

CAPÍTULO 5. Análise de riscos face a quedas de blocos de rocha

Uma vez diagnosticada a estabilidade do talude no estudo geológico e geotécnico, pode ser necessário realizar uma análise de risco que avalie as potenciais perdas que poderiam resultar do desencadeamento de uma instabilidade no talude. Essa análise permite tomar decisões priorizando as atuações naqueles elementos ou setores que evidenciem um maior perigo.

A análise de riscos requer conhecer a perigosidade do talude ou encosta, a vulnerabilidade do elemento a proteger e os custos ou perdas derivadas do perigo. Para isso, pode optar-se pela aplicação de procedimentos qualitativos ou quantitativos em função dos objetivos pretendidos e do alcance dos seus resultados. Os métodos qualitativos são recomendados quando o objetivo é obter uma aproximação orientadora do grau de risco, sendo mais adequados nas análises preliminares, uma vez que podem ser úteis para estimar se o nível de risco é alto, médio ou baixo, permitindo o zonamento e a priorização onde o risco for alto. Pelo contrário, quando se trata de estabelecer o risco específico para um determinado elemento, a fim de projetar medidas de proteção, devem utilizar-se métodos quantitativos que calculam, de forma numérica, a perigosidade e o risco de cada elemento vulnerável.

Neste capítulo apresenta-se uma metodologia para a análise de riscos face à queda de blocos de rochas que, como já mencionado no capítulo anterior, propõe um tratamento diferenciado para os elementos que estão sujeitos ao risco em zonas de trânsito e para os que se encontram em zonas de permanência.

Para as zonas de trânsito, em que os veículos ou peões estão sujeitos ao risco durante o tempo necessário para atravessar a zona afetada pelo talude, propõe-se uma metodologia mais tradicional através do VRHRS (ver capítulos anteriores) que se apresenta no Anexo VI deste documento.

Para as zonas de permanência, que podem ser constituídas por recintos cobertos ou a céu aberto, nas quais indivíduos ou grupos de pessoas permanecem expostos ao perigo durante períodos de tempo relativamente prolongados, foram propostas duas metodologias para analisar o nível de risco: uma quantitativa, cujos fundamentos estão descritos na secção 5.2, e outra qualitativa que é desenvolvida com recurso ao índice IRTV, cujo procedimento se descreve no Anexo V deste documento.

5.1. Zonas de trânsito

A análise de risco em zonas de trânsito é baseada na aplicação da classificação VSR que diagnostica a estabilidade do talude. A partir deste parâmetro calcula-se o índice $VRHRS_{básico}$, ao qual se aplica um fator de ajuste por perigosidade e um fator de ajuste por exposição.

$$VRHRS_{básico} = 200 \cdot e^{-0.034 \cdot VSR} \quad (5.1)$$

$$VRHRS = VRHRS_{básico} + F_1 + F_2 \quad (5.2)$$

sendo F_1 e F_2 os fatores de ajuste por perigosidade e por exposição, respetivamente.

a) Ajuste por perigosidade

A partir do nível de estabilidade do talude, faz-se um ajuste que pretende introduzir na análise de riscos os fatores que podem influenciar o aumento da probabilidade de ocorrer a queda de blocos rochosos e que os seus efeitos sejam mais ou menos severos.

Os parâmetros a ter em conta como fatores que afetam a probabilidade de ocorrência são:

- o clima e a presença de água no talude; e
- o historial de eventos ou quedas de blocos.

Os parâmetros que podem influenciar na intensidade das consequências do desabamento são:

- a altura do talude;
- a eficácia da vala de receção;
- a largura da plataforma, incluindo a berma; e
- o tamanho do bloco ou o volume de rochas que se podem desprender.

b) Ajuste por exposição

Este ajuste avalia a probabilidade de um veículo ou peão ser atingido pela queda de blocos rochosos em função do tempo que permanece na zona de risco e, uma vez que se encontra em movimento, também avalia as possibilidades que tem de evitá-lo. Utiliza dois parâmetros:

- o risco médio para veículos; e
- a percentagem de visibilidade.

Como foi já referido, no Anexo VI definem-se todos estes parâmetros e descreve-se a metodologia exata para realizar os cálculos correspondentes com os quais, finalmente, pode ser quantificado o risco, o que permite decidir sobre a necessidade de realizar uma intervenção mais ou menos imediata no talude em análise, ou estabelecer planos de ação dando prioridade àqueles setores que apresentem um maior risco.

5.2. Zonas de permanência

Para zonas de permanência como vivendas, núcleos urbanos, zonas recreativas e instalações, foi desenvolvido o índice IRTV específico para taludes em materiais vulcânicos, cuja descrição se apresenta no Anexo V deste Guia. Trata-se de um método qualitativo que permite obter uma estimativa preliminar do risco.

Para o cálculo exato do risco, e nos casos em que a aplicação do IRTV recomende a necessidade de realizar um estudo mais pormenorizado, é necessário calcular o risco de forma quantitativa. Com esse fim, o Comité Técnico Conjunto JTC1 (*Joint Technical Committee*), formado pelas três sociedades internacionais de Geoengenharia (ISSMGE, ISRM e IAEG), elaborou algumas recomendações, denominadas QRA (*Quantitative Risk Assessment*), para calcular o risco quantitativo de deslizamentos em encostas e taludes, que incluem a queda de rochas (Fell *et al*, 2005 e Corominas *et al*, 2005). O procedimento consiste em 4 etapas fundamentais:

- análise da perigosidade de queda de rochas a partir da relação frequência-magnitude dos eventos ocorridos na área de estudo ($P_{(L)}$);
- estimativa da probabilidade de que a queda de rochas afete edifícios ou pessoas no pé do talude $P_{(T,L)}$;
- determinação da vulnerabilidade dos elementos expostos quantificando a

probabilidade espaço-temporal do elemento exposto e sua vulnerabilidade ($P_{(S:T)}$ e $V_{(prop:S)}$); e

- determinação da eficiência das barreiras para reter os blocos de rocha e cálculo do risco residual devido àqueles blocos capazes de ultrapassar as barreiras.

a) Análise da perigosidade

A perigosidade refere-se à probabilidade de ocorrência de um evento (queda de rochas) com um determinado nível de intensidade ou gravidade, num determinado intervalo de tempo e numa área específica. Para a sua avaliação é necessário conhecer: onde e quando ocorreram os eventos no passado; a intensidade e magnitude que tiveram; e a frequência de ocorrência. Este último parâmetro só pode ser estimado se se conhecerem os padrões temporais do evento (período de retorno) a partir de dados e séries históricas, ou dos fatores que os desencadeiam. Para obter esta e outras informações referentes às condições geomorfológicas, climáticas, etc., recorre-se ao estudo geológico e geotécnico.

Os procedimentos de análise baseiam-se em métodos probabilísticos mediante relações entre o número de eventos e padrões temporais, tamanho dos blocos e sua frequência, etc.. A análise da distribuição de eventos através das relações tipo Gutenberg-Richter permite obter os períodos de retorno ou frequências e calcular a probabilidade.

Para realizar a análise da perigosidade de queda de blocos de rochas a partir da relação frequência-magnitude dos eventos ocorridos na área de estudo ($P_{(L)}$) é necessário calcular a probabilidade de queda, para cada tamanho de bloco característico do talude, em função do período de retorno dos eventos ocorridos no passado. Recomenda-se agrupar os acontecimentos registados de acordo com os tamanhos indicados no Quadro 5.1 embora, em cada caso, esta classificação deva ser ajustada às suas necessidades.

Quadro 5.1. Classificação sugerida de tamanhos de bloco.

< 0,5 m ³	0,5 - 1 m ³	1 - 5 m ³	5 - 10 m ³	> 10 m ³
----------------------	------------------------	----------------------	-----------------------	---------------------

Trata-se de obter uma probabilidade anual de queda de rochas para cada um dos intervalos de tamanho identificados através da seguinte expressão:

$$P_{(L)} = \frac{\text{n.º. de eventos registados}}{\text{anos}} \quad (5.3)$$

b) Estimativa da probabilidade de afetação

Em primeiro lugar pode ser verificada, através do procedimento expedito que se propõe em seguida, a possibilidade de que os elementos a proteger possam ser atingidos pelos efeitos de um possível movimento de vertente e, a confirmar-se, deverá estimar-se esta probabilidade de uma maneira mais exata.

A partir de procedimentos empíricos, foram desenvolvidos critérios que permitem estimar o alcance máximo (*run out*) que um bloco pode alcançar desde o seu ponto de origem até à sua imobilização. Hung e Evans (1988), definem o que denominam de “ângulo de sombra” a partir da projeção de um ângulo de 27,5°, desde o início do que é designado por *talus* (ver Figura 5.1) até à sua interseção com o ponto de imobilização, considerando que a zona sob a linha, definida pelo referido ângulo, é a que fica exposta ao perigo de queda de rochas. Este critério só é aplicável ao tipo de talude apresentado na Figura 5.1.

Com o objetivo de verificar a validade deste critério, foi realizada uma análise retrospectiva que confirmou que a grande maioria dos blocos rochosos ficam imobilizados dentro da zona de sombra, estabelecida pela linha que o ângulo de 27,5° define com a horizontal, embora alguns blocos rochosos a ultrapassem. Uma vez que alguns blocos a ultrapassam, propõe-se que se adote um ângulo de 25°, que corresponde a 100% dos blocos caídos na zona de sombra que, por outro lado, representa um acréscimo do fator de segurança face ao que se obteria considerando o ângulo de 27,5°.

As trajetórias das quedas de blocos rochosos não só se descrevem num plano vertical, mas podem sofrer um desvio lateral, denominado ângulo de dispersão, habitualmente observável nos leques cónicos formados pelos detritos. Embora este ângulo de dispersão apresente uma grande variação, recomenda-se adotar os 30° sem, no entanto, deixar de ter em conta que os blocos ou fragmentos de menores dimensões se possam dispersar em ângulos maiores.

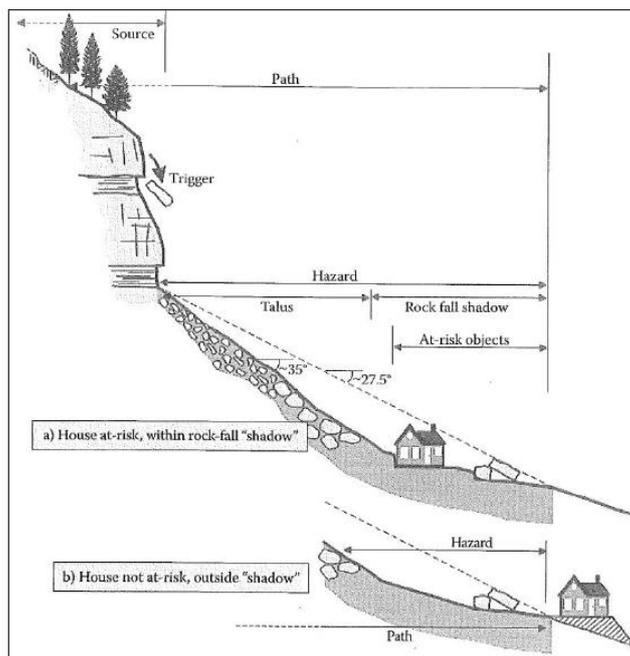


Figura 5.1. Perigo de queda de blocos rochosos para uma casa situada no sopé de um talude: a) com risco e b) sem risco (Wyllie, 2014)

Uma vez comprovada a possibilidade de afetação, a estimativa da probabilidade de que a queda de blocos rochosos afete edifícios ou pessoas no pé do talude $P_{(T:L)}$ pode ser obtida com o estudo das possíveis trajetórias e dos pontos de alcance dos blocos rochosos em queda, simuladas a partir de cada uma das áreas de origem detetadas no terreno e assinaladas no estudo geológico geotécnico, assim como para cada um dos intervalos de tamanho de bloco estudados na secção anterior.

c) Vulnerabilidade

A vulnerabilidade refere-se ao grau de danos ou potenciais perdas de um elemento, ou conjunto de elementos expostos, como consequência da ocorrência de um fenómeno de determinada intensidade.

Para determinar a vulnerabilidade dos elementos expostos quantificam-se a probabilidade espaço-temporal do elemento exposto e a sua vulnerabilidade ($P_{(S:T)}$ e $V_{(prop:S)}$). A probabilidade espaço-temporal refere-se ao tempo de exposição, no caso de pessoas, e à relação entre o comprimento ocupado pelo edifício e o comprimento da linha de desenvolvimento do talude no caso de edifícios ou instalações. Em zonas

recreativas deve ter-se em consideração a densidade de ocupação e o tempo que essas zonas estão acessíveis ao público.

No caso de edifícios e instalações, a vulnerabilidade do elemento exposto depende do tipo de edificação, da qualidade da sua construção, da estrutura e dos diferentes tamanhos de blocos expectáveis. Para a sua estimativa deve ter-se em conta todas as condicionantes de cada caso. Como referência, apresenta-se o Quadro 5.2, que deve ser aplicado com as necessárias adaptações dos valores apresentados ao caso em estudo. Obtém-se um valor de vulnerabilidade para cada um dos intervalos de tamanho de bloco identificados.

Quadro 5.2. Valores sugeridos para a vulnerabilidade.

Elementos	Tamanho de bloco	Vulnerabilidade (0 - 1)
Edifícios	$\leq 1 \text{ m}^3$	0,1
	1 - 5 m^3	0,2
	5 - 10 m^3	0,3
	$\geq 10 \text{ m}^3$	0,5 - 1,0
Pessoas	Dentro de edifícios	0,8
	Fora de edifícios	1,0

d) Risco residual e valorização do elemento exposto

O procedimento proposto permite a sua aplicação nos casos em que já existam, no terreno, medidas de proteção que possam ser consideradas insuficientes. Para tal, deve ser estimado o risco residual, tendo por base a reduzida eficácia das medidas implementadas para reter os efeitos dos blocos rochosos que se consideram capazes de as ultrapassar. Uma vez estimado o risco residual introduz-se como mais um fator na expressão 5.4.

Finalmente, a estimativa do risco deve ser relacionada com as consequências humanas e socioeconómicas que poderiam resultar de um evento e avalia-se em função das

potenciais perdas causadas aos elementos que se pretendem proteger (E). Os elementos expostos podem ser pessoas, bens, propriedades, infraestruturas, serviços ou atividades económicas cujo custo ou valor dos mesmos pode expressar-se segundo diferentes critérios: custo de construção; custo de reparação dos danos causados; valor segurado; etc., e também os custos derivados da interrupção de vias de comunicação, atividades económicas, serviços, assim como o custo social e ambiental que possa causar.

e) Estimativa do risco

A partir da informação descrita nas secções anteriores, calculam-se as perdas anuais do valor do elemento exposto, $R(\text{prop})$, e a probabilidade de perda de vidas humanas $P(\text{LOL})$, através das seguintes expressões, adaptadas de Fell et al, (2005) para cada intervalo de tamanho de bloco identificado:

$$R_{(\text{prop})} = P_{(L)} \cdot P_{(T:L)} \cdot P_{(S:T)} \cdot V_{(\text{prop}:S)} \cdot E \quad (5.4)$$

onde $P(L)$ é a frequência de eventos de queda de blocos rochosos de determinada magnitude; $P(T:L)$ é a probabilidade de os blocos rochosos atingirem o elemento exposto; $P(S:T)$ é a probabilidade espaço-temporal do elemento exposto, que em edifícios é a relação entre o comprimento ocupado pelo edifício e o comprimento da linha de desenvolvimento do talude; $V(\text{prop}:S)$ é a vulnerabilidade do elemento exposto em relação à queda de blocos rochosos; e E é o custo estimado para o elemento exposto.

A probabilidade anual de perda de vidas humanas $P(\text{LOL})$ é calculada através da expressão:

$$P_{(\text{LOL})} = P_{(L)} \cdot P_{(T:L)} \cdot P_{(S:T)} \cdot V_{(D:T)} \quad (5.5)$$

onde $V(D:T)$ é a vulnerabilidade de uma pessoa relativamente ao risco de um evento de queda de blocos rochosos; $P(L)$ e $P(T:L)$ são definidos na expressão anterior e $P(S:T)$ é a probabilidade espaço-temporal que, neste caso, tem em conta a percentagem de tempo de exposição das pessoas.