando uma percepção clara de que as limitações orçamentárias são um entrave para a aquisição de equipamentos, execução de obras de maior porte, contratação de consultorias especializadas e implementação de sistemas de monitoramento mais avançados.

Logo em seguida, a necessidade de desenvolvimento de capacidades técnicas foi amplamente reconhecida pelos respondentes. Este resultado indica que, além dos recursos financeiros, existe uma carência significativa de formação continuada para os profissionais que atuam diretamente nas ações de monitoramento, análise de dados e execução de obras. A deficiência em capacitação técnica impacta diretamente na qualidade das intervenções e na eficiência dos processos de tomada de decisão.

A ampliação do quadro de funcionários também foi apontada como uma necessidade relevante. A quantidade reduzida de técnicos especializados disponíveis nos órgãos públicos dificulta a realização de vistorias periódicas, análises de campo, calibração de instrumentos e acompanhamento de obras, sobrecarregando as equipes existentes e limitando o alcance das ações preventivas.

As propostas de melhoria indicadas pelos participantes convergem para a necessidade de uma abordagem sistêmica e integrada, que contemple não apenas o investimento em equipamentos,

mas também o fortalecimento da estrutura institucional, da capacitação técnica das equipes e da cultura de prevenção de desastres.

A percepção de que a gestão de riscos em Ouro Preto é atualmente limitada pela escassez de recursos financeiros e humanos dialoga com a realidade de muitos municípios históricos brasileiros, onde as exigências de preservação patrimonial coexistem com a urgência de garantir a segurança das comunidades residentes.

Além do questionamento objetivo apresentado anteriormente, os entrevistados puderam argumentar livremente sobre que tipo de melhorias poderia ser implementadas no monitoramento.

As respostas indicam um consenso de que o monitoramento geotécnico em Ouro Preto precisa de aprimoramento e que há um desejo por soluções mais modernas, eficientes e contínuas. A maioria das sugestões vai além de simples ações e propõe mudanças estruturais e tecnológicas. Os participantes parecem estar cientes das deficiências e propõem soluções que envolvem tanto tecnologia quanto organização e gestão.

Foi possível relatar uma lista de termos-chave e temas que se repetem ou se destacam nas respostas:

- Tecnologia: Adotar equipamentos e sistemas mais modernos, como sensores de solo, drones, radar, e sistemas automatizados.
- Organização: Criar um plano de monitoramento contínuo e bem definido, com rotinas de manutenção e treinamento de equipes.
- Colaboração: Fortalecer a parceria com universidades e incluir a participação da comunidade para identificar riscos de forma mais precoce.

Os entrevistados foram indagados também quanto à sugestão de tecnologias e metodologias que poderiam ser implementadas para garantir maior segurança. As respostas indicam que Ouro Preto precisa de um sistema de segurança mais moderno e tecnológico. Foram extraídos tópicos assíduos e assuntos que se destacam, e em geral os participantes sugerem o uso de:

- Tecnologia de ponta: Sensores, drones e satélites para coletar dados do solo de forma automática e em tempo real.

- Análise inteligente: O uso de inteligência artificial e modelos digitais para entender melhor os riscos e prever problemas.
- Ação imediata: A criação de sistemas de alerta rápido para avisar a população em caso de perigo.

Por fim, abriu-se a oportunidade para que os entrevistados pudessem descrever sobre suas expectativas com relação a melhorias na área de monitoramento e gerenciamento de risco no município de Ouro Preto. O panorama das respostas revela uma grande dualidade. Por um lado, há uma clara noção do que seria ideal (tecnologia de ponta, gestão integrada, etc.), que é a base das expectativas mais altas. Por outro, pode ser notado um princípio de insatisfação, gerado pela percepção de que a realidade atual é deficiente e que as melhorias necessárias não estão sendo implementadas. O fato de alguns entrevistados não terem expectativa alguma, ou considerarem a expectativa como "pouca melhoria", é um dado tão relevante quanto as sugestões detalhadas.

- Ideal x realidade: Os participantes, em geral, demonstram saber o que é preciso (tecnologia, integração, equipes técnicas), mas percebem que a realidade está muito aquém do ideal.
- Necessidade de mudança estrutural: As respostas sugerem que o problema não é apenas a falta de equipamentos. Há uma demanda por mudanças, como a contratação de equipes especializadas e uma revisão do sistema de monitoramento que englobe robustez em equipamentos, tecnificação e continuidade das atividades. A integração entre órgãos (Prefeitura e UFOP, por exemplo) é vista como um passo necessário para superar a ineficácia.

#### 4.8. DISCUSSÃO INTEGRADAS DOS RESULTADOS

O perfil diversificado dos entrevistados, composto majoritariamente por profissionais de Engenharia Civil e áreas correlatas, reflete a complexidade do tema e a necessidade de uma abordagem interdisciplinar. A predominância de profissionais da Prefeitura Municipal de Ouro Preto (PMOP) e a participação de membros da Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP) e do setor privado demonstram a centralidade das instituições municipais na gestão direta das áreas de risco, mas também sugerem uma interação relevante entre a academia, o poder público e a iniciativa privada. A expressiva presença de profissionais com menos de 10 anos de

experiência indica a necessidade de fortalecer a memória técnica institucional por meio de capacitação contínua para os profissionais mais novos.

Os principais desafios geotécnicos identificados pelos participantes são a "Condições geológicas e/ou geotécnicas do assentamento urbano" (26%), a dificuldade em "Monitorar e agir frente a situações de risco" (25%), e o "Manejo de águas pluviais (drenagem urbana e de encostas)" (23%). Esses dados indicam que, embora as características naturais do terreno sejam determinantes, as deficiências estruturais e institucionais, como a falta de monitoramento eficiente e a limitação de recursos, agravam a situação. Outros desafios incluem a "Preservação do patrimônio material e à vida em desastres urbanos" (16%) e a "Inviabilidade orçamentária ou financeira para execução de obras" (9%). A baixa porcentagem para a "Ausência de equipe técnica com expertise para a real solução" (2%) sugere que esse fator é menos relevante em comparação com os outros desafios. A percepção de que os problemas geotécnicos não se concentram apenas no centro histórico, mas também em bairros periféricos e distritos como Taquaral e Bairro São Cristóvão, reforça a necessidade de um mapeamento geotécnico detalhado e abrangente para toda a cidade.

Em relação à infraestrutura e às técnicas de estabilização, a maioria dos entrevistados percebe a infraestrutura de drenagem como insuficiente para lidar com as chuvas intensas (72% de discordância). A preferência por muros de contenção à gravidade, como gabião (41,8%) e ciclópico (21,8%), sugere o uso de soluções consagradas, enquanto técnicas mais modernas como o solo grampeado (5,5%) são pouco aplicadas. A percepção majoritariamente negativa sobre a recorrência de manutenções preventivas demonstra uma fragilidade nas rotinas de manutenção, o que compromete a vida útil das estruturas e aumenta o risco de falhas.

O conhecimento sobre os métodos e equipamentos de monitoramento geotécnico é limitado. Quase um quarto dos participantes (24,3%) afirmou "não saber opinar" sobre os equipamentos utilizados em Ouro Preto. O drone (21,6%) e o inclinômetro (21,6%) foram os equipamentos mais citados, o que pode indicar que tecnologias mais visuais são mais reconhecidas do que instrumentos técnicos como piezômetros (10,8%) e estações totais (10,8%). A falta de conhecimento se estende aos sistemas de acompanhamento contínuo de áreas de risco, com 76% dos entrevistados afirmando não conhecer nenhum sistema. O baixo índice de aprovação (35,7%) para as condições operacionais do monitoramento, incluindo eficiência, periodicidade, manutenção e quantidade de equipamentos, indica a necessidade de uma revisão dos processos.

O alto número de respostas "não sei opinar" sugere uma falta de integração e comunicação entre as equipes de gerenciamento de riscos.

As propostas de melhoria convergem para a necessidade de uma abordagem sistêmica. Os profissionais apontam para o "Incremento de recursos e investimentos" (41,3%) e o "Desenvolvimento de capacidades técnicas" (39,1%) como prioridades. A ampliação do quadro de funcionários também foi citada (19,6%), evidenciando que a escassez de recursos humanos dificulta a realização de vistorias e o acompanhamento de obras. Os participantes sugerem a adoção de tecnologias de ponta, como sensores, drones e inteligência artificial, a criação de um plano de monitoramento contínuo e a colaboração entre a prefeitura e universidades. Existe uma dualidade entre o ideal de um sistema moderno e a percepção de que a realidade atual é deficiente, o que gera um sentimento de insatisfação. A falta de um programa institucionalizado de monitoramento contínuo, ou a falta de comunicação sobre sua existência, compromete a capacidade de antecipação de desastres e limita a gestão de riscos a uma atuação de caráter que tende à reatividade, e não à prevenção.



## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo analisar os métodos e práticas de monitoramento geotécnico, estabilização de encostas e drenagens no município de Ouro Preto, com ênfase na identificação de estratégias compatíveis com a realidade local e na proposição de diretrizes para o aprimoramento da gestão pública em áreas de risco. A partir de uma abordagem que articulou revisão bibliográfica, análise contextual e aplicação de questionário a profissionais atuantes no município, foi possível construir uma visão abrangente dos desafios enfrentados e das possíveis soluções.

A pesquisa confirmou que Ouro Preto enfrenta uma complexidade geotécnica significativa, agravada pela topografia acidentada, ocupação histórica desordenada, sazonalidade das chuvas e infraestrutura de drenagem frágil. Embora as condições naturais do terreno sejam um fator limitante, as deficiências institucionais e estruturais agravam a situação. Ademais, os dados obtidos evidenciam que 72% dos entrevistados consideram a atual infraestrutura de drenagem inadequada para mitigar os impactos das chuvas, o que contribui significativamente para a instabilidade do solo.

A pesquisa também revelou a predominância do uso de técnicas tradicionais de estabilização, como muros de gabião e ciclópico, em detrimento de métodos mais modernos e eficazes, como o solo grampeado. Essa escolha parece estar associada a restrições orçamentárias, limitações operacionais e à escassez de capacitação técnica especializada. Ainda assim, os profissionais demonstraram disposição para a inovação, com destaque para sugestões de utilização de tecnologias emergentes, como drones e sensores para o monitoramento em tempo real.

Além disso, constatou-se a carência de um programa oficial de monitoramento contínuo das áreas de risco. A expressiva parcela de participantes que desconhece ou não soube opinar sobre os sistemas de monitoramento em funcionamento (76% e 24,3%, respectivamente), aliada ao baixo Índice de Aprovação Compilado (35,7%) em relação às condições operacionais desses sistemas – incluindo manutenção, calibração, eficiência e quantidade de equipamentos – indica uma necessidade de melhoria dos sistemas de monitoramento e metodologia adotada.

A gestão de riscos em Ouro Preto é percebida como pouco preventiva. A ausência de um programa oficial de monitoramento contínuo compromete a capacidade de antecipação de

desastres. Diante desse cenário, os profissionais sugerem uma abordagem sistêmica e integrada, com foco no aumento de recursos e investimentos (41,3%), no desenvolvimento de capacidades técnicas (39,1%) e o aumento do quadro de profissionais qualificados (19,6%). As indicações apontadas pelos entrevistados podem indicar um possível sequenciamento de prioridades. Os investimentos antecedem a capacitação, que por sua vez, se replica e reproduz na contratação de novos colaboradores.

Conclui-se, portanto, que a gestão de riscos geotécnicos em Ouro Preto ainda se dá de forma predominantemente não preventiva. Para a construção de uma cidade mais segura e resiliente, é imprescindível a adoção de práticas preventivas, com base em um plano estruturado de monitoramento contínuo, alinhado às especificidades locais. A valorização da engenharia geotécnica no planejamento urbano, aliada à cooperação institucional e à formação técnica, representa o caminho mais promissor para a superação dos desafios diagnosticados. A experiência de Ouro Preto, nesse sentido, pode servir de referência para outras cidades brasileiras que enfrentam contextos semelhantes de vulnerabilidade.

### 5.1. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Considerando os resultados obtidos e os limites metodológicos desta pesquisa, sugere-se que futuros trabalhos explorem a replicação desta metodologia em outros municípios brasileiros que apresentem características semelhantes às de Ouro Preto, como topografia acidentada, presença de áreas de risco geotécnico e desafios históricos relacionados à drenagem urbana e à expansão desordenada. A comparação entre diferentes realidades municipais pode contribuir para a construção de uma base de dados mais robusta, além de possibilitar a identificação de padrões e soluções replicáveis em nível regional ou nacional.

A metodologia adotada neste estudo, baseada na aplicação de questionário a profissionais da engenharia civil e áreas correlatas, mostrou-se eficaz para mapear percepções, identificar falhas operacionais e propor diretrizes práticas. No entanto, para uma maior abrangência e refinamento analítico, futuros estudos podem considerar a readequação de alguns pontos do instrumento de coleta de dados. Entre os ajustes sugeridos, destacam-se:

- A ampliação do público alvo, abrangendo além de gestores públicos, agentes da defesa civil, acadêmicos e técnicos - os membros de comunidades afetadas, de modo a obter uma visão mais multidisciplinar e socialmente engajada.

- Incorporar questões de planejamento e de cunho econômico-financeiro, que abordem custos estimados, prazos de execução, eficácia observada e dificuldades enfrentadas durante a implantação das técnicas.
- Associação da percepção dos entrevistados com dados técnicos e estatísticos disponíveis (como registros de escorregamentos, pluviometria, investimentos públicos, etc.), favorecendo análises comparativas e quantitativas.
- Relacionar questões voltadas à percepção e conhecimento dos entrevistados sobre leis, planos e programas municipais ou estaduais voltados à gestão de riscos geotécnicos e drenagem urbana.

Essas readequações podem tornar o instrumento mais completo e adaptável a diferentes contextos, contribuindo para o fortalecimento de diagnósticos locais e regionais. Além disso, encoraja-se a realização de estudos de caso longitudinais que avaliem a eficácia de intervenções implementadas ao longo do tempo, bem como pesquisas aplicadas voltadas à testagem de novas tecnologias de monitoramento, como instrumentos e Sensoriamento Remoto (SIG).

Por fim, destaca-se a importância da continuidade de pesquisas com foco na interface entre engenharia geotécnica, gestão pública e participação comunitária, com vistas à construção de políticas mais integradas, preventivas e sustentáveis para áreas urbanas vulneráveis.

## REFERÊNCIAS

- AECWEB. **Cortina atirantada em concreto armado contém empuxos do solo**. 31 de março de 2023. Disponível em: <https://www.aecweb.com.br/revista/materias/cortina-atirantada-em-concreto-armado-contem-empuxos-do-solo/14268>. Acesso em: 23 jul. 2025.
- AUGUSTO FILHO, O.; VIRGILI, J. C. **Estabilidade de Taludes**. Oliveira, A. M. S.; Brito, S. N. A. (ed.) Geologia de Engenharia, São Paulo: ABGE, cap. 15, p. 243-269, 1998.
- ACEVEDO, Andrés Miguel González. **Estudo de séries de leituras obtidas através do monitoramento da instrumentação geotécnica implantada em uma encosta litorânea**. Dissertação de Mestrado—Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2013.
- ALVES FILHO, A. **Elementos finitos - a base da tecnologia**. Érica, , 2013.
- ANTONELLI, Tiago *et al.* (ORGS.). **Guia de procedimentos técnicos do Departamento de Gestão Territorial**. Brasília, DF: Serviço Geológico do Brasil - CPRM, 2020.
- AUGUSTIN, Cristina Helena Ribeiro Rocha; ARANHA, Paulo Roberto Antunes. Piping em área de voçorocamento, noroeste de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 7, n. 1, 22 nov. 2006.
- BANDEIRA, Ana Patricia Nunes; COUTINHO, Roberto Quental; ALHEIROS, Margareth Mascarenhas. **Mapa de risco de erosão e escorregamento das encostas com ocupações desordenadas no município de Camaragibe-PE**. Tese de Mestrado—Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 2003.
- BANDEIRA, Ana Patricia Nunes; COUTINHO, Roberto Quental; ALHEIROS, Margareth Mascarenhas. **Parâmetros técnicos para gerenciamento de áreas de risco de escorregamentos de encostas na região metropolitana do Recife**. Tese de Doutorado—[S.l.]: Universidade Federal de Pernambuco, 2010.
- BARBOSA, Lucas Daldegan; DIAS, Mateus Bassoli. **Rotina para análise de estabilidade de taludes via software MacStars 2000**. Trabalho de Conclusão de Curso—Curitiba: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2000.

BARROS, Pêrsio Leister de Almeida *et al.* **Obras de contenção: Manual técnico.** Maccaferri do Brasil Ltda., 2017.

BASSANELI, Hélio Rodrigues; CORRÊA, Marco Aurélio Martins. **Estabilidade de taludes.** 2016.

BOUCH, Luiz Henrique Martins. **Análise da previsão de recalques em uma obra de aterro sobre solo mole através de modelagem numérica bidimensional pelo método dos elementos finitos.** Trabalho de Conclusão de Curso—Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2017.

BRITO, Kleiton De Albuquerque *et al.* Políticas Públicas & Cidades. **Análise das manifestações patológicas em uma estrutura de contenção no bairro de Linha do Tiro - Recife/PE**, v. 13, n. 2, p. e1324, 11 nov. 2024.

BRITTO, Maria Clara Alves do Nascimento. **Avaliação do potencial de colapsibilidade de solos do estado da Bahia através de métodos diretos e indiretos.** Monografia—Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas: Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 11 dez. 2020.

CAPUTO, H. P. **Mecânica dos solos e suas aplicações.** LTC, , 1988.

CAVALCANTE, Juliana da Silva Ibiapina. **Percepção de riscos ambientais de populações vulneráveis a inundações e deslizamentos de dunas em Natal-RN.** Dissertação de mestrado—Natal: Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2013.

CAVALCANTI, Mayara Matos. **Estabilização de encostas com proteção superficial e drenagem superficial e profunda.** Trabalho de Conclusão de Curso—Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 2017.

CONAUT. **Como funciona o medidor eletromagnético.** São Paulo: Conaut, 2024. Disponível em: <https://www.conaut.com.br/blog/como-funciona-medidor-eletromagnetico>. Acesso em: 2 ago. 2025.

COSTA, Fernanda Martineli; BACELLAR, Luis De Almeida Prado; SILVA, Eder Fonseca. Vertedores portáteis em microbacias de drenagem. **Rem: Revista Escola de Minas**, v. 60, n. 2, p. 213–218, jun. 2007.

COSTA, N. R. **Utilização de geotecnologias no monitoramento de processos erosivos e movimentos de massa em trecho da faixa de dutos Rio de Janeiro – Belo Horizonte.** Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Ambiental) - Rio Claro: Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, 2010.

CRUDEN, David M.; VARNES, David. J. Chapter 3: Landslide types and process. *In: Landslides: investigation and mitigation. [S.l.: S.n.]*.

DAMACENA, Fernanda Dalla Libera. **A formação sistêmica de um direito dos desastres.** Dissertação de mestrado—São Leopoldo: Universidade do Vale do Rio dos Sinos, 2012.

DE OLIVEIRA, Leandro Duque de; SOBREIRA, Frederico Garcia. Crescimento urbano de Ouro Preto-MG entre 1950 e 2004 e atuais tendências. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 67, n. 4, p. 867–876, 30 jul. 2015.

DER-SP. **Gabiões.** Secretaria dos Transportes, , 2006.

DNIT. **Manual de drenagem de rodovias.** , 2006. Disponível em:  
<[https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-manuais/vigentes/724\\_manual\\_drenagem\\_rodovias.pdf](https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-manuais/vigentes/724_manual_drenagem_rodovias.pdf)>

DUNNICLIFF, J. **Geotechnical instrumentation for monitoring field performance**, 1988. Wiley - Interscience Publication - New York, 577 p.

DYMINSKI, Andréa Sell. **Noções de Estabilidade de Taludes e Contenções.** , 2008. Disponível em: <[HTTP://www.cesec.ufpr.br](http://www.cesec.ufpr.br)>

FERREIRA, S. B. et al. **Movimentos em encostas de Ouro Preto, MG: o caso da Vila São José.** Revista Escola de Minas, v. 57, n. 4, p. 235–240, dez. 2004.

FG MORETTI ENGENHARIA. **Extensômetro de Geogrelha.** São Paulo, 2025. Disponível em: <https://www.fgmoretti.com.br/servicos/134>. Acesso em: 2 ago. 2025.

FLICK, U. **Introdução à Pesquisa Qualitativa.** 3ª ed. Porto Alegre: Artmed, 2009.

FONSECA, A. R. **Auscultação por instrumentação de barragens de terra e enrocamento para geração de energia elétrica – Estudo de caso das barragens da UHE São Simão.** 2003.

250 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2003.

FONTES, Michel Moreira Morandini. **Contribuição para o desenvolvimento da metodologia de análise, gestão e controle de riscos geotécnicos para a área urbana da cidade de Ouro Preto**. Dissertação de Mestrado—Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto, 2011.

FORMAN, Richard T.T. **Land mosaics: The ecology of landscapes and regions**. Cambridge, Cambridge University Press, 1995.

FREU, Pedro Henrique Alves. **Estudo para Projeto de Estabilização de uma Encosta do Morro da Glória II, Angra dos Reis – RJ**. 2012.

GAIOTO, N. **Introdução ao projeto de barragens de terra e enrocamento**. São Carlos: Ed. USP São Carlos, 2003.

GEOESTÁVEL ENGENHARIA. **Drenagem superficial**. Disponível em: <https://geoestavel.com.br/servico/drenagem-superficial/>. Acesso em: 23 jul. 2025.

GEORIO. **Manual Técnico de Encostas: Drenagem e Proteção Superficial**. Rio de Janeiro, 2014. v.2.

GERSCOVICH, Denise Maria Soares. **Tensões em solos**. , 2008. Disponível em: <<http://www.eng.uerj.br/~denise/pdf/tensoes.pdf>>

GERSCOVICH, Denise Maria Soares. **Apostila de Estabilidade de Taludes**. , 2018. Disponível em: <<<http://www.emg.uerj.br/denise>>

GERSCOVICH, Denise Maria Soares; VARGAS, Eurípedes Do Amaral; CAMPOS, Tácio Mauro Pereira De. Estabilidade de taludes. *In*: CARVALHO, José Camapum De *et al.* (Orgs.). **Solos não saturados no contexto geotécnico**. 2. ed. São Paulo, SP, Brazil: ABMS, 2023. p. 867–891.

GIS IBERICA. **Fissurómetro Reto para fissuras e trincas**. [S. l.]: Fissurómetros, 2025. Disponível em: <https://www.fissurometros.pt/FI007.php>. Acesso em: 2 ago. 2025.

GRUPO ACRE. **Fissurómetro de Corda Vibrante JM-S/Rociest**. [S. l.]: Grupo Acre, [s.d.]. Disponível em: <https://grupoacre.com.pt/catalogo-productos/fissuometro-de-corda-vibrante-jm-s-rociest/>. Acesso em: 2 ago. 2025.

HAERI, S. M. The role of geotechnical engineering in sustainable and resilient cities. *Scientia Iranica*, v. 23, n. 4, p. 1658–1674, 1 out. 2016.

HUESKER. **Geossintéticos: Aplicações: Obras de Terra e Fundações: Solo Reforçado com Geogrelhas**: Fortrac Systems. Disponível em:

<https://www.huesker.com.br/geossinteticos/aplicacoes/obras-de-terra-e-fundacoes/solo-reforcado-com-geogrelhas/fortrac-systems/>. Acesso em: 23 jul. 2025.

HUTCHINSON, J. N.; BROMHEAN, E. N.; LUPINI, J. F. **Additional Observations on Coastal Landslides of Folkestone Warren**. *Quartely Journal*, , 1980.

IRMÃOS OLIVEIRA. **Marco Geo Concreto 40x10x10cm Cinza para Topografia**. [S. l.]: Irmãos Oliveira, 2025. Disponível em: [https://www.irmaosoliveira.com.br/marco-geo-concreto-40x10x10cm-cinza-para-topografia/p?srsId=AfmBOopLWzd7Ekq8Tx1VJkAlyFGlOuXSSqN7qkI73yTfTbPd6-\\_3c\\_Hp](https://www.irmaosoliveira.com.br/marco-geo-concreto-40x10x10cm-cinza-para-topografia/p?srsId=AfmBOopLWzd7Ekq8Tx1VJkAlyFGlOuXSSqN7qkI73yTfTbPd6-_3c_Hp). Acesso em: 2 ago. 2025.

ISMAEL, Luara et al. **Monitoramento Quantitativo e Qualitativo do rio Piranhas-PB: Área Temática: Engenharia e Sustentabilidade**. 2012.

ITAIPU Binacional. **Descripción de Funcionamiento – Piezómetro tipo “stand pipe”**. Foz do Iguaçu, 2004.

MALDONADO, Luiz Henrique; WENDLAND, Edson Cezar; PORTO, Rodrigo De Melo. Avaliação de métodos de baixo custo para medição de vazão em córregos. *Ambiente e Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, v. 10, n. 2, p. 402–412, 30 abr. 2015.

MEKSOL. **Controle de Recalques de Aterro sobre Solo Mole**. Belo Horizonte: Meksol, [s.d.]. Disponível em: <https://www.meksol.com.br/obras-recente/controle-de-recalques-de-aterro-sobre-solo-mole/31>. Acesso em: 2 ago. 2025.



MELO, Ricardo Almeida de. **Drenagem de rodovias**. . Notas de aula apresentado em Curso de graduação em Engenharia Civil **Anais...** . Paraíba, [S.d.]. Disponível em:

<[https://c487c27585.clvaw-cdnwnd.com/0d16f92baaaa598c13d9bb84d71da246/200000258-1a0191afba/Drenagem\\_introducao\\_UFCG.pdf](https://c487c27585.clvaw-cdnwnd.com/0d16f92baaaa598c13d9bb84d71da246/200000258-1a0191afba/Drenagem_introducao_UFCG.pdf)>. Acesso em: 24 jul. 2025

MENESES, Paulo Roberto; ALMEIDA, Tati de. **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Brasília, 2012. Disponível em:

<[https://www.researchgate.net/profile/Tati-Almeida/publication/332292728\\_INTRODUCAO\\_AO\\_PROCESSAMENTO\\_DE\\_IMAGENS\\_DE\\_SENSORIAMENTO\\_REMOTO/links/5cac8190a6fdccf47828f335/INTRODUCAO-AO-PROCESSAMENTO-DE-IMAGENS-DE-SENSORIAMENTO-REMOTO.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Tati-Almeida/publication/332292728_INTRODUCAO_AO_PROCESSAMENTO_DE_IMAGENS_DE_SENSORIAMENTO_REMOTO/links/5cac8190a6fdccf47828f335/INTRODUCAO-AO-PROCESSAMENTO-DE-IMAGENS-DE-SENSORIAMENTO-REMOTO.pdf)>

MENEZES, Ana Carolina Carvalho De *et al.* Estudo e Projeto de Estabilização de Talude Urbano Utilizando a Técnica de Solo Grampeado: Caso de Obra no Município de Senador Firmino-MG / Study and Design of Urban Slope Stabilization Using the Stapled Soil Technique: Case of a Work in the City of Senador Firmino-MG. **Brazilian Applied Science Review**, v. 5, n. 2, p. 677–691, 2021.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Contenção de Encostas: Manual de Instruções para Apresentação de Propostas**. Portaria MCID nº 1.326, , 2023.

MOLITERNO, Antonio. **Caderno de muros de arrimo**. Edgar Blücher Ltda., , 1994.

MORAIS, C. M. **Escalas de medida, estatística descritiva e inferência estatística**. Escola Superior de Educação. Instituto Politécnico de Bragança. Bragança, 2005.

NARESI, L. N. **Inclinômetros para taludes**. Google Sites. Disponível em: <https://sites.google.com/site/naresi1968/385-inclinometros-para-taludes>. Acesso em: 2 ago. 2025.

OLIVEIRA, Edson Luis De Almeida; ROBAINA, Luis Eduardo De Souza. Gerenciamento de áreas de risco em cidades brasileiras: projetos e programas. **Ciência e Natura**, v. 37, n. 3, p. 366–384, 26 set. 2015.

ORTIGÃO, J. A. R. **Introdução à Mecânica dos Solos dos Estados Críticos**. 2007. Terratek, 3 ed., 385 p.

PECK, R. B. **The observational method can be simple**. Proceedings of the Institution of Civil Engineering, Geotechnical Engineering, v. 149, 2001.

PINHEIRO, Antônio Luiz; SOBREIRA, Frederico Garcia; LANA, Milene Sabino. Influência da expansão urbana nos movimentos em encostas na cidade de Ouro Preto, MG. **Rem: Revista Escola de Minas**, v. 56, n. 3, p. 169–174, jul. 2003.

PINTO, P. S. Algumas reflexões sobre a instrumentação de estruturas geotécnicas. 2006.

QUEIROZ, Vinícius Oliveira. **Monitoramento geotécnico de estruturas de mineração**. Trabalho de Conclusão de Curso—Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto, 2024.

RABELLO, Livia Luchi. **Avaliação dos instrumentos de gestão de riscos de desastres no município de Vitória-ES**. Pós-Graduação em Engenharia de Infraestrutura Urbana, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista—Vitória: Instituto Federal do Espírito Santo, 2022.

RANTZ, S.E. **Measurement of stage and discharge**. In: Measurement and Computation of Streamflow. Washington: Geological Survey Water-Supply paper 2175, 1982. v. 1. 284p.

RITTER, Mario; MORGADO, Rodrigo dos Santos. **Estabilização de taludes com cortina atirantada**. Relatório de Projeto de Final de Curso—Rio de Janeiro: Instituto Militar de Engenharia, 2017.

ROCHA, S. A. M. **Instrumentação e monitorização de estruturas geotécnicas na Rede Ferroviária Nacional: estudo de caso do talude de aterro entre os Km's 236+450 e 236+720 da linha do Sul**. 2014. Dissertação de mestrado em Engenharia Civil na Área de Vias de Comunicação e Transporte) – Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa, 2014.

ROSS, Jurandy Luciano Sanches. **Geomorfologia ambiental**. 8. ed. [S.l.]: Bertrand Brasil, 2006.

SANTOS, Renata Pinto. **Análise do comportamento de telas de impacto para contenção de blocos de rocha**. Dissertação de Mestrado—Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto, 2019.

SANTOS, I. dos; FILL, H. D.; SUGAI, M. R. V. B.; BUBA, H.; KISHI, R. T.; MARONE, E.; LAUTERT, L. F. **Hidrometria aplicada**. Curitiba: ITD, 2001.

SARMIENTO, J. Gestión del riesgo ante la variabilidad y cambio climático. 2008.

SESTREM, L. P. **Concepção e implantação de um plano de instrumentação para avaliação das condicionantes geotécnicas de uma encosta litorânea**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

SILVA, Danilo Ramos da. **Metodologia de vistoria e manutenção de estruturas geotécnicas em infraestruturas rodovias e ferroviárias**. Dissertação de mestrado—Vila Real: Universidade de Trás-Os-Montes e Alto Douro, 2021.

SILVA, João Carlos Baptista Jorge da. Solos grampeados - Comprimentos máximos de grampos nos solos a lesse da falha de Salvador (BA). n. 35, p. 57–74, 2006.

SILVA NETO, Marco et al. **Visual Data Mining techniques applied for the analysis of data collected at Itaipu power plant**. Gestão & Produção, São Carlos, v. 17, n. 4, p. 721-734, out./dez. 2010. DOI: 10.1590/S0104-530X2010000400007.

SILVEIRA, Rodrigo M. da. **Comportamento Geotécnico das Encostas**. CREA-PR, , 2016.

SILVEIRA, Rafaela De Fraga. **Uso de barreiras dinâmicas e estáticas como solução de contenção em taludes rochosos**. Trabalho de Conclusão de Curso—Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2024.

SINGH, Y. K. **Fundamental of Research Methodology and Statistics**. New Delhi: Newage International Ltd, 2006.

SOUSA, L. R. **A observação no Controlo da Segurança de Obras**. 2001. In: CURSO SOBRE TÚNEIS EM MEIOS URBANOS, 2001, Coimbra. Trabalho (Especialização) – Faculdade de Ciência e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Coimbra, 2001.

SOUZA, Larissa Rosa de. **Análise numérica do comportamento de taludes reforçados em solo grampeado com face verde**. Trabalho de Conclusão de Curso—Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2022a.

SOUZA, Dr Adriano. **Projeto de Muro de Flexão de Concreto Armado para um Talude Vertical**. Ilha Solteira - SP: Universidade Estadual Paulista, Departamento de Engenharia Civil, 2022b.

SOUZA, Hugo Alvarenga De. **Avaliação de movimento de massa do tipo rastejo em talude no bairro São Cristóvão, Ouro Preto (MG)**. Trabalho de Conclusão de Curso—Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto, 2025.

SOUZA, Natália *et al.* Gestão do monitoramento geotécnico de barragens de mineração. **XXXIV Seminário Nacional de Grandes Barragens**, 2023.

TÁLITA DE SENA NOLA, Iraydes; ZUQUETTE, Lázaro Valentim. Procedures of engineering geological mapping applied to urban planning in a data-scarce area: Application in southern Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 107, p. 103141, abr. 2021.

TANUS, Andressa Aragão. **Vulnerabilidade em áreas propensas a riscos de desastres por movimento de massa em comunidades de João Pessoa - PB**. Trabalho de Conclusão de Curso—João Pessoa: Universidade Federal da Paraíba, 2018.

TORRES, J. M. S. M. **Métodos de Observação durante a execução de obras subterrâneas**. 2010. 150 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto, 2010. Disponível em: <http://recipp.ipp.pt/handle/10400.22/2063>. Acesso em: 2 ago. 2025.

TOSCAN NETO, Ângelo. **Simulação de sistemas de drenagem urbana sustentável aplicada em um loteamento urbano utilizando o EPA SWMM**. Dissertação de Mestrado—Pato Branco: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2019.

TROMBETA, Letícia Roberta; GARCIA, Renata Marchi; NUNES, Rafael da Silva; GOUVEIA, Isabel Cristina Moroz Caccia; LEAL, Antônio Cezar. Análise da fragilidade potencial e emergente do relevo da unidade de gerenciamento de recursos hídricos pontal do Paranapanema, São Paulo, Brasil. **Caderno Prudentino de Geografia**, volume especial, n. 36, p. 159-173. Presidente Prudente, 2014.

TUCCI, Carlos E. M. Águas Urbanas. **Estudos Avançados**, v. 22, n. 63, p. 97–112, 2008.

TURNIPSEED, D. P.; SAUER, V. B. **Discharge measurements at gaging stations**. In: UNITED STATES. Geological Survey. Techniques and Methods. Book 3, chap. A8. Washington, 2010. 87 p.

UNISDR (United Nations International Strategy for Disaster Reduction). **The Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030**. Geneva: UN, 2016.

UZEDA, Camila S. Estabilização de taludes com biomantas de fibra de coco. v. 04, 2024.

VANACÔR, Roberto Nunes. **Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento aplicados ao mapeamento das áreas susceptíveis a movimentos de massa na região nordeste do Estado do Rio Grande do Sul**. Dissertação de mestrado—Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2006.

VERDUM, Roberto; VIEIRA, Carmem Lucas; CANEPPELE, Jean Carlo Gessi. **Métodos e técnicas para o controle da erosão e conservação do solo**. Porto Alegre: [S.n.].

VERVLOET, Eduardo Murad; PUPPIN, Luiza Saiter. **Dimensionamento de um muro de solo reforçado com geossintéticos**. Trabalho de Conclusão de Curso—Vitória: Universidade Federal do Espírito Santo, 2022.

VIEIRA, Pedro. **O cenário de riscos geológicos iminentes em Ouro Preto**. UFOP, , 2023. Disponível em: <<https://ufop.br/noticias/em-discussao/o-cenario-de-riscos-geologicos-impinentes-em-ouro-preto>>

XAVIER, Mateus Oliveira. **Mapeamento da suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa utilizando a análise estatística do valor informativo aplicada ao distrito sede da cidade histórica de Ouro Preto-MG**. Dissertação de Mestrado—Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro preto, 26 set. 2014.

## APÊNDICE I

### Questionário aplicado como instrumento metodológico de coleta de percepções

#### A. Identificação

1. Qual é sua formação acadêmica?
  - a. Arquitetura e Urbanismo
  - b. Engenharia Agrônômica
  - c. Engenharia Ambiental
  - d. Engenharia Civil
  - e. Engenharia de Minas
  - f. Engenharia de Produção
  - g. Engenharia Florestal
  - h. Engenharia Geológica
  - i. Engenharia Urbana
  - j. Ensino médio
  - k. Outro
2. Há quanto tempo trabalha na área?
  - a. Mais de 20 anos
  - b. Entre 10 e 20 anos
  - c. Entre 5 e 10 anos
  - d. Menos de 5 anos
3. É de órgão público? Se sim, qual órgão e secretaria/departamento.
  - a. UFOP (DECIV)
  - b. UFOP (DEURB)
  - c. UFOP (DEARQ)
  - d. UFOP (DEAMB)
  - e. UFOP (DEMIN)
  - f. UFOP (DEGEO)
  - g. PMOP (Secretaria de Desenvolvimento Urbano e Habitação)
  - h. PMOP (Secretaria de Desenvolvimento Econômico, Inovação e Tecnologia)

- i. PMOP (Secretaria de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável)
- j. PMOP (Secretaria de Obras e Urbanismo)
- k. PMOP (Secretaria de Planejamento e Gestão)
- l. PMOP (Secretaria de Segurança e Trânsito)
- m. PMOP (Coordenadoria Municipal de Proteção e Defesa Civil)
- n. [Outro]

## **B. Situação atual**

4. Quais são os principais desafios enfrentados no município para solucionar os problemas geotécnicos?

- ☐ Condições geológicas e/ou geotécnicas do assentamento urbano
- ☐ Manejo de águas pluviais (drenagem urbana e de encostas)
- ☐ Inviabilidade orçamentária ou financeira para execução de obras
- ☐ Preservação do patrimônio material e à vida em desastres urbanos.
- ☐ Monitorar e agir frente a situações de risco
- ☐ Não sei opinar
- ☐ [Outro]

5. Já ouviu falar sobre monitoramento geotécnico (monitoramento de estruturas geotécnicas e maciços) no município de Ouro Preto? Se sim, quais aparelhos você tem conhecimento da utilização em Ouro Preto:

- ☐ Clinômetro
- ☐ Placa de recalque
- ☐ Extensômetro
- ☐ Piezômetro/INA
- ☐ Sismógrafo
- ☐ Drone
- ☐ Estação total
- ☐ Teodolito
- ☐ Não sei opinar
- ☐ [Outro]

6. Os métodos de monitoramento geotécnico utilizados em Ouro Preto são eficientes.  
Sobre essa afirmação:
- a. Concordo totalmente
  - b. Concordo
  - c. Neutro
  - d. Discordo
  - e. Discordo totalmente
  - f. Não sei opinar
7. A periodicidade de leituras dos instrumentos de monitoramento geotécnico, em Ouro Preto, é adequada. Sobre essa afirmação:
- a. Concordo totalmente
  - b. Concordo
  - c. Neutro
  - d. Discordo
  - e. Discordo totalmente
  - f. Não sei opinar
8. A calibração dos instrumentos de monitoramento geotécnico, em Ouro Preto, é adequada. Sobre essa afirmação:
- a. Concordo totalmente
  - b. Concordo
  - c. Neutro
  - d. Discordo
  - e. Discordo totalmente
  - f. Não sei opinar
9. A manutenção dos instrumentos de monitoramento geotécnico, em Ouro Preto, é adequada. Sobre essa afirmação:
- a. Concordo totalmente
  - b. Concordo
  - c. Neutro
  - d. Discordo



- e. Discordo totalmente
  - f. Não sei opinar
10. A quantidade de instrumentos usados para o monitoramento geotécnico, em Ouro Preto, é adequada. Sobre essa afirmação:
- a. Concordo totalmente
  - b. Concordo
  - c. Neutro
  - d. Discordo
  - e. Discordo totalmente
  - f. Não sei opinar
11. A maior parte dos locais críticos que apresentam risco geológico-geotécnico se encontram no perímetro do centro histórico. Sobre essa afirmação:
- a. Concordo totalmente
  - b. Concordo
  - c. Neutro
  - d. Discordo
  - e. Discordo totalmente
  - f. Não sei opinar
12. Quais são as localizações em Ouro Preto que considera mais críticas em relação a estabilização geotécnica e drenagem?
- ☐ Bairro Morro Santana
  - ☐ Bairro Pilar (Morro da Forca)
  - ☐ Bairro Santa Cruz
  - ☐ Bairro São Cristóvão
  - ☐ Bairro São José
  - ☐ Distrito de São Bartolomeu e Glaura
  - ☐ Distrito de Cachoeira do Campo
  - ☐ Distrito de Amarantina
  - ☐ Distrito de Santa Rita
  - ☐ Distrito de Rodrigo Silva

- ☐ Rua Padre Rolim
- ☐ Taquaral
- ☐ Outro

### **C. Métodos de monitoramento e gerenciamento**

13. Conhece um sistema ou programa de acompanhamento contínuo das áreas de risco?

Como ele funciona?

- a. Sim
- b. Não

[Comente]

### **D. Infraestrutura de Drenagem e Estabilização**

14. A infraestrutura de drenagem no município é adequada para minimizar os impactos das chuvas. Sobre essa afirmação:

- a. Concordo totalmente
- b. Concordo
- c. Neutro
- d. Discordo
- e. Discordo totalmente
- f. Não sei opinar

15. Quais técnicas de estabilização são mais empregadas em áreas de risco em Ouro Preto que você tem conhecimento (muros de contenção, enrocamento, solo grampeado, etc.)?

- ☐ Muro de contenção à gravidade – gabião
- ☐ Muro de contenção à gravidade – ciclópico
- ☐ Muro de contenção à flexão
- ☐ Cortina
- ☐ Solo grampeado
- ☐ Hidrossemeadura em retaludamento (simples)
- ☐ Solo reforçado

☐ [Outro]

16. É recorrente a manutenção preventiva sobre estruturas existentes de estabilização de encostas. Sobre essa afirmação.

- a. Concordo totalmente
- b. Concordo
- c. Neutro
- d. Discordo
- e. Discordo totalmente
- f. Não sei opinar

#### **E. Sugestões e Melhorias**

17. Que tipos de melhorias poderiam ser implementadas no monitoramento das obras geotécnicas?

18. Quais tecnologias ou metodologias poderiam ser mais exploradas para garantir maior segurança?

19. Considerando sua experiência, quais aspectos poderiam ser fortalecidos?

- ☐ Desenvolvimento de capacidades técnicas
- ☐ Incremento de recursos e investimentos
- ☐ Ampliação do quadro de funcionários
- ☐ Prefiro não opinar
- ☐ Outro

20. Comente sobre sua expectativa de melhorias na área de monitoramento e gerenciamento de risco de desastres relacionados a feições geológico-geotécnicas no município de Ouro Preto.