

# **AGREGADOS APLICÁVEIS EM INFRAESTRUTURAS RODOVIÁRIAS SEGUNDO A NORMALIZAÇÃO EUROPEIA**

## **AGREGATES TO BE USED IN HIGHWAYS INFRASTRUCTURES ACCORDING TO EUROPEAN NORMALIZATION**

Matos, Lina, Estagiária do *Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, Portugal*,  
*lpmatos@lnec.pt*

Jeremias, Filipe Telmo, *Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, Portugal*,  
*ftelmo@lnec.pt*

Freire, Ana Cristina, *Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, Portugal*,  
*acfreire@lnec.pt*

### **RESUMO**

No presente trabalho procede-se ao enquadramento dos agregados como materiais de construção, aborda-se a panorâmica da situação da exploração dos agregados em Portugal Continental, bem como a problemática associada aos novos procedimentos laboratoriais decorrentes da aplicação da nova normalização ao estudo e caracterização de agregados.

Para a realização do estudo laboratorial seleccionaram-se vários tipos litológicos representativos da geologia do país, aplicando-se alguns dos novos procedimentos laboratoriais definidos pela nova normalização. Nesta comunicação apresentam-se alguns dos resultados obtidos, tendo em conta as características litológicas das amostras em análise, procurando-se que os valores determinados possam constituir um primeiro passo para o estabelecimento de parâmetros de referência, a utilizar em documentos de consulta associados à construção de infra-estruturas rodoviárias.

### **ABSTRACT**

An outlined approach of the aggregates as construction material, and the aggregates exploration in Portugal (mainland), as well as the role of the new laboratorial procedures concerning the application of the new standardization tests in order to new study and characterize aggregates, were present in this paper.

To carried out laboratorial study, few lithological types, representative of the country geology were selected. The new laboratorial procedures, defined by the new standardization were applied to the test carried out. The paper discusses some of the results that were obtained, taking into count the lithological characteristics of the samples studied. These results consists of the first approach in order to defined standard parameters suitable to be used in trend documents associated to the construction of highways infrastructures.

## **1. ENQUADRAMENTO DOS AGREGADOS COMO MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO**

Os agregados são materiais granulares, geralmente inertes, sem forma ou volume definido, com dimensões adequadas que permitam a sua utilização na construção civil, nomeadamente no fabrico de misturas betuminosas, e na aplicação em camadas granulares não ligadas, em argamassas e em betão. São imprescindíveis na construção de todas as infra-estruturas

necessárias à nossa sociedade, pelo que o seu consumo *per capita* é um factor que traduz de forma muito directa o estado de desenvolvimento económico da sociedade [1]. Os agregados podem ter diferentes origens, designadamente:

- Naturais – agregados de origem mineral que se encontram na natureza sob a forma definitiva de utilização, podendo estar sujeitos, apenas a algum processamento mecânico; são o tipo de agregados mais comuns, sendo exemplo as areias, as cascalheiras e as rochas britadas;
- Artificiais – agregados de origem mineral, resultantes de um processo industrial que compreende algumas modificações, designadamente térmicas, são subprodutos ou resíduos de outras actividades industriais, tais como escórias de alto-forno, argila-expandida, etc.
- Reciclados – agregados resultantes do processamento de matéria-prima anteriormente utilizada noutras construções; estes materiais são cada vez mais utilizados devido às dificuldades que actualmente se colocam à actividade extractiva; devem também ser considerados os agregados que resultam de resíduos da demolição de edifícios, incluindo o betão, assim como os resultantes da reparação de rodovias.

O estudo laboratorial realizado envolveu unicamente agregados naturais provenientes de pedreiras portuguesas que exploram alguns dos tipos litológicos considerados representativos dos materiais naturais mais utilizados no país.

## 2. SITUAÇÃO ACTUAL DA EXPLORAÇÃO DE AGREGADOS EM PORTUGAL

Em Portugal o grande consumo de agregados faz-se à custa da britagem de rochas carbonatadas (maior volume de produção) e de rochas graníticas (maior valor de produção).

No Quadro 1 sintetiza-se a informação referente aos volumes e valores da exploração de agregados nas diferentes regiões do país [1]. Ao nível de volume de produção é a Região de Lisboa e Vale do Tejo a que apresenta os valores mais elevados, no entanto, é a Região Norte que mostra uma melhor relação entre os volumes extraídos e os valores de produção. Por outro lado, a região do Alentejo tem o volume de produção mais reduzido, enquanto que a Região do Algarve apresenta o menor valor de produção.

Quadro 1 – Síntese da produção global de agregados em Portugal Continental.

<b>Produção Global</b>	<b>Volume (milhares de toneladas)</b>	<b>Valor (milhares de Euros)</b>
<i>Região Norte</i>	16335	<b>101381</b>
<i>Região Centro</i>	24123	68067
<i>Região de Lisboa e Vale do Tejo</i>	<b>33974</b>	101306
<i>Região do Alentejo</i>	4265	21528
<i>Região do Algarve</i>	5457	18046
<b>Total</b>	<b>83998</b>	<b>310542</b>

## 3. NORMAS EUROPEIAS PARA ENSAIOS EM AGREGADOS

As normas de ensaio para agregados estão organizadas em 5 grupos distintos; referindo-se cada um destes grupos aos ensaios seleccionados para a caracterização de uma determinada propriedade. Assim, cada grupo de normas é constituído por diferentes partes, correspondendo cada uma delas a um ensaio específico.

### **Ensaio para a determinação das propriedades gerais dos agregados (EN 932)**

O primeiro grupo é constituído por normas que especificam os métodos de apoio à caracterização dos agregados, nomeadamente os métodos de recolha e preparação de amostras, bem como de descrição petrográfica da rocha utilizada como agregado. Estão ainda incluídas neste grupo duas normas que se relacionam com o controlo metroológico dos equipamentos utilizados e com a fiabilidade dos métodos de ensaio.

### **Ensaio das propriedades geométricas dos agregados (EN 933)**

O segundo grupo de normas de ensaio diz respeito aos métodos de determinação das propriedades geométricas dos agregados. Estão incluídos neste grupo os parâmetros que avaliam o teor de finos dos agregados, nomeadamente o Ensaio de Equivalente de Areia e o Ensaio de Azul de Metileno. Os Índices de Lamelação e de Alongamento, apropriados para a caracterização das propriedades geométricas dos agregados não constam deste grupo de normas, podendo os aspectos avaliados por aqueles parâmetros serem obtidos através da determinação do Índice de Achatamento (Parte 3) e do Índice de Forma, (Parte 4).

### **Ensaio das propriedades mecânicas e físicas dos agregados (EN 1097)**

No terceiro grupo apresentam-se as normas de ensaio para a determinação das propriedades mecânicas e físicas dos agregados. Foram incluídos neste grupo alguns métodos de ensaios para a avaliação da resistência dos materiais, designadamente, o ensaio para determinação da resistência ao desgaste (micro-Deval) e o ensaio de desgaste pelo método de Los Angeles.

### **Ensaio das propriedades térmicas e de meteorização dos agregados (EN 1367)**

O quarto grupo reúne os ensaios para a determinação das propriedades térmicas e de meteorização. Estes ensaios têm uma utilização restrita em Portugal, verificando-se que a sua aplicabilidade se justifica apenas em casos muito específicos.

### **Ensaio das propriedades químicas dos agregados (EN 1744)**

O quinto grupo de normas engloba os métodos de ensaio preconizados para a determinação das propriedades químicas dos agregados. A execução destes métodos justifica-se predominantemente em aplicações no âmbito dos betões e na avaliação da aptidão de agregados reciclados.

## **4. ESTUDO EXPERIMENTAL**

O estudo experimental realizado compreendeu uma selecção de diversos litotipos (granito, calcário, gnaiss e basalto), procedendo-se à sua caracterização laboratorial de acordo com a normativa europeia na perspectiva da aplicação destes agregados em infra-estruturas rodoviárias. Procurou-se seleccionar um conjunto de agregados com características geológicas diversificadas e consideradas representativas dos materiais naturais mais utilizados em Portugal. Assim, foram seleccionados três tipos de agregados constituídos por rochas distintas visando a identificação das propriedades com relevância para cada tipo de produto.

Durante o período de trabalho, decorreu um estudo no LNEC, (Departamento de Transportes) solicitado pela EP – Estradas de Portugal, E.P.E. que teve como objectivo efectuar uma avaliação das condições de utilização de um conjunto de seis normas de ensaio Europeias, integradas no âmbito da Comissão Técnica de Normalização CT 154 – Agregados [2]. Dada a proximidade temática entre o trabalho realizado e o estudo referido, efectuou-se uma colaboração, o que permitiu utilizar os resultados experimentais obtidos no âmbito do mesmo.

## 4.1. Resultados obtidos

### 4.1.1 - Estudo petrográfico

A caracterização dos materiais rochosos utilizados como agregados é da maior importância na avaliação da sua aptidão e durabilidade. Neste sentido, os estudos petrográficos permitem a caracterização das propriedades intrínsecas dos materiais rochosos, designadamente a mineralogia dos seus constituintes [3]. No Quadro 2 apresenta-se uma síntese das características petrográficas das amostras estudadas., bem como a origem e o fornecedor dos materiais respectivos.

Quadro 2 – Resultados obtidos no estudo petrográfico

Método de ensaio	Tipos Petrográficos (origem)	Fornecedor	Composição Mineralógica	Características
NP EN 932-3 <i>Métodos e terminologia para a descrição petrográfica simplificada.</i>	<b>Granito 2</b> (Penafiel)	Mota e C. <sup>a</sup>	Quartzo ≈ 30% Feldspato Alcalino ≈ 40% Plagioclase ≈ 10% Minerais máficos ≈ 20%	Rocha <b>ligeiramente alterada</b> , substituição dos feldspatos por minerais secundários
	<b>Calcário</b> (Alenquer)		Fase de ligação essencialmente constituída por micrite; - Existência de mais de 10% de elementos figurados carbonatados; - Preenchimento do espaço poroso por sparite.	Rocha <b>sã</b> , mas mostra alguns pontos de fragilidade que resultam da sua porosidade e da presença de elementos figurados carbonatados
	<b>Gnaiss 1</b> (Stª. M. Feira)	Irmãos Cavaco	Quartzo ≈ 50% Feldspato alcalino ≈ 40% Minerais máficos ≈ 10%	Rochas <b>sãs</b>
	<b>Gnaiss 2</b> (Stª. M. Feira)		Quartzo ≈ 53% Feldspato alcalino ≈ 42% Minerais máficos ≈ 5%	
	<b>Basalto</b> (Vila. F. Xira)	Alves Ribeiro	Matriz ≈ 70% [plagioclase, augite, óxidos] Fenocristais ≈ 30% [olivina]	Rocha <b>muito pouco alterada</b> , apenas alguns cristais de olivina substituídos por serpentina

No que diz respeito ao estado de alteração, da rocha mais *sã* para a mais alterada, as amostras ordenam-se do seguinte modo: Gnaiss 1 e 2 e Calcário → Basalto → Granito 2. Na Figura 1 apresentam-se algumas microfotografias das amostras estudadas.

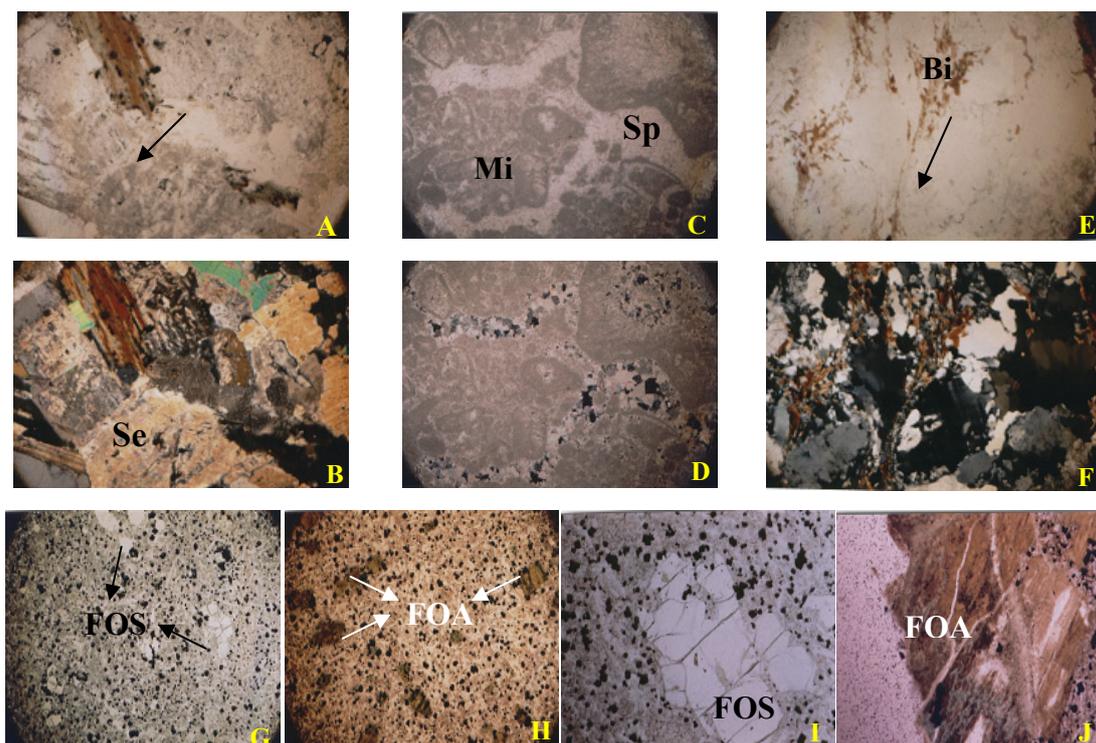


Figura 1 – **A e B** – Microfotografias referentes à amostras Granito 2, observa-se a alteração dos feldspatos. Com um aspecto “sujo” em A (nicóis paralelos) e com sericite (Se), (tipo de mica) em B, com nicóis cruzados. **C e D** – Microfotografias referentes à amostra Calcário, vista geral da lâmina, veios de sparite (Sp) no seio de uma matriz essencialmente micritica (Mi), nicóis paralelos e cruzados, respectivamente. **E e F** – Vista geral da lâmina da amostra Gnaiss 1, onde se observa a orientação preferencial dos cristais de biotite (Bi), com nicóis paralelos e cruzados, respectivamente **G, H, I e J** – Microfotografias referentes à amostra Basalto, onde se observa a homogeneidade da amostra relativamente ao seu estado de alteração que se torna evidente no fenocristais de olivina, uns encontram-se sãos (FOS – fenocristais de olivina sãos) mas outros apresentam-se muito alterados (FOA – fenocristais de olivina alterados).

#### 4.1.2 - Análise Granulométrica

No Quadro 3 apresentam-se as granulometrias das amostras submetidas a ensaio de acordo com a norma europeia EN 933-1.

Da análise do Quadro 3 verifica-se que amostras não têm uma distribuição uniforme ao longo das diferentes fracções granulométricas consideradas reflectindo assim as diferentes operações de processamento a que foram sujeitas.

Assim, a amostra Granito 2 é constituída predominantemente por agregados com dimensões compreendidas entre os 4,0 mm e os 16,0 mm, com uma percentagem de finos da ordem dos 0,3% (a mais baixa das três amostras estudadas). A amostra Calcário é constituída essencialmente por material com dimensões compreendidas entre os 63,0 mm e os 16,0 mm, (96,8%), com uma quantidade de finos da ordem dos 0,9% (a mais alta das três amostras). A amostra, Gnaiss 2, é principalmente constituída por agregados com dimensões compreendidas entre os 8,0 mm e os 16,0 mm (98,4%), com uma percentagem de finos da ordem dos 0,7%.

Quadro 3 – Resultados obtidos referentes ao ensaio da análise granulométrica

Tipos Petrog.	Dimensão d/D* (mm)	Dimensão das aberturas dos peneiros (mm)											
		63	31,5	16,0	8,0	4,0	2,0	1,0	0,5	0,250	0,125	0,063	Fundo (%)
		% Cumulativa do material passado											
Granito 2	6/14	100	100	98,5	12,2	89,6	99,9	99,9	99,9	99,9	99,9	99,9	0,3
Calcário	20/40	100	88,1	14,9	98,3	99,8	99,9	99,9	99,9	99,9	99,9	99,9	0,9
Gnaisse 2	8/20	100	100	99,7	1,5	99,6	100	100	99,9	99,9	99,9	99,8	0,7

\* Os agregados são identificados como d/D de acordo com as respectivas dimensões nominais mínima (d) e máxima.

#### 4.1.3 - Índice de Achatamento

No Quadro 4 apresentam-se os resultados obtidos para o Índice de Achatamento (FI) determinados para as amostras Granito 2, Calcário e Gnaisse 2. Da análise dos resultados verifica-se que a amostra de Calcário é a que apresenta o valor de FI mais elevado, enquanto que para as amostras Granito 2 e Gnaisse 2, se obtiveram valores muito próximos e substancialmente mais baixos do que o da amostra Calcário.

A forma e textura superficial das partículas de agregados têm grande influência no comportamento das misturas betuminosas, sendo a sua compactação dificultada com a presença de partículas de forma achatada e otimizada quando as partículas exibem formas cúbicas.

Quadro 4 – Resultados obtidos referentes ao ensaio do índice de achatamento

Método de ensaio	Tipos Petrográficos	Resultados	
NP EN 933-4 <i>Determinação da forma das partículas – Índice de achatamento</i>	Granito 2	FI (%)	4
	Calcário		9
	Gnaisse 2		3

#### 4.1.4 - Determinação do Teor em Finos

A avaliação do teor em finos das amostras em estudo foi realizada com base nos ensaios do equivalente de areia e do azul de metileno, apresentando-se os resultados obtidos no Quadro 5.

Os resultados obtidos mostram que a amostra Calcário é constituída por uma percentagem de argila superior às das amostras Granito 2 e Gnaisse 2 que deverão conter teores em argila relativamente semelhantes.

Quadro 5 – Resultados obtidos referentes aos ensaios do teor em finos.

Método de ensaio	Tipos Petrográficos	Resultados	
NP EN 933-8 <i>Determinação do teor de finos – Ensaio do equivalente de areia</i>	Granito 2	SE (%)	64
	Calcário		39
	Gnaisse 2		59
NP EN 933-9 <i>Determinação do teor de finos – Ensaio do azul de metileno</i>	Granito 2	MB (g/kg)	0,7
	Calcário		1,6
	Gnaisse 2		1,2

A presença de materiais finos em excesso, tais como poeiras provenientes da britagem, siltes ou argilas na superfície dos agregados, é nociva ao bom desempenho dos agregados nas suas diversas aplicações designadamente nas misturas betuminosas, em que poderão dificultar a ligação entre o betume e os agregados. Na Figura 2 relacionam-se os valores obtidos nos dois ensaios para determinação do teor de finos, para cada uma das amostras em estudo. Da análise dos valores determinados nos dois ensaios, verifica-se que a amostra Calcário é a que apresenta o valor mais elevado de azul de metileno, sendo este comportamento concordante com o obtido no ensaio do equivalente de areia.

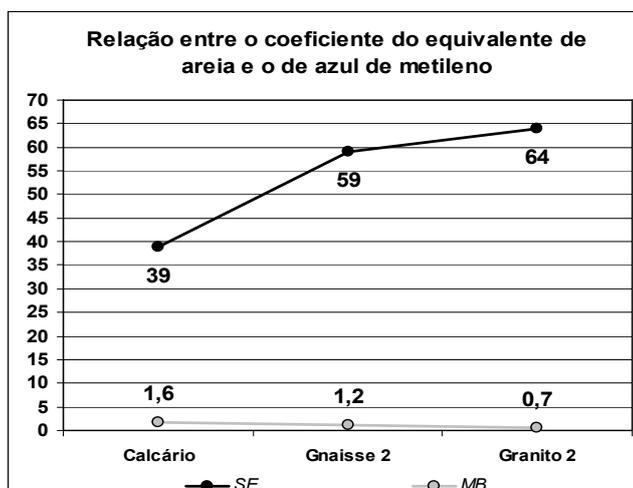


Figura 2 – Relação entre os coeficientes do equivalente de areia e do azul de metileno.

De facto um valor de azul de metileno mais elevado é indicativo de que essa amostra apresenta um maior teor em argila. Inversamente, no ensaio do equivalente de areia, para percentagens de argila crescentes, observam-se valores do equivalente de areia sucessivamente menores.

#### 4.1.5 - Determinação da Resistência dos Materiais

A avaliação da resistência dos agregados foi efectuada com base na realização dos ensaios de Los Angeles e de micro-Deval, apresentando-se os resultados obtidos no Quadro 6.

Quadro 6 – Resultados obtidos referentes aos ensaios da resistência dos materiais.

Método de ensaio	Tipos Petrográficos	Resultados	
NP EN 1097-1 <i>Determinação da Resistência ao Desgaste</i>	Granito 2	MDE (%)	12
	Calcário		33
	Gnaisse 2		7
NP EN 1097-2 <i>Método de determinação da resistência à fragmentação.</i>	Granito 2	LA (%)	32
	Calcário		34
	Gnaisse 2		20

Da análise dos valores obtidos nos ensaios de resistência Los Angeles e micro-Deval, verifica-se que há uma concordância entre os resultados obtidos nos dois tipos de ensaio, sendo as amostras discriminadas segundo a mesma sequência. A amostra designada por Calcário apresentou um comportamento distinto nos dois ensaios. Esta amostra apresentou valores de coeficiente de Los Angeles próximos dos obtidos para as amostras de composição quartzo-feldspática, (designadamente da amostra Granito 2), enquanto que os valores de desgaste registados são muito elevados quando comparados com os determinados para as outras amostras.

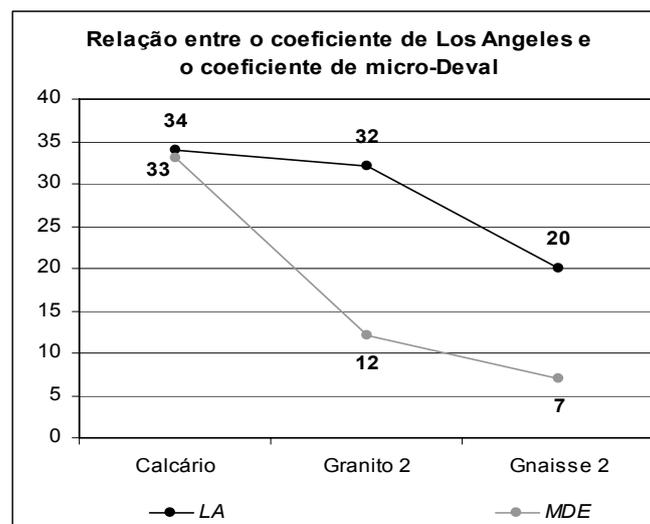


Figura 3 – Relação entre os coeficientes de Los Angeles e de micro-Deval.

#### 4.1.6 - Determinação da Massa Volúmica

A determinação da massa volúmica dos agregados foi determinada com base em dois tipos de ensaio seleccionados em função da dimensão das partículas constituintes da amostra em causa. Desta forma para partículas granulares com dimensões compreendidas entre 63mm e 31,5mm, utilizou-se o método descrito pela NP EN 1097-6, enquanto que para a caracterização de fileres se adoptou, o método do picnómetro especificado na NP EN 1097-7. No Quadro 7 apresentam-se os resultados obtidos.

Quadro 7 – Resultados obtidos referentes aos ensaios da massa volúmica.

Método de ensaio	Tipos Petrográficos (origem)	Resultados	
NP EN 1097-6 <i>Determinação da massa volúmica e da absorção de água.</i>	Granito 2	$\rho_a$	2,66
		$\rho_{rd}$	2,64
		$\rho_{ssd}$	2,63
		$WA_{24}$	0,4
	Calcário	$\rho_a$	2,68
		$\rho_{rd}$	2,63
		$\rho_{ssd}$	2,67
		$WA_{24}$	0,7
	Gnaisse 2	$\rho_a$	2,57
		$\rho_{rd}$	2,55
		$\rho_{ssd}$	2,54
		$WA_{24}$	0,3
NP EN 1097-7 <i>Determinação da massa volúmica do filer. Método do picnómetro</i>	Granito 2	$\rho_f$	2,63
	Calcário		2,72
	Gnaisse 2		2,47

Nota:  $\rho_a$  – Massa volúmica do material impermeável do agregado;  $\rho_{rd}$  – Massa volúmica do agregado seco em estufa;  $\rho_{ssd}$  – Massa volúmica das partículas saturadas com superfície seca;  $WA_{24}$  – Absorção de água após imersão durante 24 h.

Da análise do Quadro 7 verifica-se que a amostra Calcário apresenta o valor mais elevado, o que provavelmente poderá ser devido ao facto desta amostra ser composta essencialmente por calcite, que tem uma massa volúmica superior às do quartzo e feldspato, principais constituintes das amostras Granito 2 e Gnaisse 2. No que diz respeito às amostras de composição quartzo-feldspática as diferenças verificadas nos valores da massa volúmica, provavelmente também se explicam com base na composição mineralógica destas rochas. Os valores de massa volúmica mais elevados dos minerais máficos relativamente aos restantes constituintes principais destas rochas, quartzo e feldspato, explicam que a sua ocorrência em maior percentagem determine valores de massa volúmica da rocha superiores, sendo esta a situação observada nas amostras Granito 2 e Gnaisse 2.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Existem numerosas normas de ensaio aplicáveis aos agregados. No entanto, dado que Portugal se insere no espaço europeu, onde foi determinada a necessidade de se proceder à homogeneização dos métodos de ensaio de agregados e de critérios de aceitação/rejeição dos materiais, é necessário, ainda que com algum esforço, proceder ao desenvolvimento e implementação dos novos métodos de ensaio. Assim, este esforço deve-se traduzir num estudo cuidadoso e abrangente dos novos procedimentos de ensaio de modo a permitir a sua aplicação a toda a comunidade.

Neste trabalho apresentaram-se alguns resultados obtidos no âmbito de um estudo realizado com vista à aplicação de métodos de ensaio especificados em normas europeias de agregados.

Foram realizados diversos ensaios laboratoriais sobre diferentes tipos litológicos representativos da geologia do país, aplicando-se alguns dos novos procedimentos laboratoriais definidos pela nova normalização europeia aplicável a materiais a utilizar em infra-estruturas rodoviárias.

Os resultados obtidos constituem uma primeira gama de valores de algumas das características físicas a especificar para os tipos litológicos de agregados mais comuns em Portugal. A caracterização de um maior número de amostras permitirá estabelecer intervalos de valores das propriedades ensaiadas, com significado estatístico, possibilitando a sua adoção generalizada em documentos de consulta.

## **6. REFERÊNCIAS**

[1] - **Carvalho, J. (2003)** – *“Panorâmica da exploração de agregados em Portugal”*, In: *Seminário sobre Agregados*, Lisboa.

[2] - **Freire, A. C.; Antunes, M. L. (2005)** – *“Aplicação de métodos de ensaio especificados em normas europeias de agregados”*, Relatório LNEC, Procº 0702/01/15834.

[3] - **Matos, L.; Jeremias, F. T. (2005)** – *Estudo Petrográfico de Rochas para Agregados”*, Relatório n.º 246/05 LNEC, Lisboa.