

ANEXO VIII. Metodologia de projeto de medidas de proteção e controlo de quedas de rochas.

VIII.1. Verificação do relatório geotécnico

Os trabalhos desta fase são adicionais e complementares aos realizados no estudo geológico e geotécnico (Capítulo 4) e têm por objetivo verificar os dados e hipóteses assumidas ou, se for o caso, recolher novos dados, bem como a obtenção dos parâmetros envolvidos nos cálculos, necessários para a conceção da solução a ser projetada. O trabalho a ser realizado é o seguinte:

- verificação do conteúdo do relatório geológico-geotécnico: deve ser dada especial atenção ao elemento a proteger, identificação de instabilidades, áreas de origem e dados geológicos e geotécnicos;
- localização e definição detalhada de todas as áreas de origem: O técnico responsável pela conceção das soluções deve localizar e definir as áreas de origem, que são utilizadas nos cálculos; e
- verificação dos parâmetros de projeto e caracterização do maciço ou talude.

Além destes, devem ser compilados os seguintes dados, para definir os parâmetros de cálculo:

- definição da superfície do talude ou encosta: são recolhidos dados descritivos do talude, presença de vegetação, estado do maciço, etc.;
- coeficientes de restituição tangencial (R_t) e normal (R_n): os cálculos requerem o estabelecimento de coeficientes de restituição para cada material que compõe o talude. O Quadro VIII.1 compila os coeficientes mais utilizados pelos especialistas do setor nas Ilhas Canárias. Em qualquer caso, esta decisão é da responsabilidade do projetista e deve ser justificada;
- coeficientes de atrito: os coeficientes de atrito dos diferentes materiais que compõem o talude ou encosta devem ser conhecidos;
- rugosidade do talude: é necessário definir a rugosidade de cada material que compõe o talude; e
- tamanho e forma dos blocos ou volume de rochas que se podem desprender.

Quadro VIII. 1. Coeficientes de restituição recomendados.

Superfície do talude ou encosta		Coeficientes de restituição*					
		Gama de valores		Valor característico		Desvio padrão	
		R_t	R_u	R_t	R_u	R_t	R_u
Escoadas e maciços rochosos compactos são (basálticos e sálícos) [RCS \geq 25 MPa]		0,87-1	0,37-0,6	0,9	0,45	0,042	0,119
Escoadas e maciços rochosos compactos alterados (basálticos e sálícos) [RCS < 25 MPa]		0,85-0,9	0,36-0,5	0,85	0,36	0,019	0,099
Materiais piroclásticos e escórias de lava	Debilmente soldados [RCS de 1 a 20 MPa]	0,70-0,85	0,3-0,4	0,8	0,4	0,048	0,033
	Soltos	0,60-0,83	0,32-0,35	0,8	0,34	0,071	0,013
Depósitos aluvio-coluvionares		0,64-0,80	0,30-0,40	0,7	0,32	0,050	0,033
Solos siltosos e solos argilosos		0,50-0,80	0,15-0,30	0,6	0,25	0,091	0,048
Solos granulares		0,50-0,82	0,15-0,32	0,52	0,2	0,097	0,053
Aterros		0,48-0,82	0,20-0,40	0,49	0,2	0,102	0,062
Pavimento asfáltico		0,5	0,3	0,5	0,5	-	-

* Combinação de dados (sem cobertura vegetal)

VIII.2. Simulação de trajetórias em 2D e 3D, cálculo de perfis de energia e alturas de ressalto

O cálculo das medidas de proteção requer um estudo das trajetórias e energias em 2D e 3D para permitir o correto dimensionamento e localização das soluções. É realizado através da aplicação de programas computacionais para simular trajetórias de queda de blocos e energias de impacto.

Esses cálculos implicam uma série de fatores condicionantes devido às configurações dos programas de cálculo e à incerteza associada com a recolha de dados, considerações e suposições, que devem ser especificadas. Esses fatores condicionantes e incertezas incluem, entre outros, o seguinte:

- é um método de cálculo probabilístico, portanto não pode levar a resultados determinísticos;
- incerteza quanto à forma do bloco;
- geometria da superfície e escala de trabalho mínima (1: 1000);
- consideração ou não da fragmentação do bloco durante a queda;
- comportamento mecânico da superfície ao impacto (coeficientes R_t e R_n , ângulo de atrito, ϕ , e rugosidade); e
- localização geográfica dos diversos materiais que formam a superfície da encosta com seus respectivos coeficientes.

De seguida descrevem-se os critérios a considerar para o cálculo durante o processo de modelação da trajetória.

VIII.2.1 Dados iniciais

Para poder realizar a análise das trajetórias, é necessário definir alguns parâmetros necessários ao desenvolvimento dos cálculos. É necessário justificar os critérios a adotar para:

- perfis representativos por áreas de origem. Para cada área fonte, são recolhidos dados para obtenção do perfil do talude;
- tipo de movimento esperado. Queda livre, ressalto, rolamento e deslizamento;
- Parâmetros geotécnicos da superfície do talude ou encosta: coeficientes de restituição tangencial e normal, ângulo de atrito e rugosidade;
- determinação dos blocos críticos e frequentes para cada área de origem; e
- análise da influência no cálculo da forma do bloco e, se aplicável, a sua possível fragmentação durante a sua queda.

VIII.2.2 Hipótese de trabalho. Bloco crítico e bloco frequente

A escolha do sistema de proteção a utilizar como medida passiva está condicionada pela sua capacidade de suportar, simultaneamente, dois níveis de energia. O nível de energia máximo, capaz de absorver o impacto máximo esperado, e o nível de energia de serviço para absorver os impactos devidos a despreendimentos recorrentes. Neste nível de energia, a solução adotada, além de conter o material, deve ser capaz de

continuar a garantir as condições de serviço sem afetar a sua capacidade de reter o impacto máximo esperado. Essas duas hipóteses devem ser consideradas nas análises 2D e 3D.

Hipótese do bloco crítico: O bloco crítico será o pior bloco ou mais desfavorável (maior volume) detetado em cada uma das áreas fonte, devendo ser estimada a sua massa, forma e peso volúmico. É utilizado para determinar a energia máxima de impacto que o elemento de proteção deve absorver, de forma a garantir a segurança do elemento a proteger.

Hipótese de bloco frequente: Esta hipótese só é aplicada no caso em que o sistema de proteção definido consistir em barreiras flexíveis. O bloco frequente terá o tamanho de bloco esperado de forma recorrente e periódica. (No mínimo deve ser pelo menos 10% do bloco crítico). Pelo menos a massa, a forma e o peso volúmico devem ser estimados. Esta hipótese pretende definir o nível de energia máxima que a barreira deve suportar para apresentar um adequado comportamento em condições de serviço.

VIII.2.3 Análise a realizar

As simulações são realizadas tanto para o bloco crítico quanto para a hipótese do bloco frequente, em cada uma das áreas fonte detetadas. Em ambos os casos são simulados um mínimo de 50 eventos. A análise a realizar, 2D ou 3D, apoia o dimensionamento da barreira em termos da energia máxima de impacto e da altura de projeto através da obtenção dos perfis de energia. Nestes perfis, deve ajustar-se a localização dos sistemas definidos e verificar a percentagem de trajetórias não intercetadas (passagem de pedras). Em qualquer caso, deve verificar-se se a percentagem de dano ao elemento a proteger é de 0 %.

VIII.3. Critérios de projeto do sistema de proteção

Uma vez obtidos os resultados das trajetórias e energias, tanto para a análise 2D como 3D, das hipóteses de blocos críticos e frequentes, de todas áreas-fonte, correspondentes a cada setor, a solução de proteção é concebida de acordo com:

- bloco crítico em cada setor, que é o bloco mais desfavorável com base na sua energia;
- bloco frequente, que é aquele com a maior energia média calculada; e

- a altura da solução projetada é a mais desfavorável obtida através dos cálculos para o bloco crítico e o bloco frequente (H_{max}), acrescida da dimensão do bloco considerado crítico.

VIII.3.1 Critérios a considerar no dimensionamento de barreiras dinâmicas

Caso a solução adotada consista na instalação de barreiras dinâmicas, a seleção do sistema de contenção deve ter em consideração a sua capacidade para garantir um nível absorção de energia e alongamento máximo suficientes para cumprir com os requisitos de cada situação definidos da seguinte forma:

Energia de projeto: De acordo com os regulamentos europeus (ETAG-27), a energia do projeto será condicionada pelo cumprimento simultâneo dos seguintes requisitos:

- a energia máxima de impacto obtida nas simulações deve ser inferior à MEL (Nível de Energia Máximo) certificada para o referido sistema; e
- a energia de impacto média obtida nas simulações pelo critério do bloco frequente não deve ultrapassar a SEL (Nível de Energia Serviço) certificada para o referido sistema.

O regulamento europeu ETAG-27 (EOTA) define os níveis de energia MEL e SEL da seguinte forma:

- MEL: É o Nível Máximo de Energia (*Maximum Energy Level*). É definido como a energia cinética de um bloco normalizado no momento do impacto com a barreira dinâmica, que permite intercetar e reter o bloco. Para além disso, o alongamento ou distância de paragem não deve atingir o elemento a proteger, sendo $MEL \geq 3 \cdot SEL$; e
- SEL: É o Nível de Serviço de Energia (*Service Energy Level*). É definido como a energia cinética de um bloco típico no momento do impacto com a rede da barreira, e que permite que esta continue em serviço, sendo $SEL \leq 1/3 MEL$.

Alongamento máximo: Também deve ser verificado se a distância entre a barreira e o elemento a proteger é maior ou igual ao alongamento máximo (*braking distance*) certificado no ensaio MEL, segundo a declaração de desempenho da marcação CE acrescida de uma distância de segurança que deve ser imposta pelas condições

operacionais ou funcionais da própria via (folga lateral ou bitola horizontal, altura livre ou bitola vertical).

Assim, a seguinte condição deve ser cumprida:

$$D \geq E + DS \quad (VII. 1)$$

onde:

D = Distância entre a barreira e o elemento a proteger, adotando-se como elementos de referência:

- o bordo externo da via adjacente ao talude ou encosta, para medições laterais; e
- a cota do pavimento no ponto mais desfavorável da plataforma (estrada + bermas), para medições verticais.

E = Alongamento máximo da barreira durante o ensaio de retenção MEL.

DS = Distância de segurança considerando os seguintes valores:

- folga lateral: $DS \geq$ largura da berma adjacente (mínimo 0,50 m); e
- altura livre: $DS \geq 5$ m.

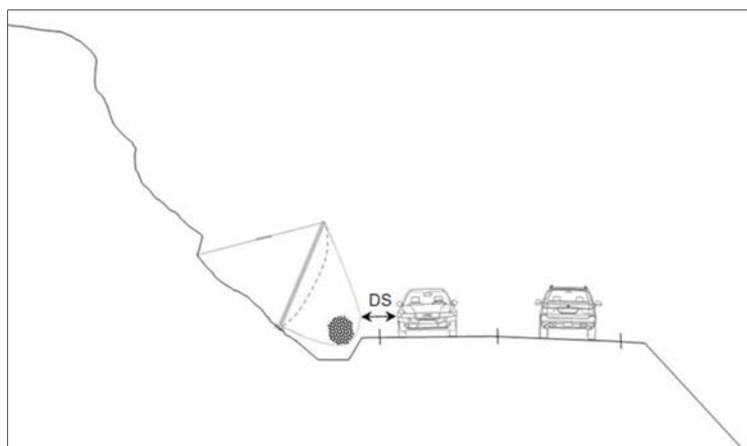


Figura VII. 1. Distância de segurança lateral.

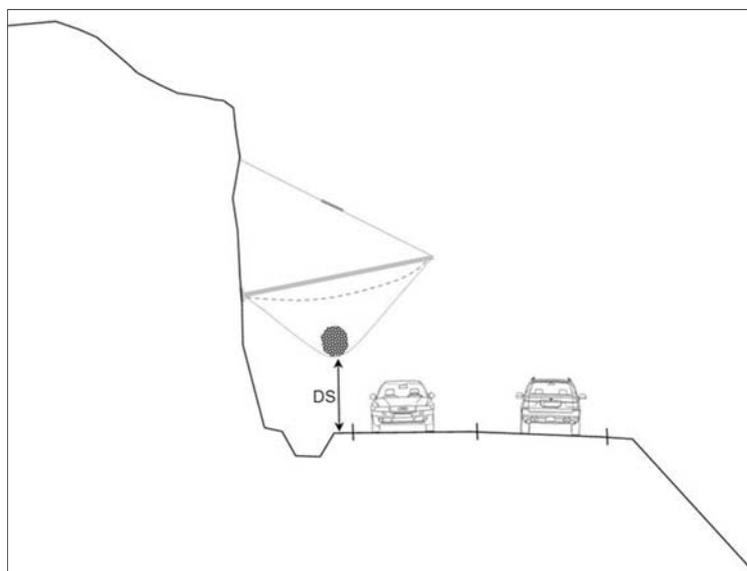


Figura VII. 2. Distância de segurança vertical.

VIII.4. Coeficientes de segurança a aplicar aos sistemas de proteção.

Os fatores de segurança a aplicar na análise de estabilidade de taludes ou escavações permanentes variam de acordo com as diferentes fontes. Nos guias suíços (2001) o fator de segurança global para taludes e estruturas de contenção varia entre 1,5 e 2,0 dependendo do grau de confiança do procedimento de cálculo, da representatividade dos dados e dos elementos em risco. Para o dimensionamento de estruturas de proteção tais como ancoragens, fundações de postes, etc., estes guias recomendam um fator de segurança de 1,3. O manual de projeto do *United States Army Corps of Engineers* recomenda um fator de segurança global maior ou igual a 1,5 para taludes permanentes e 1,2 a 1,3 para taludes temporários. Hoek (1997) recomenda um fator de segurança superior a 1,5 para taludes permanentes. Adicionalmente, podem ainda ser seguidas as recomendações estabelecidas no Eurocódigo 7.

VIII.5. Manutenção e conservação de sistemas de proteção.

Durante o processo de seleção do sistema de proteção mais adequado, deve verificar-se o cumprimento de todos os requisitos acima referidos e selecionar aquele que, entre eles, garanta uma maior vida útil, nas condições ambientais em que se encontra o talude ou encosta, e que permita que as tarefas subsequentes de conservação e manutenção sejam realizadas com maior facilidade ou menor custo.

Para o correto funcionamento, manutenção e conservação de qualquer dos sistemas de proteção instalados no talude ou encosta, é necessário estabelecer um plano de ação que inclua, no mínimo, os seguintes pontos:

- inspeções periódicas (pelo menos anuais) para verificar o correto funcionamento dos sistemas instalados;
- substituição de elementos danificados ou deteriorados; e
- em locais remotos ou locais com acesso muito difícil, prever a instalação de sistemas de alerta contra impactos.

Por outro lado, os requisitos relativos à vida útil ou durabilidade podem condicionar a escolha do sistema de proteção ou dos materiais que o compõem.

- vida útil ≥ 25 anos sem impactos e em condições ambientais normais.
- vida útil ≥ 10 anos sem impactos e condições ambientais agressivas.

VIII.6. Controlo de qualidade e documental

Deve ser realizado um controlo de qualidade da execução e documentação dos sistemas que, no mínimo, deve incluir os seguintes pontos:

- certificados de qualidade. Marcação CE;
- fichas de características técnicas dos diferentes elementos ou dispositivos;
- manual de instalação do fabricante;
- ensaios de controlo (in loco e em laboratório); e
- certificado do fabricante da correta instalação da barreira.