

Caracterização Geotécnica de Escombrelras das Pedreiras do Poio e sua Utilização em Pavimentos Rodoviários

Sónia Velez / Rosa Luzia

*Departamento de Engenharia Civil da Escola Superior de Tecnologia do Instituto Politécnico de Castelo Branco
son.velez@gmail.com / rluzia@ipcb.pt*

Área Científica - CT 11 - Geotecnia

Resumo

Os pavimentos rodoviários, em Portugal, nomeadamente as suas camadas não ligadas continuam a ser construídos quase exclusivamente com agregados naturais, geralmente britados. Deste modo, boa parte da exploração de agregados que ocorre a nível nacional é para utilização neste tipo de estruturas.

Por todo o País existem indústrias extractivas de rocha com produção elevada de escombrelras, as quais levantam sérios problemas ambientais e cujos materiais poderiam, eventualmente, ser utilizadas nas camadas não ligadas, incluindo a fundação, de pavimentos rodoviários.

Um exemplo deste problema ocorre no denominado núcleo de Pedreiras do Poio, Vila Nova de Foz Côa, em pleno Parque Arqueológico do Vale do Côa, onde materiais xistosos, ardosíferos, são extraídos originando grande quantidade de escombrelras.

Nesta comunicação apresentam-se os resultados da caracterização geotécnica daqueles materiais xistosos e avalia-se a possibilidade da sua aplicação na fundação de pavimentos rodoviários, à luz das especificações utilizadas em Portugal.

Palavras-chave: Escombrelra, Pavimentos Rodoviários, Pedreiras do Poio, Xisto

1. Introdução

No denominado núcleo de pedreiras do Poio, Vila Nova de Foz Côa, desde meados do século XIX que os materiais xistosos são explorados para esteios e, mais recentemente, para diferentes aplicações na construção civil. No entanto, dada a natureza dos materiais, a sua extracção está associada a produção de grande quantidade de escombrelras levantando graves problemas ambientais na região.

Nesta comunicação avalia-se o comportamento geotécnico daqueles materiais, após britagem, com vista à sua utilização na fundação de pavimentos rodoviários, à luz de especificações portuguesas, nomeadamente o Caderno de Encargos Tipo Obra da Estradas de Portugal [1].

Procedeu-se à caracterização do material em laboratório com vista, essencialmente, à avaliação das suas características de durabilidade, dureza, plasticidade e limpeza. O objectivo é, no âmbito de uma dissertação de mestrado, contribuir para o aproveitamento deste tipo de material e sucessivamente para a redução dos impactes ambientais na envolvente à exploração das pedreiras.

2. Materiais Utilizados

Neste trabalho está a ser utilizado material britado proveniente das escombrelas de uma das pedrelas do denominado núcleo de pedrelas do Poio, Vila Nova de Foz Côa, sendo que, nesta zona, aflora o Complexo Xisto-Grauváquico.

Assim, foi ensaiada uma amostra de material xistento, de cor castanho acinzentado, figura 1. Este material, identificado na zona como "oxidado", devido à sua cor, foi britado sob responsabilidade da empresa que explora a pedreira.



Figura 1 - Amostra de material utilizado

3. Caracterização Geotécnica

3.1. Considerações Iniciais

Os ensaios que se apresentam nas secções seguintes têm como finalidade a avaliação das características geotécnicas dos materiais em estudo, nomeadamente, no que respeita a granulometria, compactação, plasticidade, quantidade e qualidade dos finos ou "actividade" da argila, limpeza, resistência ao enfraquecimento e desintegração quando submetido ao desgaste em meio húmido, degradabilidade e fragmentabilidade.

3.2. Análise Granulométrica

A análise granulométrica foi realizada sobre dois provetes e segundo a especificação LNEC E196 [2] e a norma NP EN 933-1 [3]. A partir do valor médio dos resultados, para cada

metodologia, obtiveram-se as curvas granulométricas que se apresentam nas figuras 2 e 3, respectivamente.

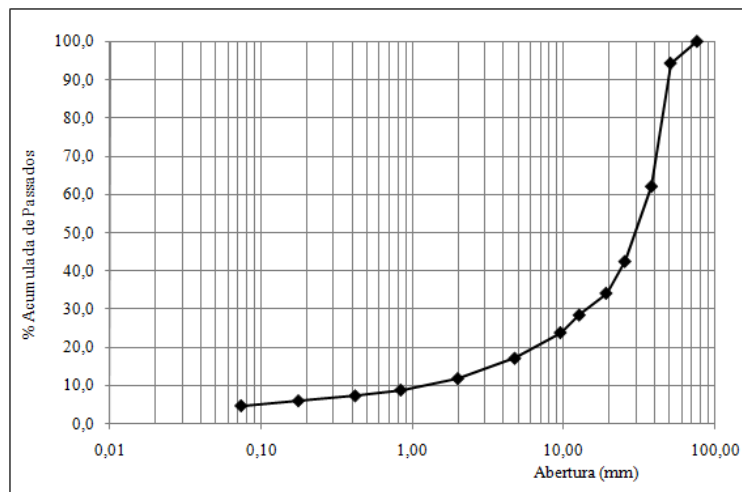


Figura 2 - Curva granulométrica, especificação LNEC E196 [2]

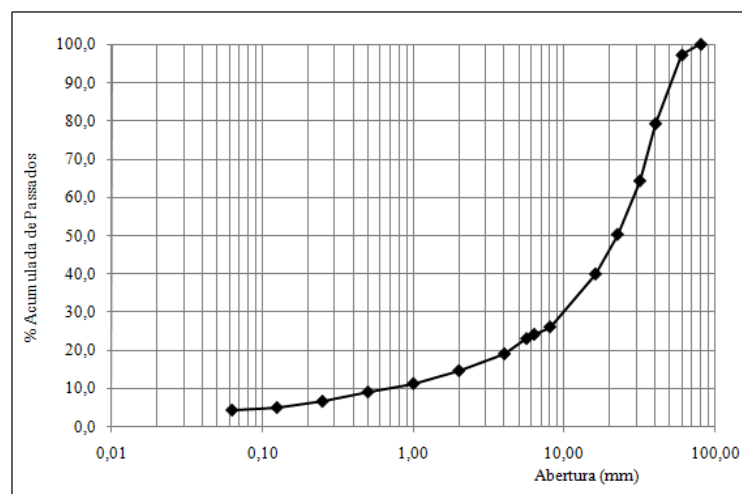


Figura 3 - Curva granulométrica do material, norma NP EN 933-1 [3]

3.3. Limites de Consistência

Em relação aos limites de consistência, limite de liquidez e limite de plasticidade, os mesmos foram efectuados de acordo com a norma NP 143 [4]. Os resultados obtidos, incluindo o índice de plasticidade, são os que se apresentam na tabela 1.

Tabela 1- Resultados dos limites de consistência e índice de plasticidade, norma NP 143 [4]

Parâmetro	Resultados (%)
Limite de liquidez	23
Limite de plasticidade	18
Índice de plasticidade	5

3.4. Ensaio de Equivalente de Areia

Para o equivalente de areia, realizado segundo a especificação LNEC E199 [5] sobre dois provetes, obteve-se um valor médio de 42 %.

3.5. Ensaio de Adsorção de Azul de Metileno

O ensaio de adsorção de azul de metileno foi realizado segundo a norma NF P18-592 [6], obtendo-se um valor de adsorção de azul de metileno de 0,40 g/100g e segundo a norma NP EN 933-9 [7], sendo que o valor de adsorção de azul de metileno (MB) obtido foi de 2,25 g/kg.

3.6. Ensaio de Desgaste em Meio Húmido (*Slake-Durability Test*)

Na realização do Ensaio de Desgaste em Meio Húmido foi seguido o procedimento sugerido em 1981 pela Sociedade Internacional de Mecânica das Rochas [8], determinando o índice de desgaste em meio húmido após o 2º ciclo, Id_2 (%), bem como o procedimento sugerido por Monteiro [9], que consiste em sujeitar o provete a sete ciclos de molhagem - secagem, determinando o índice de desgaste em meio húmido após o 7º ciclo, Id_7 (%). Os resultados obtidos, segundo os dois procedimentos, encontram-se na tabela 2.

Tabela 2- Resultados do ensaio de desgaste em meio húmido

Id_1 (méd)	Id_2 (méd)	Id_7 (méd)
(%)		
99	98	96

3.7. Ensaio de Degradabilidade

O ensaio de degradabilidade foi efectuado, segundo a NF P 94-067 [10], sobre provetes das fracções granulométricas 10/20 e 40/80. O coeficiente de degradabilidade (DG), obtém-se da relação entre o D_{10} antes do primeiro ciclo e o D_{10} após o quarto ciclo, de acordo com a equação 1. Sendo que o valor do coeficiente de degradabilidade (DG) encontrado, para qualquer uma das granulometrias, foi de 1 %.

$$DG = \frac{D_{10A1^\circ\text{ciclo}}}{D_{10D4^\circ\text{ciclo}}} \quad (1)$$

3.8. Ensaio de Fragmentabilidade

O ensaio de fragmentabilidade foi efectuado segundo a NF P 94-066 [11], sobre provetes das fracções granulométricas 10/20 e 40/80. O coeficiente de fragmentabilidade (FR), obtém-se da relação entre o D_{10} antes da compactação e o D_{10} depois da compactação, de acordo com a equação 2. Sendo que o valor do coeficiente de fragmentabilidade (FR) encontrado, para ambas as granulometrias, foi de 2 %.

$$FR = \frac{D_{10Acomp.}}{D_{10Dcomp.}} \quad (2)$$

3.9. Ensaio de Compactação Pesada tipo *Proctor*

Do ensaio de compactação pesada em molde grande, realizado segundo a especificação LNEC E 197 [12], obteve-se a curva de compactação apresentada na figura 4. Analisando aquela curva verifica-se que para um teor em água óptimo de 7,6 % se obteve um peso específico seco máximo de 13,62 kN/m^3 .

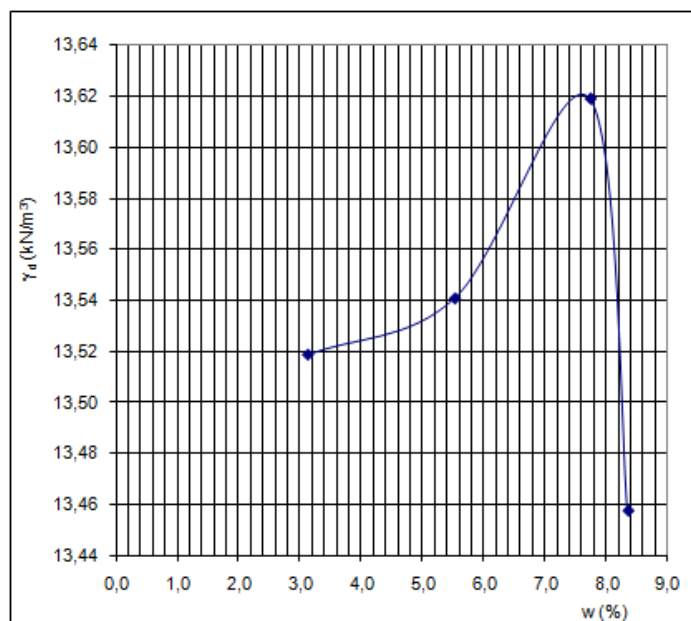


Figura 4 - Curva de compactação [12]

4. Análise de Resultados

4.1. Considerações iniciais

A análise de resultados será efectuada de acordo com o Caderno de Encargos Tipo Obra da Estradas de Portugal [1]. Os resultados dos ensaios serão analisados com vista à sua utilização em fundação de pavimentos rodoviários.

4.2. Materiais para aterro

4.2.1. Solos

Para classificação de solo para aterro, o material retido no peneiro ASTM de 19 mm tem que ser inferior ou igual a 30 % [1], o que não se verifica, como se pode observar na curva granulométrica (figura 2).

Efectuou-se a classificação unificada de solos, segundo a especificação ASTM D 2487 [13] e constatou-se que o material em estudo é um GW - Cascalho bem graduado. Este resultado possibilita a sua utilização em todas as partes do aterro, parte superior, parte inferior e corpo, mas a sua aceitação total, tem que ser combinada com um valor CBR superior ou igual a 40 %, valor este que ainda não se conhece.

Segundo a classificação para fins rodoviários [14], o material é um A-1-a (0), logo poder-se-ia aplicar na parte superior dos aterros.

4.2.2. Materiais rochosos (enrocamentos)

Para a utilização deste material em enrocamentos os resultados têm que estar em conformidade com os três parágrafos seguintes.

Sendo o material em estudo de origem metamórfica pode ter-se, no que respeita à resistência e fragmentabilidade, uma das seguintes situações [1]: rocha dura, se apresentar uma percentagem de desgaste na máquina de *Los Angeles* inferior a 45 %; rocha de dureza média, se a percentagem de desgaste na máquina de *Los Angeles* for superior a 45 % e o coeficiente de fragmentabilidade for inferior a 7 %; ou rocha fragmentável ou alterável se o coeficiente de fragmentabilidade for superior a 7 %. O coeficiente de fragmentabilidade obtido é de 2 %, no entanto, não se conhece ainda a percentagem de desgaste na máquina de *Los Angeles*, pelo que o material poderá vir a ser classificado, segundo estes parâmetros, como rocha dura ou rocha de dureza média.

No que respeita à granulometria, no Caderno de Encargos Tipo Obra da Estradas de Portugal [1] refere-se uma percentagem máxima admissível de passados no peneiro ASTM de 25mm de 30 % e no peneiro ASTM de 0,074mm de 12 %. Os valores encontrados são de 42,6 % e 4,9 % de passados nos peneiros ASTM de 25 mm e ASTM de 0,074 mm, respectivamente.

O Caderno de Encargos Tipo Obra da Estradas de Portugal [1] refere, ainda, que para aterros com alturas superiores a 20 metros se deve dar especial importância, entre outros, ao ensaio de desgaste em meio húmido [8]. Para o material em estudo obteve-se um Índice de Desgaste em Meio Húmido para o 2º ciclo, Id_2 (%), de 98 %, podendo, assim, classificar-se, segundo *Gamble* [15], como material de durabilidade alta.

4.2.3. Materiais do tipo solo-enrocamento

Para este tipo de materiais e no que respeita à granulometria, no Caderno de Encargos Tipo Obra da Estradas de Portugal [1] refere-se que o material retido no peneiro ASTM de 19 mm terá que estar compreendido entre 30 % e 70 % e que a percentagem de passados no peneiro ASTM de 0,074mm terá que estar compreendida entre 12 % e 40 %. Analisando a figura 2 pode observar-se que a primeira condição se verifica, pois ficam retidos no peneiro ASTM de 19 mm 65,8 %, enquanto que a percentagem de passados no peneiro ASTM de 0,074mm foi de 4,9 %.

O Caderno de Encargos Tipo Obra da Estradas de Portugal [1] refere, ainda, que para aterros com alturas superiores a 15 metros se deve dar especial importância, entre outros, ao ensaio de desgaste em meio húmido [8]. Para o material em estudo obteve-se um Índice de Desgaste em Meio Húmido para o 2º ciclo, Id_2 (%), de 98 %, podendo, assim, classificar-se, segundo *Gamble* [15], como material de durabilidade alta.

4.2.4. Materiais para aterro: conclusão

A partir da análise feita nesta secção pode concluir-se que, de acordo com os resultados da caracterização já realizada, o material não pode ser utilizado em aterro, o que se deve exclusivamente, nesta fase, à sua granulometria.

4.3. Materiais para o leito do pavimento

4.3.1. Solos

Os materiais para camadas de leito do pavimento com solos deverão, segundo o Caderno de Encargos Tipo Obra da Estradas de Portugal [1], obedecer às características que constam na tabela 3. Nesta tabela apresentam-se, também, os resultados obtidos para os materiais em estudo.

Tabela 3- Comparação entre os valores requeridos pelo Caderno de Encargos Tipo Obra da Estradas de Portugal [1] e os valores obtidos nos ensaios realizados

Parâmetros		Valores limite	Valores obtidos
Dimensão máxima	mm	75	75
% máxima de material que passa no peneiro n.º 200 ASTM	%	20	4,9
Limite de liquidez máximo	%	25	23
Índice de plasticidade máximo	%	6	5
Equivalente de areia mínimo	%	30	42
Valor de adsorção de azul de metileno máximo	g/100g	2,0	0,4

De acordo com os resultados da caracterização já realizada e pela análise da tabela 3, pode afirmar-se que o material em estudo pode ser utilizado, como solo, em leito do pavimento.

4.3.2. Materiais granulares britados

No que respeita à granulometria dos materiais granulares britados a utilizar em leito do pavimento, o Caderno de Encargos Tipo Obra da Estradas de Portugal [1], define um fuso granulométrico que se apresenta na figura 5. Na mesma figura apresenta-se a curva granulométrica obtida para os materiais em estudo recorrendo à norma NP EN 933-1 [3].

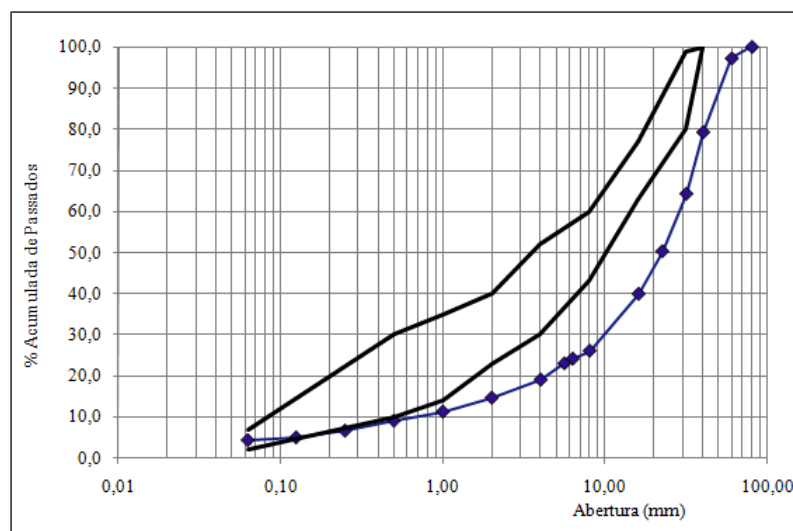


Figura 5 - Curva granulométrica do material, norma NP EN 933-1 [3], comparação com fuso granulométrico previsto Caderno de Encargos Tipo Obra da Estradas de Portugal, [1]

Analisando a figura 5 verifica-se que a curva granulométrica do material em estudo se encontra, toda ela, fora do fuso definido.

No que respeita à limpeza e argilidade, como o material em estudo tem uma percentagem de passados no peneiro de 0,063 mm superior a 3 % é necessário que os valores do equivalente de areia [5] sejam superiores ou iguais a 35 % [1]. Caso tal não se verifique o

valor de adsorção azul de metileno (MB) tem que ser igual ou inferior a 2,5 g/kg. O valor de equivalente de areia obtido é de 42 %, pelo que, não se torna necessário verificar a condição relativa a MB.

De acordo com os resultados da caracterização já realizada, pode afirmar-se que o material não pode ser utilizado como material granular britado em leito de pavimento, o que se deve à sua granulometria.

5. Conclusões

Analisando os resultados dos ensaios realizados sobre os materiais xistosos em estudo, pode concluir-se que os mesmos são não plásticos e, segundo o Guia Técnico para a Construção de Aterros e Leito do Pavimento (ref. por Luzia, R.C., 2006, [16]), pode mesmo considerar-se que os finos são insensíveis à água, de acordo com os valores de adsorção de azul de metileno obtidos [6].

No que diz respeito ao desgaste em meio húmido, obteve-se um Índice de Desgaste em Meio Húmido para o 2º ciclo, Id_2 (%), de 98 %, podendo o material ser classificado, segundo *Gamble* [15], como tendo durabilidade alta.

Analisando os resultados da caracterização até agora realizada, à luz Caderno de Encargos Tipo Obra da Estradas de Portugal [1], com vista à sua aplicação em fundação de pavimentos rodoviários, verificou-se que o material não poderia ser utilizado em aterro devido, exclusivamente, à sua granulometria. No que respeita à aplicação em Leito do Pavimento verificou-se que poderia ser utilizado nesta camada quando considerado como solo, não o podendo, no entanto, quando analisado como material granular britado, o que é devido à sua granulometria.

Pode dizer-se, nesta fase dos trabalhos, e tendo em conta as razões apontadas para a não possibilidade de aplicação do material em fundação de pavimentos rodoviários, que o mesmo requer, com vista a este tipo de utilização, uma britagem mais adequada.

6. Agradecimentos

Gostaria de agradecer-se à empresa SOLICEL - Sociedade do Centro Industrial de Esteios de Lousa, Lda. pela disponibilidade em colaborar no desenvolvimento deste trabalho, principalmente, pelas facilidades concedidas na recolha do material.

7. Referências

- (1) EP. Caderno de Encargos Tipo Obra, Cap. 14.1. Estradas de Portugal, S. A., 2009.
- (2) LNEC. Análise Granulométrica. E 196, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 1966.

- (3) IPQ. Ensaio das propriedades geométricas dos agregados. Parte 1: Análise granulométrica. Método de peneiração. NP EN 933-1, Instituto Português da Qualidade, Lisboa, 2000.
- (4) IGPAI. Determinação dos Limites de Consistência. NP-143, Inspeção Geral dos Produtos Agrícolas e Industriais, Lisboa, 1969.
- (5) LNEC. Ensaio de Equivalente de Areia. E 199 Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 1967.
- (6) AFNOR. Granulats. Essai au bleu de méthylène. Méthode à la tache. NF P 18-592, Association Française de Normalisation, 1990.
- (7) IPQ. Ensaio das propriedades geométricas dos agregados. Parte 9: Determinação do Teor de Finos. Ensaio do Azul de Metileno. NP EN 933-9, Instituto Português da Qualidade, Lisboa, 2002.
- (8) ISRM. Suggested Method for Determination of the Slake - Durability Index". Rock Characterization Testing & Monitoring. ISRM Suggested Methods. Ed. E.T. Brown, Pregamon Press, 1981.
- (9) MONTEIRO, B. e DELGADO RODRIGUES, J. Método sugerido para a determinação do ensaio de desgaste em meio húmido (*Slake - Durability Test*). Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 1994.
- (10) AFNOR. Sols: Reconnaissance et Essais. Coefficient de Dégradabilité des matériaux Rocheux. NF P 94-067, Association Française de Normalisation, 1992.
- (11) AFNOR. Sols: Reconnaissance et Essais. Coefficient de Fragmentabilité des matériaux Rocheux. NF P 94-066, Association Française de Normalisation, 1992.
- (12) LNEC. Ensaio de Compactação. E 197, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 1966.
- (13) ASTM. Standard Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System. D 2487-00, Annual Book of ASTM Standards, Vol. 04.08, American Society for Testing and Materials, USA, 2001.
- (14) LNEC. Classificação para Fins Rodoviários. E 240, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 1970.
- (15) Gamble, J.C.. Durability - Plasticity classification of shale and other argillaceous rocks. Phd. Thesis. University Illinois, 1971.
- (16) LUZIA, R.C.. Estudo do Comportamento de Materiais Britados não Ligados em Pavimentos Rodoviários. Tese de Doutoramento, Universidade de Coimbra, 2006.