

# AVALIAÇÃO DA ESTABILIDADE DE TALUDES EM MACIÇO ROCHOSO SUPORTE DE GRAVURAS RUPESTRES NO VALE DO CÔA

## SLOPE STABILITY ASSESSMENT OF ROCK MASS ENGRAVED WITH RUSPESTRIAN ART IN CÔA VALLEY

Ludovico Marques, Marco António, *UNL/FCT, Monte da Caparica, Portugal, malm@fct.unl.pt*  
Costa, Carlos Nunes, *UNL/FCT, Monte da Caparica, Portugal, cnc@fct.unl.pt*

### RESUMO

Este estudo consistiu na avaliação da estabilidade de taludes em maciço de filitos e quartzofilitos cloríticos, cujos blocos constituem painéis insculturados rupestres no Parque Arqueológico do Vale do Côa (PAVC). Para o efeito, procedeu-se à análise cinemática do diaclasamento com recurso à projecção estereográfica e aplicou-se a classificação geomecânica de Bieniawski com o ajustamento de Romana para os taludes. Evidencia-se o *toppling* como o principal mecanismo de rotura do talude onde se situam os painéis em estudo no núcleo arqueológico da Penascosa. Realça-se a importância da percolação de água pelas diaclases como factor instabilizador preponderante, resultante das variações sazonais do nível de água do Rio Côa. Apresentam-se soluções para a mitigação da instabilização de taludes com painéis rupestres, de charneira entre as obras geotécnicas tradicionais e as intervenções de conservação e restauro.

### ABSTRACT

This paper presents a slope stability assessment of rock mass engraved with ruspestrian art in Cõa Valley Archaeological Park. In this study two different approaches were used: a kinematic analysis of rock mass discontinuities plotted in Schmidt net and the Bieniawski geomechanical classification with Romana adjustments for slopes. This paper highlights the *toppling* as the main failure mechanism of slope with ruspestrian art in the Penascosa archaeological site. This study shows that water flow in rock mass fractures reduces slope stability. Some ways for improvement of slope stability are presented. These works can not be just traditional geotechnical works neither just traditional conservation and restoration works but should be a way between them.

### 1. INTRODUÇÃO

O talude objecto do presente estudo encontra-se no núcleo arqueológico da Penascosa, um dos 28 que constituem o PAVC. Atente-se que neste conjunto foram inventariados mais de 200 afloramentos rochosos diferentes de arte rupestre.

Os afloramentos rochosos do núcleo da Penascosa pertencem à formação geológica de Pinhão. São filitos e quartzofilitos cloríticos com intercalações de magnetite e metacalcários. Segundo Ferreira da Silva *et al* (1991) e Ribeiro (2001), possuem uma ritmicidade característica acompanhada por laminação oblíqua e/ou côncava. São formações metassedimentares que sofreram metamorfismo de baixa a moderada intensidade, ficando o seu carácter sedimentar registado na laminação vincada que apresentam.

O talude referido situa-se numa encosta na margem Este do Rio Côa que apresenta dezenas de rochas gravadas. Neste local, o vale apresenta-se mais aberto e encontra-se preenchido por depósitos aluvionares, predominantemente arenosos que formam uma extensa praia fluvial.

Na base do talude encontra-se um afloramento, designado por nº 5, compartimentado em blocos que foram seleccionados por conterem gravuras, identificados pelas designações que se indicam na Figura 1. Nestes blocos foi realizado o estudo de avaliação de estabilidade.



Figura 1 – Afloramento nº 5 com painéis insculptados nos blocos que o compartimentam.

Nas proximidades do afloramento mencionado, a Sul deste, foram estudados outros dois (Figuras 2 e 3).

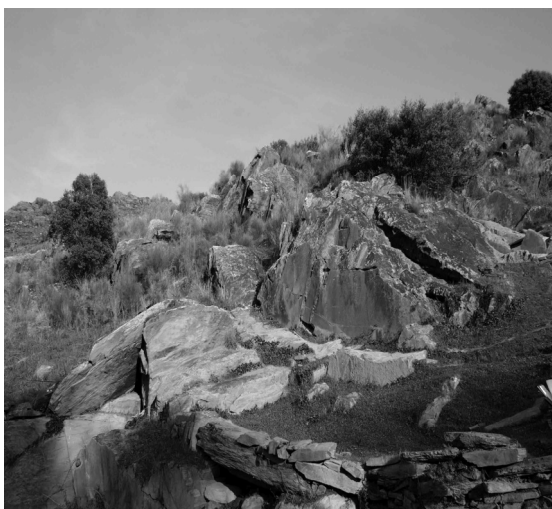


Figura 2 – Afloramento nº 6.

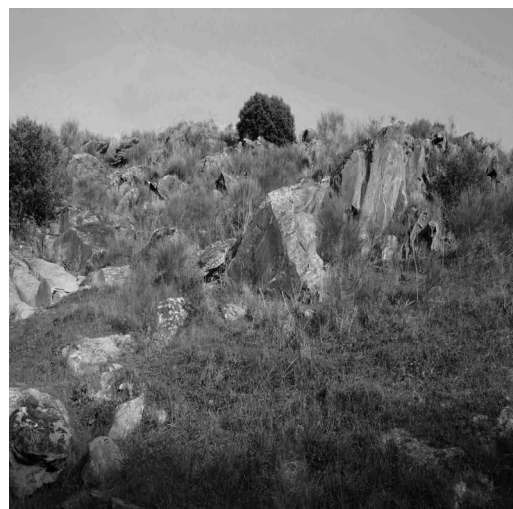


Figura 3 – Afloramento a Sul do nº 6.

## 2. AVALIAÇÃO DA ESTABILIDADE DOS AFLORAMENTOS

### 2.1 Notas introdutórias

A encosta onde se insere o afloramento nº 5 apresenta uma inclinação global de cerca de 25° segundo a carta topográfica do PNVC, à escala 1/2500. Pode ser dividida em dois taludes, um de cerca de 35° e outro sobrejacente de cerca de 20°. Segundo o levantamento topográfico realizado pela INSITU, o talude a que pertence esta rocha insere-se num troço da encosta com uma inclinação de 30° numa extensão horizontal de cerca de 14m. Para efeitos de análise de estabilidade adoptou-se o valor de 30° por ser o mais consentâneo com a inclinação do troço da encosta onde se insere o afloramento nº 5.

O trabalho de campo consistiu numa primeira fase na caracterização geométrica e geotécnica das diaclases do maciço no afloramento nº 5, depois no nº 6, assim como num afloramento a Sul deste. Também se procedeu à caracterização do estado de alteração e do estado de fracturação do maciço rochoso, assim como a uma estimativa da resistência à compressão simples do material rocha (ISRM, 1978 e 1981).

### 2.2 Características geométricas das discontinuidades

A observação das diaclases cingiu-se aos blocos de uma área de estudo definida pelos afloramentos referidos. Mediram-se as atitudes de mais de 30 diaclases/descontinuidades, tendo-se detectado a existência de quatro famílias principais cujas atitudes se apresentam na Tabela 1. Evidencia-se a semelhança dos valores de direcção, assim como de inclinação de camadas com os da geologia regional.

### 2.3 Análise cinemática da estabilidade do troço do talude com os blocos dos afloramentos rochosos nºs 5, 6 e a Sul deste

Esta análise foi realizada através da projecção estereográfica das atitudes das diaclases na rede de Schmidt (hemisfério inferior), na globalidade e em cada um dos 10 blocos seleccionados para estudo no afloramento nº5, assim como no afloramento nº 6 e no outro a Sul deste.

Tabela 1 – Atitudes das famílias de diaclases.

Famílias de diaclases	Direcção	Inclinação
F1	N56° W	30° a 80° NE*
F2	N4°E a N24° E	70° a 85° SE
F3	N 56° W	15° a 85° SW
F4	N4°E a N24° E	30° a 65° NW**

\*Atitude da estratificação; \*\*Medidas num afloramento a Sul do nº 6.

Consideraram-se a direcção e inclinação do talude e as atitudes das famílias das diaclases. Através da observação visual da superfície verificou-se que as diaclases se encontravam fechadas, pelo menos em profundidade. Por inspecção visual constatou-se que os respectivos bordos apresentam um estado de alteração  $W_{2-3}$  (alteração moderada) e um enchimento que se afigura ser areno-siltoso superficial. Adoptou-se uma posição conservativa, i.e. do lado da segurança, admitindo que as diaclases são planares e lisas. Estimou-se o ângulo de atrito das mesmas a partir dos parâmetros  $J_r$  e  $J_a$  de Barton (1977 e 1987). A partir do cômputo de  $\tan^{-1}(J_r/J_a)$ , resulta um valor de ângulo de atrito de 27° - 30°. No entanto, considerando o efeito da percolação da água, reforçou-se a posição conservativa e adoptou-se um valor de ângulo de

atrito do enchimento arenoso, em termos de tensões efectivas, de cerca de 20°. O afastamento das diaclases nos afloramentos rochosos oscila, de um modo geral entre os 6-20cm e os 2-3m, ou seja entre  $F_4$  e  $F_1$  (ISRM, 1978).

Foram analisados os três tipos de rotura mais frequentes em taludes rochosos: rotura planar, *toppling* ou basculamento e rotura em cunha. Para ocorrer rotura planar, os planos das diaclases têm de inclinar no mesmo sentido do talude, mas com um valor inferior à inclinação deste para poderem aflorar na superfície do talude e superior ao do ângulo de atrito. Para a rotura por cunhas ocorrer, a intersecção dos planos das diaclases tem de ficar, na representação da rede de Schmidt, na superfície entre o plano do talude e o círculo do ângulo de atrito. O *toppling* ocorre, fundamentalmente, quando os polos das discontinuidades se encontram marcados na superfície entre o plano do talude e o círculo do ângulo de atrito, numa gama de variação das direcções dos planos com uma amplitude de  $\pm 30^\circ$  em relação à direcção do talude.

O maciço rochoso encontra-se compartimentado em blocos, alguns com aspecto similar a romboedros. Como as dimensões são variáveis, os prismas maiores têm dimensões de cerca de 2 x 2 x 3 [m]. Assim denominou-se o prisma com maiores dimensões do afloramento nº 5, de A, atribuindo-se aos restantes nove blocos as designações que constam na Figura 1.

Na Figura 4 evidencia-se que o mecanismo instabilizador predominante no bloco A é o deslizamento planar de uma diaclase da família F3. No afloramento nº 6 (Figura 5) existe uma diaclase que poderia ser susceptível ao deslizamento planar se o respectivo ângulo de atrito fosse inferior a 15°, o que não é compatível com um enchimento de natureza fundamentalmente arenosa.



Figura 4 - Avaliação dos tipos de rotura, planar e cunha no bloco A do afloramento nº5.

Figura 5 - Avaliação dos tipos de rotura, planar e cunha no afloramento nº 6.

A análise das projecções estereográficas em rede de Schmidt permite concluir que o mecanismo predominante de rotura das diaclases que definem a quase totalidade dos blocos dos afloramentos nº 5 e o nº 6, é o *toppling* segundo a estratificação, numa gama de variação de inclinações entre cerca dos 60° e cerca dos 70 – 72° (Figura 6).

Para ilustrar este mecanismo de rotura, apresenta-se a Figura 7 onde se observa a disposição geométrica das camadas de estratificação, acima do local do afloramento nº 5 e neste próprio. É notória a atitude das camadas em consola (em balanço) e evidencia-se o avanço progressivo dos blocos no sentido do topo, visível no “muro” das camadas, ou seja no tardoz destas. Trata-se da “escadaria invertida”. Na Figura 8 apresenta-se um pormenor de uma camada em consola, com uma inclinação de cerca de 60° para NE e portanto susceptível ao *toppling*.

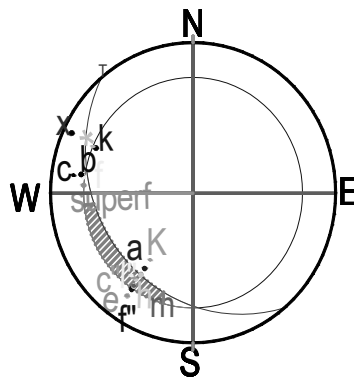


Figura 6 – Avaliação da rotura ao *toppling* nos três afloramentos rochosos.



Figura 7 - Disposição geométrica das camadas de estratificação, acima do local do afloramento nº 5 e neste próprio, evidenciando-se o avanço progressivo dos blocos no sentido do topo.



Figura 8 - Acima do local do afloramento nº 5, observa-se uma camada em consola, com geometria propícia para basculamento.

As intersecções de planos de diaclases (cunhas) situados, na área da rede de projecção estereográfica, entre o plano do talude e o círculo dos 20° de atrito, correspondem a duas famílias de diaclases observadas: a família F2 da superfície sub-vertical (painéis das gravuras) e a família F3, no bloco A.

Apesar do mecanismo de rotura por cunhas ter sido identificado não se afigura relevante, em termos de estabilidade, no contexto do afloramento nº 5, enquanto a componente atrítica actuar.

#### 2.4 Análise da estabilidade dos blocos do talude através de classificações geomecânicas

Aplicou-se a classificação SMR de Romana (1985, 1988, 2001) como método de determinação dos factores de ajustamento adequados para aplicação da classificação RMR de Bieniawski (1979) aos taludes.

O cálculo do RMR e do SMR foi realizado com recurso a folhas de cálculo onde se introduziram as características geométricas e geomecânicas das discontinuidades e do material rocha. Os valores do parâmetro resistência à compressão uniaxial foram estimados de um modo

muito expedito através de ISRM (1978). Recorrendo-se ao martelo de geólogo, em blocos afastados das gravuras, verificou-se que os filitos, de um modo geral, se fracturavam apenas com uma simples pancada, firme. Os valores de RQD, segundo Deere (1967), foram estimados a partir dos resultados de estudos anteriores em materiais xisto-grauvácicos na região duriense. Nesta fase do estudo não houve possibilidade de se realizarem sondagens à rotação com recolha de amostras numa proximidade representativa mas suficientemente afastada das superfícies com gravuras. Os parâmetros caracterizadores das descontinuidades foram medidos e estimados nalguns blocos perfeitamente delineados ou através da superfície interior em “galerias” resultantes da sua queda e cujas dimensões revelam o espaçamento entre diaclases. Adoptou-se sempre a posição conservativa, por exemplo considerando os menores valores representativos de afastamento entre diaclases, aberturas menores que 5 mm e diaclases lisas.

Privilegiou-se a observação bloco a bloco e não a mera análise estatística do conjunto do diaclasamento. Assim para Romana (1985, 1988, 2001), vem:

$$SMR = RMR* - (F1 \times F2 \times F3) + F4 \quad (1)$$

sendo os  $F_i$  os factores de ajustamento, considerando sempre os mecanismos de rotura (deslizamento planar e *toppling*):

- F1, função da diferença em valor absoluto entre as direcções das diaclases e do talude. Os valores estabelecidos empiricamente podem ajustar-se aproximadamente segundo a expressão:

$$F1 = (1 - \text{sen} |\alpha_j - \alpha_s|)^2 \quad (2)$$

Sendo  $\alpha_j$  e  $\alpha_s$  os valores angulares respectivos da direcção das diaclases e do talude.

- F2, função da inclinação das diaclases. Os valores empíricos podem ajustar-se segundo a relação:

$$F2 = \text{tg}^2 \beta_j \quad (3)$$

sendo  $\beta_j$  o valor angular da inclinação das diaclases.

- F3, função da diferença entre as inclinações das diaclases e do talude: se inclinarem no mesmo sentido ou da soma respectiva se inclinarem com sentidos opostos. Mantém-se os valores propostos por Bieniawski (1976).
- F4, função do método de desmonte, que neste caso não é nenhum, apenas o talude natural.

Na Tabela 2 constam os valores dos parâmetros necessários ao cômputo de SMR, para o conjunto dos blocos, assim como a indicação da classe correspondente e uma apreciação sobre a respectiva estabilidade.

Pode-se concluir mais uma vez que o mecanismo instabilizador predominante é o *toppling*. É de realçar que no bloco A, numa diaclase pode ocorrer deslizamento planar, de modo que ao não ser considerada, o valor de SMR aumenta assim como a estabilidade dos blocos constituintes do bloco A. Situação similar ocorre no afloramento n° 6 com outra diaclase.

Quando se considera a ocorrência de fluxo de água pelas diaclases, verifica-se o seguinte:

- O valor de SMR decresce e em mais de 75% das situações estudadas, diminui a classe de estabilidade.

- Em mais de 50% dos blocos analisados, a situação de estabilidade parcial passa a instabilidade.

Tabela 2 – Cômputo dos valores de RMR e SMR

Quantidade de Blocos	2		3		8	
Identificação	A, R6		A*, C4 e W3		B1, B2, B3, C1, C2, W1, W2, RSR6	
CSU (MPa)	25 a 50					
Valor	4					
RQD (%)	25 a 50					
Valor	8					
Afastam. diaclases (cm)	6 a 20					
Valor	8					
Cond. Descont.	Lisas, abertura menor que 5 mm e bordos algo meteorizados.					
Valor	10					
Percolação	secas	fluído	secas	fluído	secas	fluído
Valor	15	0	15	0	15	0
RMR	45	30	45	30	45	30
F1	0,7					
Caso	Normal					
F2	1					
Caso	Muito desfavorável					
F3	50	50	6	6	25	25
Caso	Desfav.	Desfav.	Favorável	Favorável	Normal	Normal
F4	15					
Método	Talude natural					
SMR	25	10	56	41	43	28
Classe	IV	V	III	III	III	IV
Estabilidade	Instável	Totalmente instável	Parcial. estável	Parcial. estável	Parcial. estável	Instável

\* Sem diaclase desfavorável

### 3. CONSIDERAÇÕES FINAIS ACERCA DA ESTABILIDADE DOS AFLORAMENTOS N° 5, 6 E A SUL DESTA

Na sequência das análises efectuadas para avaliação da estabilidade cinemática e com recurso a classificações geomecânicas das diaclases, concluiu-se que o principal mecanismo de rotura é o *toppling*.

A possibilidade de ocorrência de deslizamento planar, embora não se afigure fundamental, não deve ser descurada. Existem modelos geomecânicos, como o de Muralha, J. (2002), que consideram que os blocos da base do talude não tendem a rodar ou a ser objecto de *toppling*. São empurrados pela queda de outros, que provêm de níveis mais elevados e tendem apenas a deslizar.

De modo a avaliar esta possibilidade, analisaram-se os blocos da base do afloramento nº 5 por serem os que se encontram a níveis menos elevados. Atente-se que os blocos da base se encontram travados por outros, pelo que a possibilidade de deslizamento não é significativa.

Actualmente encontram-se visíveis devido à remoção de terras do depósito aluvionar para se efectuar uma escavação arqueológica. Nos blocos descobertos da base não se detectaram gravuras. A remoção deste volume de depósito não contribui para a estabilidade do talude, por reduzir as forças estabilizadoras.

Também a baixa inclinação das “galerias” na base, além de facilitar o seu rápido enchimento de água, quando da inundação do vale do Rio C a em regime torrencial de cheias, conduz depois a uma dissipacão lenta das pressões neutras, o que constitui um factor de instabilidade a considerar. E o efeito da percola o de água pelas diaclases   um importante factor instabilizador, como se evidenciou anteriormente.

Assim, os principais factores ambientais físicos e mecânicos instabilizadores dos blocos dos afloramentos, principalmente do n  5 são:

- As elevadas amplitudes térmicas registadas que ocasionam deslocamentos diferenciais na superfície dos blocos,
- a ac o do gelo-degelo no diaclasamento que causa esforços cíclicos de expansão/contrac o, degradando a componente atrítica e conduzindo   abertura das diaclases,
- a percola o da água pelas diaclases, cujas consequências foram já mencionadas,
- a ac o hidrodinâmica do Rio C a, em regime torrencial de cheia (se bem que o alargamento do vale nesta zona conduza a uma certa descompressão) pode conduzir ao arrastamento de blocos,
- a ac o mecânica da coloniza o biológica, nomeadamente de raízes que ocasionam o deslocamento dos blocos,
- a ac o sísmica que pode induzir movimentos significativos nos blocos. A probabilidade máxima anual de 8mm de deslocamento segundo Sousa Oliveira (1976), para uma distribui o de probabilidade de 95%,   expressiva.

Todas as considera es estabelecidas necessitam de uma aferi o no tempo porque a escala de manifesta o dos fen menos em estudo   geológica e muito raramente coincide com a escala humana. Em virtude de não se afigurar muito provável a existência de queda imediata de blocos, preconiza-se a implementa o de um sistema de monitoriza o que permita efectuar a medi o e registo periódicos dos deslocamentos relativos dos blocos com recurso a instrumenta o topográfica. Estes registos devem ser interpretados por uma equipa de acompanhamento constituída por geotécnicos especialistas em instrumenta o e topógrafos, de modo a permitir avaliar as taxas de evolu o dos deslocamentos e enquadr -las nas variáveis ambientais.

#### **4. MEDIDAS DE MITIGA O DA DEGRADA O DA ESTABILIDADE**

As obras tradicionais de cariz geotécnico para reforço de taludes em maciços rochosos (nomeadamente pregagens, ancoragens, gunitagens, injeccões de caldas consolidantes) não se coadunam com as regras de boa conserva o de gravuras rupestres. A simples coloca o de marcas topográficas para monitoriza o de blocos com gravuras, fixas por colagem ou por meios mecânicos,   imediatamente rejeitada pela arqueologia, por ser atentatória da integridade das gravuras. As interven es tradicionais da conserva o e restauro como a aplica o de argamassas históricas e injecc o de resinas em juntas são mais adequadas para edifica es patrimoniais do que para maciços rochosos. A interven o a desenvolver deverá ser compatível



com a escala do tempo geológico e não ser condicionada pelo intervalo de tempo de umas poucas gerações humanas. Assim sendo, impõe-se uma reflexão necessária quanto ao caminho a seguir. Não se pode deixar de colocar uma série de questões. Será que se irá passar a aplicar argamassas durante os séculos vindouros em sucessivas gerações? É que a escala de tempo do património edificado cifra-se, grosso modo, em menos de metade do tempo de datação das gravuras, cerca de 20 000 anos e na Europa Ocidental talvez nem atinja um terço daquela idade. Aliás experiências anteriores de aplicação de argamassas não foram bem sucedidas. No núcleo da Penascosa, existem afloramentos que possuem gravuras com uma datação compreendida entre cerca de 16000 e 24000 anos, o que significa que os respectivos blocos se mantiveram no maciço pelo menos desde essas épocas. Será que vão durar outro tanto? Fará sentido intervir periodicamente à escala de tempo humana quando a escala de tempo mínimo de posicionamento no maciço rochoso é da ordem da quinzena de milhar de anos?

Há instabilidade de blocos, especialmente quando sujeitos à percolação de um fluxo de água pelas diaclases mas não se pode prever qual o tempo de rotura. Se não há conhecimento suficiente na conservação de gravuras rupestres em xistos e existe mesmo falta de experiência mundial em intervenções neste tipo de situações, então a atitude mais sensata será estudar de modo a criar “um saber de experiência feito”. Daí se ter preconizado um programa baseado em projectos de monitorização específicos dos parâmetros ambientais e dos deslocamentos dos blocos do maciço rochoso.

Sugeriu-se como uma possível medida mitigadora da instabilidade dos blocos do talude dos afloramentos estudados, a colmatação, das diaclases abertas e com falta de preenchimento, por materiais arenosos compatíveis, de granulometria adequada e com uma elevada componente atrítica em afloramentos piloto. Propôs-se a observação no tempo do comportamento destes enchimentos “naturais” em complemento dos dados obtidos pela monitorização topográfica dos deslocamentos dos blocos. Mesmo que se verifique que os enchimentos preconizados são facilmente removidos pelos agentes erosivos, uma simples acção de manutenção conduziria à respectiva recarga periódica.

## 5. CONCLUSÕES

Na presente comunicação apresentam-se os resultados dum estudo de avaliação da estabilidade de um talude de maciço rochoso no núcleo arqueológico de arte rupestre da Penascosa. O maciço apresenta-se compartimentado em blocos, por diaclases, constituindo painéis insculturados. Foi realizado um estudo das diaclases de três afloramentos contíguos e do material rochoso, entrando em consideração com o necessário enquadramento ambiental.

Procedeu-se à análise cinemática e à aplicação da classificação geomecânica de Bieniawski com o ajustamento de Romana para os taludes. Concluiu-se ser o *toppling* o mecanismo de rotura predominante no troço estudado do talude no maciço rochoso. Refere-se a impossibilidade de se executarem obras de cariz geotécnico de reforço e consolidação de maciços por atentarem contra a integridade das gravuras rupestres. Também as intervenções tradicionais no domínio da conservação e restauro, mais adequadas para património edificado podem ser questionadas.

Preconiza-se a implementação de um programa de monitorização específico dos parâmetros ambientais (continuação do que está em curso) e dos deslocamentos dos blocos do maciço rochoso. As medidas de mitigação propostas carecem de uma observação no tempo do comportamento dos blocos no talude do maciço rochoso. Torna-se indispensável a reunião da informação necessária que permita aos decisores do PAVC a definição de um programa de conservação sustentável adaptado às condições locais dos blocos com gravuras rupestres e aceitável pela comunidade científica internacional.

## 6. AGRADECIMENTOS

A presente comunicação foi realizada no âmbito do *Estudo de Avaliação do Estado de Conservação de Afloramentos Rochosos do Núcleo de Arte Rupestre da Penascosa*, desenvolvido pela empresa IN SITU – Conservação de Bens Culturais para o Parque Arqueológico do Vale do Côa.

## 7. REFERÊNCIAS

- [1] Barton, N. and Choubey, V. (1977). *The shear strength of rock joints in theory and practice*. Rock Mechanics. Springer. Vienna. Nº 1/2, pp. 1-54.
- [2] Barton, N. (1987). *Prediction the behaviour of underground openings in rock..* 4<sup>th</sup> Manuel Rocha Memorial Lecture. SPG. Lisbon.
- [3] Bieniawski, Z. (1979). *The geomechanics classification in rock engineering applications*. Proc. 14<sup>th</sup> International congress on Rock Mechanics. Montreux, vol. 2, pp. 41-48.
- [4] Deere, D.U. (1967). *Geological considerations*. Rock Mechanics in Engineering Practice, 1st chapter, Stagg & Zienkiewicz, London.
- [5] Ferreira da Silva, A. e Ribeiro, M. L. (1991). *Notícia Explicativa da Folha 15-A, Vila Nova de Foz Côa*. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.
- [6] ISRM (1978). *Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses*. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr. Pergamon Press, Vol. 15, pp. 319–368.
- [7] ISRM (1981). *Basic geotechnical description of rock masses*. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr. Pergamon Press, Vol. 18, pp. 85–110.
- [8] Muralha, J. (2002). *Probabilistic analysis of toppling failure in rock slopes*. International Symposium on Rock Engineering for Mountainous Regions. EUROCK 2002. Funchal, p.p.187-196.
- [9] Ribeiro, M.L. (2001). *Carta geológica Simplificada do Parque Arqueológico do Parque Arqueológico do Vale do Côa*. Instituto Geológico e Mineiro, Parque Arqueológico de Vale do Côa.
- [10] Romana, M. (1985). *New adjustment ratings for application of Bieniawski classification to slopes*. Int. Symp. on the role of Rock Mechanics. ISRM. Zacatecas, pp. 49-53.
- [11] Romana, M. (1988). *Practice of SMR classification for slope appraisal*. Proc. 5<sup>th</sup> Int. Symp. on Landslides. Ed. Balkema, Lausanne.
- [12] Romana, M. (2001). *El papel de las clasificaciones geomecánicas en el estudio de estabilidad de taludes*. Proc. V Symp. Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables.
- [13] Sousa Oliveira, C. (1976). *Dados de base sobre o risco sísmico em Portugal*. Relatório integrado nos estudos do domínio do plano de investimentos e do plano de edifícios. Lisboa, LNEC.