

ESCOMBREIRAS DAS PEDREIRAS DO POIO. CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA COM VISTA À SUA UTILIZAÇÃO EM PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS

TAILINGS FROM THE QUARRIES OF POIO. GEOTECHNICAL CHARACTERIZATION WITH A VIEW TO THEIR USE IN ROAD PAVEMENTS

Velez, Sónia; Escola Superior de Tecnologia do Instituto Politécnico, Castelo Branco, Portugal, son.velez@gmail.com

Luzia, Rosa; Escola Superior de Tecnologia do Instituto Politécnico, Castelo Branco, Portugal, rluzia@ipcb.pt

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 produção nacional de agregados é para utilização neste tipo de estruturas. Um pouco por todo o País, no entanto, existem indústrias extrativas de rocha com produção de escombrelas, como é o caso do denominado núcleo de pedreiras do Poio, Vila Nova de Foz Côa, cujos materiais poderiam, eventualmente, ser utilizados quer na fundação quer nas camadas não ligadas de pavimentos rodoviários. Nesta comunicação apresentam-se os resultados da caracterização geotécnica dos materiais xistosos das escombrelas resultantes da exploração daquelas pedreiras e avalia-se a possibilidade de aplicação dos mesmos na fundação e nas camadas não ligadas de pavimentos rodoviários, à luz das especificações utilizadas em Portugal.

ABSTRACT

The road pavements, in Portugal, in particular its unbound layers continue to be built almost exclusively with natural aggregate, usually crushed. Therefore, much of the national production of aggregates is to use in this type of structures. All over the country, however, there are rock extraction industries with production of tailings, such as the so-called core of quarries of Poio, Vila Nova de Foz Côa, whose materials could eventually be used either in the foundation or unbound layers of road pavements. In this paper are presented the results of geotechnical characterization of shale tailings resulting from the exploration of those quarries and is evaluated the possibility of using them in the foundation and unbound layers of road pavements, in the light of the specifications used in Portugal.

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.

No denominado núcleo de pedreiras do Poio, Vila Nova de Foz Côa, interior centro de Portugal, desde meados do século XIX que este tipo de materiais é explorado para esteios e, mais recentemente, para diferentes aplicações na construção civil. No entanto, dada a natureza dos materiais a sua extração está associada à produção de grande quantidade de escombrelas, levantando graves problemas ambientais na região.

Nesta comunicação avalia-se o comportamento geotécnico daqueles materiais, após britagem, com vista à sua utilização em pavimentos rodoviários, fundação e camadas não ligadas, à luz de especificações portuguesas, nomeadamente do Caderno de Encargos Tipo Obra da Estradas de Portugal (EP, 2009; EP, 2012).

O objetivo é, no âmbito de uma dissertação de mestrado, contribuir para o aproveitamento deste tipo de material e sucessivamente para a redução deste tipo de impactes ambientais na zona envolvente das pedreiras.

2- MATERIAIS UTILIZADOS

No trabalho desenvolvido foi utilizado material britado proveniente das escombrelas de uma das pedreiras do denominado núcleo de pedreiras do Poio, Vila Nova de Foz Côa, Figura 1.



Figura 1 – Material utilizado

Foi ensaiada uma amostra de material xistento, de cor castanho acinzentado, identificado na zona como "oxidado", o qual foi britado sob responsabilidade da empresa que explora a pedreira onde se procedeu à recolha do mesmo.

3- CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA

3.1- Considerações iniciais

Sobre a amostra recolhida foi realizado um conjunto de ensaios de laboratório com vista à avaliação das suas características geotécnicas.

Os ensaios têm como finalidade a avaliação das características geotécnicas dos materiais em estudo, nomeadamente no que respeita a granulometria, compactação, plasticidade, qualidade dos finos, limpeza, resistência ao enfraquecimento e desintegração quando submetido a desgaste em meio húmido e em meio seco, degradabilidade e fragmentabilidade, resistência à fragmentação e forma do agregado.

Os resultados desta caracterização, obtidos sobre 2 provetes da amostra em estudo, apresentam-se nas secções que se seguem.

3.2- Análise Granulométrica

A análise granulométrica foi realizada segundo a especificação LNEC E196 (LNEC, 1966a) e segundo a norma NP EN 933-1 (IPQ, 2000a). A partir dos resultados médios obtiveram-se as curvas granulométricas que se apresentam nos quadros 1 e 2 e nas Figuras 2 e 3, respetivamente.

Quadro 1 - Análise granulométrica, LNEC E196 (LNEC, 1966a)

Peneiro	Abertura (mm)	% Acumulada de Passados
3"	76,2	100
2"	50,8	94,3
1"1/2	38,1	62,1
1"	25,4	42,5
3/4"	19,1	34,2
1/2"	12,7	28,5
3/8"	9,52	23,9
nº4	4,76	17,2
nº10	2	11,9
nº20	0,84	8,9
nº40	0,42	7,4
nº80	0,177	6,1
nº200	0,074	4,8

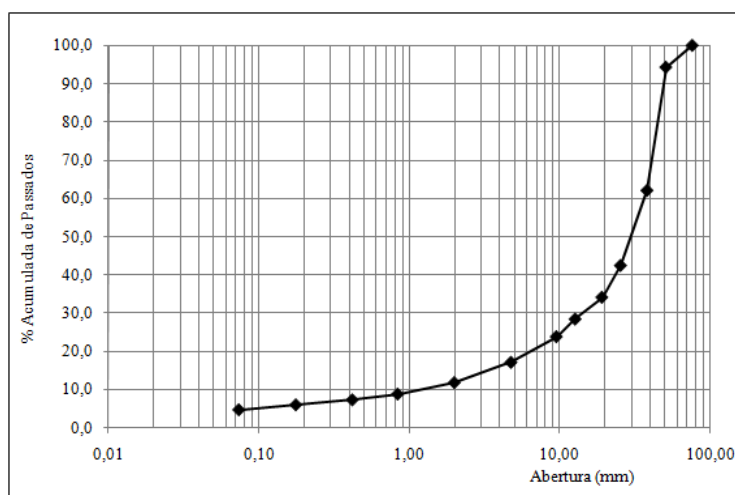


Figura 2 - Curva granulométrica, especificação LNEC E196 (LNEC, 1966a)

Quadro 2 - Análise granulométrica, norma NP EN 933-1 (IPQ, 2000a)

Abertura (mm)	% Acumulada de Passados
80	100
60	97,2
40	79,2
31,5	64,3
22,4	50,3
16	39,9
8	26
6,3	24,1
5,6	23
4	19
2	14,6
1	11,2
0,5	9
0,25	6,6
0,13	4,9
0,06	4,3

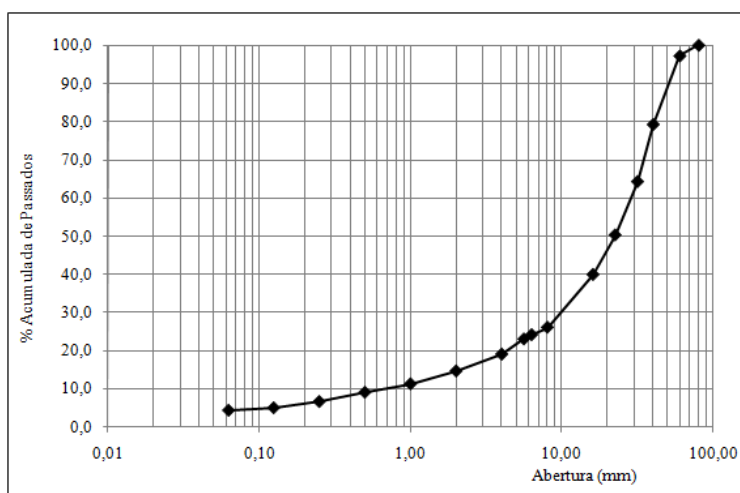


Figura 3 - Curva granulométrica, norma NP EN 933-1 (IPQ, 2000a)

3.3- Limites de consistência

Os limites de consistência, limite de liquidez e limite de plasticidade, foram obtidos a partir dos procedimentos constantes da norma NP 143 (IGPAI, 1969).

Os resultados obtidos, incluindo o índice de plasticidade, são os que se apresentam no quadro 3.

Quadro 3 - Resultados dos limites de consistência e índice de plasticidade, norma NP 143 (IGPAI, 1969)

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

3.4- Ensaio de equivalente de areia

No ensaio de equivalente de areia, realizado segundo a especificação LNEC E199 (LNEC, 1967) e segundo a norma NP EN 933-8 (IPQ, 2002), obtiveram-se os valores médios de 42% e 56%, respetivamente.

3.5- Ensaio do azul de metileno

O ensaio do azul de metileno foi realizado segundo a norma NF P18-592 (AFNOR, 1990) e segundo a norma NP EN 933-9 (IPQ, 2002b),

Os resultados obtidos foram, respetivamente, valor de adsorção de azul de metileno de 0,40 g/100g, e valor de azul de metileno (MB) 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 (ISRM, 1981), bem como o procedimento sugerido por Monteiro (Monteiro, B. e Delgado Rodrigues, J., 1994), que consiste em sujeitar o provete a sete ciclos de molhagem - secagem, determinando o índice de desgaste em meio húmido após o 7º ciclo, Id7 (%). Os resultados obtidos segundo os dois procedimentos encontram-se no quadro 4.

Quadro 4 - 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 efetuado segundo a NF P 94-067 (AFNOR, 1992a), sobre provetes das frações granulométricas 10/20 e 40/80. O coeficiente de degradabilidade (DG), obtém-se da relação entre o D10 antes do primeiro ciclo (D10 A. 1º Ciclo) e o D10 após o quarto ciclo (D10 D. 4º Ciclo), de acordo com a equação 1.

$$DG = \frac{D10 \text{ A. } 1^{\circ} \text{ Ciclo}}{D10 \text{ D. } 4^{\circ} \text{ Ciclo}} \quad [1]$$

O coeficiente de degradabilidade (DG) encontrado para qualquer das granulometrias foi de 1 %.

3.8- Ensaio de fragmentabilidade

O ensaio de fragmentabilidade foi efetuado segundo a NF P 94-066 (AFNOR, 1992b), sobre provetes das frações granulométricas 10/20 e 40/80. O coeficiente de fragmentabilidade (FR), obtém-se da relação entre o D10 antes da compactação (D10 A.Compact.) e o D10 depois da compactação (D10 D.Compact.), de acordo com a equação 2.

$$FR = \frac{D10 \text{ A. Compact.}}{D10 \text{ D. Compact.}} \quad [2]$$

O coeficiente de fragmentabilidade (FR) encontrado, para ambas as granulometrias, foi de 2 %.

3.9- Ensaio de compactação pesada tipo *Proctor*

O ensaio de compactação pesada em molde grande foi realizado segundo a especificação LNEC E 197 (LNEC, 1966b). Segundo aquela especificação na compactação em molde grande apenas se deve utilizar o material passado no peneiro de 19 mm. Caso a percentagem de material retido naquele peneiro seja superior a 20% o ensaio não tem significado, caso contrário substitui-se a percentagem retida por igual massa de material passado no peneiro de 19 mm e retido no peneiro de 4,76 mm.

O material em estudo apresenta uma percentagem de material retido no peneiro de 19 mm superior a 20 %, no entanto, entendeu-se realizar o ensaio do mesmo modo e proceder à substituição do material retido por igual massa de material passado no peneiro de 19 mm e retido no peneiro de 4,76 mm, tendo-se obtido a curva de compactação apresentada na figura 4.

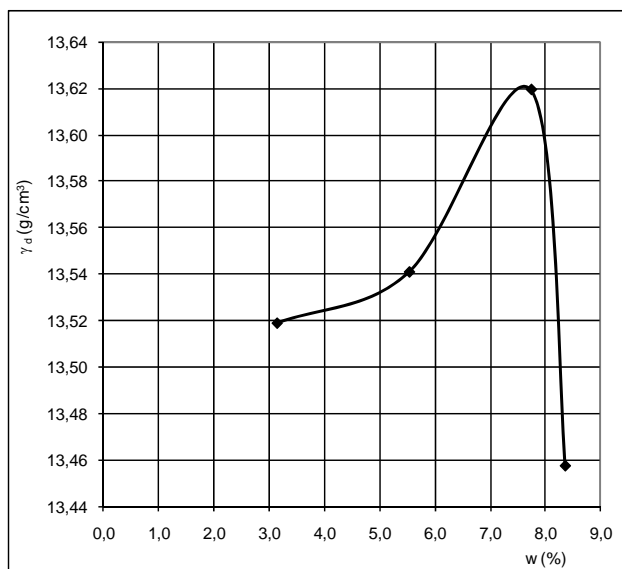


Figura 4 - Curva de compactação (LNEC, 1966b)

Analisando aquela curva verifica-se que para um teor em água ótimo de 7,6 % se obteve um peso específico seco máximo de 13,62 kN/m³. Este valor pode ser explicado pelo facto referido atrás, ou seja, por se ter compactado, utilizando esta metodologia, um material com uma percentagem de retidos no peneiro de 19 mm superior a 20%.

3.10- Ensaio de desgaste pela máquina de *Los Angeles*

O ensaio de desgaste pela máquina de *Los Angeles* foi efetuado segundo a especificação LNEC E 237 (LNEC, 1970a), com a composição granulométrica tipo F, e segundo a norma NP EN 1097-2 (IPQ, 2002c), sobre a fração granulométrica 10/14 mm.

Os resultados obtidos foram de 42% e 40%, respetivamente.

Segundo a norma NP EN 13242 (IPQ, 2005), o material, quando ensaiado pela norma NP EN 1097-2 (IPQ, 2002c) classifica-se como LA₄₀.

3.11- Índice de achatamento do agregado grosso

O índice de achatamento foi efetuado segundo a norma NP EN 933-3 (IPQ, 2000b), no qual se obteve o valor de 19%.

Segundo a norma NP EN 13242 (IPQ, 2005) o material classifica-se como FI₂₀.

3.12- Índices de forma

Os índices de lamelação e alongamento foram encontrados com base nos procedimentos constantes da norma BS 812 (BSI, 1989; BSI, 1990).

Os resultados obtidos foram de 30% e 41%, respetivamente.

3.13- Determinação da resistência ao desgaste (Micro-Deval)

O ensaio de resistência ao desgaste (Micro-Deval) foi efetuado segundo a norma NP EN 1097-1 (IPQ, 2002d).

Os valores obtidos com o agregado em meio húmido e com o agregado em meio seco foram de 60% e 6%, respetivamente.

Segundo a norma NP EN 13242 (IPQ, 2005) o material classifica-se como M_{DE20} e M_{DE60} , respetivamente.

4- ANÁLISE DE RESULTADOS

4.1- Considerações iniciais

A análise de resultados será efetuada à luz do Caderno de Encargos Tipo Obra da Estradas de Portugal (EP, 2009; EP, 2012). Os resultados dos ensaios serão analisados com vista à sua utilização em aterro, leito do pavimento, sub-base e base de pavimentos rodoviários.

4.2. Materiais para aterro

4.2.1. Solos

No quadro 5 apresentam-se as características a respeitar pelos solos a utilizar em aterro segundo o Caderno de Encargos Tipo Obra da Estradas de Portugal (EP, 2009) e as mesmas características para o material em estudo.

Quadro 5 – Solo para aterro: comparação de resultados com o requerido pelo CE da EP (EP, 2009)

Parâmetros	Requerido pelo CE da EP (EP, 2009)	Resultados obtidos	Análise
Material retido no peneiro 19 mm ASTM (LNEC, 1966a)	$\leq 30\%$	$>30\%$	Não verifica
Classificação unificada (ASTM, 2001)	De acordo com quadro 1 do CE da EP (EP, 2009)	GW-Cascalho bem graduado	Verifica em todos os locais do aterro
Classificação para fins rodoviários (LNEC, 1970b)	Pertencente aos grupos A-1, A-2 e A-3	A-1-a (0)	Verifica para a parte superior dos aterros

4.2.2. Materiais rochosos (enrocamentos)

No quadro 6 apresentam-se as características a respeitar pelos materiais rochosos a utilizar em aterro segundo o Caderno de Encargos Tipo Obra da Estradas de Portugal (EP, 2009) e as mesmas características para o material em estudo.

O Caderno de Encargos Tipo Obra da Estradas de Portugal (EP, 2009) 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 (IRSM, 1981) e (Monteiro, B. e Delgado Rodrigues, J., 1994).

Para o material em estudo obteve-se um Índice de Desgaste em Meio Húmido para o 2º ciclo, Id2 (%), de 98 %, podendo, assim, classificar-se, segundo Gamble (Gamble, 1971), como material de durabilidade alta.

Quadro 6 – Materiais rochosos para aterro: comparação de resultados com o requerido pelo CE da EP (EP, 2009)

Parâmetros	Requerido pelo CE da EP (EP, 2009)	Resultados obtidos	Análise
Desgaste na máquina de Los Angeles (LNEC, 1970a)	<45%	42%	Verifica, rocha dura
Índice de fragmentabilidade (AFNOR, 1992b)	Não requerido, uma vez que se trata de uma rocha dura	2%	-
Material passado no peneiro 25 mm ASTM (LNEC, 1966a)	≤30%	42,60%	Não verifica
Material passado no peneiro 0,074 mm ASTM (LNEC, 1966a)	≤12%	4,80%	Verifica
Índice de lamelação (BSI, 1990)	<30%	30%	Não verifica
Índice de alongamento (BSI, 1989)	<30%	41%	Não verifica

4.2.3. Materiais do tipo solo-enrocamento

No quadro 7 apresentam-se as características a respeitar pelos materiais do tipo solo-enrocamento a utilizar em aterro segundo o Caderno de Encargos Tipo Obra da Estradas de Portugal (EP, 2009) e as mesmas características para o material em estudo.

Quadro 7 – Materiais do tipo solo-enrocamento para aterro: comparação de resultados com o requerido pelo CE da EP (EP, 2009)

Parâmetros	Requerido pelo CE da EP (EP, 2009)	Resultados obtidos	Análise
Material retido no peneiro 19 mm ASTM (LNEC, 1966a)	>30% e <70%	65,8 %	Verifica
Material passado no peneiro 0,074 mm ASTM (LNEC, 1966a)	>12% e <40%	4,8 %	Não verifica

O Caderno de Encargos Tipo Obra da Estradas de Portugal (EP, 2009) 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 (ISRM, 1981) (Monteiro, B. e Delgado Rodrigues, J., 1994).

Para o material em estudo obteve-se um Índice de Desgaste em Meio Húmido para o 2º ciclo, Id2 (%), de 98 %, podendo, assim, classificar-se, segundo Gamble (Gamble, 1971), 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 geotécnica realizada, o material não pode ser utilizado em aterro, o que se deve à sua granulometria e forma das partículas (índice de lamelação e índice de alongamento).

4.3- Materiais para leito do pavimento

4.3.1. 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 (EP, 2009), define um fuso granulométrico, o qual 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 (IPQ, 2000a).

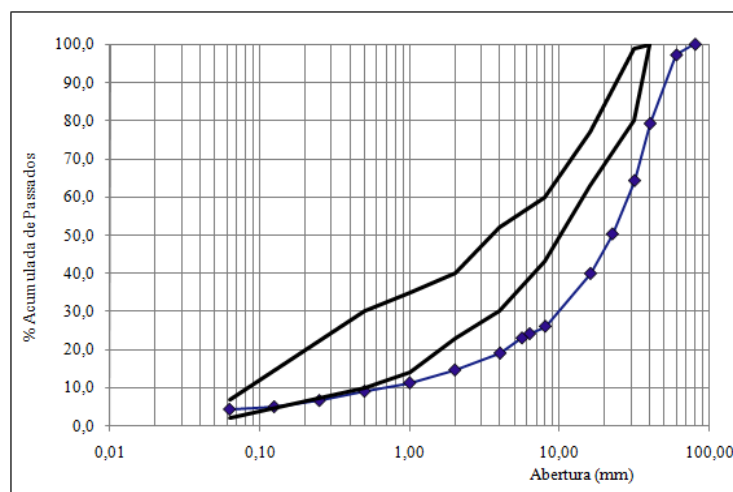


Figura 5 - Curva granulométrica do material, norma NP EN 933-1 (IPQ, 2000], comparação com fuso granulométrico previsto Caderno de Encargos Tipo Obra da Estradas de Portugal (EP, 2009)

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

Os restantes requisitos do Caderno de Encargos Tipo Obra da EP (EP, 2009) são apresentados no quadro 8. No mesmo quadro apresentam-se os resultados obtidos para o material em estudo.

Quadro 8 – Materiais granulares britados para leito de pavimento: comparação de resultados com o requerido pelo CE da EP (EP, 2009)

Parâmetros	Requerido pelo CE da EP (EP, 2009)	Resultados obtidos	Análise
Desgaste na máquina de Los Angeles (IPQ, 2002c)	>35% e ≤ 40% (LA40)	LA40	Verifica
Coefficiente micro-Deval (IPQ, 2002d)	>35% e ≤ 50% (M_{DE50})	60%	Não verifica
Forma das partículas (achatamento) (IPQ, 2000b)	>20% e ≤ 35% (F_{35})	19% (F_{20})	Verifica
Teor de finos (material que passa no peneiro de 0,063 mm) (IPQ, 2000a)	>3% e ≤ 7% (f_7)	4,3% (f_7)	Verifica
Equivalente de areia (IPQ, 2002a)	≥ 35%	56%	Verifica
Valor do azul de metileno (IPQ, 2002b)	≤ 2,50 g/100g	2,25 g/100g	Verifica

4.3.2. Materiais para leito do pavimento: Conclusões

De acordo com os resultados da caracterização já realizada, pode afirmar-se que o material em estudo não pode ser utilizado em leito do pavimento, o que se deve à sua granulometria e à resistência ao desgaste por atrito.

4.4- Camada de Sub-base Granular

4.4.1- Agregado britado de granulometria extensa

No quadro 9 apresentam-se as características a respeitar pelos agregados de granulometria extensa a utilizar em sub-base segundo o Caderno de Encargos Tipo Obra da Estradas de Portugal (EP, 2012) e as mesmas características para o material em estudo.

Quadro 9 – Agregado britado de granulometria extensa para sub-base: comparação de resultados com o requerido pelo CE da EP (EP, 2012)

Parâmetros	Requerido pelo CE da EP (EP, 2012)	Resultados obtidos	Análise
Forma do agregado grosso – Índice de achatamento (IPQ, 2000b)	FI ₃₅	FI ₂₀	Verifica
Qualidade dos finos – Valor do equivalente de areia mínimo (IPQ, 2002a), e Valor de azul de metileno, máximo (IPQ, 2002b)	Se a percentagem de passados no peneiro de 0,063 mm for inferior a 3% os finos podem ser considerados não prejudiciais. Se o teor total de finos for superior a 3%, então SE≥40. Caso SE<40, então MB≤2,5	Percentagem de passados no peneiro 0,063 mm = 4,3%. SE=56	Verifica
Resistência à fragmentação do agregado grosso, coeficiente Los Angeles (IPQ, 2002c)	45%	40%	Verifica
Resistência ao desgaste por atrito do agregado grosso, coeficiente micro-Deval (IPQ, 2002d)	M _{DE35}	M _{DE>50}	Não verifica

De acordo com os resultados da caracterização já realizada, pode afirmar-se que o material em estudo não pode ser utilizado em camada de sub-base granular, o que se deve à resistência ao desgaste por atrito do agregado grosso.

4.5- Camada de Base

4.5.1- Agregado britado de granulometria extensa

No quadro 10 apresentam-se as características a respeitar pelos agregados de granulometria extensa a utilizar em base segundo o Caderno de Encargos Tipo Obra da Estradas de Portugal (EP, 2012) e as mesmas características para o material em estudo.

Quadro 10 – Agregado britado de granulometria extensa para base: comparação de resultados com o requerido pelo CE da EP (EP, 2012)

Parâmetros	Requerido pelo CE da EP (EP, 2012)	Resultados obtidos	Análise
Forma do agregado grosso – Índice de achatamento (IPQ, 2000b)	30 %	19%	Verifica
Qualidade dos finos – Valor do equivalente de areia mínimo (IPQ, 2002a), e Valor de azul de metileno, máximo (IPQ, 2002b)	Se a percentagem de passados no peneiro de 0,063 mm for inferior a 3% os finos podem ser considerados não prejudiciais. Se o teor total de finos for superior a 3%, então SE≥50. Caso SE<50, então MB≤2,0	Percentagem de passados no peneiro 0,063 mm = 4,25%. SE=56	Verifica
Resistência à fragmentação do agregado grosso, coeficiente Los Angeles (IPQ, 2002c)	LA ₄₀	LA ₄₀	Verifica
Resistência ao desgaste por atrito do agregado grosso, coeficiente micro-Deval (IPQ, 2002d)	M _{DE25}	M _{DE>50}	Não verifica

De acordo com os resultados da caracterização já realizada, pode afirmar-se que o material em estudo não pode ser utilizado em camada de base granular, o que se deve à resistência ao desgaste por atrito do agregado grosso.

4.6- Conclusões da análise de resultados

Feita a análise da possibilidade de aplicação do material em pavimentos rodoviários, verifica-se que não pode ser utilizado nem na fundação nem nas camadas não ligadas devido à granulometria, forma das partículas e resistência ao desgaste por atrito no primeiro caso e devido à resistência ao desgaste por atrito, no caso das camadas não ligadas.

A não possibilidade de utilização do material nas camadas não ligadas de pavimentos rodoviários pelas razões apontadas, levanta algumas questões relativas à relação entre os ensaios de resistência à fragmentação e resistência ao desgaste por atrito, o primeiro é realizado em meio seco e o segundo em meio húmido, e à mais-valia da introdução no Caderno de Encargos Tipo Obra da Estradas de Portugal (EP, 2012) do segundo ensaio na caracterização destes materiais. Tanto mais que, supostamente, as camadas em causa não estarão acessíveis a água livre.

Caso neste trabalho se tivessem considerado os resultados do ensaio de resistência ao desgaste por atrito em meio seco as conclusões seriam completamente diferentes, já que sendo o M_{DE} em meio seco de 6%, concluir-se-ia que o material poderia ser utilizado nas camadas granulares de pavimentos rodoviários não podendo ser na fundação, apenas devido à granulometria e à forma das partículas.

5. CONCLUSÕES FINAIS

No trabalho apresentado procedeu-se à caracterização geotécnica de um material xistoso, britado, proveniente das escombrelas de uma das pedreiras do denominado núcleo de pedreiras do Poio, Vila Nova de Foz Côa, com vista à sua utilização em pavimentos rodoviários, fundação e camadas não ligadas, tendo como objetivo contribuir para o aproveitamento deste tipo de material e sucessivamente para a redução do impacto ambiental na zona envolvente das pedreiras.

O número de ensaios realizado e o facto de ter havido o cuidado de realizar dois provetes por ensaio, os quais, em alguns casos, foram realizados por diferentes normas, foi entendido como sendo suficiente para colmatar as limitações associadas ao facto de o trabalho ter sido desenvolvido com base na caracterização de uma única amostra. Pelo que, apesar daquelas limitações, se consideram válidas as conclusões que de seguida se apresentam.

Analisando os resultados pode concluir-se que o material em estudo é não plástico e, segundo o Guia Técnico para a Construção de Aterros e Leito do Pavimento (LCPC/SETRA, 1992, ref. por Luzia, 2008) pode mesmo considerar-se que os finos são insensíveis à água, de acordo com os valores de adsorção de azul de metileno obtidos.

No ensaio de compactação *Proctor* modificado, para um teor em água ótimo de 7,6 % obteve-se um peso específico seco máximo de 13,62 kN/m³, sendo que este valor, abaixo do habitual para este tipo de materiais, se fica a dever ao facto de o material ter uma percentagem de retidos no peneiro de 19 mm superior a 20%, o que levou a uma deficiente compactação do mesmo.

No que diz respeito ao desgaste em meio húmido, obteve-se um índice de desgaste após o 2º ciclo, Id₂ (%), de 98 %, podendo o material ser classificado, segundo Gamble (Gamble, 1971), como tendo durabilidade alta.

Analisando os resultados à luz do Caderno de Encargos Tipo Obra da Estradas de Portugal (EP, 2009), com vista à aplicação do material na fundação de pavimentos rodoviários, verificou-se que o mesmo não poderia ser utilizado em aterro devido à sua granulometria e forma das partículas (índice de lamelação e índice de alongamento).

Verificou-se também que o material não poderia ser utilizado em leito do pavimento devido à granulometria e à resistência ao desgaste por atrito.

Feita a análise para aplicação do material nas camadas não ligadas de pavimentos rodoviários, Caderno de Encargos Tipo Obra da Estradas de Portugal (EP, 2012), verificou-se que o mesmo não poderia ser utilizado em sub-base devido à resistência ao desgaste por atrito.

Relativamente à sua utilização em camada de base verificou-se que não pode ser utilizado devido à resistência ao desgaste por atrito.

Verifica-se, assim, que o material não pode ser utilizado nem na fundação nem nas camadas não ligadas de pavimentos rodoviários devido à granulometria, forma das partículas e resistência ao desgaste por atrito no primeiro caso e devido à resistência ao desgaste por atrito, no caso das camadas não ligadas.

No entanto, caso neste trabalho se tivessem considerado os resultados do ensaio de resistência ao desgaste por atrito em meio seco as conclusões seriam completamente diferentes, já que sendo o M_{DE} em meio seco de 6%, concluir-se-ia que o material poderia ser utilizado nas camadas granulares de pavimentos rodoviários não o podendo ser na fundação, apenas devido à granulometria e à forma das partículas.

Por fim, pode afirmar-se, e tendo em conta as razões apontadas para a não possibilidade de aplicação do material na fundação de pavimentos rodoviários, que o mesmo requer uma britagem mais adequada ou a correção da curva granulométrica por mistura com outros materiais, por forma a aproximar a granulometria do fuso granulométrico requerido.

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.

REFERÊNCIAS

- AFNOR (1990). Granulats. Essai au bleu de méthylène. Méthode à la tache. NF P 18-592, Association Française de Normalisation, France.
- AFNOR (1992a). Sols: Reconnaissance et Essais. Coefficient de Dégradabilité des matériaux Rocheux. NF P 94-067, Association Française de Normalisation, France.
- AFNOR (1992b). Sols: Reconnaissance et Essais. Coefficient de Fragmentabilité des matériaux Rocheux. NF P 94-066, Association Française de Normalisation, 1992.
- ASTM (2001). 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.
- BSI (1989). Testing aggregates. Methods for determination of particle shape-Flakiness index. BS 812-105.1. British Standards Institution, London.
- BSI (1990). Testing aggregates. Methods for determination of particle shape-Elongation index of coarse aggregate. BS 812-105.2. British Standards Institution, London.
- EP (2009). Caderno de Encargos Tipo Obra, Cap. 14.01-Terraplenagem Características dos Materiais. Estradas de Portugal, S. A., Lisboa.
- EP (2012). "Caderno de encargos tipo obra. 14.03 - Pavimentos. Características dos materiais." Estradas de Portugal, S.A., Lisboa.
- Gamble, J. C. (1971). Durability – Plasticity classification of shale and other argillaceous rocks. Phd. Thesis, University of Illinois, USA.
- IGPAI (1969). Determinação dos Limites de Consistência. NP-143, Inspeção Geral dos Produtos Agrícolas e Industriais, Lisboa.
- IPQ (2005). Agregados para materiais não ligados ou tratados com ligantes hidráulicos utilizados em trabalhos de engenharia civil e na construção rodoviária. NP EN 13242, Instituto Português da Qualidade, Lisboa.
- IPQ (2000a). Ensaios das propriedades geométricas dos agregados. Parte 1: Análise granulométrica. Método de peneiração. NP EN 933-1, Instituto Português da Qualidade, Lisboa.
- IPQ (2000b). Ensaios das propriedades geométricas dos agregados. Parte 3: Determinação da forma das partículas – Índice de achatamento. NP EN 933-3, Instituto Português da Qualidade, Lisboa.
- IPQ (2002a). Ensaios das propriedades geométricas dos agregados. Parte 8: Determinação do Teor de finos. Ensaio do Equivalente de Areia. NP EN 933-8, Instituto Português da Qualidade, Lisboa.
- IPQ (2002b). Ensaios 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.

- IPQ (2002c). Ensaio das propriedades mecânicas e físicas dos agregados. Parte 2: Métodos para a determinação da resistência à fragmentação. NP EN 1097-2, Instituto Português da Qualidade, Lisboa.
- IPQ (2002d). Ensaio das propriedades mecânicas e físicas dos agregados. Parte 1: Determinação da resistência ao desgaste [micro-Deval]. NP EN 1097-1, Instituto Português da Qualidade, Lisboa.
- ISRM (1981). Suggested Method for Determination of the Slake – Durability Index”. Rock Characterization Testing & Monitoring. ISRM Suggested Methods. Ed. E.T. Brown, Pergamon Press.
- LNEC (1966a). Análise Granulométrica. E 196, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.
- LNEC (1966b). Ensaio de Compactação. E 197, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.
- LNEC (1967). Ensaio de Equivalente de Areia. E 199 Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.
- LNEC (1970a). Ensaio de Desgaste pela Máquina de Los Angeles. E 237, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.
- LNEC (1970b). Classificação para Fins Rodoviários. E 240, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.
- Luzia, R.C. (2008). Camadas não Ligadas em Pavimentos Rodoviários: Estudo do Comportamento. Livraria Almedina, Coimbra.
- Monteiro, B. e Delgado Rodrigues, J. (1994). Método sugerido para a determinação do ensaio de desgaste em meio húmido (Slake - Durability Test). Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.