

# COMPORTAMENTO DE MATERIAIS XISTOSOS NA FUNDAÇÃO DE PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS

## SCHIST MATERIALS BEHAVIOUR IN ROAD PAVEMENTS FOUNDATIONS

Luzia, Rosa Conceição; *Engenheira Geóloga, Msc, Assistente, Escola Superior de Tecnologia do Instituto Politécnico de Castelo Branco*

Picado-Santos, Luís; *Engenheiro Civil, PhD, Professor, Departamento de Engenharia Civil da FCT da Universidade de Coimbra*

### RESUMO

Neste estudo analisa-se a aplicabilidade dos materiais do "Complexo Xisto-Grauváquico" em fundação e nas camadas granulares de pavimentos rodoviários. Faz-se a caracterização geotécnica e a caracterização do comportamento mecânico de materiais deste complexo, recolhidos no troço Raiva - Catraia dos Poços do Itinerário Complementar 7 (IC7) da rede rodoviária nacional, bem como a análise dos resultados dessa caracterização com base num conjunto de especificações e recomendações Portuguesas, Francesas e Norte Americanas.

### ABSTRACT

A presentation is made of a study on schist-greywacke materials. Aim is to evaluate its mechanical behaviour and make verification if it is possible to use that kind of materials in a capping layer or in a granular aggregate sub-base for road pavements. The case-study was developed within IC7 construction, which is part of Portuguese Main Road Network. The study includes laboratory and *in situ* characterization, mainly the determination of durability, hardness, plasticity and deformation. Finally, the results are analysed using Portuguese, French and United States of America specifications and recommendations about classification and application of those materials in road pavements.

### 1- INTRODUÇÃO

O "Complexo Xisto-Grauváquico", conjunto litológico de origem metamórfica, usualmente de baixo grau de metamorfismo, aflora em Portugal e Espanha numa faixa de grande desenvolvimento, com orientação aproximada NW - SE, e que a sul coincide, aproximadamente, com a falha Porto - Coimbra- Badajoz - Córdoba. Em Portugal aflora ao longo da Zona Cento Ibérica, desde o Vale do Douro até à Beira Baixa, na zona de Castelo Branco, representando uma importante fatia da litologia portuguesa.

Com o desenvolvimento da Rede Viária Portuguesa ocorrido nos últimos anos, e dado que em algumas situações os novos traçados interceptaram estas formações xisto-grauvacóides, houve, com frequência, necessidade de utilizar os materiais provenientes das escavações. No entanto, esta utilização tem sido feita apenas ao nível da fundação dos pavimentos, o que é devido, em parte, ao fraco conhecimento que se tem das suas características.

O estudo que se apresenta, tem como objectivo avaliar as condições de fundação dos pavimentos construídos com este tipo de materiais e analisar a sua aplicabilidade em Leito do Pavimento, bem como em camadas granulares dum pavimento, à luz de algumas Especificações e Recomendações Portuguesas, Francesas e Norte Americanas.

Para tal, começa por se fazer uma breve caracterização geológica do "Complexo Xisto-Grauváquico", ao que se segue a caracterização geotécnica e a caracterização do comportamento mecânico de um material desta natureza, resultado de um estudo experimental realizado no troço Raiva - Catraia dos

Poços do IC7. Apresenta-se ainda, embora sucintamente, a análise daqueles resultados com base nas especificações e recomendações referidas.

## 2- CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA

### 2.1- Considerações Iniciais

O "Complexo Xisto-Grauváquico", conjunto de materiais aparentemente monótono e possante, de origem metamórfica, com composição predominantemente xistosa<sup>1</sup> e Grauváquica<sup>2</sup>, e que se situa discordantemente sob o Ordovícico, aflora na Península Ibérica em amplas regiões, numa faixa com orientação aproximada NW - SE e que se estende desde o Vale do Douro, em Portugal, até para além da zona de Alcudia, em Espanha.

Para além do "Complexo Xisto-Grauváquico", existem na Península Ibérica outros afloramentos de xisto e grauvaque, aos quais, no entanto, não se faz referência neste trabalho.

### 2.2- O "Complexo Xisto-Grauváquico" em Portugal

O "Complexo Xisto-Grauváquico", representando uma importante fatia da litologia portuguesa, tem sido ao longo do tempo alvo de frequentes estudos, encontrando-se, do ponto de vista geológico, relativamente bem estudado. Na sequência de alguns desses estudos, as sequências litoestratigráficas deste complexo são geralmente divididas em dois grupos, a saber o Grupo do Douro e o Grupo das Beiras.

O Grupo do Douro corresponde às unidades pré-Ordovícicas que afloram no vale do Douro (Alto Douro) e zona norte da Beira Alta, enquanto o Grupo das Beiras corresponde aos afloramentos mais a sul, Beira Litoral e Beira Baixa, até ao limite entre a Zona Cento-Ibérica e a Zona de Ossa Morena.

Esta divisão, proposta por Sousa em 1982, tem por base vários factores, entre eles a possível idade diferenciada para os dois grupos, sendo admitida para o Grupo do Douro uma idade Câmbrica e para o Grupo das Beiras uma idade Pré - Câmbrica Superior, sendo que o limite entre o Câmbrico e o Pré - Câmbrico se situa nos 570 Milhões de Anos.

Na FIGURA 1 apresenta-se a mancha correspondente ao "Complexo Xisto-Grauváquico" em Portugal, segundo a Carta Geológica de Portugal à escala 1/500000 (Medina, 1996), podendo ser identificados os dois grupos referidos.

## 3- CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA E CARACTERIZAÇÃO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO

### 3.1- Materiais Ensaaiados

Os materiais estudados neste trabalho são provenientes do troço Raiva - Catraia dos Poços do IC7, o qual, tendo sido seleccionado de entre algumas obras em construção dentro do "Complexo Xisto-Grauváquico", tem cerca de 12 km e liga o IP3, na Raiva, à EN17 na zona de Poiares.

<sup>1</sup> Xisto- rocha metamórfica com xistosidade. São rochas folheadas, facilmente cliváveis em placas mineralógicamente semelhantes, propriedade que resulta do paralelismo de grande parte dos minerais lamelares ou de hábito prismático alongado (micas, clorites, anfíbolos, etc)

<sup>2</sup> Grauvaque- rocha sedimentar da classe dos detritos psamíticos, rica em clastos quartzíticos, líticos e feldspáticos, com matriz e cimento, proeminentes, de natureza silto-argiloso-filitosa.



Quadro 1- Valores médios dos resultados dos ensaios de caracterização (Luzia, R., 1998)

Ensaio		Material	
		km 5+175 - km 5+400	km 8+560 - km 8+700
P <sub>n200</sub> (%)		3,1	3,1
w <sub>L</sub> (%)		43	38
IP (%)		18	16
γ <sub>dmáx</sub> (kN/m <sup>3</sup> )		19,8	20,0
w <sub>opt</sub> (%)		9,8	10,4
CBR (%)		12	17
Expansibilidade (%)		2	0
EA (%)		< 20	< 20
V <sub>am</sub> (g/100g)	G (0/0,74)	1,0	0,8
	G (0/50)	0,02	0,02
	G (0/76,2)	0,03	0,02
FR (%)	G (10/20)	6	2
	G (40/80)	8*	3
DG (%)	G (10/20)	1	1
	G (40/80)		
LA (%)	Comp. Granul. A	70	43
Id <sub>2</sub> (%)		87	97
Jar - Slake Test		6	6

\* Valor obtido excluindo algumas amostras, dado que o FR se obtinha fora da série de peneiros recomendada na NF P94-066

### 3.3- Caracterização do Comportamento Mecânico

#### 3.3.1- Em Laboratório

Por forma a avaliar o comportamento mecânico do material, em laboratório, foi realizado o Ensaio Triaxial Cíclico sobre cinco provetes, três pertencentes ao material do aterro correspondente ao km 5+175 a km 5+400 (material seguidamente designado por "A") e dois pertencentes ao material do aterro correspondente ao km 8+560 a km 8+700 (material seguidamente designado por "B").

Os ensaios foram realizados de acordo com o procedimento habitual do LNEC (Gomes Correia e al., 1996), para provetes com diâmetro de 300 mm e altura aproximada de 600 mm, FIGURA 2. Este tipo de provete adapta-se a materiais com diâmetro máximo de 63 mm, isto é, passados no peneiro de 2"1/2 ASTM.

Na realização do ensaio começou por se fazer o condicionamento dos provetes para 20000 ciclos de carga - descarga, para  $\sigma_3 = 50$  kPa e  $\sigma_1 - \sigma_3 = 150$  kPa, após o que se ensaiou os mesmos com vista ao estudo do comportamento reversível do material, segundo o programa de ensaios apresentado no Quadro 2, para 150 ciclos de carga - descarga.

Quadro 2- Programa de ensaios usado no estudo do comportamento reversível (Luzia, R., 1998)

$\sigma_3$ (kPa)	$\sigma_1 - \sigma_3$ (kPa)		
	nível 1	nível 2	nível 3
35	35	70	105
50	50	100	150
70	70	140	210

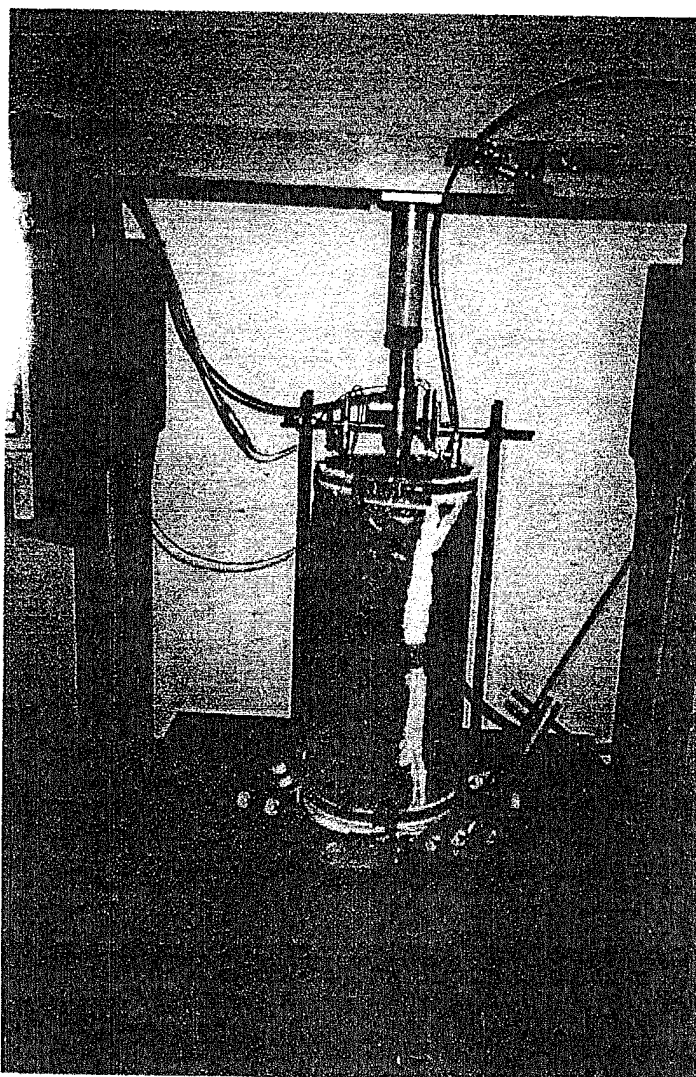


Figura 2- Equipamento usado no Ensaio Triaxial Cíclico e provete antes de ser ensaiado.

As características de compactação e teores em água dos materiais ensaiados encontram-se no Quadro 3.

Quadro 3- Características de compactação e teores em água dos materiais ensaiados (Luzia, R., 1998)

Material	$\gamma_{d\max}$ ( $\text{kN/m}^3$ )	w (%)	CR* (%)
A	19,8	11,4	94
B	20,0	12,4	100

\* relação entre o peso volúmico seco obtido no ensaio e o peso volúmico seco máximo

Os módulos reversíveis apresentados no QUADRO 4 foram obtidos através da expressão a seguir indicada:

$$M = \frac{\Delta\sigma^i}{\Delta\varepsilon_r^i} \quad (1)$$

onde,

$\Delta\sigma^i$ - variação da tensão vertical;

$\Delta\varepsilon_r^i$ - variação da extensão vertical reversível

Aos resultados obtidos, com vista ao estudo da influência do estado de tensão de confinamento no módulo reversível, foram ajustadas as leis de comportamento a seguir indicadas:

$$M_r = k_1' \sigma_3^{k_2'} \quad (2)$$

e

$$M_r = k_1 \theta^{k_2} \quad (3)$$

onde:

$M_r$  (MPa) - módulo reversível;  $\sigma_3$  (kPa) - tensão de confinamento;  $\theta$  (kPa) - primeiro invariante do tensor das tensões ( $\theta = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3$ );  $k_1'$ ,  $k_2'$ ,  $k_1$ ,  $k_2$  - constantes

Quadro 4- Módulos reversíveis obtidos a partir dos Ensaios Triaxiais Cíclicos (Luzia, R., 1998)

Material	$\sigma_3$ (kPa)	$M_r$ (MPa)		
		nível 1	nível 2	nível 3
A	35	101	83	82
	50	101	92	99
	70	115	114	123
B	35	165	141	153
	50	172	170	183
	70	209	210	210

As leis encontradas bem como o respectivo coeficiente de correlação apresentam-se no Quadro 5.

Quadro 5- Leis de comportamento função do nível de tensão (Luzia, R., 1998)

Material	Nível de tensão	$M_r = f(\sigma_3)$ * (MPa, com $\sigma_3$ em kPa)	$r^2$	$M_r = f(\theta)$ * (MPa, com $\theta$ em kPa)	$r^2$
A	1	$M_r = 218 \sigma_3^{0,23}$	0,895	$M_r = 160 \theta^{0,23}$	0,895
	2	$M_r = 423 \sigma_3^{0,48}$	0,967	$M_r = 195 \theta^{0,48}$	0,959
	3	$M_r = 622 \sigma_3^{0,59}$	0,999	$M_r = 2130 \theta^{0,59}$	0,999
B	1	$M_r = 580 \sigma_3^{0,37}$	0,939	$M_r = 348 \theta^{0,37}$	0,935
	2	$M_r = 935 \sigma_3^{0,60}$	0,999	$M_r = 358 \theta^{0,60}$	0,999
	3	$M_r = 799 \sigma_3^{0,45}$	1	$M_r = 358 \theta^{0,46}$	1

\* melhor ajuste

A deformação permanente foi encontrada a partir dos resultados do condicionamento prévio dos provetes para as condições de tensão atrás referidas, pelo que as características de compactação e teor em água são as apresentadas no Quadro 3.

Aproveitando o condicionamento prévio efectuado para o estudo do comportamento reversível do material, tentou ajustar-se aos resultados uma relação que traduzisse a evolução das extensões verticais com o número de ciclos. A expressão utilizada foi a que a seguir se apresenta, sendo as leis obtidas as constantes do Quadro 6.

$$\epsilon_p = a + b \log(N) \quad (4)$$

onde:

$\epsilon_p$  - extensão vertical;  $N$  - número de ciclos;  $a$ ,  $b$  - constantes

Quadro 6- Leis obtidas para a deformação permanente (Luzia, R., 1998)

Material	Lei *	$r^2$
A	$\epsilon_p = 20,08 * 10^{-4} + (6,16 * 10^{-4}) \log N$	0,984
B	$\epsilon_p = 2,59 * 10^{-4} + (2,64 * 10^{-4}) \log N$	0,991

\* melhor ajuste

No que diz respeito à extensão vertical total, ela foi, em média, de 0,0082 para o material A e de 0,0020 para o material B.

### 3.3.2- *In Situ*

A caracterização do comportamento mecânico do material *in situ*, foi feita a partir da realização, nos dois aterros referidos, do Ensaio de Carga com o Deflectómetro de Impacto e do Ensaio de Carga com Placa de Carregamentos Repetidos.

O teor em água e o grau de compactação dos materiais presentes nestes aterros, recolhidos antes da realização dos ensaios, apresentam-se nos Quadros 7 e 8, respectivamente.

Quadro 7- Teores em água aquando da realização do Ensaio de Carga com o Deflectómetro de Impacto e Ensaio de Carga com Placa de Carregamentos Repetidos (Luzia, R., 1998)

Localização (km)	w (%)	Desvio $w_{opt}$ (%)
5+100	14,7	+ 4,2
5+300	11,3	+ 1,0
8+600	10,1	- 0,4

Quadro 8- Graus de compactação médios aquando da realização do Ensaio de Carga com o Deflectómetro de Impacto e do Ensaio de Carga com Placa de Carregamentos Repetidos (Luzia, R., 1998)

Material	GC <sub>médio</sub> (%)
A	95
B	95

Dos ficheiros de resultados obtidos no Ensaio de Carga com o Deflectómetro de Impacto, após interpretação com o Elsym5, foram obtidos Módulos de Deformabilidade a variar de 80 MPa a 320 MPa para o material A e de 110 MPa a 320 MPa para o material B.

A partir dos ficheiros de resultados obtidos no Ensaio de Carga com Placa de Carregamentos Repetidos foram calculados os Módulos de Deformabilidade para placa flexível e para placa rígida, tendo-se obtido, para qualquer das situações valores sempre inferiores a 80 MPa, o que, no entanto, se pensa ser devido a alguns problemas ocorridos durante a realização dos ensaios, os quais não foi possível solucionar atempadamente, e que se traduziram no andamento pouco correcto das curvas força/deslocamento.

Supondo a estabilização progressiva dos deslocamentos com o aumento do número de ciclos de carga - descarga, tentou ajustar-se aos resultados obtidos no Ensaio de Carga com Placa de Carregamentos Repetidos uma expressão que traduzisse essa evolução, tendo-se utilizado a abaixo apresentada:

$$d = a + b \log N \quad (5)$$

onde,

d - deslocamento; N - número de ciclos a, b - constantes

No entanto, a simulação da variação do deslocamento vertical com o logaritmo do número de ciclos obtida não é muito boa, dado que as correlações obtidas são de fraca qualidade, como se pode verificar pela lei e respectivo coeficiente de correlação que, a título de exemplo, a seguir se apresentam.

$$d = -5,508 + 1,404(\log N) \quad (r^2 = 0,6490) \quad (6)$$

## 4- CLASSIFICAÇÃO E REUTILIZAÇÃO DO MATERIAL

Os resultados obtidos na caracterização geotécnica dos materiais foram analisados, no que diz respeito à sua classificação e utilização em estradas, com base nas especificações e recomendações anteriormente referidas, apresentando-se nos pontos seguintes os principais resultados desse estudo.

No que diz respeito à classificação do material, o mesmo foi classificado através da Classificação Unificada (Norma ASTM D 2487 - 93) e da Classificação para Fins Rodoviários (LNEC E 240), as quais se apresentam no Quadro 9.

Quadro 9- Classificações Unificada e para Fins Rodoviários (Luzia, R., 1998)

Material	Classificação	
	Unificada (ASTM D 2487-93)	LNEC E 240
A	GW - cascalho bem graduado com areia	A-2-7 (0)
B	GW - cascalho bem graduado	A-2-6 (0)

Quanto à sua utilização em estradas, verifica-se que, segundo as especificações Portuguesas, o material apenas poderá ser utilizado em aterro, tendo sido esta análise feita à luz de algumas Especificações do LNEC, de carácter genérico, do Manual de Concepção de Pavimentos para a Rede Rodoviária Nacional (JAE, 1995) e do Caderno de Encargos da Junta Autónoma de Estradas (JAE, 1998).

Fazendo essa análise a partir do Guia Técnico para a Construção de Aterros e Leito do Pavimento (LCPC/SETRA, 1992), o qual baseia a caracterização e consequente classificação dos materiais, nas suas características de resistência mecânica por desgaste e fragmentação e de argiliosidade, nomeadamente através de Ensaio de Fragmentabilidade, Desgaste de Los Angeles e Adsorção de Azul de Metileno, as conclusões que se tiram são diferentes.

Segundo este guia técnico, o material, sendo classificado como  $R_{62}$  (material B) ou  $R_{63}$  (material A), pode ser usado quer em aterro quer em leito do pavimento, podendo, no entanto, ser necessário proceder ao tratamento dos materiais mais degradáveis ( $R_{63}$ ) com ligantes hidráulicos.

Quando os materiais são analisados, com base no Ensaio de Desgaste em Meio Húmido (Slake - Durability Test) e no Jar - Slake Test, de acordo com o Guia Técnico para Projecto e Construção de Aterros em Xistos (FHWA, 1978), verifica-se que se classificam como não desagregáveis, o que, segundo o mesmo guia técnico, significa que apresentam um comportamento de material rochoso quando aplicados em aterro.

Os materiais foram ainda classificados de acordo com os critérios de durabilidade propostos por Franklin e Chandra, 1972, e por Gamble, 1971, baseados, respectivamente, no 1º e 2º ciclos do Ensaio de Desgaste em Meio Húmido (Slake - Durability Test), sendo os resultados obtidos os apresentados no Quadro 10.

Quadro 10- Classificação dos materiais com base no Índice de Desgaste em Meio Húmido, após o 1º e o 2º ciclos, segundo Franklin e Chandra e segundo Gamble (Luzia, R., 1998)

Material	Id <sub>1</sub> (%)	Classificação segundo Franklin e Chandra, 1972	Id <sub>2</sub> (%)	Classificação segundo Gamble, 1971
A	92	Durabilidade alta	87	Durabilidade média alta
B	99	Durabilidade muito alta	97	Durabilidade alta

## 5- CONCLUSÕES

Da análise dos resultados obtidos para os dois materiais estudados, o material A, correspondente ao aterro entre o km 5+175 e o km 5+400 e proveniente das escavações na linha nas proximidades do mesmo, e o material B, correspondente ao aterro entre o km 8+560 e o km 8+700 e proveniente das escavações na linha entre o km 0+000 e o km 0+600, podem tirar-se algumas conclusões interessantes do ponto de vista da sua reutilização em estradas.

Quando se analisam os resultados à luz das Especificações e Recomendações Portuguesas, verifica-se que o mesmo apenas poderia ser utilizado em aterro.

Fazendo a mesma análise à luz de Especificações Francesas, nomeadamente do Guia Técnico para Construção de Aterros e Leito do Pavimento (LCPC/SETRA, 1992), verifica-se ser possível reutilizar os mesmos quer em aterro quer em leito do pavimento, embora neste caso seja necessário proceder ao tratamento dos materiais mais degradáveis com ligantes hidráulicos.

Quando se faz uma análise apenas baseada no Índice de Desgaste em Meio Húmido (Slake-Durability Test) e no Jar-Slake Test, com base no proposto no Guia Técnico para Projecto e Execução de Aterros em Xistos (FHWA, 1978), verifica-se que qualquer dos materiais estudados se classifica como não desagregável, ou seja, apresentam, segundo aquele guia técnico, um comportamento de material rochoso.

Os materiais estudados apresentam percentagens de finos, determinadas após colocação em aterro, muito baixas, inferiores a 5 % ou próximas deste valor e, embora apresentem uma elevada plasticidade e um baixo valor de Equivalente de Areia, estes finos são classificados, com base no Valor de Adsorção de Azul de Metileno, segundo o Guia Técnico para a Construção de Aterros e Leito do Pavimento (LCPC/SETRA, 1992), como insensíveis à água.

Assim, considerando, por um lado, que este valor é um indicador bastante apropriado (Rat, M., 1989), e, por outro lado, que ao serem usados na fundação em aterro dum pavimento os materiais ficam, supostamente, inacessíveis à água, pode afirmar-se que se forem compactados do lado seco isso não afectará a sua estabilidade. Este facto, pode contribuir para a realização de camadas mais resistentes, o que, dado que um dos problemas do material é o seu baixo CBR, poderá ser de grande utilidade.

Alguns dos resultados obtidos na caracterização geotécnica, nomeadamente Coeficiente de Fragmentabilidade, Los Angeles e Índice de Desgaste em Meio Húmido após o 2º ciclo, indicam que a qualidade global do material é diferente, sendo o material B melhor que o material A, o que, aliás, era esperado que acontecesse, dado que se tentou precisamente estudar dois aterros construídos com materiais cujas características fossem diferentes.

Também através do comportamento mecânico se pode concluir que a qualidade dos materiais é diferente, pois os Módulos Reversíveis obtidos a partir dos Ensaio Triaxiais Cíclicos, embora sendo da mesma ordem de grandeza, são um pouco mais elevados para os provetes do material B, variando entre 141 MPa e 210 MPa, do que para os do material A, os quais variam entre 82 MPa e 123 MPa.

A mesma tendência é ainda verificada nos resultados dos ensaios *in situ*, tendo-se obtido, no Ensaio de Carga com o Deflectómetro de Impacto, Módulos de Deformabilidade médios de 141 MPa para o solo A e de 186 MPa para o solo B.

Com base no estudo apresentado, pode concluir-se que, genericamente, o material B se comportou melhor que o material A, o que, no entanto, só é bem evidenciado quando se comparam resultados que traduzem resistência mecânica e grau de alterabilidade ao manuseamento.

Deste modo, pensa-se que para além da caracterização corrente é necessário fazer ressaltar outras propriedades, as quais podem ser decisivas nas opções a fazer. Assim, parece ser fundamental usar

informação que pode ser obtida em dois conjuntos de ensaios: um que traduza o comportamento do material com o seu manuseamento; outro que traduza a sua resistência mecânica efectiva.

Parece ser claro que o primeiro conjunto de ensaios deve incluir a determinação do Coeficiente de Fragmentabilidade (FR) e do Índice de Desgaste em Meio Húmido ( $Id_2$ ), para além do Los Angeles (LA). De facto, estes ensaios evidenciaram bem as diferenças de comportamento entre os materiais A e B.

Para os ensaios de determinação da resistência parece ser indispensável a realização dos ensaios de determinação do Módulo Reversível em laboratório, nomeadamente Ensaio Triaxial Cíclico, cujos resultados poderão ser complementados com as ilações provenientes de campanhas de ensaio com o Deflectómetro de Impacto.

Em conclusão, pode afirmar-se que a propor-se uma metodologia para a caracterização e reutilização de materiais como os estudados, ela se devia aproximar dos procedimentos fundamentais expressos no Guia Técnico para a Construção de Aterros e Leito do Pavimento (LCPC/SETRA, 1992) e no Guia Técnico para Projecto e Execução de Aterros em Xisto (FHWA, 1978), nomeadamente no que diz respeito à determinação de FR, LA e  $Id_2$ , sendo um pouco mais exigente relativamente à caracterização mecânica (necessidade de determinação do Módulo Reversível).

#### AGRADECIMENTOS

Agradece-se ao Departamento de Vias de Comunicação do Laboratório Nacional de Engenharia Civil e em especial ao Engenheiro Luís Manuel Trindade Quaresma, chefe do Núcleo de Pavimentos Rodoviários, por toda a colaboração prestada e pela realização de alguns ensaios fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Especificação LNEC E 240 (1970). Classificação para Fins Rodoviários. Laboratório Nacional de Engenharia Civil.

Franklin, J. A.; Chandra, R. (1972). The Slake-Durability Test. Int. Journal of Rock Mech. Min. Sci., Vol. 9.

Gamble, J.C. (1971). Durability - Plasticity classification of shale and other argillaceous rocks". Phd. Thesis. University Illinois.

Gomes Correia, A.; Gillett, S. (1996). A large Triaxial apparatus for the study of granular materials under repeated loading used at LNEC. Proceedings EUROFLEX 93 Symposium, Lisbon.

JAE (1995). Manual de Concepção de Pavimentos para a Rede Rodoviária Nacional. Junta Autónoma de Estradas, Lisboa.

JAE (1998). Caderno de encargos - tipo para a execução de empreitadas de construção. Junta Autónoma de Estradas, Lisboa.

LCPC/SETRA (1992). Realisation des Remblais et des Couches de Forme. Guide Technique, editado por LCPC/SETRA, Paris.

Luzia, R. P. C. (1998). Fundação de Pavimentos Rodoviários. Estudo da Utilização de Materiais Xisto - Grauváquicos. Tese de Mestrado, Universidade de Coimbra.

Medina, J. M. P. G. (1996). Contribuição para o conhecimento da geologia do Grupo das Beiras (CXG) na Região do Caramulo-Buçaco (Portugal Central). Tese de Doutoramento, Departamento de Geociências, Univ. de Aveiro.

Norma AFNOR NF P 94-066 (1992). Sols: Reconnaissance et essais. Coefficient de Fragmentabilité des Matériaux Rocheux.

Norma ASTM D 2487 - 93 (1997). Standard Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System). Annual Book of ASTM Standards. Vol. 04.08.

Rat, Marcel (1989). Essai au Bleu de Méthylène. Bull. Liaison Lab. P. et Ch., 159, pp. 77-78.

Sousa, M. B. (1982). Litostratigrafia e estrutura do CXG Ante-Ordovícico - Grupo do Douro (NE Portugal). Tese de Doutoramento, Univ. de Coimbra.

Strohm Jr., W. E.; Bragg Jr., G. H.; Ziegler, T. W (1978). Design and construction of compacted shale embankments: Technical Guidelines. Vol. 5, Federal Highway Administration, U.S. Dept. of Transp., Report FHWA-RD-78-141.