

## CAPÍTULO 4. Estudo geológico e geotécnico

Com base nas conclusões do diagnóstico prévio, deve decidir-se em que casos é necessário levar a cabo um estudo mais detalhado, feito por técnicos qualificados, e qual o seu nível de prioridade. Este estudo tem como objetivo diagnosticar a estabilidade do talude ou vertente e, caso se entenda conveniente, realizar uma análise de risco e até prever soluções adequadas de estabilização. Adicionalmente, poderão ser propostas medidas cautelares de restrição de acesso ou encerramento temporário da zona afetada.

Nos casos mais óbvios e naqueles em que o técnico encarregado da gestão de risco das instabilidades disponha de experiência suficiente, pode dispensar-se a realização do diagnóstico prévio, iniciando-se o processo descrito neste documento na fase do estudo detalhado o qual, de qualquer das formas, exige a elaboração de um estudo geológico e geotécnico que sirva de base à análise de estabilidade da encosta e, caso necessário, possa ainda ser utilizado na análise de risco e no dimensionamento das possíveis soluções de estabilização.

Para abordar este estudo com suficientes garantias deve começar-se por recolher toda a informação disponível, previamente existente, que seja relevante para o talude em análise e efetuar uma série de visitas de campo que têm como objetivo conhecer não só o comportamento do maciço, mas também as condições fronteira que podem afetar a sua estabilidade. Todas as informações recolhidas devem ser apresentadas num relatório geológico e geotécnico, no qual se avalia a estabilidade do talude ou encosta.

O diagnóstico da estabilidade e a eventual análise de risco posteriormente realizada baseiam-se, geralmente, na aplicação de uma das classificações geomecânicas existentes. No entanto, a experiência adquirida na Macaronésia, indica que os terrenos vulcânicos dificilmente se encaixam neste tipo de ferramentas, uma vez que as mesmas não levam em conta as singularidades destes territórios. Neste documento propõe-se, alternativamente, a utilização de várias ferramentas: a Classificação Geomecânica para Taludes em Rochas Vulcânicas (VSR) para a análise da estabilidade do talude e, posteriormente, a Classificação *Volcanic Rockfall Hazard Rating System* (VRHRS), a qual é recomendada para avaliar o risco sempre que o elemento a proteger está em movimento e atravessa a zona de risco durante alguns instantes (veículos e peões). A metodologia da Classificação VRHRS vem descrita nos Anexo VI do presente

documento. Para as zonas em que o elemento a proteger não se movimenta ou permanece nas referidas zonas durante um período prolongado de tempo, adota-se a Classificação Índice de Risco de Taludes em materiais Vulcânicos (IRTV), a qual se descreve no Anexo V deste documento.

#### 4.1. Informação prévia e antecedentes

Trata-se de compilar toda a informação documental disponível para que se possa fazer uma primeira abordagem à análise do problema, considerando as circunstâncias que possam estar a afetar o comportamento do talude ou encosta, e preparar as ferramentas que permitam uma recolha de dados ordenada e eficiente, que facilite o trabalho a realizar futuramente. Esta informação prévia deverá englobar, pelo menos, os seguintes elementos:

- recolha e análise dos estudos existentes relativamente à zona analisada e que sejam pertinentes no âmbito do estudo;
- historial de instabilidades que ocorreram na zona em análise. Deve registar-se a data de cada evento e uma descrição do mesmo, procurando categorizar, de alguma forma, o tamanho do material mobilizado pela instabilidade;
- recolha e/ou elaboração de ferramentas cartográficas que representem adequadamente o elemento a estudar, que permitam tomar notas e representar graficamente o que foi observado *in situ* pelo técnico especialista. Deve proporcionar o detalhe adequado para o trabalho a desenvolver, devendo respeitar, no caso de quedas de blocos de rocha, uma escala mínima de 1:1000 e no caso de taludes de escavação, uma escala mínima de 1:500 (ou mesmo menor, dependendo das suas dimensões). Os mapas geológico-geotécnicos existentes também devem estar disponíveis, de forma a obter informação pertinente relativamente às unidades geotécnicas presentes, no âmbito das propriedades mecânicas dos materiais constituintes;
- utilização de ferramentas de apoio. Em função do tipo de instabilidade e das circunstâncias dos elementos a proteger, devem ser utilizadas fichas de campo e outras ferramentas que facilitem a recolha sistemática de toda a informação relevante para o posterior desenvolvimento do trabalho;
- identificação de fatores desencadeantes. Devem identificar-se e avaliar-se os

fatores desencadeantes de instabilidade com maior probabilidade de ocorrência no caso em análise. Estes fatores são enumerados no ponto 1.2 deste documento; e

- programação da campanha de campo. Na planificação das atividades *in situ* devem incluir-se aquelas que, não sendo necessárias a curto prazo para o diagnóstico da estabilidade, possam ser precisas nas fases de análise de risco ou dimensionamento de soluções, de modo a que a informação esteja disponível para elaborar o estudo correspondente.

## 4.2. Trabalhos de campo

Para avaliar a situação em que se encontra o talude ou encosta, realizam-se tantas visitas de campo e campanhas de reconhecimento quantas sejam necessárias para recolher informação suficiente com vista a elaborar um relatório geológico e geotécnico que englobe, convenientemente os conteúdos mínimos que se indicam no ponto 4.3 deste documento. Esta campanha de campo inclui a recolha, registo e desenvolvimento dos seguintes aspetos:

### a) Estudos de pormenor

Para reconhecimento e análise do terreno, com recurso às ferramentas cartográficas e com os seguintes objetivos:

- caracterização geológica-geotécnica dos materiais que constituem o talude ou a encosta;
- identificação e análise de discontinuidades que possam originar instabilidades ou roturas parciais, com recurso à utilização de projeções estereográficas (azimute e pendor das diaclases);
- identificação, localização e delimitação cartográfica tanto das áreas de origem como das bacias hidrográficas;
- estimativa dos tamanhos dos blocos ou do volume de materiais que possam cair;
- descrição dos possíveis mecanismos de rotura e da área que pode ser afetada; e
- caso seja necessário, realizam-se levantamentos topográficos e taquimétricos com pormenor, para analisar corretamente o problema, os quais devem permitir

elaborar, sempre que necessário, os perfis geotécnicos que são utilizados no âmbito de modelações numéricas.

## **b) Setorização**

Nos troços em que se possa considerar um comportamento homogéneo, no que diz respeito às características geotécnicas e geométricas, aos volumes potencialmente instáveis, aos mecanismos de rotura e áreas afetadas, torna-se necessário recolher a informação imprescindível para avaliar a pertinência de se fazer uma setorização do campo de estudo.

## **c) Estações geomecânicas**

Necessárias para aplicar, nos troços definidos, as ferramentas de diagnóstico de estabilidade do talude ou encosta que se incluem neste documento e, caso necessário, efetuar a posterior avaliação ou análise de risco correspondente. Para tal, podem utilizar-se as fichas de recolha de dados em campo, as quais vêm associadas às referidas ferramentas. Adicionalmente, caso necessário, também devem ser obtidos os parâmetros geotécnicos que condicionam o comportamento mecânico da superfície durante os impactos, os quais são necessários para o cálculo e dimensionamento das soluções.

## **d) Hidrologia e drenagem do talude ou encosta**

Os canais ou ravinas, que sejam caminho de água, devem ser identificados e localizados no âmbito do estudo, bem como as zonas erodidas por circulação ou acumulação de escoamentos superficiais durante os eventos de chuva. Da mesma forma, devem ser detetadas as áreas com acumulação de sedimentos e detritos ou com encharcamentos visíveis, os quais indiquem saturação do solo ou nascentes de água.

## **e) Ensaios laboratoriais**

Caso seja necessário, deve ainda planificar-se uma campanha de prospeção e ensaios laboratoriais, para os quais se recolhem das amostras necessárias.

### 4.3. Conteúdo do relatório geológico-geotécnico

O objetivo do relatório é reunir os dados necessários e suficientes para quantificar e parametrizar as condições geológicas e geotécnicas relevantes para o caso em estudo, de forma a permitir um diagnóstico adequado e, caso necessário, para o posterior dimensionamento das soluções e medidas de estabilização e proteção que se considerem necessárias.

O relatório geológico-geotécnico deve basear-se nas informações anteriormente indicadas, de modo a desenvolver o seguinte conteúdo mínimo:

#### a) Objetivo

A zona em estudo deve ser identificada e o objetivo do relatório claramente definido. Este pode consistir no diagnóstico de estabilidade dos taludes ou encostas, na análise de risco correspondente ou inclusivamente na proposta das soluções mais indicadas para resolver os problemas identificados.

#### b) Antecedentes

Neste ponto recolhe-se toda a informação disponível relativamente ao historial de movimentos ocorridos na zona em estudo, ao longo do tempo. Deve ser dada especial atenção à informação que seja relevante para a determinação das circunstâncias que desencadearam as instabilidades bem como o alcance e distribuição dos elementos caídos. Adicionalmente, devem ser incorporadas as conclusões obtidas a partir de estudos pré-existentes.

Devem ainda ser descritas as condições climáticas e hidrológicas específicas da encosta bem como toda a informação recolhida relativamente aos eventuais fatores desencadeantes:

- regime de precipitações médias anuais da área;
- regime de ventos, com deteção de determinadas condições geomorfológicas que possam provocar a concentração de correntes, o qual poderá resultar numa maior influência deste fator no desencadear de uma instabilidade;
- hidrologia e drenagem. Deve ser analisada a eventual influência de canais, ravinas e respetivas bacias hidrográficas na área a estudar. Deve ser recolhida toda a

informação disponível relativamente aos caudais de cheia para os diferentes períodos de retorno; e

- considerações resultantes da sismicidade. Relativamente aos taludes e que exijam elevados níveis de segurança quanto à queda de rochas, recomenda-se uma análise de estabilidade dinâmica, de acordo com os parâmetros sísmicos da zona.

### **c) Características geológicas e geotécnicas dos materiais**

Identificam-se as diferentes unidades geológicas, definindo a sua litologia, arranjo, geometria, possança e estruturas geológicas associadas. Descrevem-se ainda os aspetos geomorfológicos e hidrogeológicos da encosta que possam condicionar a estabilidade da mesma. Devem ser indicadas e definidas todas as unidades geotécnicas envolvidas, sendo ainda caracterizados os parâmetros geomecânicos de cada uma das unidades, os quais serão utilizados para o cálculo geotécnico e para o dimensionamento de soluções. Estes parâmetros são obtidos a partir dos resultados de trabalhos de campo e dos ensaios *in situ* e em laboratório. Recomenda-se a utilização da classificação VSR, específica para terrenos vulcânicos, a qual se descreve no Anexo IV deste documento.

### **d) Localização e caracterização das instabilidades e das áreas de origem**

Com base na análise das condicionantes geológicas, geotécnicas e hidrológicas da área estudada, realiza-se, por setores, se aplicável, uma avaliação do terreno, de acordo com a metodologia estabelecida no capítulo 2 deste documento. Deve estabelecer-se o tamanho e volume aproximado dos materiais suscetíveis de se movimentarem, a sua origem e os possíveis mecanismos de rotura. Caso seja de prever que a instabilidade se desenvolva através queda de blocos de rocha, tanto a bacia de receção como as várias zonas potenciais de origem de desprendimentos, devem ser identificadas, delimitadas cartograficamente e caracterizadas. Para tal, a elaboração de um mapa de declives pode ser de grande ajuda. Para cada zona identificada deve detetar-se o “bloco crítico”, que corresponde ao bloco de maiores dimensões com potencial risco de queda ou instável, bem como os blocos de menores dimensões, mas que de forma recorrente ou periódica tendem a desprender-se e cair (“bloco frequente”).

### e) Setorização

Com base na localização das áreas de origem e restantes características geotécnicas e geométricas analisadas *in situ*, deve ser avaliada a pertinência de se proceder a uma setorização da área estudada, definindo setores para os quais se possa prever, quer um nível de risco, quer soluções de estabilização semelhantes. Em função do objeto do estudo, realiza-se um diagnóstico individual da estabilidade de cada setor bem como, se necessário, uma análise do nível de risco e, caso seja conveniente, podem definir-se soluções de diferente tipologia em função das circunstâncias particulares de cada setor, de acordo com os níveis de risco estimados.

### f) Definição dos elementos a proteger

Devem ser identificados os elementos que, caso ocorram movimentos de vertente de solo e/ou rocha, possam ser afetados. Neste documento distinguem-se dois tipos de zonas, consoante os elementos a proteger se encontrem em movimento ou permaneçam na zona de perigo durante um determinado tempo, propondo-se para cada tipo uma metodologia de análise de risco diferente: o VRHRS para o primeiro (Anexo VI) e o IRTV para o segundo (Anexo V).

- Zonas de trânsito: elementos de carácter linear constituídos por vias rodoviárias de diferentes geometrias e secções nas quais circulam diferentes densidades de veículos com velocidades distintas. São também incluídas as vias pedonais.
- Zonas de permanência: consistem em perímetros que delimitam superfícies nas quais permanecem indivíduos ou grupos de pessoas durante determinados períodos de tempo. Neste grupo incluem-se zonas de permanência fechadas, tais como edifícios e instalações localizadas no interior de naves industriais, e zonas de permanência abertas, que se encontram ao ar livre, como por exemplo zonas recreativas, praias e instalações industriais a céu aberto.

### g) Modelação de trajetórias

Caso seja apropriado, realiza-se uma prévia modelação de trajetórias, recorrendo a ferramentas informáticas, a qual permite prever o grau de exposição dos elementos a proteger.

## h) Conclusões e recomendações

Com base na análise de todos os resultados e informações obtidos, definem-se conclusões e recomendações que cumpram o objetivo estabelecido para o relatório.

## i) Anexos

Ao relatório deve ser anexada toda a documentação que se considere necessária para complementar a informação contida no documento, como por exemplo:

- documentação gráfica de suporte, como relatórios fotográficos;
- mapa geológico geral à escala mínima 1:25000;
- mapa de declives, com zonas de origem e delimitação de bacias hidrográficas na escala mínima de 1:1000;
- planta e perfis geológicos de detalhe, com cartografia à escala mínima de 1:1000;
- mapa geotécnico detalhado, escala mínima 1:1000
- registos de estações geomecânicas;
- logs de sondagens;
- resultados de ensaios *in situ* e de laboratório;
- perfis topográficos para cada área fonte para a modelação das trajetórias de queda de rochas; e
- registos climatológicos, sísmicos, etc.