

CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS EM TALUDES XISTENTOS*

Geotechnical characteristics in schist slopes

PEDRO G. C. SANTARÉM ANDRADE**

A. L. ALMEIDA SARAIVA***

RESUMO - Neste trabalho efectuou-se o estudo do comportamento geotécnico do material que constitui os taludes de alguns trechos de vias rodoviárias como a IP3, o IC7 e a EN234. A anisotropia do material rochoso é influenciada pela xistosidade, estratificação e pela clivagem de plano axial.

As unidades litológicas ocorrentes consistem numa alternância de filádios, metagrauvaques (Complexo Xisto-Grauváquico – Grupo das Beiras), xistos, xistos carbonosos e quartzitos (Ordovícico - Silúrico).

Existem diferentes tipos de instabilidade nos taludes estudados: rotura planar, em cunha, circular e por “toppling”. De modo a analisar estes problemas de estabilidade estudaram-se as características dos planos de descontinuidade, da foliação, da litologia e da intensidade de alteração.

Para a caracterização geotécnica do material rochoso dos taludes executaram-se vários ensaios laboratoriais como a determinação da massa volúmica aparente, da porosidade aberta, da absorção da água, do ensaio de desgaste em meio húmido e da resistência à compressão pontual. Efectuaram-se para os xistos extremamente alterados (W5) e para o material de preenchimento de falhas ensaios de caracterização de solos, como os limites de Atterberg, a expansibilidade em solos, o azul de metileno, bem como a difracção de raios X.

SYNOPSIS - This work concerns the geotechnical behaviour of the rock material that makes the slopes along the roadcuts of the highways (IP3, IC7, EN234). The anisotropy of the »»»»»» The lithology is made by alternation of phyllites, metagraywaques (Complexo Xisto-Grauváquico), schists, carbonaceous schists and quartzites (Ordovician- Silurian). There are different types of failure in the slopes studied: wedge, circular, planar and toppling failure. In order to analyse these stability problems the authors carried out a study of the discontinuity planes, lithology and the intensity of the weathering. Various laboratory tests, namely the apparent bulk density, porosity, water absorption, slake durability and the point load strength, were conducted in order to make the geotechnical characterization of the slopes material. As for the most weathered schistose rocks (w5) and the faults filling material, the authors carried out tests intended to study the soils, such as the soil swelling test, blue methylene test, Atterberg limits and the X-ray diffraction.

1 - INTRODUÇÃO

O estudo aqui apresentado está relacionado com a investigação desenvolvida na caracterização geotécnica do material que constitui quatro taludes onde aparecem problemas de estabilidade. Três dos taludes situam-se no Complexo Xisto-Grauváquico (Grupo das Beiras) que é uma unidade estratigráfica que cobre uma área muito extensa de Portugal Continental,

* Comunicação apresentada ao 8º Congresso da IAEG, Vancouver, 1998.

** Assistente, Departamento de Ciências da Terra e Centro de Geociências da Universidade de Coimbra.

*** Professor Auxiliar, Departamento de Ciências da Terra e Centro de Geociências da Universidade de Coimbra.

nomeadamente a norte do rio Tejo, enquanto que o quarto se enquadra na zona do Sinclinal Paleozóico do Buçaco.

2 - ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO

O talude 1 que se situa no Km 55 do Itinerário Principal nº 3 (IP3), tem uma extensão de 150 metros, uma altura média de 21 metros, encontra-se a uma distância de aproximadamente 20 metros do eixo da rodovia e apresenta uma direcção de N80°W e um pendor de 75°S.

Localiza-se próximo da zona central do sinclinal do Buçaco e pertence a terrenos do Silúrico (Pereira, 1988). Litologicamente este talude apresenta quartzitos, xistos carbonosos de grão fino e material resultante da alteração de xistos. Os quartzitos têm cores esbranquiçadas a arroxeadas, aparecendo em bancadas de grande extensão (centenas de metros), com um grau de erosão e de alteração menor que o existente nos xistos carbonosos, os quais possuem uma tonalidade negra, comportamento plástico e fácil desagregação (W5) (Figura 1). Se os quartzitos correspondem à litologia predominante, na zona intermédia e inferior do talude aparecem xistos carbonosos onde se podem encontrar minerais de pirite que também ocorrem nos quartzitos.

Nas extremidades do talude, e numa extensão de aproximadamente 50 metros, aparece material de cobertura que se caracteriza por ter uma grande quantidade de pequenos blocos de quartzitos e elementos de menor granulometria que incluem material que resulta da alteração (W5) de rochas xistentas. Nestes depósitos de cobertura verificam-se fenómenos de ravinamento.



Figura 1 - Quartzito e xistos carbonosos (talude 1)

O talude 2 localiza-se no Nó da Raiva do IP3 (Km 68), na via de acesso do IC7 ao IP 3. A zona estudada tem uma extensão de 225 metros, uma altura média de cerca de 20 metros, uma inclinação de 3:2 (V:H) e banquetas com 2.5 m de largura. Este talude tem apresentado nos três últimos anos numerosos problemas de estabilidade devidos, principalmente, às características litológicas e estruturais das unidades ocorrentes. O talude 2 situa-se no Complexo Xisto-Grauváquico que é constituído principalmente por filádios e metagrauvaques, que aparecem intercalados. As unidades predominantes no talude são os filádios com tonalidades acinzentadas escuras na parte inferior do talude e amareladas a acinzentadas nas zonas de topo. Os metagrauvaques aparecem em bancadas por vezes espessas, com cerca de 0,2 a 2,5 metros. Os filádios podem apresentar-se desde ligeiramente alterados (W2-3) a medianamente alterados (W3-4), podendo ainda encontrar-se desagregados ou extremamente alterados (W5).

No sector Este do talude aparece um filão de rocha básica com uma espessura de cerca de 2 a 3 metros e extensão aproximada de 40 metros, com tonalidades esverdeadas a amareladas, de grão médio a fino.

O talude 3 situa-se no Km 50 da EN 234, tem uma extensão total de 215 metros e uma direcção de N75°W e pendor de 75° S, apresenta uma altura de 2,5 metros nas suas extremidades e cerca de 14 metros na zona central. A sua litologia é constituída por filádios com algumas intercalações de bancadas de metagrauvaques que se enquadram no Complexo Xisto-Grauváquico.

Na crista do talude, os xistos que se encontram extremamente alterados (W5), com uma espessura de cerca de 1,5 metros a 0,4 metros, apresentam tonalidades amareladas a acastanhadas. Na base e na parte intermédia do talude, o material xistento aparece menos alterado (W3) e mais compacto, sendo possível observar, nalgumas zonas, estratificação entrecruzada. Um aspecto característico do talude 3 é a presença de planos de descontinuidade que se interseptam de modo a formarem planos de rotura em cunha. Na extremidade norte, são mais frequentes as bancadas de metagrauvaques com uma espessura de cerca de 0,2 a 0,5 metros (L3) e filádios com um grau de alteração mais elevado (W3-4).

O talude 4 situa-se ao Km 58,5 da EN 234, apresenta uma extensão de 90 metros, um pendor médio de 75°SW, uma altura aproximada de 5,0 metros na sua extremidade oeste e cerca de 12,0 metros na parte central e na extremidade este. O talude localiza-se no Complexo Xisto-Grauváquico e a sua litologia é constituída por filádios e bancadas de metagrauvaques (espessura de 0,20 a 0,70 metros), aparecendo por vezes filões de quartzo de espessura variável (0,1 a 0,5 metros). Os filádios têm um grau de alteração média (W3), encontrando-se mais alterados (W4) e fracturados na sua parte central e na extremidade este do talude. A espessura do material extremamente alterado (W5), pode atingir valores da ordem de 1,75 metros na crista do talude.

3 - TIPOS DE INSTABILIDADE

Nos taludes estudados efectuou-se o levantamento cartográfico dos diferentes aspectos estruturais, observando-se em pormenor os planos de descontinuidade existentes, nomeadamente os que podem contribuir para a instabilidade desses mesmos taludes. Efectuou-se igualmente a caracterização das descontinuidades presentes, em relação à orientação, espaçamento, grau de alteração, rugosidade, continuidade, preenchimento e percolação de acordo com a classificação aconselhada pelo ISRM (1978) e por Hack e Price (1996).

Os principais tipos de instabilidade que ocorrem nos diferentes taludes estudados são os deslizamentos em cunha, os deslizamentos planares e o “toppling”. Nos maciços rochosos extremamente alterados ou muito fracturados, o material pode comportar-se como um solo e verificarem-se roturas do tipo circular.

No talude 1, os problemas de instabilidade estão relacionados com as roturas em cunha que são geradas pela intersecção de fracturas da família A (N 85° E; 75° N) com as da família B (N 26° E; 80° SE). Neste talude podem igualmente ocorrer deslizamento de blocos de diferentes dimensões (10 x 20 x 10 cm até 200 x 200 X 150 cm), como resultado da intersecção entre as fracturas das famílias A, C (N 85° W; 31° S) e D (N 9° E; subvertical), nas zonas em que os valores do espaçamento se revelam mais baixos.

No talude 2, os principais fenómenos de instabilidade são as roturas em cunha, por "toppling" e as circulares. Na extremidade norte do talude, ocorre uma rotura em cunha de grandes dimensões, que atinge as duas banquetas do talude e que é caracterizada, pela intersecção de planos de fracturação pertencentes à família A (N70°W; 55°N) com um plano de falha de orientação N35°W; 67°SW. As roturas por "toppling" ou tombamento situam-se na parte central do talude e são originadas pela orientação de planos de falha paralelos à família C (N60°W; 75° N). Este tipo de ocorrência foi facilitado pela presença de material muito fracturado e alterado no pé do talude, bem como pelo facto das fracturas da família C nesta zona apresentarem uma persistência ou continuidade superior à dezena de metros. Durante o decorrer do trabalho de campo, ocorreram roturas do tipo circular nos materiais xistentos mais alterados. Este último tipo de instabilidade encontra-se no topo do talude e expressa-se através do aparecimento de fracturas de tracção que podem atingir uma extensão horizontal de dezenas de metros.

O talude 3 caracteriza-se pela existência de uma série de roturas em cunha, relacionadas com os planos da família A (N 85° E; subvertical) e da família B (N 60° W; 70° NE), que são mais frequentes na parte este do talude. Os planos das fracturas apresentam, para além da orientação, um conjunto de características que favorecem o aparecimento de deslizamentos, pois as superfícies das fracturas são pouco rugosas e apresentam vestígios de percolação. A presença de dobramentos com eixo próximo da vertical provoca o aparecimento de diferentes orientações dos planos de descontinuidade na extremidade oeste do talude onde ocorrem roturas de "toppling" provocadas pela orientação dos planos de estratificação que tem como valores predominantes: N88°E; 80°S.

No talude 4 os principais problemas de estabilidade estão relacionados com a queda de blocos, rotura do tipo circular e "toppling". A queda de blocos aparece como resultado da intersecção das fracturas das famílias A (N75°W; 80-85°S), B (N25°E; 35°W) e C (N25°E; 75°W). É de referir a existência de rotura circular na crista do talude que se encontra extremamente alterada. Deve assinalar-se a presença de rotura por "toppling", que é originada pela orientação de planos de descontinuidade paralelos à xistosidade (família A).

4 - ENSAIOS GEOTÉCNICOS

Os ensaios laboratoriais realizados permitiram efectuar uma caracterização geotécnica não exhaustiva das diferentes litologias reconhecidas pelo levantamento efectuado no terreno.

Procedeu-se à execução de ensaios laboratoriais para o material rochoso, como a determinação da massa volúmica aparente e porosidade aberta segundo as normas RILEM (1980), a absorção de água de acordo com as normas do ASTM (1992), a resistência ao desgaste em meio húmido e a resistência à compressão pontual em que se adoptaram as recomendações da ISRM (1979 e 1985). No ensaio da resistência à compressão pontual utilizaram-se amostras irregulares, tendo-se nos materiais xistentos efectuado os ensaios com orientação perpendicular e paralela aos planos de xistosidade.

Para o material extremamente alterado e de preenchimento dos planos de descontinuidade, efectuou-se a determinação dos limites de Atterberg de acordo com as normas NP (1969) e da expansibilidade segundo as normas do LNEC (1967), a adsorção do azul de metileno segundo

as proposições elaboradas por Tran Ngoc Lan (1980 e 1989), bem como a identificação dos minerais argilosos através da difracção dos raios X.

Os ensaios realizados com os quartzitos revelaram valores elevados de resistência à compressão pontual (Is(50)) (Tabela 1), que foi determinada perpendicularmente ao So. Um comportamento de maior durabilidade é confirmado pelos valores do índice do "Slake Durability" (Id) ao fim do terceiro ciclo, quando comparados com os obtidos pelos materiais rochosos dos restantes taludes (Tabelas 3, 5 e 7), sendo ainda de assinalar que os resultados da porosidade aberta são inferiores aos encontrados nos outros materiais geológicos. É de referir que os resultados obtidos para os quartzitos, revelaram uma dispersão pequena, não sendo necessário proceder a distinções de acordo com estado de alteração.

Tabela 1 - Resultados dos ensaios do material rochoso do talude 1

Material Geológico	Massa volúmica aparente (Kg/m ³)	Porosidade aberta (%)	Absorção de água (%)	"Slake durability" Id (3º ciclo) (%)	Resistência à compressão pontual (MPa)
Quartzitos	2553,23	3,48	1,23	99,17	7,73

No talude 1 efectuaram-se ensaios com o material que resulta da desagregação das rochas xistentas e com os xistos carbonosos (W5). Os resultados são expressos na tabela 2.

Tabela 2 - Resultados dos ensaios do material (W5) do talude 1

Material Geológico	Limite de liquidez (%)	Limite de plasticidade (%)	Azul de metileno (g/100g)	Expansibilidade (%)	Minerais argilosos mais comuns
Xistos extremamente alterados (W5)	53-48	41 - 38	2,7 - 2,0	12,0 - 9,0	Ilite Caulinite Clorite
Xistos carbonosos extremamente alterados (W5)	49-47	40-36	1,8-1,4	10,0 - 7,0	Ilite Caulinite

Verificou-se que os xistos extremamente alterados apresentam valores de limites de liquidez e de plasticidade ligeiramente superiores aos dos xistos carbonosos alterados. No entanto, o índice de plasticidade é praticamente igual (IP = 12 a 9) para os dois tipos de material, o que os permite enquadrar na classificação de Jenkins como sendo medianamente plásticos.

Os resultados dos ensaios de adsorção ao azul de Metileno caracterizam-se por valores relativamente mais elevados para os xistos (W5), o que também acontece para os resultados de expansibilidade, que são mais altos (12 a 10%) em relação aos encontrados para o material carbonoso alterado (10 a 8%), a diferença de comportamento pode estar relacionada com uma maior quantidade de clorite nos xistos extremamente alterados.

No talude 2 distinguiram-se várias unidades litológicas, como os filádios, os metagrauques e os filões de material ígneo básico. No decorrer das observações efectuadas, procedeu-se à caracterização do material rochoso que constitui os filádios, de acordo com o seu grau de alteração. Nas zonas próximas da superfície (4 a 12 metros de profundidade) e nas áreas onde se encontram as falhas principais que atravessam o talude, o material xistento encontra-se mais alterado (W3-4), tendo-se executado ensaios laboratoriais com este tipo de

material de modo a analisar as diferenças de comportamento geomecânico em relação aos filádios menos alterados.

Os valores encontrados após a execução dos ensaios (Tabela 3), permitem constatar que os metagrauques são os materiais rochosos do talude 2 que apresentam os valores mais elevados de massa volúmica aparente, de resistência ao desgaste em meio húmido e de resistência à compressão pontual. Estes resultados para os metagrauques podem estar relacionados com uma composição mineralógica mais homogénea e uma estrutura mais compacta, o que também pode explicar os seus valores mais baixos de absorção e de porosidade aparente. O material do filão de rocha básica aparece com resultados de resistência e de massa volúmica aparente inferiores aos encontrados nas restantes formações, o que pode estar relacionado com o seu grau de alteração (W4) e uma porosidade muito elevada.

Os filádios registam, de acordo com o seu estado de alteração, diferentes valores de absorção e de porosidade aberta, aparecendo os valores menos elevados associados aos filádios pouco alterados. Os resultados dos ensaios de resistência e durabilidade (Figura 2) são mais reduzidos nos filádios com um grau de alteração mais elevada. A possível explicação para estes resultados está relacionada com o facto do material com maior alteração se encontrar mais fissurado e apresentar uma maior percentagem de minerais argilosos.

Tabela 3 - Resultados dos ensaios do material rochoso do talude 2

Material Geológico	Massa volúmica aparente (Kg/m ³)	Porosidade aberta (%)	Absorção de água (%)	“Slake durability” Id (3ºciclo) (%)	Resistência à compressão pontual (MPa)
Filádios pouco alterados (W2-3)	2437,25	8,93	3,21	96,89	3,40* 2,31**
Filádios alterados (W3-4)	2378,77	12,10	4,32	94,76	1,90* 1,39**
Metagrau-vaques	2603,28	3,57	1,01	98,73	5,48
Filão de rocha Básica	2165,88	21,14	7,97	92,10	1,46

*- Determinação do Is(50) com orientação perpendicular à xistosidade.

** - Determinação do Is(50) com orientação paralela à xistosidade.

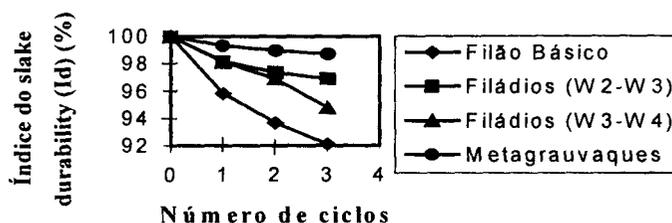


Figura 2 – Resultados do ensaio do desgaste em meio húmido (Slake Durability Test) do material rochoso do talude 2.

Realizaram-se igualmente determinações relativas às características geotécnicas dos filádios extremamente alterados (W5), bem como do material de preenchimento silto-argiloso que se encontra em alguns planos de falha.

Os resultados encontrados para os limites de liquidez e de plasticidade são baixos e permitem definir um índice de plasticidade compreendido entre 4 a 5, o que indica tratar-se material de plasticidade reduzida.

Os valores dos ensaios de adsorção do azul de metileno não são muito elevados (1.3 a 1.8 g/100g) para os materiais de alteração dos filádios, bem como para os materiais de preenchimento das fracturas (2.5 a 1.6 g/100g), estes últimos têm valores de expansibilidade maiores (7-5%), dos que se encontraram para os filádios extremamente alterados (3-4%) (Tabela 4). A análise de difracção de Raios X revelou uma maior presença de minerais cloríticos no material de preenchimento das falhas.

Para o material rochoso do talude 3 utilizou-se a metodologia adoptada nos exemplos anteriores. Os metagrauvaques possuem um comportamento geomecânico mais resistente que os demais materiais que constituem o talude; no entanto, quando se comparam os valores dos ensaios dos metagrauvaques que aparecem neste talude com os do talude 2, constata-se que estes últimos têm valores mais elevados de resistência e durabilidade, o que pode ser explicado pela existência de um maior grau de alteração e de fracturação nos metagrauvaques do talude 3, enquanto que os do talude 2 se apresentam menos fracturados, mais compactos e por vezes com preenchimento de quartzo nas fissuras.

Tabela 4 - Resultados dos ensaios do material tipo solo do talude 2

Material Geológico	Limite de liquidez (%)	Limite de plasticidade (%)	Azul de metileno (g/100g)	Expansibilidade (%)	Minerais argilosos mais comuns
Filádios extremamente alterados (W5)	28 - 24	23-19	1,8-1,3	4,0-3,0	Ilite Caulinite
Material de preenchimento dos planos de fractura	26 - 22	21-18	2,5-1,6	7,0-5,0	Ilite Caulinite Clorite

Os filádios do talude 3 têm valores de absorção e de porosidade aberta elevados (tabela 5). A variação das características geotécnicas entre os filádios dos taludes 2 e 3 está relacionada com a composição mineralógica e a porosidade dos filádios do talude 3, que apresentam uma composição mais argilítica, o que poderá originar um aumento dos valores de absorção de água em relação aos filádios do talude 2. A presença de uma absorção elevada pode induzir o aumento das tensões no interior dos maciços rochosos e originar ou aumentar a existência de fenómenos de instabilidade nos taludes (Argandoña et al., 1994).

Tabela 5 - Resultados dos ensaios do material rochoso do talude 3

Material Geológico	Massa volúmica aparente (Kg/m ³)	Porosidade Aberta (%)	Absorção de água (%)	“Slake durability” Id (3º ciclo) (%)	Resistência à compressão pontual (MPa)
Filádios com alteração média (W3)	2216,26	13,50	8,30	92,74	1,45* 1,13**
Metagrauvaques	2544,22	3,59	2,73	95,00	4,20

* - Determinação do Is(50) com orientação perpendicular à xistosidade.

** - Determinação do Is(50) com orientação paralela à xistosidade.

No talude 3 foi possível distinguir a presença de filádios muito alterados (W5), para os quais se encontraram os resultados que aparecem na tabela 6.

Tabela 6 - Resultados dos ensaios do material tipo solo do talude 3

Material geológico	Limite de liquidez (%)	Limite de plasticidade (%)	Azul de metileno (g/100g)	Expansibilidade de (%)	Minerais argilosos mais comuns
Filádios(W5)	39-37	31-29	3,3-3,0	15,0-13,0	Illite Caulinite Clorite expansiva

Os filádios extremamente alterados (W5) caracterizam-se por apresentarem plasticidade média (IP = 8) e valores de adsorção do azul de metileno e de expansibilidade superiores aos encontrados nos outros taludes estudados, o que pode estar relacionado com a presença de minerais argilosos mais expansivos.

Para o talude 4 procedeu-se à realização de ensaios com os filádios de alteração média (W3) e com as rochas grauvaquóides, cujos resultados aparecem na tabela 7.

Os resultados dos ensaios efectuados com o material rochoso permitiram verificar que as diferenças entre os filádios e metagrauvas do talude 4 são semelhantes às encontradas para o material rochoso que ocorre no talude 3 (tabela 8).

Tabela 7 - Resultados dos ensaios do material rochoso do talude 4

Material Geológico	Massa volúmica aparente (Kg/m ³)	Porosidade aberta (%)	Absorção de água (%)	“Slake durability” Id (3º ciclo) (%)	Resistência à compressão pontual (MPa)
Filádios (W3)	2303,04	14,78	7,50	91,80	1,44* 1,03**
Metagrauva-ques	2520,05	6,67	2,80	97,31	3,30

* - Determinação do Is(50) com orientação perpendicular à xistosidade.

** - Determinação do Is(50) com orientação paralela à xistosidade.

Tabela 8 - Resultados dos ensaios efectuados com o material tipo solo do talude 4

Material Geológico	Limite de liquidez (%)	Limite de plasticidade (%)	Azul de metileno (g/100g)	Expansibilidade (%)	Minerais argilosos mais comuns
Filádios extremamente alterados (W5)	45 - 40	34 - 29	1,8-1,6	7,0-4,0	Illite Caulinite

Os valores encontrados para os limites de liquidez e de plasticidade, permitiram indicar a existência de uma plasticidade média, com um índice de plasticidade (IP = 12) ligeiramente superior ao definido pelos outros materiais de alteração estudados. Os resultados de adsorção de azul de metileno e de expansibilidade revelaram-se reduzidos.

5 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo efectuado permitiu verificar a existência de material litológico diverso e com diferentes graus de alteração, o que em conjunto com os principais aspectos dos planos de

descontinuidades possibilitou a caracterização geotécnica do material e a definição dos tipos de instabilidade que ocorrem nos taludes.

Os materiais rochosos existentes dos taludes 2, 3 e 4 possuem propriedades geotécnicas específicas, designadamente valores mais baixos de massa volúmica aparente, de resistência e de durabilidade do que os metagrauques e quartzitos, o que pode ser explicado pela presença de planos de xistosidade nos filádios, que vão funcionar como superfícies planares de menor resistência. A constituição mineralógica dos filádios com uma percentagem elevada de minerais micáceos, bem como o aparecimento de minerais argilosos resultantes da alteração vai proporcionar igualmente, a existência de valores de resistência e durabilidade mais reduzidos, quando comparados com os dos metagrauques ou quartzitos.

No talude 1, o estudo efectuado revelou que os quartzitos apresentam uma resistência elevada e porosidades baixas. Nesta formação rochosa ocorrem roturas em cunha e deslizamentos de blocos, os quais estão condicionados pelas orientações e espaçamentos dos planos de descontinuidade. Os xistos carbonosos e os xistos extremamente alterados revelaram características semelhantes de média plasticidade e pequena expansibilidade, quando sujeitos à presença da água, existindo uma maior quantidade de minerais cloríticos expansivos nos xistos extremamente alterados (W5). Os principais problemas que estes materiais extremamente alterados podem causar na instabilidade do talude estão relacionados com a presença dos xistos carbonosos em alguns planos de falha, o que facilita as movimentações nestes planos. Os fenómenos de ravinamento podem igualmente ocorrer designadamente nos xistos extremamente alterados.

Para o talude 2 verificou-se que os filádios alterados (W3-4) apresentam valores de resistência e de durabilidade mais reduzidos que o material existente pouco a medianamente alterado (W2-3). Não se verificaram grandes diferenças entre os valores dos ensaios relativos aos filádios extremamente alterados (W5) e o material que aparece no interior dos planos de falha. Os diferentes tipos de rotura estão associados aos planos de descontinuidade, mas igualmente ao estado de alteração dos materiais ocorrentes. A presença de material existente alterado (W5) na parte superior do talude, favorece o desenvolvimento de situações conducentes ao aparecimento de rotura circular.

Os materiais que constituem os taludes 3 e 4 são predominantemente filádios medianamente alterados (W3), que têm valores elevados de porosidade aberta e de absorção, o que pode originar variações de volume e provocar o aumento de instabilidade nos taludes. Os metagrauques apresentam nestes dois taludes valores claramente superiores, em termos de resistência e de durabilidade quando comparados com os obtidos para os filádios. Para o material do talude 3, que se encontra extremamente alterado, verificaram-se resultados mais elevados de adsorção do azul de metileno (3.3 a 3.0 g/100g) e de expansibilidade (15.0 a 13.0 %), o que pode explicar-se pelo aparecimento de minerais de clorite expansiva neste material. Os principais tipos de instabilidade para o talude 3 são a rotura por cunha e "toppling", enquanto que para o talude 4 são a queda de blocos e a rotura circular.

6 - BIBLIOGRAFIA

- ARGANDOÑA, V.G. e L. Calleja - *Durabilidad de rocas pizarrosas*. Boletín Geológico y Minero. 105(2), 1994.
- ASTM - *Standard test methods for absorption and bulk specific gravity of natural building stone*. Annual Book of ASTM standards, 1992.
- HACK, H.R. e PRICE D. G. - *A rock mass classification for the design and safety analysis of slopes*. Eurock '93. Rotterdam. Balkema, 1993.

- ISRM - *Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses*. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech., vol.15, pp.319-368, 1978.
- ISRM - *Suggested methods for determining water content, porosity, density, absorption and related properties and swelling and slake durability index properties*. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech., vol.16, pp. 135-140, 1979.
- ISRM - *Suggested method for determining point-load strength*. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech., vol.22, nº2, pp. 51-60, 1985.
- LAN, T.N. - *L'essai au bleu de méthylène*. Bull. Liaison Labo. P. et Ch., nº107, pp.130-135, 1980.
- PEREIRA, E. - *Soco hercínico da zona Centro-Ibérica – Evolução geodinâmica*. Geonovas, nº 10, pp.13-35, 1988.
- LNEC - *Ensaio de expansibilidade. Especificação nº 200*, LNEC, 1967.
- NP - *Determinação dos limites de consistência*. Normas Portuguesas, nº 143, 1969.
- RILEM. - *Recommended tests to measure the deterioration of stone and to assess the effectiveness of treatment methods*. Matériaux et Constructions, 13(75), 1980.