

ESTUDO GEOLÓGICO E GEOTÉCNICO DAS PEDREIRAS DA SERAFINA (PARQUE DE MONSANTO, LISBOA)

GEOLOGICAL AND GEOTECHNICAL STUDY OF THE SERAFINA QUARRY (MONSANTO PARK, LISBON)

Águas, César, *Egiamb, Consultores, Lda, Lazarim, Portugal, cesaraguas@yahoo.com*
Costa, Carlos Nunes, *CIGA, FCT/UNL, Quinta da Torre, Portugal, cnc@fct.unl.pt*
Caetano, Paulo Sá, *CIGA, FCT/UNL, Quinta da Torre, Portugal, pcsc@fct.unl.pt*
Vendas, Daniel Filipe, *CIGA, FCT/UNL, Quinta da Torre, Portugal, daniel@ciga.fct.unl.pt*
Almeida, José António, *CIGA, FCT/UNL, Quinta da Torre, Portugal, ja@fct.unl.pt*
Verdial, Paulo Hasse, *CIGA, FCT/UNL, Quinta da Torre, Portugal, hasse@ciga.fct.unl.pt*

RESUMO

Nesta comunicação apresenta-se a metodologia e os resultados do estudo geológico e geotécnico que foi elaborado para a Pedreira Sul da Serafina no Parque de Monsanto em Lisboa, com vista à sua reutilização como área de actividades lúdicas. Do ponto de vista da análise de estabilidade dos taludes, procedeu-se à aplicação do *Teste de Markland* e à análise de rotura por escavação. De acordo com as características geológicas e geotécnicas observadas foi elaborado um zonamento geotécnico que suportou a classificação do local segundo 3 classes de risco. Estes resultados foram projectados sob a forma de um Carta de Risco, que descreve, de forma directa e simples, as características de estabilidade dos taludes e a sua capacidade de suportar os esforços das estruturas de lazer e sugere medidas de segurança a implementar no local

ABSTRACT

This paper presents the geological and geotechnical study that was carried out at the South Quarry of the Monsanto Park in Lisbon, with the purpose of reclaiming the area for recreational activities. Regarding slope stability analysis, the Markland Test and basal erosion rupture analysis were applied. Concerning the geological and geotechnical characteristics, a geotechnical zoning map was made. These results produced a Risk Map of the site, which describes the slope stability and their capability of supporting stresses caused by the recreational structures that were planned for the area and suggests safety measures that should be implemented.

1. INTRODUÇÃO

Esta comunicação apresenta o estudo geológico e geotécnico efectuado para a Pedreira Sul da Serafina, localizada no Parque Florestal de Monsanto, em Lisboa, requerido pela Divisão de Matas – Espaço Monsanto, com o propósito de aí instalar uma zona para actividades lúdicas.

Neste estudo foram tidas em consideração duas variantes do projecto da zona recreativa. O projecto inicial contemplava diversos equipamentos susceptíveis de interferir directamente com a estabilidade dos taludes da Pedreira Sul, nomeadamente uma “*Via Ferrata*” e uma “*Ponte Himalaia*”, através da necessidade de aplicação de elementos suportantes (e respectivos esforços) nas faces e cristas dos taludes da pedreira. Numa fase posterior, após a conclusão do relatório preliminar do estudo geológico que indicava um zonamento geotécnico penalizador e

risco de instabilização elevado nas áreas contempladas para os equipamentos referidos anteriormente, foi elaborado o projecto final no qual as novas estruturas não interferem directamente com a estabilidade natural dos taludes da pedreira.

2. GEOLOGIA E GEOTECNIA

2.1 Trabalhos de Campo

De modo a obter a melhor caracterização do local do ponto de vista geológico e geotécnico, procedeu-se à realização de trabalhos de campo que consistiram na recolha de elementos geológicos e geotécnicos, como sejam a litologia, estado de alteração do maciço rochoso, características estruturais, atitudes, espaçamentos, aberturas, enchimento e persistência (ou continuidade) de fracturas, de acordo com as normas propostas pela SIMR (Sociedade Internacional de Mecânica das Rochas).

2.2 Geologia

A geologia regional da área de estudo interessa predominantemente formações carbonatadas do Cretácico (C_c^2 , C_c^{2+a} , C_c^3 , C_c^{3+a}), que se encontram limitadas a Sul, e a Norte, pelas rochas vulcânicas do “Complexo Vulcânico de Lisboa” (β e β') (Figura 1).

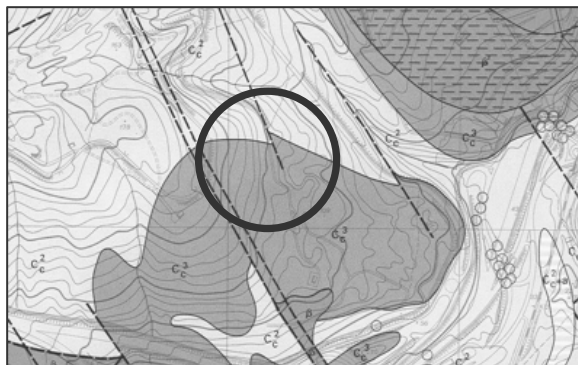


Figura 1 – Extracto da Carta Geológica do Concelho de Lisboa [1], escala 1:10 000, com localização aproximada das Pedreiras da Serafina (círculo negro)

Em termos locais, os trabalhos de campo realizados identificaram as seguintes formações geológicas, da base para o topo [2]:

- a) Cenomaniano médio (C_c^2) – calcários margosos com intercalações argilosas ou argilo-margosas, por vezes muito plásticas. Estas camadas, quando apresentam espessuras reduzidas, constituem superfícies de baixa resistência, conferindo ao maciço comportamento anisotrópico;
- b) Cenomaniano superior (C_c^3) – calcários cristalinos apinhoados que por vezes exibem, localmente, descompressão e fracturação bastante significativas. No topo, são constituídos por camadas calcárias muito alteradas e fragmentadas – espessura média das camadas entre 1 a 2 metros;
- c) *Depósito detrítico* (pós-cenomaniano, recente) – constituído por elementos detríticos carbonatados, muito alterados, que comportam alguma coesão mecânica, possivelmente proveniente da percentagem significativa de finos existente na matriz. A espessura média é de cerca de 1 metro.

Com base nos levantamentos geológicos de pormenor foi elaborada uma carta geológica local, com relevância para os aspectos litológicos e estruturais, que se apresenta na Figura 2.

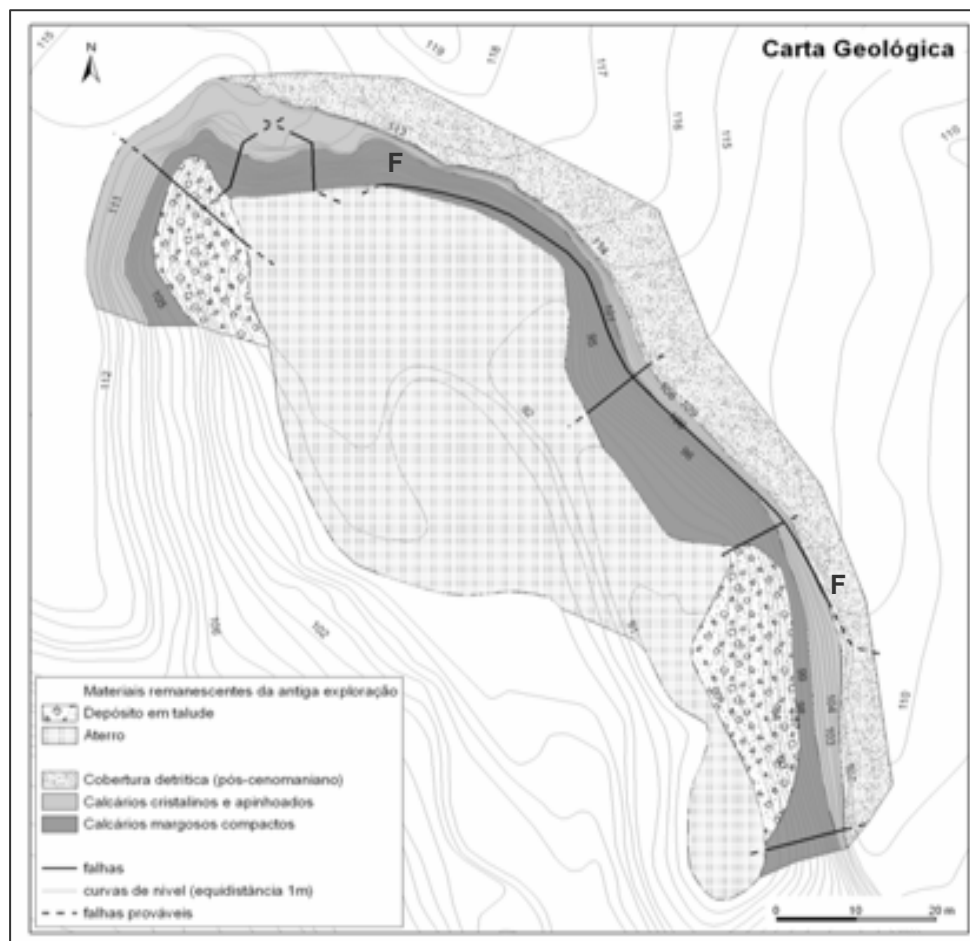


Figura 2 – Carta geológica local da Pedreira Sul da Serafina

2.3 Estrutura

As formações cenomanianas apresentam atitude geral de N60°E 7°SE, atingindo maior inclinação na proximidade do “Complexo Vulcânico de Lisboa”.

Regra geral, as camadas inclinam nos taludes da pedreira no sentido do maciço, o que é impeditivo da ocorrência de escorregamentos do tipo planar (excepto quando associados a mecanismos de rotura por corte) mas favorável a basculamentos (*toppling*). No entanto, existe um talude com dimensões (altura e largura) mais reduzidas, que se encontra orientado para Este (ao contrário dos restantes que se encontram para Oeste e Sul), e no qual as camadas existentes inclinam para o interior da pedreira, constituindo um elemento favorável à ocorrência de deslizamentos do tipo planar.

No que respeita à tectónica local, importa referir a ocorrência de uma falha inversa, que corta os taludes mais a Nordeste da pedreira (F na figura 2) e que, em alguns locais, constitui a base de consolas de dimensões importantes. Foram também identificadas algumas diaclases

subverticais, ao longo das várias frentes da pedreira, com abertura reduzida e sem preenchimento.

2.4 Propriedades Geotécnicas

No que respeita às propriedades geotécnicas das formações cenomanianas ocorrentes na região de Lisboa, são conhecidos valores de ensaio de SPT de $N_{SPT} \geq 60$, para camadas mais carbonatadas, e de $7 < N_{SPT} < 35$, para níveis mais argilosos [3]. Os mesmos autores indicam, para as camadas de margas argilosas, valores de coesão $c' = 10$ kPa e de ângulo de atrito $\phi' = 25^\circ$. Não obstante, é possível considerarem-se valores substancialmente superiores para os níveis calcários, nomeadamente no cálculo de estabilidade de taludes: coesão c' – cerca de 300 kPa; ângulo de atrito ϕ' – cerca de 35° [4].

No que concerne à resistência à tracção, apresentam-se valores para calcários, com consistência normal a compacta, de cerca de 50 kgf/cm^2 (ou 500 ton/m^2) [5]. Para a tensão de segurança à rotura, referem-se valores superiores a 10 kgf/cm^2 [6].

3. ANÁLISE DA ESTABILIDADE DE TALUDES

A análise geotécnica da estabilidade dos taludes da Pedreira Sul foi efectuada de acordo com duas metodologias específicas – Hoek & Bray [7] e Richards & Lorriman [8] – procurando estudar o comportamento e a resposta mecânica dos blocos potencialmente instáveis face aos esforços a que estão e/ou poderão estar futuramente sujeitos.

Na sua generalidade, a Pedreira Sul caracteriza-se por taludes de escavação de altura considerável (cerca de 20 m) e alguns com declives negativos (cerca de -80°), consequência de subescavação nas cotas inferiores dos taludes. Em alguns locais são notórias consolas que exibem balanços bastante importantes (na ordem de vários metros) que, pela força da exercida aos blocos em consola, apresentam um risco significativo de queda (ver exemplo na figura 3).



Figura 3 – Consola com balanço aproximado de 3 m, na Pedreira da Serafina

3.1 Análise Estereográfica

Após a recolha das atitudes das diaclases medidas no campo e com o propósito de identificar possíveis variações das características das fracturas ao longo da pedreira, procedeu-se ao tratamento estatístico, através da representação em projecção estereográfica (*Rede de Schmidt*) em 3 sectores distintos – 1, 2, e 3 (figura 4).

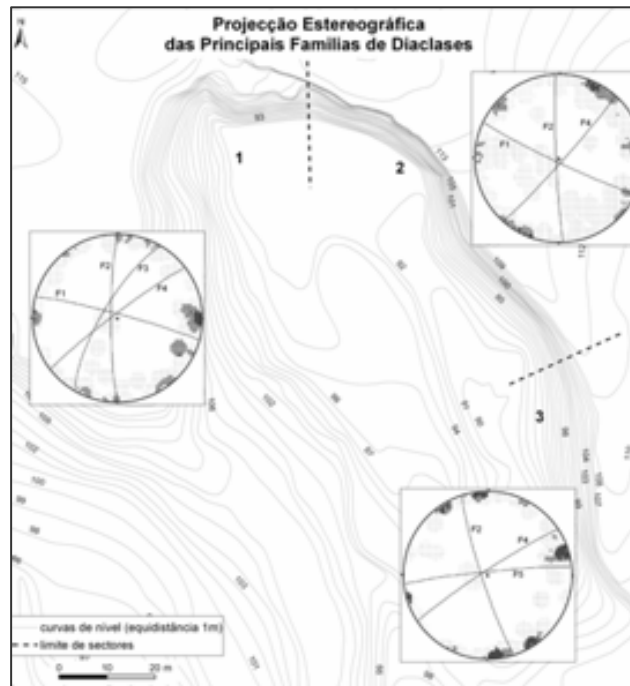


Figura 4 – Mapa de projecção estereográfica

Foram identificadas, por sector, três famílias principais de diaclases (excluindo a estratificação), frequentemente ortogonais entre si. No sector 1 identificou-se uma quarta família de diaclases, mas de baixa densidade (quadro 1).

Quadro 1 – Atitude dos taludes e principais famílias de diaclases por sector

SECTOR	TALUDES	FAMÍLIAS DE DIACLASES
1	A – NS 90° B – N60°E 90° C – N60°W 90° D – N80°E 70°NW	F1 – N75°W 87°N F2 – N2°E 80°W F3 – N26°E 70°NW F4 – N57°E 87°NW
2	E – N43°W 80°NE F – N40°W 88°SW G – N30°E 90°	F1 – N65°W 86°SW F2 – N2°W 87°W F4 – N42°E 86°SE
3	H – NS 90° I – N16°W	F2 – N16°W 84° W F4 – N56°E 87°NW F5 – N84°E 86°N

3.2 Análise de Rotura pelo Teste de Markland

Em resultado da análise estereográfica obtiveram-se, para os 9 taludes da pedreira (A, B, C, D, E, F, G, H e I), várias famílias principais de diaclases que foram consideradas no *Teste de Markland* [7]. Em termos gerais, os resultados obtidos para cada talude, mostram que o maciço rochoso está pouco sujeito aos fenómenos de rotura do tipo planar, cunha e basculamento. Dos 9 taludes em análise, cinco (A, D, E, F e H) revelaram susceptibilidade à ocorrência de movimentos, sendo estes caracterizados principalmente por roturas de tipo planar (D, E e H), em cunha (E e F) e por basculamento (A), como se observa na figura 5.

Nesses taludes, as famílias de diaclases susceptíveis de originar movimentos de rotura apresentam, geralmente, atitudes com inclinações subverticais (sendo em muitos casos as mesmas atitudes que controlam a direcção da face do talude) e, nos diagramas do *Teste de Markland*, encontram-se desenhadas perto dos limites das áreas de estabilidade ou de não ocorrência de movimentos de rotura. Refira-se que os taludes D e E, cujos *Testes de Markland* indicam a possibilidade de rotura planar, podem, em vez deste, estar mais sujeitos a movimentos de rotura por corte, visto que as faces dos taludes têm declives negativos e as potenciais superfícies de rotura são subverticais (condições mais favoráveis à ocorrência do movimento de rotura por corte [9]).

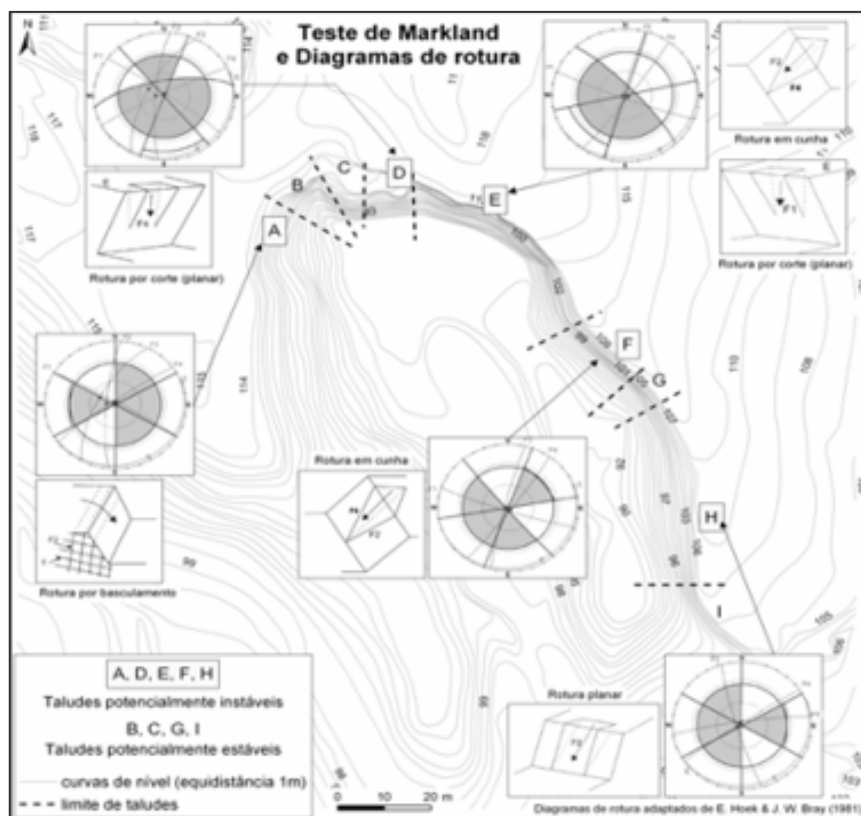


Figura 5 – Mapa de *Teste de Markland*

Assim, de uma maneira geral, verifica-se que os taludes que constituem a Pedreira apresentam alguma susceptibilidade à ocorrência deste tipo de fenómenos, não sendo a própria estrutura (famílias de diaclases) do maciço rochoso a principal responsável por possíveis quedas de blocos, mas sim as atitudes de alguns taludes, que apresentam inclinações negativas, resultado das consolas existentes.

3.3 Análise de Rotura por Escavação de um Talude

Alguns taludes da Pedreira Sul, nomeadamente os que se encontram no Sector 2, durante a exploração da matéria-prima (calcários) existente em cotas inferiores, foram excessivamente escavados nas suas bases (ou sopés), o que terá originado consolas de grandes dimensões, a cotas mais elevadas. Para o cálculo mais apropriado da estabilidade destas consolas é necessário ter mais em consideração o tipo de movimentos associados à rotura por escavação (corte e tracção).

Ao analisar-se o movimento de rotura por corte, em que a rotura ocorre quando o peso do bloco é maior do que a resistência ao corte do material, deve ter-se em consideração a resistência à rotura do bloco que depende da coesão e ângulo de atrito. Tendo em consideração que o movimento de rotura por corte se pode dar em situações muito próximas da verticalidade, o parâmetro ângulo de atrito não assume importância relevante no cálculo da estabilidade.

Na pedreira em estudo, existem situações críticas cujas características são propícias à ocorrência de movimentos de rotura por corte. Como exemplo, refira-se um bloco existente no talude G, com um volume de cerca de 10 m^3 e um peso de cerca de 27 ton. A diaclase que o suporta apresenta uma continuidade perto dos 90% e uma área de cerca de 7 m^2 , dando uma força resistente de cerca de 21 ton, que é significativamente inferior ao peso que provoca a rotura. Não obstante, admite-se que a parcela que ainda permite a sustentação do bloco esteja a ser fornecida lateralmente, pelo que qualquer acção que favoreça o seu desconfinamento pode ser crucial para o desencadear da rotura (figuras 6 e 7).

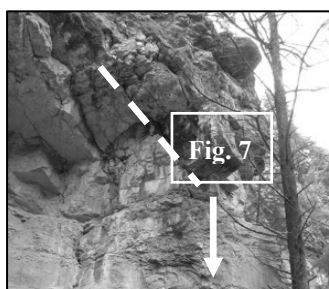


Figura 6 – Bloco em consola e em risco de rotura por corte (volume superior a 10 m^3)

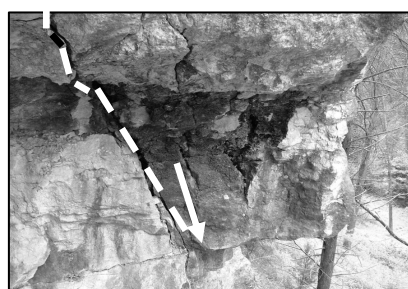


Figura 7 – Pormenor do bloco em consola. Superfície de rotura de continuidade bastante elevada

No que se refere ao mecanismo de rotura por tracção (em que a rotura se dá quando o esforço produzido pelo peso do bloco é superior à força de tracção da descontinuidade que o suporta), o parâmetro a considerar no cálculo da estabilidade é a resistência à tracção.

Em termos locais, em quase todo o Sector 2, as consolas existentes exibem características geotécnicas deficientes. Os blocos existentes, de dimensões bastantes consideráveis, encontram-se geralmente fracturados por diaclases (definidas pela estratificação) apresentando continuidades importantes. Nas figuras 8 e 9 observa-se uma consola representativa do Sector 2 que exhibe características geotécnicas muito deficientes em termos de estabilidade: maciço muito fracturado ($F_{4,5}$); diaclases abertas ($> 10 \text{ mm}$); persistência de diaclases muito elevada a “completa” (95 a 100%); diaclases sem enchimento; consola com balanços bastante importantes (entre 1 a 3 m).



Figura 8 – Consolas existentes no Sector 2, Talude E, com balanços superiores a 3 m

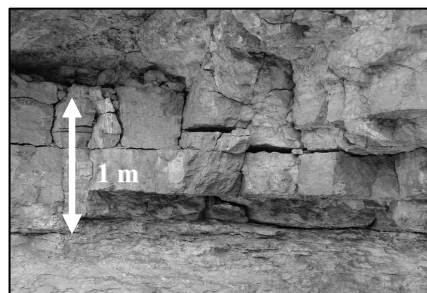


Figura 9 – Pormenor de uma consola, representativa do Sector 2, bastante fracturada, com continuidade e abertura muito elevadas

Este somatório de características deficitárias, leva-nos a considerar que a maior parte das consolas existentes no talude E encontra-se em estado crítico de estabilidade, apresentando um muito elevado potencial risco de queda de blocos através de rotura por tracção.

4. ZONAMENTO GEOTÉCNICO

De acordo com as observações de carácter geológico e geotécnico anteriormente descritas foi efectuado, para a Pedreira Sul, um zonamento geotécnico em três zonas distintas – ZG1, ZG2 e ZG3. A delimitação das zonas geotécnicas é baseada, principalmente, em 3 factores: atitude dos taludes; características geotécnicas das principais famílias de diaclases; existência de consolas com balanços importantes. Pontualmente, foram incluídos locais que apresentam características estruturais e geométricas particulares.

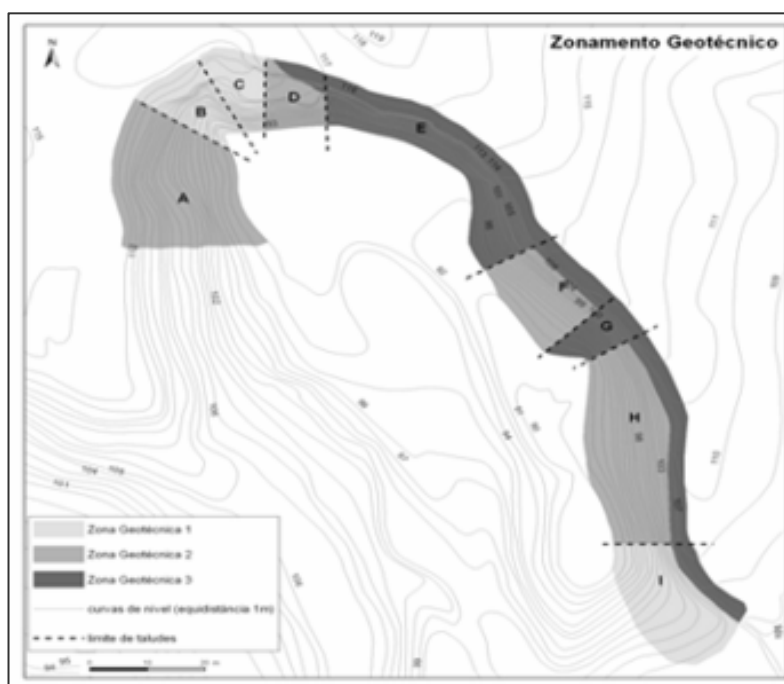


Figura 10 – Carta de Zonamento Geotécnico

Zonas geotécnicas estabelecidas (figura 10):

ZG1 (Zona Geotécnica 1), corresponde a uma zona composta por litologias e estruturas de características geotécnicas **boas**, cujos taludes existentes se encontram estáveis, capazes de suportar esforços adicionais de algumas infra-estruturas. As diaclases apresentam-se, de uma forma geral, com atitudes subverticais, espaçamento afastado (F_{1-2}), aberturas apertadas, persistência muito baixa, sem enchimento e sem percolação. O *Teste de Markland* revela que estes taludes não apresentam condições susceptíveis de ocorrência de movimentos de rotura.

ZG2 (Zona Geotécnica 2), diz respeito aos taludes que apresentam características geotécnicas **razoáveis a sofríveis**, de estrutura passível de uma certa instabilidade, com potencial ocorrência de movimentos de rotura, e impossíveis de suportar esforços adicionais de quaisquer infra-estruturas a colocar *in situ*. As suas diaclases apresentam-se, de uma forma geral, com atitudes subverticais, espaçamento afastado (F_2), aberturas médias,

persistência média a baixa, sem enchimento e sem percolação. O *Teste de Markland* mostra que estes taludes apresentam condições susceptíveis à ocorrência de movimentos de rotura.

ZG3 (Zona Geotécnica 3), corresponde aos taludes e situações pontuais, compostos por conjugações de características geotécnicas e estruturais **muito deficientes** e susceptíveis à ocorrência de movimentos de rotura. Considera-se abrangido o talude E, cujas zonas de maior instabilidade, consolas, apresentam as seguintes características: maciço muito fracturado ($F_{4.5}$); diaclases abertas (> 10 mm); persistência muito elevada a “completa” ($>95\%$); diaclases sem enchimento; e consola com balanços bastante importantes (entre 1 a 3 m). O *Teste de Markland* revelou que o talude E apresenta condições que favorecem a ocorrência de movimentos de rotura.

5. CARTA DE RISCO

Face ao projecto de requalificação da área em estudo para actividades lúdicas foi construído um mapa de risco de queda de blocos para os taludes (figura 11), tendo em consideração o zonamento geotécnico e o uso actual e futuro.

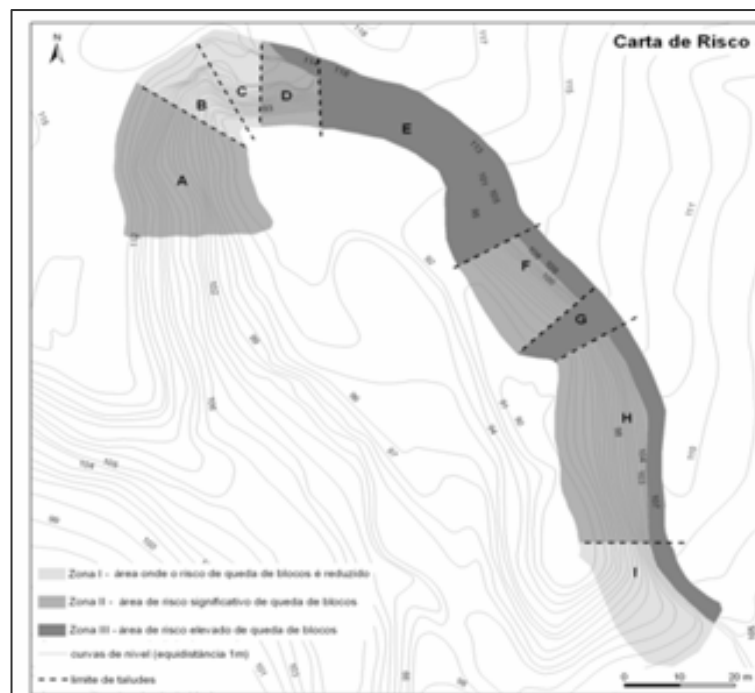


Figura 11 – Carta de Risco

A carta de risco de queda de blocos encontra-se subdividida em três zonas, que correspondem a três níveis de risco face à possibilidade de uso da pedra para actividades lúdicas:

Zona I – corresponde à área onde o risco de queda de blocos é reduzido. São zonas livres para circulação pedonal e outras actividades lúdicas. Podem ser implementadas infra-estruturas sem que sejam necessárias intervenções importantes no maciço rochoso.

Zona II – corresponde à área onde o risco de queda de blocos pode ser significativo. São zonas livres para circulação pedonal, mas que devem ser restringidas a actividades que interfiram directamente com a estabilidade dos taludes. O maciço não suporta esforços de possíveis infra-estruturas sem que se procedam a intervenções importantes no maciço rochoso.

Zona III – corresponde à área onde o risco de queda de blocos é elevado. Deve ser criado um perímetro de protecção para pessoas e bens. O maciço rochoso deve ser sujeito a intervenções (tipo saneamento ou estabilização) a curto prazo. A colocação de possíveis infra-estruturas deve ser evitada devido à necessidade de dispendiosos trabalhos de consolidação do maciço rochoso.

6. RECOMENDAÇÕES CONSTRUTIVAS PARA A IMPLEMENTAÇÃO DE ESTRUTURAS DE APOIO

O Plano Geral de Implementação de Estruturas de carácter lúdico apresenta, para a Pedreira Sul, diversos equipamentos que se encontram inseridos dentro da zona de influência de estabilidade dos taludes da pedreira, como sejam uma torre de escalada, *bolders*, zona de pic-nic e vedações em madeira na base e no topo da Pedreira. Estas estruturas não interferem directamente com a estabilidade dos taludes uma vez que não é necessário a existência de elementos suportantes (estacarias/ancoragens) nas faces dos taludes e de cargas adicionais nas cristas dos mesmos, ao contrário do projecto inicial, que previa a instalação de estruturas, tais como uma *via ferrata* e uma plataforma assente na crista de um talude.

No que respeita ao projecto da torre de escalada, recomenda-se que a laje de fundação seja assente directamente no maciço rochoso, existente a pouca profundidade, e que apresenta valores de tensão de segurança à rotura ($> 10 \text{ kgf/cm}^2$) suficientes para suportar as cargas transmitidas pela referida estrutura [6].

No cômputo geral, considera-se que o Plano Geral de Implementação de Estruturas não apresenta características que possam influenciar a estabilidade dos taludes da Pedreira. Não obstante, algumas das localizações projectadas poderão estar em zonas de elevado risco de queda de blocos, tais como o parque de pic-nic e as vedações em madeira, que devem respeitar as distâncias de segurança mínimas de cerca de 10 m do talude.

7. REFERÊNCIAS

- [1] Almeida, F. M. – Carta Geológica do Concelho de Lisboa. Escala 1:10 000. Folha 3. Serviços Geológicos de Portugal. Lisboa. 1986.
- [2] Zbyszewski, G. – Carta Geológica dos Arredores de Lisboa na escala 1:50 000. Folha 34-D (Lisboa). Serviços Geológicos de Portugal. Lisboa. 1963.
- [3] Melâneo, F., Oliveira, M. Fernandes, E. M. – Estabilização da Encosta Poente da Av. de Ceuta. Acessos Norte à Ponte 25 de Abril. 6º Congresso Nacional de Geotecnia. Volume 2/3. 1997.
- [4] Oliveira, R. – *Engineering Geological Investigation of Rock Masses for Civil Engineering Projects and Mining Operations*. LNEC. Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações. 1987.
- [5] Pereira, J. – Caracterização Geotécnica de Maciços Rochosos. Universidade Nova de Lisboa. Faculdade de Ciências e Tecnologia. Secção autónoma de Geotecnia. 1985.
- [6] Especificação E 217 – Fundações Directas Correntes. Laboratório de Engenharia Civil. Lisboa. 1968.
- [7] Hoek & Bray – *Rock Slope Engineering*. The Institution of Mining and Metallurgy. London. 1981.
- [8] Richards, K. S., & Lorriman, N. R. – *Basal erosion and mass movement. Slope Stability*. Anderson, M.G., and Richards, K.S. (eds). John Wiley, Chichester, U.K., pp.331-357. 1987.
- [9] Giani, G.P. – *Rock Slope Stability Analysis*. A.A. Balkema. Rotterdam. Brookfield. 1992.