

# **MATERIAIS XISTOSOS. APLICABILIDADE EM PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS**

**ROSA LUZIA**

Assistente, Escola Superior de Tecnologia de Castelo Branco

**LUÍS DE PICADO SANTOS**

Professor Auxiliar, Dep. de Engenharia Civil, FCT da Universidade de Coimbra

**LUÍS QUARESMA**

Investigador Principal, Laboratório Nacional de Engenharia Civil

## **RESUMO**

Neste estudo faz-se a caracterização, geotécnica e do comportamento mecânico, de dois materiais xistosos, pertencentes ao “Complexo Xisto-Grauváquico”, recolhidos no troço Raiva-Catraia dos Poços do Itinerário Complementar 7 (IC7) da rede rodoviária nacional, tendo como finalidade analisar a sua aplicabilidade em fundação e nas camadas granulares de pavimentos rodoviários. Procedeu-se ainda à análise dos resultados daquela caracterização a partir de um conjunto de especificações e recomendações Portuguesas, Francesas e Norte Americanas.

## **1. INTRODUÇÃO**

Com o desenvolvimento da rede viária nacional ocorrido nos últimos anos, deparou-se com a necessidade de utilizar materiais até então pouco usados, como é o caso dos materiais xistosos, nomeadamente os pertencentes ao “Complexo Xisto-Grauváquico”, que afloram na Península Ibérica e representam uma importante fatia da litologia portuguesa.

No entanto, estes materiais não têm sido utilizados nas zonas mais esforçadas dos pavimentos, tendo-o sido apenas em fundação, o que, em parte, se

deve ao fraco conhecimento sobre as suas características e conseqüente comportamento nas diferentes camadas dos pavimentos rodoviários.

No estudo que se apresenta, tendo como objectivo a caracterização daquele tipo de materiais com vista à sua aplicabilidade em leito do pavimento e camadas granulares de um pavimento, para além da sua utilização em fundação, começa por se fazer uma breve caracterização geológica dos materiais do “Complexo Xisto-Grauváquico”, apresentando-se depois a caracterização geotécnica e a caracterização do comportamento mecânico de dois materiais desta natureza, resultado de um estudo experimental realizado no troço Raiva-Catraia dos Poços do IC7.

Por fim, apresenta-se, ainda que de uma forma sucinta, a análise dos resultados daquele estudo à luz de algumas especificações e recomendações Portuguesas, Francesas e Norte Americanas, relativas à classificação e utilização destes materiais em estradas.

## 2. CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA

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 representa uma importante fatia da litologia portuguesa.

Este Complexo 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, em Portugal, geralmente divididas em dois grupos, 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

---

<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.

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 [1], 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.

### 3. ESTUDO EXPERIMENTAL

#### 3.1. Materiais Ensaçados

O estudo experimental foi realizado sobre dois materiais provenientes do troço Raiva-Catraia dos Poços do IC7, o qual tem cerca de 12 km e liga o IP3, na Raiva, à EN17 na zona de Poiães.

Neste troço, encontraram-se dois materiais pertencentes ao “Complexo Xisto-Grauváquico”, os quais, aparentemente, apresentavam características diferentes. Entre o km 0+000 e as proximidades do km 0+600, os materiais apresentavam coloração castanho-acinzentado, a sua Classificação para Fins Rodoviários (LNEC E 240 [2]) variava de A-2-4(0) a A-2-6(1) e o seu índice de plasticidade entre 7 % e 13 %, enquanto os materiais entre o km 0+600 e as proximidades do km 8+425 apresentavam coloração castanho-amarelado, a sua Classificação para Fins Rodoviários (LNEC E 240 [2]) variava entre A-2-4(0) e A-6(5) e o seu índice de plasticidade entre 9 % e 16 %.

Assim, foram escolhidos dois aterros, em função do tipo de material com o qual tinham sido construídos e da altura dos mesmos. O primeiro localiza-se entre o km 5+175 e o km 5+400 e foi construído com materiais escavados na linha nas proximidades do mesmo (material seguidamente designado por “A”). O segundo localiza-se entre o km 8+560 e o km 8+700 e foi construído com materiais escavados entre o km 0+000 e o km 0+600 (material seguidamente designado por “B”).

Sobre estes dois aterros, e na zona de escavação nas proximidades do primeiro, foram realizados ensaios *in situ* tendo, nos mesmos locais, sido recolhidas amostras para a caracterização do material em laboratório.

### 3.2. Caracterização Geotécnica

As amostras recolhidas foram ensaiadas em laboratório com vista, essencialmente, à avaliação das características de durabilidade, dureza, plasticidade e limpeza do material. Nesta caracterização, para além dos ensaios mais comuns, foi realizado um conjunto de ensaios menos frequentes e mais específicos, entre eles o Ensaio de Adsorção de Azul de Metileno, o Ensaio de Fragmentabilidade, o Ensaio de Degradabilidade e o Ensaio de Desgaste em Meio Húmido (*Slake-Durability Test*).

O Valor de Adsorção de Azul de Metileno,  $V_{am}$ , é o parâmetro obtido no Ensaio de Adsorção de Azul de Metileno e exprime globalmente a quantidade e qualidade ou “actividade” da argila presente num dado solo permitindo, assim, avaliar a limpeza de um agregado. Neste trabalho foi utilizado o Método da Mancha, cujo procedimento, para agregados, se encontra especificado na Norma Francesa NF P 18-592 de 1990 [3].

O Ensaio de Fragmentabilidade é realizado segundo a Norma Francesa NF P 94-066 [4] e tem por objectivo encontrar o Coeficiente de Fragmentabilidade, FR, o qual é dado pela razão entre o  $D_{10}$  de dois quilogramas de material de granulometria 10/20 ou 40/80, dependendo da litologia, antes e após compactação com 100 pancadas com o pilão do Proctor Leve em molde CBR.

O Ensaio de Degradabilidade tem por objectivo encontrar o Coeficiente de Degradabilidade, DG, o qual é obtido através da razão entre o  $D_{10}$  encontrado para dois quilogramas de material de granulometria 10/20 ou 40/80, dependendo da litologia, antes e após o mesmo ser submetido a um conjunto de quatro ciclos de secagem-molhagem, segundo a Norma Francesa NF P 94-067 [5].

O Ensaio de Desgaste em Meio Húmido (*Slake-Durability Test*), pretende avaliar a resistência da rocha ao enfraquecimento e desintegração quando submetida a dois ciclos padrão de desgaste em meio húmido. O ensaio consiste, em linhas gerais, e de acordo com o procedimento sugerido pela Sociedade Internacional de Mecânica das Rochas, 1981 [6], em sujeitar dez fragmentos de rocha, com arestas arredondadas e pesos compreendidos entre 40 e 60 g, variando o peso total da amostra entre 450 e 550 g, a dois ciclos de molhagem-secagem. O Índice de Desgaste em Meio Húmido,  $Id_2$ , é dado pela relação entre o peso da amostra seca após o 2.º ciclo de ensaio e o seu peso inicial, apresentando-se o resultado em percentagem.

No Quadro 1 apresentam-se os resultados mais significativos da caracterização geotécnica, para cada um dos materiais estudados.

**Quadro 1 – Valores médios dos resultados dos ensaios de caracterização [7]**

Ensaio	Material		
	A	B	
Passados # n.º 200 (%)	3,1	3,1	
Limite de Liquidez, $w_L$ (%)	43	38	
Índice de Plasticidade, IP (%)	18	16	
Peso volúmico seco máximo, $\gamma_{dm\max}$ (kN/m <sup>3</sup> )	19,8	20,0	
Teor em água óptimo, $w_{opt}$ (%)	9,8	10,4	
California Bearing Ratio, CBR (%)	12	17	
Expansibilidade (%)	2	0	
Equivalente de Areia, EA (%)	< 20	< 20	
Vam (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)		
Los Angeles, 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 [4].

### 3.3. Caracterização do Comportamento Mecânico

#### 3.3.1. Em Laboratório

A avaliação, em laboratório, do comportamento mecânico do material foi feita a partir dos resultados obtidos na realização do Ensaio Triaxial Cíclico sobre três provetes de material A e dois de material B.

Os ensaios foram realizados de acordo com o procedimento habitual do LNEC (Gomes Correia *et al.*, 1996 [8]), para provetes com diâmetro de 300 mm e altura aproximada de 600 mm. 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 [7]**

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

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

**Quadro 3 - Teores em água e compactação relativa dos materiais ensaiados [7]**

Material	$\gamma_d$ max (kN/m <sup>3</sup> )	w (%)	CR* (%)
A	19,8	11,4	94
B	20,0	12,4	100

\* Relação entre o peso volumico seco obtido no ensaio e o peso volumico seco máximo

A partir da expressão (1) encontraram-se os módulos reversíveis que se apresentam no Quadro 4.

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

onde,

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

**Quadro 4 - Módulos reversíveis obtidos a partir dos Ensaios Triaxiais Cíclicos [7]**

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

Aos resultados obtidos, com vista ao estudo da influência do estado de tensão de confinamento no módulo reversível, foram ajustadas as leis de comportamento (2) e (3), tendo-se encontrado as leis e respectivos coeficientes de correlação apresentados no Quadro 5.

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

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;  $k_1', k_2', k_1, k_2$  - constantes

**Quadro 5 – Leis de comportamento função do nível de tensão [7]**

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	$M_r = 213 \theta^{0,59}$	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

Aproveitando o condicionamento prévio efectuado para o estudo do comportamento reversível do material, para as condições atrás referidas, procedeu-se ao estudo da deformação permanente, tendo-se encontrado extensões verticais de, em média, 0,0082 para o material A e 0,0020 para o material B. Aos mesmos resultados tentou ajustar-se uma relação que traduzisse a evolução das extensões verticais com o número de ciclos de carga-descarga, tendo-se obtido, a partir da expressão (4), as leis apresentadas no Quadro 6.

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

onde:  $\varepsilon_p$  - extensão vertical;  $N$  - número de ciclos;  $a, b$  - constantes

**Quadro 6 – Leis obtidas para a deformação permanente [7]**

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

\* melhor ajuste

### 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, Figura 1.

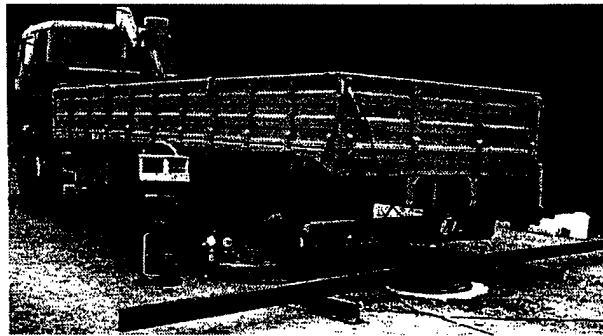


Figura 1 – Ensaio de Carga com Placa de Carregamentos Repetidos

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 dos ensaios *in situ* [7]

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 dos ensaios *in situ* [7]

Material	GC médio (%)
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. Aos mesmos resultados tentou ajustar-se uma expressão que traduzisse a suposta estabilização progressiva dos deslocamentos com o aumento do número de ciclos de carga-descarga, utilizando-se a expressão (5).

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

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 (6) 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. 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, foi possível tirar algumas conclusões interessantes do ponto de vista da sua reutilização em estradas, utilizando as especificações e recomendações atrás mencionadas.

No que diz respeito à classificação do material, o mesmo foi classificado através da Classificação Unificada (Norma ASTM D 2487 - 93 [9]) e da Classificação para Fins Rodoviários (LNEC E 240 [2]), as quais se apresentam no Quadro 9.

Quadro 9 – Classificações Unificada e para Fins Rodoviários [7]

Material	Classificação	
	Unificada (ASTM D 2487-93) [9]	LNEC E 240 [2]
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 [10]) e do Caderno de Encargos da Junta Autónoma de Estradas (JAE, 1998 [11]).

Fazendo a mesma análise à luz de especificações francesas, nomeadamente do Guia Técnico para Construção de Aterros e Leito do Pavimento (LCPC/SETRA, 1992 [12]), que inclui na caracterização e consequente classificação do material o Ensaio de Fragmentabilidade, o Ensaio de Adsorção de Azul de Metileno e o *Los Angeles*, 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 [13]), verifica-se que qualquer dos materiais estudados se classifica como não desagregável, ou seja, apresentam, segundo aquele guia técnico, um comportamento de material rochoso.

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 [12]) e no Guia Técnico para Projecto e Execução de Aterros em Xisto (FHWA, 1978 [13]), 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).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] SOUSA, M. B. – “Litostratigrafia e estrutura do CXG Ante-Ordovícico – Grupo do Douro (NE Portugal)”. Tese de Doutoramento, Universidade de Coimbra. Coimbra, 1982.
- [2] Especificação LNEC E 240. – “Classificação para Fins Rodoviários”. Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Lisboa, 1970.

- [3] Norma AFNOR NF P 18-592 – “Granulats. Essai au Bleu de Méthylène. Méthode à la Tache”. Paris, 1990.
- [4] Norma AFNOR NF P 94-066 – “Sols: Reconnaissance et essais. Coefficient de Fragmentabilité des Matériaux Rocheux”. Paris, 1992.
- [5] Norma AFNOR NF P 94-067 – “Sols: Reconnaissance et essais. Coefficient de Dégradabilité des Matériaux Rocheux”. Paris, 1992.
- [6] ISRM. “Suggested Method for Determination of the Slake – Durability Index”. Rock Characterization Testing & Monitoring. ISRM Suggested Methods. 1981.
- [7] LUZIA, R. C. – “Fundação de Pavimentos Rodoviários. Estudo da Utilização de Materiais Xisto - Grauváquicos”. Tese de Mestrado, Universidade de Coimbra. Coimbra, 1998.
- [8] GOMES CORREIA, A.; GILLET, S. – “A large triaxial apparatus for the study of granular materials under repeated loading used at LNEC”. EUROFLEX 93. A. Gomes Correia, Editor. Lisboa, 1996. 7 páginas.
- [9] Norma ASTM D 2487-93 – “Standard Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)”. Annual Book of ASTM Standards. Vol. 04.08. 1997.
- [10] “Manual de Concepção de Pavimentos para a Rede Rodoviária Nacional”. Junta Autónoma de Estradas. Lisboa, 1995.
- [11] “Caderno de Encargos – tipo para a execução de empreitadas de construção”. Junta Autónoma de Estradas, Lisboa, 1998.
- [12] “Realisation des Remblais et des Couches de Forme”. Guide Technique, editado por LCPC/SETRA, Paris, 1992.
- [13] STROHM JR., W. E.; BRAGG JR., G. H.; ZIEGLER, T. W. – “Design and construction of compacted shale embankments: Technical Guidelines”. Vol. 5, Federal Highway Administration, U.S. Dept. of Transp., Report FHWA-RD-78-141. Washington, 1978.