

REABILITAÇÃO DAS ARRIBAS DA PRAIA DO ALGODIO

ALGODIO BEACH CLIFF'S REHABILITATION

Vieira, Carlos, *Lisconcebe - Consultadoria de Projectos de Engenharia, S.A., Lisboa, Portugal*,
carlos.vieira@lisconcebe.pt

Sousa Cruz, Jorge, *Lisconcebe - Consultadoria de Projectos de Engenharia, S.A., Lisboa,*
Portugal, jorge.cruz@lisconcebe.pt

RESUMO

Em 2007, a praia do Algodio, numa extensão de 270m na Vila da Ericeira, no concelho de Mafra, foi objecto de medidas de estabilização da falésia, passando pelo reforço e protecção das bancadas greso-calcário-margosas, pela drenagem superficial da encosta e plataformas adjacentes, com o objectivo de se garantirem adequadas condições de segurança geoestrutural. A estabilidade da frente desta falésia foi sendo, ao longo dos anos, condicionada por processos de erosão natural, responsáveis pelas evoluções geomorfológicas verificadas e que resultaram em desmoronamentos, desprendimentos de cunhas de rocha, quedas de blocos e noutros fenómenos de desagregação verificados nas zonas mais escarpadas, ou em escorregamentos e fluimentos de terras, em que a água infiltrada jogou um papel importante neste complexo processo de instabilização e de transporte dos materiais.

ABSTRACT

In 2007, the 270m extension of Algodio beach in Ericeira village, Mafra, had been object of stabilization measures for the cliff, that went through the reinforce and protection of the sandstone-lime-marl layers, superficial drainage of the slope and lateral platforms, with the aim of assuring the adequate geo-structural safety conditions. Over the years, the stability of the cliff was conditioned by natural active processes, responsible for the geomorphological evolution, mainly due to plane or circular failure, wedge failure, rockfalling and other phenomena of desegregation in the higher stiff zones. Landslides of soil masses had been also identified, in which the presence of water played an important role, in this complex process of instabilization and transport of materials.

1. CARACTERIZAÇÃO GERAL

1.1. Local

A praia do Algodio, no concelho de Mafra, situa-se a poente da Vila da Ericeira, entre a Praia de S. Sebastião a Norte e a Praia dos Pescadores a Sul.

Esta área litoral, caracteriza-se por uma frente de costa escarpada, constituída por uma falésia greso-calcário-margosa, com inclinação subvertical na sua maior extensão e com altura variável entre 5m a Norte e 18m a Sul, aproximadamente. Exceptua-se destas condições um trecho da arriba da orla central, onde a inclinação é da ordem de 50°.

A escarpa que é objecto de intervenção desenvolve-se numa extensão da ordem de 270m, ao longo estrada que dá acesso à Praia do Algodio, entre o Largo de S. Sebastião a Norte e a rampa que acede ao caminho pedonal a Sul, onde os problemas de instabilidade natural do maciço são mais prementes – ver Figura 1.

1.2. Climatologia

A Vila da Ericeira está localizada numa zona de clima temperado, com temperaturas médias diárias do ar entre 15° e 16° e máximas e mínimas mensais médias entre 25° e 5° respectivamente, e com precipitações médias anuais da ordem de 600mm e médias máximas diárias anuais da ordem de 120-140mm. Esta zona, e particularmente a sua orla costeira marítima, expõe-se aos agentes predisponentes climáticos de forma aberta, a partir da frente atlântica com que se confronta. Estes agentes constituem-se como dos factores mais relevantes no processo erosivo e de meteorização a que a arriba está sujeita e que se manifestam, sobretudo, em desmoronamentos e quedas de blocos, tanto em resultado da fracturação, da descompressão e alteração do maciço, como do descalçamento por recuo das camadas mais brandas.

1.3. Geologia

A área de estudo encontra-se representada na folha 30-C (Torres Vedras) da Carta Geológica de Portugal na escala 1/50.000 por uma unidade designada de “Calcários com Choffatella”, datada do Albiano. De acordo com a respectiva notícia explicativa e com o reconhecimento de superfície efectuado, a arriba em estudo apresenta-se como uma escarpa marginal de composição predominantemente gresosa, constituída, regionalmente, numa sequência de grés grosseiros em cima e em alternância com margas arroxeadas e calcários margosos e, em baixo, por grés finos muito argilosos, arroxeados.



Figura 1 - Fotografia do local

Estudos recentes, efectuados por J. Rey (1971,1993) e compilados no Instituto Geológico e Mineiro para a publicação de nova carta geológica, datam as formações em presença na área de estudo do Hauteriviano e Barremiano inferior, com a designação de “Formação de Ribeira de Ilhas e Formação de Ribamar”, constituída por arenitos, lutitos, calcários margosos e margas. Esta formação estaria em contacto, a Sul, com a “Formação de Regatão”, onde predominam arenitos, lutitos e dolomias, datados do Barremiano superior.

A evolução geomorfológica local foi determinada pelos processos geodinâmicos activos correspondentes, no essencial, a dois períodos temporais bem distintos: - um período, de duração à escala geológica, em que a linha de costa sofreu o processo de recuo típico de falésias submetidas à erosão costeira, e, o período actual, em que a evolução da escarpa está condicionada essencialmente pelos processos activos nas vertentes, inclusive nos depósitos móveis.

Do ponto de vista tectónico, a área envolvente apresenta, como traço característico, numerosos filões de rocha básica alterada preenchendo antigas fracturas. A falha mais proeminente apresenta orientação paralela ao litoral (NNW-SSE junto à área de estudo, passando a N-S, a Norte da Ericeira) com uma extensão de vários quilómetros. Uma família de fracturas com bastante representação na escarpa exhibe atitude concordante com esta falha. Porém, na nova carta geológica em publicação no Instituto Geológico e Mineiro este alinhamento não seria formado por uma única falha mas por segmentos com atitudes algo diversas, um dos quais, com comprimento de cerca de 1 km e orientação próxima de N-S, afectaria a escarpa da praia do Algodio no sector mais setentrional.

1.4. Hidrogeologia

A alternância litológica, associada a um tectonismo por vezes intenso, concorre para estabelecer, do ponto de vista hidrogeológico, situações de alguma diversidade, segundo o tipo de permeabilidade dominante. Assim, nas formações constituintes da arriba do Algodio podem ser considerados:

(i) Meios porosos, caracterizados por “permeabilidade em pequeno”, correspondentes à cobertura arenosa plio-quadernária do topo da escarpa, às formações areníticas alteradas, aos depósitos de vertente da base da escarpa e às areias de praia.

(ii) Meios fissurados, de “permeabilidade em grande”, constituídos pelos estratos greso-calcários e pelas margas fissuradas.

Os meios porosos, representados essencialmente por formações da cobertura arenosa, exibem elevada porosidade, o que permite uma infiltração apreciável e conseqüente elevada velocidade de circulação das águas. Já os meios fissurados têm grande representatividade no conjunto da escarpa. Caracterizam-se por valores variáveis de coeficiente de permeabilidade: reduzidos nas margas (do que resulta baixa velocidade de circulação e reduzido coeficiente de armazenamento), mais elevados nos estratos greso-calcários.

Em consequência da baixa permeabilidade das camadas margosa, dos fortes declives, da escassez de solos e de coberto vegetal, o essencial da escorrência superficial perde-se para o mar. Porém, em determinadas épocas do ano, podem ser armazenados volumes significativos de água subterrânea, confinados inferiormente pelo maciço greso-calcário menos alterado e fracturado, constituindo, em conjunto com estratos margosos, um complexo hidrogeológico que, em termos práticos, se pode considerar como relativamente impermeável, devido à sua baixa condutividade hidráulica global.

1.5. Sismologia

Do ponto de vista da sismicidade, a região em estudo situa-se na zona sísmica A, definida no mapa de delimitação das zonas sísmicas do Regulamento de Segurança e Acções para Estruturas de Edifícios e Pontes como a de maior intensidade sísmica do continente, o que implica a adopção do valor 1.0 para coeficiente de sismicidade.

O traçado das isossistas do “sismo de Benavente” (“sismo de referência” ocorrido em 23/04/1909) para a área de estudo atribui-lhe uma intensidade máxima de grau V na escala de Mercalli modificada, para um período de retorno de 1000 anos. Para os sismos com origem no oceano Atlântico, o traçado das isossistas do sismo de 1969 (“sismo de referência” para as ocorrências com origem na actividade da “falha Açores-Gibraltar”) atribui à área de estudo a intensidade máxima de grau VI na escala de Mercalli modificada, para um período de retorno de 1000 anos.

1.6. Geotecnia

As condições geotécnicas do maciço relacionam-se com a natureza litológica do material-rocha, com a estrutura e o sistema de compartimentação do maciço e ainda, com as facilidades de alteração oferecidas pelo modo de exposição aos factores ambientais predisponentes. A caracterização geotécnica do maciço passa, assim e sobretudo, pela identificação das contribuições do material rocha e da sua exposição aos agentes meteóricos, das condições hidrogeológicas e das discontinuidades.

Globalmente, o maciço rochoso apresenta-se com fracturas sem enchimento, pouco abertas, rugosas onduladas e planas, secas ou húmidas, com evidências de passagem de água apenas numa pequena percentagem do total. Neste sentido, de acordo com a caracterização anterior e no interesse do projecto, individualizam-se duas zonas geotécnicas principais:

- ZG2 – constituída por arenitos, de grão fino a grosseiro, por bancadas de margas e de calcários margosos, fracturados, medianamente a muito alterados, com elevada permeabilidade, ocorrente nas primeiras unidades métricas da superfície do maciço e junto do plano da arriba;
- ZG1 – não aparente, constituída pelas mesmas formações em profundidade, num estado são a pouco alterado.

Acessoriamente, distingue-se uma terceira unidade – ZG3 – que, apesar de pouco espessa e pouco representada no trecho em estudo, se destaca no sector norte e que é constituída por grés muito alterado à superfície, subjacente a depósitos de vertente que encimam a crista da arriba.

Recorrendo de forma expedita à classificação geomecânica de Bieniawski, a primeira daquelas duas zonas geotécnicas principais – ZG2 – identifica-se com valores de RMR básicos compreendidos no intervalo 60-41, ou seja com um maciço da classe III (maciço rochoso de qualidade razoável), localmente com valores entre 40-21- classe IV (maciço rochoso fraco). Não sendo aparente a segunda daquelas zonas – ZG1 – admitem-se condições geotécnicas melhoradas relativamente à primeira.

A análise da geometria do sistema de compartimentação do maciço permitiu concluir que os tipos de rotura por deslizamento circular ou planar estarão genericamente ausentes nestas arribas, sendo predominante o deslizamento em cunha e, acessoriamente, o basculamento.

Os parâmetros de resistência ao corte do maciço correspondente à zona ZG2 interessada pelos estudos de estabilidade, puderam ser estabelecidos a partir da ponderação dos resultados da proposta de Bieniawski e das equações propostas por Hoek-Brown (1988) para níveis de tensão no maciço equivalentes a profundidades compreendidas entre 5 e 20m de profundidade.

2. CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO DE INSTABILIZAÇÃO DAS ARRIBAS

2.1. Fenomenologia

A queda de blocos, que tem como típica sede do movimento falésias costeiras, pode ser caracterizada, de forma sintética, da seguinte forma: (i) movimento súbito com destacamento de um ou mais elementos a partir de um plano muito inclinado, ou colocado em consola; (ii) movimentação inicial predominante em queda livre, com ou sem contacto temporário com o talude; dependendo da extensão do percurso e da forma do(s) elemento(s) destacado(s): continuação do movimento por ressalto, rolamento ou deslizamento, até à imobilização na base do talude ou numa superfície de menor inclinação.

Como percursos do movimento existem quase sempre micro-deslocamentos que resultam da intervenção de factores de instabilização actuantes a pequena profundidade, como sejam: (i) pressões intersticiais por acção da água, (ii) dilatações resultantes de variações de temperatura associadas a grandes amplitudes térmicas, (iii) ciclos de gelo-degelo, (iv) expansão por alteração dos minerais, (v) desagregação nas descontinuidades, etc.

O carácter fracturado do maciço rochoso pode potenciar condições favoráveis à ocorrência de queda de blocos, seja de um elemento isolado ou de um conjunto de elementos, resultante da conjugação das orientações das famílias de fracturas que compõem o sistema de

compartimentação do maciço. Apesar das considerações feitas quanto aos tipos predominantes das instabilidades verificadas, neste estudo foram analisadas as possibilidades de ocorrerem os seguintes tipos de rotura: deslizamento circular, deslizamento planar, deslizamento em cunha e basculamento.

2.2. Análise das condições de estabilidade

2.2.1. Fracturação

A escarpa foi objecto de um reconhecimento geológico de superfície tendo em vista, numa primeira fase, a detecção de acidentes geológicos que pudessem influenciar de forma significativa a estabilidade do maciço rochoso e por outro lado, definir o enquadramento geoestrutural e tectónico do sector em análise. Em seguida foi efectuado o levantamento sistemático da fracturação tendo em vista o seu tratamento estatístico. O diagrama de isodensidades obtido através da projecção estereográfica segundo a rede de Schmidt (hemisfério superior) está representado na Figura 2.

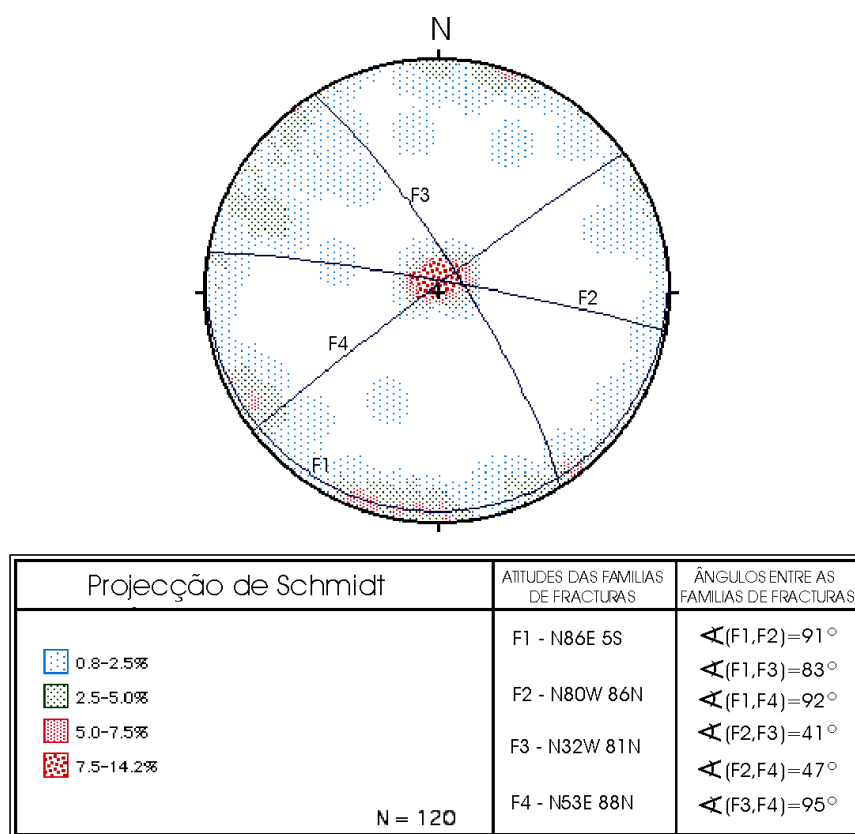


Figura 2 - Fracturação. Projecção de Schmidt

2.2.2. Condições de estabilidade geoestrutural

A análise das condições de estabilidade efectuada em termos de estados de equilíbrio limite do maciço, teve, assim, por base os modelos de rotura propiciados pelos sistemas de fracturação e as características geotécnicas do maciço, com particular destaque para as resistências ao corte das discontinuidades. Paralelamente, foi feita uma verificação segundo a proposta de Romana

(1988), de acordo com os valores de SMR (Slope Mass Rating) correspondentes à família de descontinuidades mais desfavorável.

No primeiro destes casos, uma vez definidos os modelos de rotura, a verificação foi conduzida mediante a determinação dos factores de segurança, para as situações estáticas e sísmicas, recorrendo, neste caso ao programa de cálculo automático SWEDGE. A análise sísmica foi feita por métodos pseudo-estáticos, em que aceleração sísmica máxima esperada foi considerada constante ao longo da altura do perfil e igual a 16% g. A presença da água no interior do maciço foi considerada admitindo a presença de pressões neutras nas descontinuidades equivalentes à saturação do maciço com uma dissipação de 30% da carga hidrostática junto ao talude. Os factores de segurança mínimos admissíveis correspondem a 1,5 para a situação estática e a 1,0 para a situação sísmica. A análise geométrica da compartimentação do maciço permitiu verificar que os tipos de rotura por deslizamento circular ou planar estão genericamente ausentes, sendo predominantes o deslizamento em cunha e acessoriamente o basculamento.

Concluiu-se, assim, da análise efectuada que, globalmente, a ocorrência de situações de instabilidade potencial em massa da arriba está afastada, apenas deslizamentos e basculamentos superficiais poderão acontecer, com maior incidência nos trechos com maior altura de falésia.

De acordo com a classificação SMR (Slope Mass Rating) de Romana (1988), as condições de estabilidade da falésia, identificada com condições geomecânicas da zona geotécnica ZG2, e determinadas pela família de fracturas mais penalizante para a estabilidade global (F3), inserem-se nas categorias IIIb – Estável a IVa – Instável (SMR= 30 –50). Para estas classes, a proposta de Romana recomenda, no sentido mais abrangente de um conjunto de medidas de intervenção, a utilização de betão, betão projectado, pregagens e eventualmente, ancoragens.

As quedas de blocos em consola constituem, igualmente, um dos mecanismos presentes na arriba, por força da erosão das camadas margosas subjacentes, menos resistentes.

2.3. Caracterização do risco de instabilidade

Houve que proceder a um zonamento do grau de risco de instabilidade da arriba, conforme representado na Figura 3, em função dos seguintes factores: (i) geologia (litologia, estrutura, hidrogeologia); (ii)potenciais tipos de rotura do maciço e factores de segurança; (iii) potenciais agentes instabilizadores predisponentes, nomeadamente a geometria do talude (forma do relevo, altura e inclinação) e as condições de drenagem do relevo; (iv) proximidade das habitações e das vias; (v) impactes ambientais.

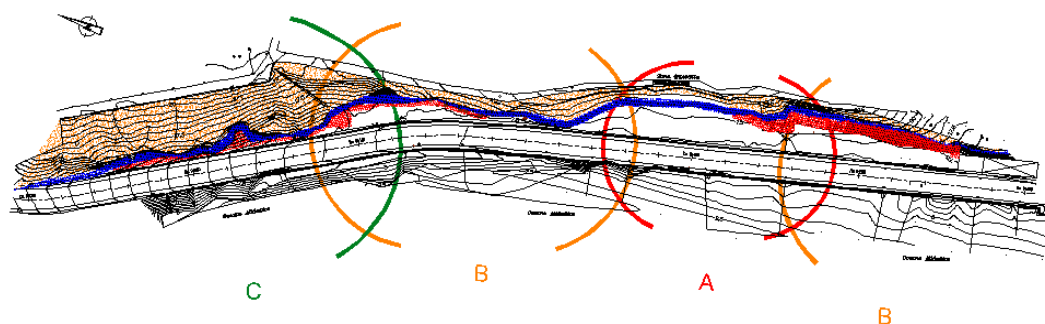


Figura 3 - Sectores de risco de instabilidade

Desta forma, o trecho da arriba foi diferenciado em três níveis de risco – A, B e C – correspondentes a: A- Elevado, B- Moderado a Significativo e C- Baixo.

3. SOLUÇÕES DE ESTABILIZAÇÃO E DE PROTECÇÃO DA ARRIBA

As acções a curto prazo projectadas para a estabilização resumem-se, no essencial, a: (i) saneamento dos blocos instáveis; (ii) saneamento e limpeza da escarpa e dos depósitos de vertente, incluindo a remoção de raízes; (iii) reperfilamento dos depósitos de cobertura que encimam as plataformas de crista, mediante o adoçamento de taludes e a protecção das superfícies com coberto vegetal adequado contra os fenómenos de ravinamento; (iv) suporte de blocos nos locais onde o seu saneamento não se revele viável, através de pregagens passivas; (v) construção de máscaras de revestimento em alvenaria de pedra ao longo das superfícies expostas facilmente erodíveis e/ou que pela sua posição e degradação possam pôr em causa a estabilidade das habitações que sustentam; (vi) reforço das condições de estabilidade superficial das zonas fracturadas através de pregagens curtas, associadas à estabilização das máscaras de revestimento; (vii) drenagem interior do maciço através da colocação de geodrenos no interior do maciço, dispostos numa malha adequada à rede de fracturação e à litologia das formações do maciço; (viii) drenagem superficial da crista e da base da arriba, ao longo do caminho pedonal e da plataforma que a envolvem, respectivamente; (ix) colocação de redes metálicas de protecção nos trechos superiores da arriba com menor risco de instabilização, mas que pelo seu grau de fracturação podem provocar a queda de blocos de pequena dimensão; (x) colocação de instrumentação (marcas superficiais, inclinómetros, testemunhos de gesso em fissuras, etc...) nos blocos mais instáveis não saneáveis, para medição de deslocamentos; (xi) definição de um plano de monitorização dos movimentos.

Já a longo prazo previu-se: (i) conjugação das acções do tipo preventivo acima referidas com as do tipo curativo que se vierem a revelar necessárias de acordo com a evolução dos fenómenos; (ii) manutenção da instrumentação com base num plano de monitorização (observação periódica) da escarpa.

4. INTEGRAÇÃO PAISAGÍSTICA

Os trabalhos de integração paisagística na arriba do Algodio visaram não só a minimização do impacto visual criado pela intervenção de consolidação da falésia, mas também, a requalificação do local pela valorização paisagística. Esta valorização passou pela utilização selectiva de espécies florísticas adaptadas às condições edafo-climáticas da zona, com o mínimo de exigências de manutenção. A solução projectada assentou, assim, no estabelecimento de duas tipologias de intervenção simples, designadamente, manchas de associação herbáceo-arbustiva de modo a revestir o solo e a protegê-lo da erosão eólica e hídrica, no topo e na base da falésia e na plantação de espécies arbóreas na base.

O coberto vegetal torna-se fundamental na protecção contra a erosão eólica e hídrica da arriba, privilegiando-se, neste caso, espécies autóctones que ajudem a consolidação do maciço e que estejam em risco ameaçadas por espécies invasoras. A vegetação projectada para o topo da arriba e para a sua base é diferenciada, dada a variação das suas características microclimáticas.

5. PLANO DE MONITORIZAÇÃO

5.1. Instrumentação

A monitorização visa acompanhar o comportamento global da arriba e prevenir situações de risco que possam desencadear-se, durante e após os trabalhos de estabilização. O facto de a arriba passar a estar revestida nas suas zonas mais críticas por uma máscara rígida, minimiza o interesse na instalação de marcas topográficas, de fácil colocação, em benefício da observação directa do próprio revestimento.

A monitorização proposta incidiu, sobretudo, no acompanhamento dos deslocamentos internos e nos níveis piezométricos. Paralelamente, foram observados os eventuais deslocamentos induzidos nas construções situados junto da falésia e declarados anteriormente.

Neste sentido, preconizou-se: (i) a instalação de três inclinómetros onde a encosta mais se aproxima das habitações; (ii) a instalação de cinco piezómetros hidráulicos, distribuídos regularmente ao longo da parte superior da arriba, com afastamentos médios da ordem de 40m; (iii) a instalação de testemunhos ou de fissurómetros nas fendas existentes nos muros das habitações situadas no topo da arriba, com maior intensidade no sector central.

As construções próximas da arriba que apresentem sinais de fendilhação atribuída a deformações induzidas nas fundações pela descompressão ou por instabilidades da falésia, serão monitorizadas através de testemunhos em gesso, ou de fissurómetros com marcas gravadas de forma indelével numa escala milimétrica.

5.2. Frequência de leituras

A periodicidade das leituras deverá ser adaptada às diferentes fases de vida da obra e à evolução das medições. Assim, durante a fase de construção, ter-se-ão: (i) leituras diárias dos deslocamentos internos (inclinometrias) nas zonas que possam ser consideradas como influenciadas, directa ou indirectamente, pelos trabalhos em curso, e/ou enquanto os deslocamentos não forem considerados estabilizados, passando a semanais a partir do momento em que deixem de estar nessas condições; (ii) leituras diárias dos níveis piezométricos, passando a semanais uma vez verificada a estabilização dos níveis de água.

Após a construção e caso a estabilização esteja confirmada, a leitura passará a ser trimestral nos primeiros dois anos, passando depois a uma periodicidade semestral.

As frequências indicadas aplicam-se em condições normais. A ocorrência de situações de carácter extraordinário (chuvas intensas, sismos, infiltrações incontroladas,...) deverá conduzir, desde que justificado, a alterações aos ritmos das leituras, aumentando aquelas frequências. No sentido contrário, a estabilização confirmada poderá determinar a diminuição daquelas mesmas frequências.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao INAG, em especial à Eng^a Manuela Couto, pela estreita colaboração para a publicação do presente artigo.

REFERÊNCIAS

- Bieniawski, Z. T. (1989). *“Engineering Rock Mass Classification”*, Wiley, New York, 251 p.
- Almeida, F.M. (1955). *“Carta Geológica de Portugal na escala 1/50.000, folha 30-C (Torres Vedras), notícia explicativa.”*, Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.
- Hoek-Brown (2002). *“Hoek-Brown failure criterion”*. *Proc. North American Rock Mechanics Society meeting*, 2002 edition, Toronto, Canadá.
- Regulamento de Segurança e Acções para Estruturas de Edifícios e Pontes (1983). Imprensa Nacional da Casa da Moeda, Lisboa.
- Romana (1988). *Classificação SMR (Slope Mass Rating)*.
- Schmidt, (1828). *Projectção estereográfica segundo a rede de Schmidt*.