



Instituto Superior de Engenharia do Porto

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOTÉCNICA

Estudo da susceptibilidade ao polimento dos agregados para camadas de desgaste de pavimentos rodoviários

Pedro Miguel Oliveira Fontes



Instituto Superior de Engenharia do Porto

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOTÉCNICA

Estudo da susceptibilidade ao polimento dos agregados para camadas de desgaste de pavimentos rodoviários

Pedro Miguel Oliveira Fontes

Nº Mecnográfico 1020489

Dissertação apresentada ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Geotécnica e Geoambiente, realizada sob a orientação do Engº Adriano Teixeira, Equiparado a Professor Adjunto Departamento de Engenharia Geotécnica do ISEP e do Engº António Vieira, Assistente do Departamento de Engenharia Geotécnica do ISEP.

Júri

Presidente

Doutor José Augusto de Abreu Peixoto Fernandes
Equiparado a Professor Adjunto, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Mestre Adriano Manuel da Silva Teixeira
Equiparado a Professor Adjunto, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Engenheiro António Rodrigues Vieira
Equiparado a Assistente, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Mestre Fernando Varela Matias Castelo Branco
Professor Auxiliar Convocado, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

Mestre António Vega y de la Fuente
Professor Adjunto, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Agradecimentos

São devidos agradecimentos ao meu orientador, Eng.º Adriano Teixeira, pelo encaminhamento para o tema abordado neste trabalho, pela excelente orientação, disponibilidade e acompanhamento que sempre prestou para que se tornasse possível a elaboração e conclusão deste trabalho.

Ao meu co-orientador Eng.º António Vieira igualmente pela pronta disponibilidade, que com a sua vasta experiência pôde esclarecer muitos dos temas aqui abordados.

À Mota-Engil Agregados pela disponibilização das amostras recolhidas para a elaboração deste trabalho e ao Eng.º José Pedro Campos pelo esclarecimento de dúvidas nessa matéria.

Ao CICCOPN pela disponibilização dos laboratórios e equipamentos necessárias para a realização deste trabalho assim como a todos os membros do Laboratório de Geotecnia e Materiais de Construção pela pronta disponibilidade e ajuda que sempre prestaram.

Aos professores e engenheiros do Departamento de Engenharia Geotécnica do ISEP pelo apoio e conhecimentos transmitidos ao longo destes anos.

Aos meus colegas e amigos, de quem sempre recebi incentivo e amizade.

À minha família, em especial aos meus pais e irmão, que sempre me apoiaram e incentivaram, permitindo a conclusão do curso e elaboração deste trabalho.

Palavras-chave

Agregados, Polimento, Microtextura, Pavimentos Rodoviários

Resumo

As camadas de desgaste dos pavimentos rodoviários são constituídas maioritariamente por materiais pétreos e a aptidão do agregado ao polimento é um factor de primordial importância no comportamento desta camada, quanto à aderência ao pneumático dos veículos.

Neste trabalho é efectuado um estudo dos resultados dos ensaios de polimento em agregados através do ensaio de coeficiente de polimento acelerado (PSV) e tenta estabelecer uma relação, procurando valores de tendência entre os resultados obtidos nesse mesmo ensaio de polimento e a origem e características geológicas dos agregados. O objectivo é conhecer antecipadamente um valor aproximado do PSV com base na classificação geológica e origem de um determinado agregado.

Numa segunda fase do trabalho é efectuado um estudo para uma tentativa de melhoramento do comportamento do agregado ao polimento, partindo do aperfeiçoamento dos índices de forma e de achatamento dos agregados, assim como pelo acréscimo da percentagem de faces fragmentadas.

Keywords

Aggregates, Polishing, Microtexture, Road Pavements

Abstract

The surface layers in road pavements are mainly composed of stone materials, and the aggregate's aptitude to polishing is a crucial factor when it comes to each layer's behaviour in terms of adherence of the vehicles' tyres.

This paper deals with a study of the results of polishing tests on aggregates through the Polishing Stone Value (PSV) and it tries to determine a relationship, looking for trend values between the results obtained from this same polishing test and the aggregates' origin and geological characteristics. The goal is to get to know an approximate PSV value beforehand, based on the origin and geological classification of a given aggregate.

The second part of this paper consists of a study which attempts to improve the aggregates' behaviour in terms of polishing, both by improving the aggregates' Shape and Flakiness indexes, as well as by increasing their percentage of crushed surfaces.

Índice

INTRODUÇÃO GERAL.....	19
OBJECTIVOS.....	20
TÉCNICAS E METODOLOGIAS	21
CAPÍTULO I	23
1. AGREGADOS	24
2. CLASSIFICAÇÃO DOS AGREGADOS	25
2.1. Origem dos agregados	25
2.2. Classificação segundo a génese das rochas	25
2.3. Classificação segundo a massa volúmica	27
2.4. Classificação segundo a dimensão	27
3. PERFIL DA INDÚSTRIA EXTRACTIVA.....	29
4. APLICAÇÃO E COMPORTAMENTO DOS AGREGADOS	31
4.1. Agregados para misturas betuminosas.....	32
4.1.1. Dimensão do agregado	32
4.1.2. Granulometria	33
4.1.3. Resistência.....	36
4.1.4. Forma	39
4.1.5. Limpeza	40
4.1.6. Afinidade ao betume.....	41
4.1.7. Frequências mínimas dos ensaios.....	42
4.1.8. Sistemas de atestação da conformidade de agregados e fíleres.....	43
4.1.9. Declaração de conformidade CE	44
4.1.10. Marcação CE e etiquetagem	46
4.2. Propriedades dos agregados e comportamento das misturas betuminosas.....	47
5. TEORIA DA RESISTÊNCIA AO ESCORREGAMENTO.....	48
6. COMPORTAMENTO DO AGREGADO AO POLIMENTO.....	50

7.	MÉTODOS DE ENSAIO PARA A QUANTIFICAÇÃO DO POLIMENTO	52
7.1.	Método de ensaio por projecção	52
7.2.	Coeficiente de Polimento Acelerado.....	53
7.2.1.	Cálculo do Coeficiente de Polimento Acelerado	54
7.2.2.	Descrição do teste PSV	54
7.2.3.	Ensaio de fricção (Pêndulo Britânico).....	57
7.2.4.	Cálculos e expressão de resultados.....	58
7.3.	Outros testes de resistência ao escorregamento.....	58
7.3.1.	Correlação entre os testes de escorregamento	61
	CAPÍTULO II.....	63
1.	ESTUDO COMPARATIVO DOS RESULTADOS DO PSV E CLASSIFICAÇÃO GEOLÓGICA DOS AGREGADOS	65
1.1.	Descrição petrográfica	65
1.2.	Apresentação da descrição petrográfica e dos resultados obtidos nos ensaios PSV	68
1.3.	Análise de resultados	79
2.	RESULTADOS DO PSV COM BASE NA PROVENIÊNCIA DOS AGREGADOS.....	84
	CAPÍTULO III.....	89
1.	APERFEIÇOAMENTO DO COEFICIENTE DE POLIMENTO ACELERADO NOS AGREGADOS	91
1.1.	Influência das faces fragmentadas do agregado na microtextura	91
1.2.	Procedimento de estudo	92
1.2.1.	Localização e caracterização geológica, geomorfológica e geotécnica da proveniência das amostras recolhidas.....	92
1.3.	Método para aperfeiçoamento de forma e faces fragmentadas nos agregados	95
1.3.1.	Análise Granulométrica	98
1.3.2.	Índice de Achatamento	102
1.3.3.	Índice de Forma.....	104
1.3.4.	Resistência ao Desgaste (micro-Deval)	106
1.3.5.	Resistência à Fragmentação (Los Angeles).....	108

1.3.6. Afinidade ao Betume.....	110
1.3.7. Coeficiente de Polimento Acelerado.....	112
CAPÍTULO IV	115
1. ESTUDO ECONÓMICO	117
1.1. Custos	117
1.2. Viabilidade económica para melhoramento do coeficiente de polimento do agregado ...	117
CAPÍTULO V	121
1. CONCLUSÕES.....	123
2. BIBLIOGRAFIA	125

Índice de figuras

Figura 1 - Rochas Industriais: Estrutura do volume da produção, em 2005.	30
Figura 2 – Componentes adesiva e histerética da fricção (Choubane et al., 2004)	49
Figura 3 – Microtextura e macrotextura.....	51
Figura 4 – máquina de polimento acelerado (LGMC do CICCOPN).....	55
Figura 5 – Provetes imersos em água (LGMC do CICCOPN).....	56
Figura 6 – Medidor de fricção	57
Figura 7 – Diagrama do “SCRIM”	59
Figura 8 – camião “SCRIM”	59
Figura 9 – “Grip Tester”	60
Figura 10 – “Grip Tester” em modo de reboque.....	60
Figura 11 – Diferenças na microtextura entre agregados com minerais finos e grosseiros	80
Figura 12 – Valores médios do PSV em função da classificação geológica do agregado	81
Figura 13 – Valores médios do PSV em função do tamanho dos grãos minerais de agregados graníticos	81
Figura 14 – Valores médios do PSV no grupo dos granitos – outras características.....	82
Figura 15 - Localização dos principais centros produtores de rocha industrial.	85
Figura 16 - Coeficiente de polimento acelerado com base na proveniência dos agregados em estudo.....	86
Figura 17 – Localização da pedreira Coutada nº2.....	92
Figura 18 – Localização da pedreira da Mimosa	94
Figura 19 – sistema que efectua o retorno dos agregados – “bypass”	96
Figura 20 – Recolha de amostras de agregado 6/14. Pedreira da Mimosa - Penafiel	97
Figura 21 – Peneiros para análise granulométrica de agregados. Laboratório de Mecânica das Rochas – ISEP	98
Figura 22 - Representação gráfica da análise granulométrica de agregado 6/14 proveniente da Pedreira da Mimosa com 0% de rebitagem	99
Figura 23 - Representação gráfica da análise granulométrica de agregado 6/14 proveniente da Pedreira da Mimosa com 25% de rebitagem	99
Figura 24 - Representação gráfica da análise granulométrica de agregado 6/14 proveniente da Pedreira da Mimosa com 75% de rebitagem	99
Figura 25 - Representação gráfica da análise granulométrica de agregado 6/14 proveniente da Pedreira Coutada Nº2 com 0% de rebitagem	100
Figura 26 - Representação gráfica da análise granulométrica de agregado 6/14 proveniente da Pedreira Coutada Nº2 com 25% de rebitagem	100
Figura 27 - Representação gráfica da análise granulométrica de agregado 6/14 proveniente da Pedreira Coutada Nº2 com 75% de rebitagem	100
Figura 28 – comparação das diferentes curvas granulométricas da Pedreira da Mimosa.	101
Figura 29 - comparação das diferentes curvas granulométricas da Pedreira Coutada Nº 2.....	101
Figura 30 – Peneiros de barras. Laboratório de Mecânica das Rochas - ISEP.....	102
Figura 31 – Paquímetro. Laboratório de Mecânica das Rochas - ISEP	104
Figura 32 – Equipamento para o ensaio micro-Deval. Laboratório de Materiais de Construção - ISEP	106
Figura 33 - Equipamento de Los Angeles. Laboratório de Materiais de Construção - ISEP	108
Figura 34 – Equipamento para rolamento dos frascos (LGMC do CICCOPN).....	110
Figura 35 – Surtronic 3+	114

Índice de tabelas

Tabela 1 - produção de pedreiras por zona geográfica, em 2005.	30
Tabela 2 – Abertura dos peneiros para especificar as dimensões dos agregados.	33
Tabela 3 - Requisitos gerais para a granulometria.	34
Tabela 4 - Misturas betuminosas e fracções granulométricas correspondentes.	35
Tabela 5 – Categorias para os valores máximos do coeficiente Los Angeles	36
Tabela 6 – Categorias para os valores mínimos da resistência ao polimento.	37
Tabela 7 – Categorias para os valores máximos da resistência à abrasão.	37
Tabela 8 – Categorias para os valores máximos da resistência ao desgaste por atrito	37
Tabela 9 – Categorias para os valores máximos da resistência à abrasão provocada por pneus pitonados..	38
Tabela 10 – Categorias para os valores máximos da resistência ao gelo-degelo	38
Tabela 11 – Categorias para os valores máximos do índice de achatamento	39
Tabela 12 – Categorias para os valores máximos do índice de forma.....	39
Tabela 13 – Categorias para os valores máximos do teor de finos	40
Tabela 14 – Categorias para os valores máximos do azul de metileno (MB_r)	41
Tabela 15 – Frequência mínima dos ensaios das propriedades específicas a uma dada utilização, em misturas betuminosas.	42
Tabela 16 - Frequência mínima dos ensaios das propriedades específicas a uma dada utilização, em betão.	42
Tabela 17 – Sistema(s) de atestação da conformidade dos agregados e dos fileres para utilizações com requisitos de segurança elevados (requerendo a intervenção de uma terceira parte).	43
Tabela 18 - Sistema(s) de atestação da conformidade dos agregados e dos fileres para utilizações sem requisitos de segurança elevados (não requerendo a intervenção de uma terceira parte).	43
Tabela 19 - Propriedades dos agregados que afectam o comportamento das misturas.	47
Tabela 20 - Classificação do grau de alteração.....	66
Tabela 21 – subdivisão dos granitos.....	68
Tabela 22 - estudo dos granitos – grão fino	69
Tabela 23 - estudo dos granitos – grão fino a médio	69
Tabela 24 – estudo dos granitos – grão fino a médio (continuação)	70
Tabela 25 – estudo dos granitos – grão médio	71
Tabela 26 - estudo dos granitos – grão médio (continuação)	72
Tabela 27 - estudo dos granitos – grão médio a grosseiro.....	73
Tabela 28 - estudo dos granitos – grão grosseiro.....	73
Tabela 29 - estudo dos granitos – com tendência porfiróide.....	74
Tabela 30 - estudo dos granitos – biotíticos.....	74
Tabela 31 - estudo dos granitos – com bastante feldspato.....	75
Tabela 32 – estudo dos granitos – provetes com elevada heterogeneidade entre as partículas constituintes	75
Tabela 33 – Granitos – Valores Globais.....	76
Tabela 34 – estudo dos calcários.....	76
Tabela 35 – estudo dos basaltos	77
Tabela 36 – estudo dos mármoreos	77
Tabela 37 – estudo dos gnaisses	78
Tabela 38 - valores expectáveis do PSV relativamente às características geológicas	83
Tabela 39 - valores expectáveis do PSV relativamente às características geológicas (grupo dos granitos)....	83
Tabela 40 – Quadro resumo dos índices de achatamento das amostras provenientes da Pedreira da Mimosa	103
Tabela 41 – Quadro resumo dos índices de achatamento das amostras provenientes da Pedreira Coutada Nº2.....	103
Tabela 42 - Quadro resumo dos índices de forma das amostras provenientes da Pedreira da Mimosa.....	105
Tabela 43 - Quadro resumo dos índices de forma das amostras provenientes da Pedreira Coutada Nº2 ...	105
Tabela 44 - Quadro resumo dos valores M_{DE} das amostras provenientes da Pedreira da Mimosa.....	107
Tabela 45 - Quadro resumo dos valores M_{DE} das amostras provenientes da Pedreira Coutada Nº2	107
Tabela 46 - Quadro resumo dos valores LA das amostras provenientes da Pedreira da Mimosa	109
Tabela 47 - Quadro resumo dos valores LA das amostras provenientes da Pedreira Coutada Nº2	109

Tabela 48 - Quadro resumo dos valores de afinidade do agregado ao betume das amostras provenientes da Pedreira da Mimosa	111
Tabela 49 - Quadro resumo dos valores de afinidade do agregado ao betume das amostras provenientes da Pedreira Coutada N ^o 2	111
Tabela 50 - Quadro resumo dos valores de PSV das amostras provenientes da Pedreira da Mimosa.....	113
Tabela 51 - Quadro resumo dos valores de PSV das amostras provenientes da Pedreira Coutada N ^o 2.....	113
Tabela 52 – Custo de ensaios.....	117
Tabela 53 – Estudo económico	119
Tabela 54 – Estudo económico – comparação de preço unitário da fracção de agregado.	120

Índice de anexos

Anexo 1 – Relatórios de ensaios de análise granulométrica.....	133
Anexo 2 – Relatórios de ensaios de índice de forma	141
Anexo 3 – Relatórios de ensaios de índices de forma.....	149
Anexo 4 – Relatórios de ensaios de resistência ao desgaste (micro-Deval)	155
Anexo 5 – Relatórios de ensaios de resistência à fragmentação (Los Angeles).....	161
Anexo 6 – Relatórios de ensaios de afinidade do agregado ao betume	165
Anexo 7 – Relatórios de ensaios do coeficiente de polimento acelerado	173

Lista de abreviaturas

- D – maior dimensão do agregado
- d – menor dimensão do agregado
- FI – índice de achatamento
- SI – índice de forma
- LA – coeficiente Los Angeles
- PSV – coeficiente de polimento acelerado
- AAV – valor de abrasão do agregado
- M_{DE} – coeficiente micro-Deval
- N_A – coeficiente de abrasão nórdico
- F – categoria dos valores da resistência ao gelo-degelo
- f – categoria dos valores do teor de finos
- MB_F – categoria dos valores do azul de metileno

INTRODUÇÃO GERAL

A camada de desgaste é uma camada essencial em qualquer secção típica dos pavimentos tanto flexíveis como rígidos. Esta camada recebe directamente a acção dos veículos e destina-se essencialmente a melhorar as condições de circulação no que se refere à comodidade e segurança mas também resistir a esforços horizontais e transferências que nela actuam, contribuindo para uma maior durabilidade de toda a estrutura do pavimento.

Uma das características exigidas à camada superficial ou de desgaste dos pavimentos é a de apresentar uma boa aderência ao pneumático dos veículos. A aderência da camada superficial de um pavimento rodoviário corresponde à sua capacidade para mobilizar o atrito entre os pneus dos veículos e o pavimento. Esta característica do pavimento assume maior importância em situações de travagem, aceleração e circulação em curva. Essa aderência deve ser garantida pelos agregados e deve ser assegurada ao longo do tempo, durante a vida útil da camada.

O ensaio previsto para avaliar a maior ou menor susceptibilidade dos agregados ao polimento é o ensaio de polimento acelerado previsto na nova normalização dos agregados cujo procedimento se encontra definido na norma NP EN 1097-8:2003.

OBJECTIVOS

Neste trabalho é feita uma abordagem aos agregados quanto à sua origem, classificação, enquadramento na indústria, tipos, aplicações, comportamento e importância da microtextura dos agregados no desempenho quanto à maior ou menor resistência ao polimento.

Pretende-se com este trabalho numa primeira fase fazer o estado da arte associado ao ensaio de polimento (PSV) bem como a apresentação do ensaio. É feita uma análise aos resultados obtidos em diferentes agregados de diferentes origens geológicas procurando estabelecer valores de tendência, identificando valores espectáveis para o coeficiente de polimento acelerado com base quer na origem quer nas características geológicas dos agregados.

Numa segunda fase é estudada uma forma de melhorar os valores do PSV em agregados cujo valor se encontra abaixo do mínimo exigido pelos cadernos de encargos para camadas de desgaste dos pavimentos, de forma a atingir um determinado valor do coeficiente de polimento acelerado para uma mais nobre aplicação.

TÉCNICAS E METODOLOGIAS

O método utilizado para a descrição petrográfica simplificada dos agregados dos provetes dos ensaios de polimento é essencialmente visual, determinando a classificação da rocha. Sempre que necessário a amostra é lavada, para retirar alguma sujidade que possa ter. Cada provete é cuidadosamente inspeccionado e sempre que se justifique é utilizado um reagente na rocha, nomeadamente o ácido clorídrico diluído, para verificação dos calcários. Devida à maior quantidade de amostras de granito, a inspeção é mais pormenorizada nessa rocha, com particular incidência ao tamanho do grão mineralógico, ou outras características de relevo. O grau de alteração é igualmente verificado, embora na sua maioria e como seria de prever o grão de alteração é normalmente são a pouco alterado para agregados aplicados em camadas de desgaste de pavimentos.

Como forma de aperfeiçoamento dos parâmetros de microtextura e forma dos agregados com vista ao melhoramento do coeficiente de polimento procedeu-se à manipulação da linha de produção de uma instalação de britagem, mais propriamente com retorno do agregado em diferentes percentagens, accionando para tal os denominados “bypass”. Com este retorno o agregado é rebitado no equipamento de fragmentação (moinho cónico), com diferentes percentagens de rebitagem, melhorando assim a forma e conseqüentemente apresentando uma maior percentagem de faces fragmentadas ou seja um melhoramento do parâmetro da microtextura do agregado. Posteriormente a avaliação do polimento nos agregados é verificada através do ensaio do coeficiente de polimento acelerado.

Neste trabalho são igualmente avaliadas outras propriedades dos agregados, nomeadamente a granulometria através de análises granulométricas por peneiração húmida, forma dos agregados através dos ensaios de índices de forma e achatamento, resistência à fragmentação através do ensaio Los Angeles, resistência ao desgaste através do ensaio micro-Deval e afinidade do agregado ao betume.

CAPÍTULO I

1. AGREGADOS

Os agregados são materiais granulares utilizados na construção e em muitas outras indústrias. Até há bem pouco tempo era utilizado o termo “inerte” para definir o agregado. Este termo representava a característica de não reactividade. Contudo, as partículas de rochas que o constituem não são realmente inactivas, pois as suas propriedades físicas, térmicas e até mesmo químicas afectam o seu desempenho em determinadas aplicações.

Os agregados são muito utilizados e constituem uma matéria-prima essencial para a construção civil de estruturas residenciais, comerciais, industriais e de outras tais como estradas, pontes, aeroportos, caminhos-de-ferro e barragens.

Os agregados conferem volume e resistência mecânica ao betão, às misturas betuminosas, às bases e sub-bases de estradas, aos blocos de betão e aos estuques. No caso particular do betão e outras misturas com ligantes hidráulicos, os agregados minerais proporcionam propriedades especiais, tais como a resistência à compressão e à tracção, texturas às superfícies expostas, peso e densidade, isolamento térmico e acústico, resistência à abrasão e impermeabilidade.

São materiais duros e quase inertes, adequados para formarem por si só uma mistura estável como no caso de camadas de base e sub-base estabilizadas mecanicamente, ou pela adição de materiais ligantes, tais como o cimento, dando origem ao betão ou os betumes dando origem a misturas betuminosas. Os agregados devem obedecer a determinadas propriedades das quais se destacam:

- Qualidade - pois devem obedecer a determinadas especificações previamente definidas em termos de resistência mecânica e de durabilidade;
- Quantidade - os depósitos com grandes reservas são aqueles que devem ser procurados;
- Mercado - deverá ter a qualidade suficiente para formar um mercado;
- Características mineralógicas base - deve possuir valores de densidade, de inércia química, de resistência à compressão e à abrasão, de uniformidade composicional e de capacidade isoladora;
- Transporte - custos de transporte competitivos;
- Ambiente - os impactes de extracção, tratamento e transporte devem estar dentro dos limites impostos previstos na lei;
- Legislação - a unidade extractiva deve estar legalizada e deve ser controlada por agências governamentais.
- Marcação CE – desde 2004 passou a ser obrigatória a marcação CE dos agregados utilizados em praticamente todas as aplicações construtivas.

2. CLASSIFICAÇÃO DOS AGREGADOS

2.1. Origem dos agregados

Os agregados podem ser de origem natural, artificial ou reciclado.

Os agregados naturais são agregados de origem mineral que foram sujeitos apenas a processamento mecânico.

Os agregados artificiais são agregados de origem mineral resultante de um processo industrial compreendendo modificações térmicas ou outras.

Os agregados reciclados são agregados resultantes do processamento de materiais inorgânicos anteriormente utilizados na construção

(NP EN 13043:2004).

2.2. Classificação segundo a génese das rochas

As rochas de onde resultam os agregados de origem natural podem ser classificadas segundo a sua génese. Estas podem-se dividir por rochas endógenas onde se incluem as rochas magmáticas e as rochas metamórficas. As rochas sedimentares incluem-se nas rochas exógenas.

As rochas ígneas ou magmáticas derivam da consolidação do magma. O magma é uma massa fundida, de composição silicatada, que pode conter quantidades variáveis de gases dissolvidos e sólidos em suspensão. Formam-se por fusão de materiais da crosta ou do manto e tende a ascender até à superfície devido ao facto de a sua densidade ser menor do que a das rochas que o rodeiam. Durante a ascensão o magma arrefece e começa a cristalizar. Segundo o lugar onde solidifica, originam-se distintos tipos de jazidas de rochas ígneas que permitem classifica-las em três grandes grupos: plutónicas, filonianas e vulcânicas.

As rochas plutónicas cristalizam no interior da crosta. Como perdem calor lentamente, todos os minerais dispõem de bastante tempo para cristalizar e apresentam uma textura granular holocristalina (constituída exclusivamente por cristais) e equigranulares (todos os cristais apresentam aproximadamente o mesmo tamanho, em geral entre 2 e 10 mm).

As rochas filonianas originam-se quando o magma ascende até à superfície através de planos de debilidade das rochas circundantes (fracturas, diáclases, superfícies de estratificação, etc.) e solidifica no seu interior. A maior parte das rochas filonianas apresentam igualmente uma textura holocristalina, mas geralmente os cristais não apresentam tamanho uniforme, dado que se formam em duas etapas distintas. Parte deles ascendeu já formados no interior do magma, são de grandes dimensões e apresentam formas regulares (fenocristais); o resto do magma cristaliza

rapidamente no interior da fractura e origina cristais de pequenas dimensões (geralmente inferiores a 1 mm) que constituem a matriz. Forma-se, deste modo, uma textura porfirítica que caracteriza as rochas filonianas mais comuns: os pórfiros.

As rochas vulcânicas formam-se quando o magma chega à superfície terrestre e origina os vulcões. Apresentam unicamente texturas porfiríticas, com os fenocristais rodeados por uma matriz de grão geralmente microscópico. Frequentemente apresentam texturas de fluxo e bolhas produzidas pelo escape de gás. Os materiais que chegam sólidos á superfície terrestre (solidificam no ar antes de cair) constituem as rochas piroclásticas.

As rochas metamórficas são as que se originam por transformações mineralógicas, em estado sólido, a partir de rochas preexistentes que podem ser ígneas, sedimentares ou metamórficas. Os processos de transformação em estado sólido incluem recristalização, mudanças polimórficas e reacções entre minerais, originadas pelas variações das condições de pressão e temperatura em relação às que presidiram durante a formação das rochas iniciais. Conforme a pressão e temperatura aumentam, as mudanças mineralógicas são mais importantes, gerando-se novos minerais a partir dos antigos e aumenta progressivamente o tamanho dos cristais. Em geral, as rochas metamórficas de baixo grau são constituídas por minerais de tamanho microscópico e frequentemente apresentam uma foliação bastante distinta (xistosidade), originada pelo crescimento orientado de cristais planos, devido ao facto de a rocha estar sujeita a uma pressão. Pelo contrário, as rochas metamórficas de alto grau estão formadas por cristais de grandes dimensões (de 1 mm a vários centímetros) e possuem uma foliação menos marcada, devido à presença de minerais equidimensionais, tais como a andaluzite, granadas, feldspatos, etc.

A meteorização e a erosão produzem partículas de diversos tamanhos que são transportadas pelo gelo, pela água ou pelo ar até às zonas de mínima energia, onde se acumulam. Uma vez em repouso, os sedimentos sofrem processos de compactação, cimentação, etc., que os transformam em rochas sedimentares. Os produtos de meteorização podem ser transportados no fundo (arrasto, rolamento) ou no interior de um fluido (suspensão, dissolução, flutuação). O tipo de transporte condiciona o grupo a que pertence a rocha sedimentar que se forma. As que se originam por partículas que mantêm a sua integridade física (por exemplo, conglomerados) e as que se formam por precipitação de substâncias que se encontram dissolvidas são de origem físico-química (por exemplo, fosfatos, evaporitos e alguns carbonatos). Existe um terceiro grupo de rochas sedimentares, as biogénicas, em cuja formação intervém directamente a actividade de organismos vivos. Este grupo abarca desde as que se originam por acumulação de organismos em posição de vida (calcários recifais, etc.) ou que tenham sofrido um transporte mínimo depois da

sua morte (diatomitos), até aquelas em cuja formação intervém a precipitação de substâncias em dissolução, favorecida pela actividade orgânica (por exemplo, tufos calcários, formadas pela precipitação de CaCO_3 propiciada pela acção fotossintética de vegetais). Por último temos as rochas orgânicas que são formadas por acumulação de matéria orgânica (carvões e petróleo).

(Manual de apoio ao estudante – Geologia)

2.3. Classificação segundo a massa volúmica

Os agregados são classificados segundo a massa volúmica da seguinte forma:

(Sendo a massa volúmica a massa por unidade de volume real do agregado)

- Agregados leves – agregados de massa volúmica $<2000 \text{ kg/m}^3$

O baixo valor da massa volúmica de alguns agregados é devido a existência de vazios no próprio agregado. Estes vazios aparecem naturalmente, por exemplo, na pedra-pomes que corresponde a uma rocha vulcânica.

- Agregados com massa volúmica normal – entre 2000 a 3000 kg/m^3

Os agregados mais utilizados são os de massa volúmica normal, por exemplo os obtidos de rochas ígneas tais como granitos ou basaltos ou de rochas sedimentares mais resistentes tais como arenitos e calcários.

- Agregados pesados – agregados de massa volúmica $>3000 \text{ kg/m}^3$

São agregados pesados os materiais obtidos, por exemplo, da britagem da barite ou magnetite.

2.4. Classificação segundo a dimensão

A dimensão do agregado é a designação em termos das aberturas do peneiro inferior (d) e do superior (D), expressa como d/D .

Esta designação admite a presença de algumas partículas retidas no peneiro superior (sobretamanhos) e de algumas partículas que passam no peneiro inferior (subtamanhos). A dimensão inferior, d , pode ser zero.

Segundo a norma NP EN 13043:2004 “Agregados para misturas betuminosas e tratamentos superficiais para estradas, aeroportos e outras áreas de circulação” os agregados podem ser:

- Agregados grossos

Designação dada aos agregados de maiores dimensões em que D é menor ou igual a 45 mm e d é maior ou igual a 2 mm.

- Agregados finos

Designação dada aos agregados com partículas de menores dimensões em que D é menor ou igual a 2 mm e em que a maior parte das partículas fica retida no peneiro de 0,063 mm.

O agregado fino pode ser produzido a partir da desintegração natural da rocha ou de seixo e/ou da sua britagem, ou do tratamento de agregados artificiais.

- Agregados de granulometria extensa

Agregados que apresentam uma mistura de agregados grossos e finos.

Pode ser produzido sem separação das fracções grossas e finas ou pela mistura de agregados grossos e agregados finos.

O Filer pode ser considerado um agregado cuja maior parte passa no peneiro de 0,063 mm e que pode ser adicionado aos materiais de construção para lhes conferir certas propriedades.

Filer aditivado (de origem mineral misturado com hidróxido de cálcio)

Filer comercial (de origem mineral, produzido em separado).

(NP EN 13043:2004)

3. PERFIL DA INDÚSTRIA EXTRACTIVA

A produção de agregados tem como grandes mercados as obras públicas, entre as quais as auto-estradas, estradas, aeroportos, vias-férreas, barragens e as obras privadas tanto residenciais como não residenciais.

Uma das características mais importantes dos agregados é o seu baixo custo unitário e alto peso unitário. A sua extracção é normalmente realizada nas proximidades das áreas populacionais, procurando deste modo que o custo de produção seja inferior ao custo de transporte, pois é nas zonas mais populosas que se verifica o maior consumo. O processamento e tratamento dos agregados é geralmente simples usando operações tais como a fragmentação, moagem, lavagem e classificação. Verifica-se que quanto mais complexo for o processamento, maior é o custo de produção.

Os agregados normalmente de maior consumo são o calcário, o granito e o quartzito. O calcário destaca-se pelo facto de geralmente permitir uma maior facilidade de desmonte, mas também pelo facto de conter pouca sílica o que reduz o desgaste dos equipamentos de britagem. As rochas mais abrasivas tais como os quartzitos provocam um desgaste mais elevado dos moinhos e telas transportadoras. Uma produção de calcário origina geralmente uma exploração mais económica pelo menor desgaste dos equipamentos de britagem, colocando a matéria-prima no mercado a preços mais competitivos.

O valor global dos agregados é bastante reduzido, apesar de ser de enorme importância para a economia nacional e do aumento contínuo da sua produção. O preço final é fortemente influenciado pela distância aos mercados consumidores. A cidade de Lisboa e o seu perímetro urbano são abastecidos por pedreiras localizadas nas imediações, tais como na Serra da Arrábida, Serra de Montejunto e Alenquer, com explorações de calcário.

A cidade do Porto, o Minho, o Douro Litoral e o distrito de Aveiro são abastecidos por pedreiras localizadas nos maciços graníticos do Noroeste de Portugal. Os quartzitos são explorados em pedreiras localizadas ao longo de um extenso afloramento de direcção, sensivelmente N-S, em Albergaria-a-Velha, distrito de Aveiro. Sendo o quartzito uma rocha muito abrasiva, a sua produção acarreta custo de manutenção muito elevados, tendo ainda um outro inconveniente na dificuldade de extracção devido à forma do depósito estreita e alongada, havendo a necessidade de prolongar a extracção em profundidade.

Na figura 1 e tabela 1 verifica-se que as principais produções de rochas industriais são relativas a granitos e a calcários, cujas unidades de produção encontram-se distribuídas um pouco por todo o país, representando estas duas rochas cerca de 70% do volume global da produção. O calcário e a marga para cimento representam cerca de 13% do volume global de produção, seguido das areias (inclui areia comum e areia especial) e do caulino e argila, respectivamente com 9% e 3%.

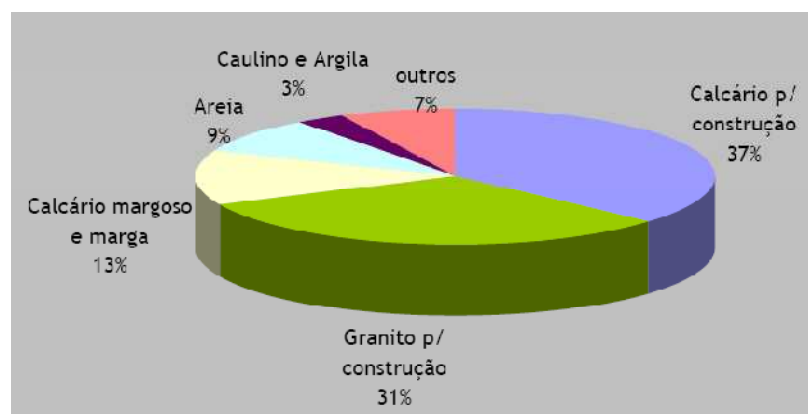


Figura 1 - Rochas Industriais: Estrutura da produção em volume, em 2005.
Fonte: Divisão de Estatística da DGGE

Região	Tonelada	Milhares de euros
Alentejo Total	4702807,57	69758,74
Algarve Total	6303460,94	23750,75
Centro Total	28823336,66	120235,51
Lisboa e Vale do Tejo Total	37573424,12	157717,19
Norte Total	26062451,59	172607,49
Total global	103465480,90	544069,67

Tabela 1 - produção de pedreiras por zona geográfica, em 2005.
Fonte: DGGE – Divisão de estatística

4. APLICAÇÃO E COMPORTAMENTO DOS AGREGADOS

O comportamento que se exige aos agregados está em grande parte relacionado com a aplicação a que eles se destinam. Os agregados quando são utilizados em bases, sub-bases e revestimentos de estradas, em pistas de aeroportos e em balastros de linhas de caminhos-de-ferro devem proporcionar, depois de compactados, grande estabilidade e grande resistência à compressão. Para tal devem possuir determinadas características quanto à sua granulometria, uma determinada resistência à meteorização e também resistência às acções de compressão. Os agregados não devem sofrer deterioração ou promover a deterioração dos produtos onde estão incluídos, nomeadamente as misturas hidráulicas e as misturas betuminosas. Para que não haja impactos negativos na durabilidade dos agregados e das misturas aglomerantes, as entidades responsáveis pela normalização dos agregados determinaram as especificações a que devem obedecer, de acordo com o tipo de aplicação, pois determinados componentes podem ser nocivos para determinada aplicação e não o ser para outra. Em Portugal, a entidade responsável pela normalização é o IPQ (Instituto Português da Qualidade), competindo a outras entidades como por exemplo o LNEC (Laboratório Nacional de Engenharia Civil), a REFER (Rede Ferroviária Nacional) e EP (Estradas de Portugal) a afixação de parâmetros definidores da qualidade requerida nas diferentes utilizações. A nível da União Europeia está reconhecido o interesse pela uniformidade de critérios em termos de ensaios e de propriedades que os agregados devem cumprir e possuir. Existe para tal dentro do Comité Europeu de Normalização (CEN), uma comissão técnica (TC 154), dedicada aos agregados.

Certas especificações dos agregados para determinados produtos contemplam uniformidade de tamanho e de composição. A uniformidade física e química do agregado permite que o produto final mantenha e exiba uniformidade. As percentagens óptimas de cimento e betume variam também com a natureza do agregado, tais como areia siliciosa, agregado de granito, de calcário, de mármore, entre outros. Há também certas aplicações que exigem determinadas características quanto a cor, textura e capacidade isoladora dos agregados, tais como superfícies decorativas, paredes exteriores e pavimentos. A cor e textura importam quando por exemplo são utilizados em revestimentos, onde o impacto visual é importante. A capacidade isoladora importa quando o agregado é utilizado em produtos ligeiros ou leves aplicados em revestimentos de pavimentos e paredes.

A degradação dos agregados consiste na diminuição, alteração ou perda das propriedades tecnológicas específicas dos mesmos, tendo em conta os requisitos exigidos pelas aplicações a

que se destinam. Os processos de degradação são de natureza física e química. A divisão mecânica e a desintegração das partículas resultam da carga a que estão submetidas, mas uma determinada carga depende da composição, textura original das partículas e da alterabilidade. A desintegração pode dar-se através da divisão em partes de dimensão aproximadamente iguais, divisão com perdas de projecções angulares que existam e divisões por atrito, com perdas de pequenas asperezas existentes nas superfícies exteriores.

Os agregados provenientes de rochas vulcânicas, tais como o basalto, o traquito e andesito são, normalmente, quebradiços e capazes de sofrerem alterações mais aceleradas. Os que derivam de rochas ígneas plutónicas, tais como o granito, tonalito e diorito, são mais resistentes à compressão e à alteração. O comportamento dos agregados derivados de rochas metamórficas, tais como o gnaisse, mica-xisto e quartzito, depende em grande parte do grau de foliação e da maior ou menor riqueza em minerais micáceos. As variedades mais foliadas e mais ricas em minerais micáceos são comparativamente menos resistentes em termos mecânicos e de alterabilidade. Os agregados derivados de rochas sedimentares, tais como o calcário, dolomito e arenito, normalmente são caracterizados por apresentarem, relativamente à generalidade de rochas eruptivas, menor resistência mecânica à compressão, devido à fácil clivagem e baixa dureza da calcite e da dolomite. Os minerais secundários, particularmente os minerais argilosos, mais frequentes no arenito modificam as propriedades relevantes do agregado.

(Adaptado de Lopes Velho. Mineralogia industrial, 2005)

4.1. Agregados para misturas betuminosas

Os agregados utilizados nas misturas betuminosas devem ser limpos, duros, pouco alteráveis sob a acção dos agentes climatéricos, com adesividade adequada ao ligante e livres de materiais decompostos, matéria orgânica ou outras substâncias prejudiciais. A sua qualidade também deve ser uniforme.

4.1.1. Dimensão do agregado

Todos os agregados devem ser definidos em termos das suas dimensões d/D utilizando as aberturas dos peneiros dadas na tabela 2, compreendendo a série base, a série base mais 1 ou série base mais 2. Não é permitido a combinação de aberturas de peneiros da série 1 e da série 2.

Série base mm	Série base mais série 1 mm	Série base mais série 2 mm
0	0	0
1	1	1
2	2	2
4	4	4
-	5,6 (5)	-
8	-	6,3 (6)
-	8	8
-	-	10
-	11,2 (11)	-
-	-	12,5 (12)
16	-	14
-	16	16
-	-	20
32,5 (32)	22,4 (22)	-
-	31,5 (32)	32,5 (32)
-	-	40
-	45	-
63	63	63

NOTA 1: os valores arredondados de aberturas de peneiros indicados entre parênteses podem ser utilizados como descrições simplificadas das dimensões dos agregados
NOTA 2: Para utilização específica em tratamentos superficiais pode ser utilizado na série 2 um peneiro de 2,8 mm.

Tabela 2 – Abertura dos peneiros para especificar as dimensões dos agregados.
Fonte: NP EN 13043:2004

4.1.2. Granulometria

A granulometria das dimensões dos agregados deve ser determinada de acordo com a NP EN 933-1:2000 e EN 933-1:1997/A 1:2005 e deve satisfazer os requisitos da tabela 3 em função da dimensão d/D do agregado.

São permitidas combinações de duas ou mais dimensões adjacentes ou de agregados de granulometria extensa.

As dimensões do agregado devem ter uma razão D/d não inferior a 1,4 e devem satisfazer os requisitos de granulometria especificados na tabela 3.

Agregado	Dimensão mm	Percentagem de passados, em massa					Categoria G
		2 D	1,4 D	D	d	d/2	
Grosso	$D > 2$	100	100	90 a 99	0 a 10	0 a 2	G _c 90/10
		100	98 a 100	90 a 99	0 a 15	0 a 5	G _c 90/15
		100	98 a 100	90 a 99	0 a 20	0 a 5	G _c 90/20
		100	98 a 100	85 a 99 ^c	0 a 15	0 a 2	G _c 85/15
		100	98 a 100	85 a 99 ^c	0 a 20	0 a 5	G _c 85/20
		100	98 a 100	85 a 99 ^c	0 a 35	0 a 5	G _c 85/35
Fino	$D \leq 2$	100	-	85 a 99	-	-	G _F 85
Granulometria extensa	$D \leq 45$ e $d = 0$	100	98 a 100	90 a 99	-	-	G _A 90
		100	98 a 100	85 a 99			G _A 85

Tabela 3 - Requisitos gerais para a granulometria.

Fonte: NP EN 13043:2004

As fracções granulométricas a aplicar variam conforme o tipo de mistura betuminosa. A tabela 4 referencia as fracções granulométricas em função do material, proposto pela APORBET (Associação Portuguesa de Fabricantes de Misturas Betuminosas).

Material	Fracções (dimensões nominais em mm)
Material de granulometria extensa tratado com emulsão betuminosa	0/4, 4/10, 10/20 ou em alternativa 0/6, 6/10, 10/20
Mistura betuminosa aberta a frio	
- espessura inferior a 4 cm	2/4, 4/10
- espessura entre 4 e 6 cm	2/4, 4/10, 10/14
- espessura superior a 6 cm	2/4, 4/10, 10/20
Macadame betuminoso	
- Fuso A	0/4, 4/10, 10/20
- Fuso B	0/4, 4/20, 20/40 ou em alternativa 0/6, 6/20, 20/40
Semi penetração betuminosa	20/40
Agregado de recobrimento	4/10, 10/14
Mistura betuminosa densa	0/4, 4/10, 10/20
Argamassa betuminosa	0/4 ou em alternativa 0/6
Betão betuminoso	0/4, 4/10, 10/14
Betão betuminoso drenante	0/2, 6/10, 10/14
Microbetão betuminoso rugoso	0/2, 6/10
Betão betuminoso rugoso	0/2, 6/10, 10/14
Betão betuminoso subjacente à camada de desgaste drenante	0/4, 4/10, 10/14
Mistura betuminosa de alto módulo	
- Camada de base	0/4, 4/10, 10/20
- Camada de regularização	0/4, 4/10, 10/14
- Camada de desgaste	0/4, 4/10, 10/14
Gravilhas duras incrustadas	10/14
Microaglomerado betuminoso a frio, simples	0/6
Microaglomerado betuminoso a frio, duplo	
- 1ª aplicação	0/4
- 2ª aplicação	0/4, 4/8
Slurry seal, simples	0/6
Slurry seal, duplo	
- 1ª aplicação	0/4
- 2ª aplicação	0/6
Revestimento superficial, simples	4/6 ou em alternativa 6/10, ou 10/14
Revestimento superficial, duplo ou simples com duas aplicações de agregado	
- 1ª aplicação	6/10 ou em alternativa 10/14
- 2ª aplicação	2/4 ou em alternativa 4/6

Tabela 4 - Misturas betuminosas e fracções granulométricas correspondentes.

Fonte: APORBET, Misturas betuminosas – Contribuição para a normalização do fabrico e da aplicação.

4.1.3. Resistência

Os requisitos físicos variam de acordo com a aplicação específica ou a origem do agregado. Quando requeridos, devem ser realizados os ensaios para determinação das propriedades físicas apropriadas.

Para que haja uma boa resistência os materiais devem ser duros, resistentes ao choque, ao atrito e ao desgaste produzido pelo tráfego na superfície do pavimento. A susceptibilidade de um agregado à degradação pela acção do gelo e do degelo depende principalmente do clima, da utilização, do tipo petrográfico e da distribuição dimensional dos poros no seio das partículas do agregado.

- A resistência à fragmentação do agregado grosso é realizada em termos do coeficiente de Los Angeles (LA), especificado na NP EN 1097-2:2002 e EN 1097-2:1998/A 1:2006.

A NP EN 13043:2004 define categorias de resistência à fragmentação, conforme apresentado na tabela 5. O agregado deve ser classificado numa das categorias função do resultado obtido no ensaio de Los Angeles.

Coeficiente de Los Angeles	Categoria LA
≤ 15	LA ₁₅
≤ 20	LA ₂₀
≤ 25	LA ₂₅
≤ 30	LA ₃₀
≤ 40	LA ₄₀
≤ 50	LA ₅₀
>50	LA _{Declarado}
Não requerido	LA _{NR}

Tabela 5 – Categorias para os valores máximos do coeficiente Los Angeles
Fonte: NP EN 13043:2004

- A resistência ao polimento do agregado grosso para camada de desgaste é realizada em termos de coeficiente de polimento acelerado (PSV), especificado na NP EN 1097-8:2003.

A NP EN 13043:2004 apresenta categorias para esta característica tal como apresentado na tabela 6.

Coeficiente de polimento acelerado	Categoria PSV
≥68	PSV ₆₈
≥62	PSV ₆₂
≥56	PSV ₅₆
≥50	PSV ₅₀
≥44	PSV ₄₄
Valores intermédios e valores <44	PSV _{Declarado}
Não requerido	PSV _{NR}

Tabela 6 – Categorias para os valores mínimos da resistência ao polimento.
Fonte: NP EN 13043:2004

- A resistência à abrasão é classificada de acordo com o valor de abrasão do agregado (AAV) especificado na NP EN 1097-8:2003.

A NP EN 13043:2004 apresenta categorias para estas características tal como apresentado na tabela 7.

Valor de abrasão do agregado	Categoria AAV
≤ 10	AAV ₁₀
≤ 15	AAV ₁₅
≤ 20	AAV ₂₀
> 20	AAV _{Declarado}
Não requerido	AAV _{NR}

Tabela 7 – Categorias para os valores máximos da resistência à abrasão.
Fonte: NP EN 13043:2004

- A resistência ao desgaste do agregado grosso por atrito é em termos do coeficiente micro-Devall (M_{DE}), especificado na NP EN 1097-1:2002 e EN 1097-1:1996/A 1:2003.

A NP EN 13043:2004 apresenta categorias para estas características tal como apresentado na tabela 8.

Coeficiente micro-Deval	Categoria M_{DE}
≤ 10	$M_{DE}10$
≤ 15	$M_{DE}15$
≤ 20	$M_{DE}20$
≤ 25	$M_{DE}25$
≤ 35	$M_{DE}35$
>35	$M_{DE} Declarado$
Não requerido	$M_{DE}NR$

Tabela 8 – Categorias para os valores máximos da resistência ao desgaste por atrito
Fonte: NP EN 13043:2004

- A resistência à abrasão provocada por pneus pitonados do agregado para utilização em camadas de desgaste é em termos do coeficiente de abrasão nórdico (A_N), especificado na NP EN 1097-9:2002 e EN 1097-9:1998/A 1:2005.

A NP EN 13043:2004 apresenta categorias para estas características tal como apresentado na tabela 9.

Coeficiente de abrasão nórdico	Categoria A_N
≤ 7	A_N7
≤ 10	A_N10
≤ 14	A_N14
≤ 19	A_N19
≤ 30	A_N30
Valores intermédios e valores > 30	A_N Declarado
Não requerido	A_N NR

Tabela 9 – Categorias para os valores máximos da resistência à abrasão provocada por pneus pitonados
Fonte: NP EN 13043:2004

- A resistência ao gelo-degelo é determinada de acordo com a NP EN 1367-1:2007. A NP EN 13043:2004 apresenta categorias para estas características tal como apresentado na tabela 10.

Gelo-degelo Porcentagem de perda em massa ^a	Categoria F
≤ 1	F_1
≤ 2	F_2
≤ 4	F_4
> 4	$F_{declarado}$
Não requerido	F_{NR}
^a Em situações extremas de tempo frio e/ou de saturação em cloreto de sódio ou em descongelante, podem ser mais apropriados os ensaios que utilizem solução de cloreto de sódio como descrito na EN 1367-1:1999.	

Tabela 10 – Categorias para os valores máximos da resistência ao gelo-degelo
Fonte: NP EN 13043:2004

- A resistência ao choque térmico é determinada de acordo com a NP EN 1367-5:2002. Para esta característica não existem classes devendo os resultados ser declarados.

4.1.4. Forma

A forma das partículas de agregado deve ser aproximadamente a mais cúbica possível, devendo-se evitar a utilização de partículas com forma lamelar, pois são mais frágeis.

A forma das partículas caracteriza-se através do índice de achatamento (FI), especificado na NP EN 933-3:2002 e EN 933-3:1997/A 1:2003 e índice de forma (SI), especificado na NP EN 933-4:2008. Estes são representados pela percentagem, em peso, de partículas respectivamente achatadas e não cúbicas.

A NP EN 13043:2004 apresenta categorias para os índices de forma e achatamento tal como apresentado nas tabelas 11 e 12.

Índice de achatamento	Categoria <i>FI</i>
≤ 10	<i>FI</i> ₁₀
≤ 15	<i>FI</i> ₁₅
≤ 20	<i>FI</i> ₂₀
≤ 25	<i>FI</i> ₂₅
≤ 30	<i>FI</i> ₃₀
≤ 35	<i>FI</i> ₃₅
≤ 50	<i>FI</i> ₅₀
> 50	<i>FI</i> _{Declarado}
Não requerido	<i>FI</i> _{NR}

Tabela 11 – Categorias para os valores máximos do índice de achatamento
Fonte: NP EN 13043:2004

Índice de forma	Categoria <i>SI</i>
≤ 15	<i>SI</i> ₁₅
≤ 20	<i>SI</i> ₂₀
≤ 25	<i>SI</i> ₂₅
≤ 30	<i>SI</i> ₃₀
≤ 35	<i>SI</i> ₃₅
≤ 50	<i>SI</i> ₅₀
> 50	<i>SI</i> _{Declarado}
Não requerido	<i>SI</i> _{NR}

Tabela 12 – Categorias para os valores máximos do índice de forma
Fonte: NP EN 13043:2004

4.1.5. Limpeza

Os agregados devem ser limpos e isentos de impurezas tais como argila, ou matéria orgânica pois estes dificultam o envolvimento pelos ligantes, reduzem o atrito entre os grãos, havendo também a possibilidade de ocorrerem variações volumétricas com a água.

O teor de finos é a percentagem de material que passa no peneiro de 0,063 mm. A NP EN 13043:2004 apresenta categorias conforme a percentagem de passados no peneiro de 0,063 mm de acordo com a tabela 13.

Agregado	Percentagem de passados no peneiro de 0,063 mm	Categoria F
Grosso	$\leq 0,5$	$f_{0,5}$
	≤ 1	f_1
	≤ 2	f_2
	≤ 4	f_4
	> 4	$f_{\text{Declarado}}$
	Não requerido	f_{NR}
Fino	≤ 3	f_3
	≤ 10	f_{10}
	≤ 16	f_{16}
	≤ 22	f_{22}
	> 22	$f_{\text{Declarado}}$
	Não requerido	f_{NR}

Tabela 13 – Categorias para os valores máximos do teor de finos

Fonte: NP EN 13043:2004

Quando o teor de finos no agregado fino, ou no agregado de granulometria extensa $0/D$ com $D \leq 8$ mm, não for superior a 3%, não são necessários ensaios adicionais.

Se o teor de finos for superior a 10%, em massa, estes devem satisfazer os requisitos especificados para o fíler.

Se o teor de finos no agregado fino estiver compreendido entre 3% e 10%, em massa, a nocividade dos finos (por exemplo a expansão das argilas) da fracção $0/0,125$ mm deve ser determinada em termos do valor de azul de metileno (MB_f), de acordo com a EN 933-9:2002. O valor de azul de metileno deve ser declarado pela correspondente categoria especificada na tabela 14. O princípio deste ensaio consiste essencialmente em incrementos de uma solução de azul de metileno que são sucessivamente adicionados a uma suspensão em água do provete de ensaio. A adsorção da solução corante pelo provete após a adição de cada incremento da solução é verificada pela realização de um ensaio de mancha em papel de filtro de modo a detectar a

presença de corante livre. Quando a presença de corante livre é confirmada, o valor de azul de metileno (MB_F) é calculado e expresso em gramas de corante adsorvido por quilograma da fracção granulométrica ensaiada.

Valor do MB_F g/kg	Categoria MB_F
-	MB_{FNT}^a
≤ 10	MB_{F10}
≤ 25	MB_{F25}
>25	$MB_{F\text{ Declarado}}$
Não requerido	MB_{FNR}
^a A categoria MB_{FNT} significa que não são necessários ensaios.	

Tabela 14 – Categorias para os valores máximos do azul de metileno (MB_F)

Fonte: NP EN 13043:2004

Um outro ensaio para avaliar a qualidade dos finos é o equivalente de areia. O seu princípio consiste em colocar numa proveta cilíndrica graduada um provete de areia e uma pequena quantidade de solução floculante e agitados de modo a libertar as camadas de argila das partículas de areia do provete. De seguida “irrigar” a areia com mais solução floculante, forçando as partículas mais pequenas a entrar em suspensão acima da areia. Passados 20 min, o valor equivalente de areia (SE) é calculado pela altura do sedimento expresso como uma percentagem da altura total do material floculado na proveta cilíndrica.

4.1.6. Afinidade ao betume

Os agregados a usar em misturas betuminosas devem possuir uma boa afinidade ao betume. Quanto maior for a afinidade do agregado para com o betume, mais difícil será a sua separação. O procedimento para a determinação da afinidade do agregado ao betume está especificado na EN 12697-11:2005.

A dificuldade com que a água separa o betume em contacto com os agregados é medida normalmente segundo um método que consiste numa inspeção visual do agregado revestido com ligante, verificando-se qual a percentagem daquele que ficou sem revestimento após um certo tempo de imersão em água e sujeito a determinadas condições.

4.1.7. Frequências mínimas dos ensaios

A frequência e a natureza das inspeções são descritas no documento relativo ao controlo da produção. A frequência dos ensaios encontra-se geralmente associada aos períodos de produção, sendo que um período de produção é definido como uma semana, um mês ou um ano de produção. Os requisitos para o controlo da produção em fábrica podem incluir inspeção visual. Qualquer desvio indicado por este tipo de inspeção pode conduzir a frequências de ensaios mais elevadas. Quando o valor obtido se encontra perto do limite especificado, pode ser necessário aumentar a frequência dos ensaios.

Segue-se o quadro referente às frequências mínimas dos ensaios das propriedades específicas apenas para agregados para camadas de desgaste, em misturas betuminosas e em betões (tabela 15 e 16). As frequências apresentadas são relativas aos ensaios referentes ao polimento.

Propriedade		Método de ensaio	Frequência mínima de ensaio
1	Resistência ao polimento do agregado grosso (PSV)	NP EN 1097-8:2003	1 por ano
2	Resistência à abrasão da superfície (AAV)	NP EN 1097-8:2003	1 por ano
3	Resistência à abrasão provocada por pneus pitonados	NP EN 1097-9:2002 e EN 1097-9:1998/A 1:2005	1 por ano

Tabela 15 – Frequência mínima dos ensaios das propriedades específicas a uma dada utilização, em misturas betuminosas.

Fonte: NP EN 13043:2004

Propriedade		Método de ensaio	Frequência mínima de ensaio
1	Resistência ao desgaste por atrito	NP EN 1097-1:2002 e EN 1097-1:1996/A 1:2003	1 por 2 anos
2	Resistência ao polimento	NP EN 1097-8:2003	1 por 2 anos
3	Resistência à abrasão	NP EN 1097-9:2003	1 por 2 anos

Tabela 16 - Frequência mínima dos ensaios das propriedades específicas a uma dada utilização, em betão.

Fonte: NP EN 12620:2004

De referir que no caso português apenas é exigido ao agregado a avaliação da resistência ao polimento.

4.1.8. Sistemas de atestação da conformidade de agregados e fileres

Encontra-se em vigor desde 2004 a aplicação de determinadas normas harmonizadas no âmbito dos agregados através da marcação CE para a sua comercialização.

A implementação dos procedimentos da marcação CE requer por parte das empresas o desenvolvimento de novas competências técnicas que podem ser satisfeitas através de formação especializada numa acção de formação destinada aos quadros/técnicos das empresas do sector da construção e/ou produção de agregados.

É conferido na Norma Portuguesa NP EN 13043, Anexo ZA a aptidão dos agregados e dos fileres abrangidos pela Norma Europeia para utilizações indicadas nesse documento. Deve ser feita referência às informações que acompanham a marcação CE.

Os sistemas de atestação da conformidade para agregados e fileres são referidos nas tabelas 17 e 18 para as utilizações previstas.

Produtos	Utilizações previstas	Níveis ou classes	Sistema de atestação da conformidade
Agregados para misturas betuminosas e tratamentos superficiais	Para estradas e outras obras de engenharia	-	2+
Fíleres para misturas betuminosas e tratamentos superficiais	Para estradas e outras obras de engenharia	-	2+
Sistema 2+: Ver directiva 89 106 (CPD). Anexo III.2 (ii), primeira possibilidade, que inclui a certificação do sistema do controlo da produção em fábrica por um organismo notificado, com base numa inspecção inicial à fábrica e ao controlo da produção em fábrica, assim como uma fiscalização contínua, avaliação e aprovação do controlo da produção em fábrica.			

Tabela 17 – Sistema(s) de atestação da conformidade dos agregados e dos fileres para utilizações com requisitos de segurança elevados (requerendo a intervenção de uma terceira parte).

Fonte: NP EN 13043:2004

Produtos	Utilizações previstas	Níveis ou classes	Sistema de atestação da conformidade
Agregados para misturas betuminosas e tratamentos superficiais	Para estradas e outras obras de engenharia	-	4
Fíleres para misturas betuminosas e tratamentos superficiais	Para estradas e outras obras de engenharia	-	4
Sistema 4: Ver Directiva 89 106 EEC (CPD). Anexo III.2.(ii.), terceira possibilidade.			

Tabela 18 - Sistema(s) de atestação da conformidade dos agregados e dos fileres para utilizações sem requisitos de segurança elevados (não requerendo a intervenção de uma terceira parte).

Fonte: NP EN 13043:2004

De referir que no caso português o sistema adoptado foi o sistema 2+.

4.1.9. Declaração de conformidade CE

Os agregados, como todos os materiais de construção, estão sujeitos aos requisitos da directiva 89/106/CE. Segundo este documento os materiais de construção só podem ser colocados no mercado se possuírem a marcação CE.

Os agregados podem estar incluídos em dois grupos de obras: com e sem requisitos de segurança, existindo por isso dois sistemas para a marcação CE.

No sistema 4, tanto os ensaios tipo iniciais como o controlo de produção em fábrica são da exclusiva responsabilidade do fabricante.

No sistema 2+, para além dos ensaios tipo iniciais (ainda da exclusiva responsabilidade do fabricante) há ainda a necessidade de satisfazer uma inspecção inicial da fábrica e do controlo de produção, por parte de um organismo notificado e uma fiscalização, apreciação e aprovação contínuas do controlo de produção em fábrica (realizadas igualmente por um organismo notificado).

Para os agregados e fileres sujeitos ao sistema 2+: Quando a conformidade com os requisitos necessários é obtida e uma vez que o organismo notificado tenha emitido o certificado abaixo mencionado, o produtor ou o seu agente estabelecido dentro do Espaço Económico Europeu (EEE) deve redigir e manter uma declaração de conformidade, a qual habilita o produtor a afixar a marcação CE.

Esta declaração deve incluir:

- nome e morada do produtor, ou o seu representante autorizado estabelecido no EEE e o local de produção;
- descrição do produto (tipo, identificação, utilização, ...) e uma cópia da informação que acompanha a marcação CE;
- disposições com as quais o produto se encontra em conformidade;
- condições particulares aplicáveis à utilização do produto (com, por exemplo, disposições para a utilização sob determinadas condições, etc.);
- número do certificado do controlo da produção em fábrica que a acompanha;
- nome e função da pessoa habilitada a assinar a declaração em nome do produtor ou do seu representante autorizado.

A declaração deve ser acompanhada por um certificado de controlo da produção em fábrica, emitida pelo organismo notificado, o qual deve conter, em aditamento à informação acima mencionada, o seguinte:

- nome e morada do organismo notificado;
- número do certificado do controlo da produção em fábrica;
- condições e período de validade do certificado, quando aplicável;
- nome e função da pessoa habilitada para assinar o certificado.

4.1.10. Marcação CE e etiquetagem

O produtor ou o seu representante autorizado é responsável pela afixação da marcação CE. O símbolo da marcação CE a afixar deve estar de acordo com a Directiva 93/68/EC e deve figurar na etiqueta, na embalagem ou nos documentos comerciais que acompanham o produto, por exemplo, uma guia de remessa. O símbolo da marcação CE deve ser acompanhado da seguinte informação:

- número de identificação do organismo de certificação (apenas para produtos sujeitos ao sistema 2+);
- nome ou marca de identificação e morada da sede social do produtor;
- os dois últimos dígitos do ano em que a marcação foi posta;
- o número do certificado do controlo da produção em fábrica (apenas para produtos sujeitos ao sistema 2+);
- referência à NP EN 13043:2004
- descrição do produto: nome genérico, material, dimensões, ... e utilização prevista;
- valores declarados e, quando relevantes, nível ou classe/categoria (incluindo a inscrição “aceite” para requisitos aceitação/rejeição, quando necessário) a declarar para cada característica essencial;
- a menção a “Desempenho Não Determinado” (DND) para as características às quais se aplique.

A opção “Desempenho Não Determinado” (DND) não pode ser utilizada quando a propriedade é sujeita a um limite de aceitação/rejeição. De outro modo, a opção DND pode ser utilizada quando e onde a característica, para uma determinada utilização prevista, não for sujeita a requisitos regulamentares.

Como complemento às informações específicas relativas às substâncias perigosas anteriormente mencionadas, deverá o produto ser também acompanhado, quando e onde requerido e de forma apropriada, por documentação que refira toda a legislação relativa às substâncias perigosas para as quais a conformidade é exigida, bem como toda a informação exigida por essa legislação.

(NP EN 13043:2004)

4.2. Propriedades dos agregados e comportamento das misturas betuminosas

As principais propriedades dos agregados afectam o comportamento das misturas betuminosas sendo que algumas dessas propriedades têm uma maior influência do que outras nos diferentes comportamentos, mas também em função das diferentes fases de construção ou já em serviço.

A tabela 19 enuncia resumidamente as propriedades dos agregados que afectam o comportamento das misturas quer em fase de construção, quer em serviço.

Fase	Comportamento das misturas		Propriedades dos agregados
Construção	trabalhabilidade		Granulometria Forma
	Manutenção das características durante o fabrico e aplicação		Resistência à fragmentação Resistência ao choque térmico
Em serviço	Características estruturais -Rigidez -Resistência ao fendilhamento -Resistência às deformações permanentes		Granulometria Dimensão máxima do agregado Dureza das partículas Resistência à fragmentação Textura Forma
	Características superficiais	Coeficiente de atrito	Granulometria Forma Textura Dimensão máxima do agregado Resistência à fragmentação Resistência ao polimento
		Drenagem superficial	Dimensão máxima do agregado Granulometria
		Encandeamento e reflectividade	Propriedades ópticas
		Desgaste dos pneus, ruídos e resistência ao rolamento	Forma das partículas Textura Dimensão máxima do agregado
	Durabilidade		Composição química Susceptibilidade à água Resistência ao gelo/degelo Adesividade betume/agregado Alterabilidade Massa volúmica

Tabela 19 - Propriedades dos agregados que afectam o comportamento das misturas.

Fonte: Agregados para misturas betuminosas. Ana Cristina Freire - Universidade Nova de Lisboa/Faculdade de Ciências e Tecnologia.

5. TEORIA DA RESISTÊNCIA AO ESCORREGAMENTO

De acordo com as pesquisas de French (1989) e Clark (1981), a força total de fricção entre uma superfície de estrada e o pneu pode ser expresso por:

$$F = F_a + F_h + F_v + F_t \quad (1)$$

Sendo:

F - força total da fricção entre uma superfície de estrada e o pneu

F_a - Componente adesiva da fricção

F_h - Componente histerética da fricção

F_v - Componente de viscosidade da fricção

F_t - Componente de corte da fricção

Dos quatro componentes somente a componente de adesão da fricção e a componente histerética da fricção são significativas no valor (Moore 1975). Relativamente a estas duas componentes, a de adesão da fricção é geralmente considerada como a que oferece uma maior contribuição à fricção e a componente histerética a que menos contribui para a fricção total (Anderson & Henry 1975).

Componente adesiva da fricção

A componente de adesão da fricção resulta da atracção inter-molecular entre a borracha dos pneus e as partículas de agregado (figura 2). Para superfícies perfeitamente secas, a adesão máxima é obtida para superfícies planas e lisas. Para superfícies molhadas a adesão da fricção aumenta com a microtextura, com a aspereza da microtextura a fornecer regiões secas do contacto entre pavimento e pneu (Moore 1975).

Componente histerética da fricção

A componente histerética da fricção resulta da deformação da borracha do pneu enquanto contacta com a aspereza da microtextura. O amortecimento na borracha significa que nem toda a energia absorvida ao deformar a borracha é retornada quando a borracha regressa ao seu estado indeformável. Como se verifica na figura 2 isto resulta numa componente de força horizontal que age na direcção oposta do movimento do pneu. A fricção histerética será expectável de aumentar

com a irregularidade das partículas pois as partículas angulares causam mais deformação da borracha de piso do que as partículas arredondadas.

(Adaptado de R. Henderson, G. Cook, P. Cenek, J. Patrick, S. Potter. Opus Central Laboratories, Lower Hutt, New Zealand - The effect of crushing on the skid resistance of chipseal roads, 2006)

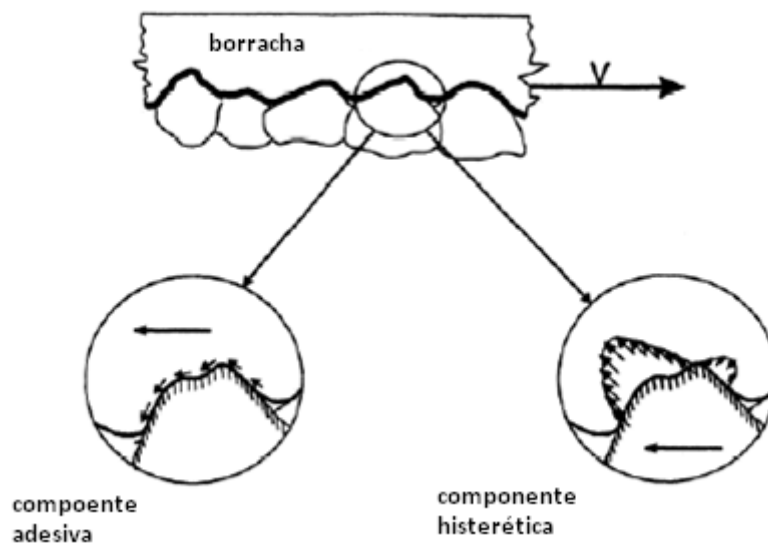


Figura 2 – Componentes adesiva e histerética da fricção (Choubane et al., 2004)
Fonte: The effect of crushing on the skid resistance of chipseal roads, 2006

Pode-se verificar então que a microtextura de um agregado reveste-se de maior importância como forma de desenvolvimento das forças atrito principalmente em condições de superfícies húmidas.

A partir do estudo da teoria da resistência ao escorregamento podem ser feitas algumas observações:

- A componente adesiva da fricção em superfícies húmidas aumenta com a microtextura
- A componente histerética da fricção aumenta com a angularidade do agregado.

6. COMPORTAMENTO DO AGREGADO AO POLIMENTO

A aderência da camada superficial dum pavimento rodoviário é entendida como a capacidade que este possui para mobilizar o atrito entre os pneus dos veículos e o pavimento, assumindo maior importância em situações de travagem, aceleração e circulação em curva. A aptidão dos agregados ao polimento é um dos factores principais no comportamento das camadas de desgaste nos pavimentos, quanto à sua resistência ao escorregamento. É portanto, essencial o seu estudo pois apresenta um interesse prático de grande importância. No entanto, existem também outros factores que influenciam a aderência, tais como rugosidade do pavimento, presença de água e as condições de contacto dos pneus com o pavimento e mesmo as próprias características do pneu.

O comportamento das camadas de desgaste quanto ao escorregamento é influenciado em grande medida pelo tipo de rocha que constitui o agregado da mistura. Verifica-se que em determinadas condições, particularmente em estradas com tráfego intenso e em locais onde o desgaste é acentuado, que as superfícies de certo agregado exposto à acção do tráfego tornam-se lisas, originando uma diminuição da resistência da camada de desgaste à derrapagem, que se pode agravar em condições de tempo húmido.

A textura da superfície de rolamento (figura 3) desempenha um papel central na existência de boas condições de atrito. Neste contexto a denominada microtextura desempenha um papel fundamental no polimento de um agregado, pois é entendida como a aspereza superficial das partículas de agregado. Contribuem para a interpenetração das superfícies em contacto (pneu/pavimento), mobilizando a principal componente da aderência (atrito por adesão) para velocidades de circulação médias e baixas.

As rochas pouco resistentes ao polimento, como por exemplo os calcários, originam camadas de desgaste com fraca microtextura e conseqüentemente características de atrito fracas, mesmo em condições de baixas velocidades e com tempo seco.

A profundidade da textura superficial, denominada por macrotextura, pode ser entendida como a saliência média dos agregados rochosos relativamente à superfície geral do pavimento. A macrotextura do pavimento juntamente com a geometria do rasto dos pneus facilita o escoamento da água quando chove reduzindo assim a espessura da lâmina líquida sob o pneu e não correndo o risco de hidroplanagem. Quanto mais elevada for a velocidade de circulação, maior é o risco de perda de aderência.

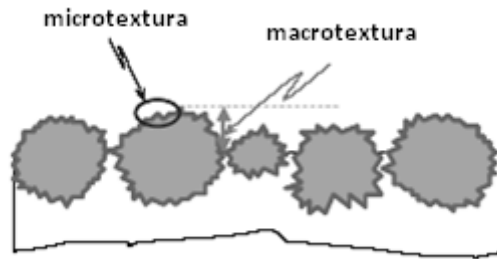


Figura 3 – Microtextura e macrotextura

Fonte: Jeffrey S. Kuttesch, (2004) Quantifying the Relationship between Skid Resistance and Wet Weather Accidents for Virginia Data.

Devido à falta de microtextura, a aderência diminui de forma acentuada, mesmo que não haja condições de hidroplanagem.

O grau de polimento da superfície do agregado das camadas de desgaste é um factor importante na resistência das mesmas ao escorregamento, quando húmidas, mesmo em pavimentos betuminosos ásperos e rugosos.

Segundo a Circulaire sur les chaussés glissantes “os agregados dos revestimentos superficiais e dos betões betuminosos devem manter as respectivas arestas o mais tempo possível e para que a aderência ao pavimento seja adequada, a altas velocidades, torna-se necessário que a textura superficial ou rugosidade da superfície de rolamento seja suficientemente grosseira. Os agregados deverão ser constituídos por rochas suficientemente duras para que estas não arredondem rapidamente sob a acção do tráfego, assim como suficientemente resistentes ao polimento e à fragmentação”.

7. MÉTODOS DE ENSAIO PARA A QUANTIFICAÇÃO DO POLIMENTO

A resistência ao polimento dos agregados que constituem as camadas de desgaste é uma característica cuja medida é reconhecidamente necessária a nível internacional.

Participa na aderência a baixa velocidade e influência a distância de travagem, por intermédio da evolução da microtextura de superfície sob o tráfego rodoviário.

O método de apreciação mais usual é o ensaio do coeficiente de polimento acelerado, de origem inglesa Polished Stone Value (PSV). Praticado em numerosos países é a referência actual. Tem o inconveniente de ser lento, muito oneroso e ser ensaiado unicamente na restrita fracção dos agregados de fracção granulométrica do material que passa no peneiro de 10 mm e fica retido num peneiro de barras de 7,2 mm de abertura.

7.1. Método de ensaio por projecção

Este é um método de ensaio rápido desenvolvido pelo LRPC (Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées) em colaboração com o LCPC (Laboratoire Central des Ponts et Chaussées). É correlacionado com o ensaio PSV, a sua duração de execução é inferior a 3 horas. O método é baseado na projecção de um fluxo de água e de abrasivo (esmeril) sob pressão. A projecção do fluxo de água e esmeril muito fino a uma pressão de 10 MPa, provocam sobre o agregado um efeito de polimento.

Os provetes são planos e de um formato quatro vezes superior ao do ensaio PSV e a escala de medida é a do ensaio SRT (Skid Resistance Tester) rodoviário.

No ensaio PSV de referência a abrasão e polimento efectuam-se por aplicação de abrasivos sobre a superfície dos agregados através de uma roda revestida de borracha. Contudo, o mesmo ensaio, efectuado sem abrasivos, mostra que a fricção borracha/agregado desempenha um papel menor; o efeito unicamente da borracha é responsável por 0 a 30% do efeito total desenvolvido no do ensaio PSV.

O efeito responsável de 70 a 100% do resultado do ensaio é atribuído ao abrasivo. O método de polimento no ensaio de projecção baseia-se no princípio de que uma partícula de abrasivo dotada de uma dinâmica equivalente ao apoio do pneu teria um efeito equivalente, ainda que a dinâmica resulte de um outro método.

Nas condições de ensaio são vários parâmetros interactivos que condicionam o resultado. As condições de ensaio fixadas são procedentes de um plano de experiências em cinco factores controlados e duas modalidades por factor.

Neste método conclui-se que a projecção de um fluxo de água e de abrasivos finos sob uma pressão de 10 MPa desenvolvem, sobre os agregados, um efeito de polimento com uma boa correlação com o ensaio PSV ($r = 0,94$). A frequência do ensaio é próxima do ensaio PSV. O método permite determinar a resistência ao polimento de uma amostra em 2h45min, o que está próximo da duração de execução de um ensaio micro-Deval e muito inferior à de um ensaio PSV.

(Adaptado de Gérard Delalande - Résistance des granulats au polissage. Méthode d'essai par projection, 1992)

7.2. Coeficiente de Polimento Acelerado

Em 1950, o aumento do fluxo de tráfego e velocidades mais elevadas nas estradas, em conjunto com o interesse sobre a segurança na estrada, conduziram à pesquisa no relacionamento entre matérias da estrada e resistência ao escorregamento.

Pesquisas no laboratório britânico "Road Research Laboratory" mostraram um relacionamento significativo entre o polimento dos agregados usados em superfícies de estrada e a resistência ao escorregamento. Os testes foram planeados usando uma máquina de polimento acelerado e um dispositivo de medição da fricção, para determinar o valor do polimento da rocha.

Estes desenvolvimentos resultaram num procedimento relativamente simples e barato para determinar previamente, qual a resistência ao escorregamento do agregado.

Actualmente a norma NP EN 1097-8:2003 especifica o método para a determinação do coeficiente de polimento (PSV) dum agregado grosso utilizado em pavimentos de estradas. Em anexo a esta norma encontra-se também um método opcional para a determinação do valor do desgaste do agregado por abrasão (AAV), que dá uma medida de resistência do agregado ao desgaste da sua superfície por abrasão causada pelo trânsito. No entanto, há que notar que o método AAV deve ser utilizado quando são necessários tipos específicos de agregados antiderrapantes, tipicamente os agregados com PSV de valor igual ou superior a 60, agregados esses que sendo muito resistentes ao polimento podem no entanto ser susceptíveis de desgaste causado pelo tráfego.

7.2.1. Cálculo do Coeficiente de Polimento Acelerado

O coeficiente de polimento acelerado do agregado dá uma medida da resistência à acção de polimento de pneus do veículo sob as condições similares àquelas que ocorrem na superfície de uma estrada.

A acção dos pneus dos veículos em superfícies de estrada resulta no polimento na superfície do agregado e seu estado de polimento é um dos factores principais que afectam a resistência à derrapagem.

A resistência a esta acção de polimento é determinada principalmente pelas qualidades inerentes do próprio agregado. A relação real entre o PSV e a resistência ao escorregamento varia com as condições do tráfego, tipo de superfície e outros. Todos estes factores em conjunto com a reprodutibilidade do teste devem ser levados em consideração ao projectar as especificações para uma estrada, incluindo limites para o PSV.

Este ensaio é realizado em agregados que passam no peneiro de 10 mm e são retidos num peneiro de barras de 7,2 mm de abertura e consta de duas partes:

- Os provetes elementares são sujeitos ao polimento numa máquina de polimento acelerado.
- O estado de polimento atingido por cada provete elementar é medido num ensaio de fricção. O PSV é então calculado a partir das determinações feitas no ensaio de fricção.

O ensaio na máquina de polimento tem a capacidade de avaliar 6 amostras distintas e é feito em duplicado para posteriormente se efectuar a média dos dois ensaios para obter o valor do PSV.

7.2.2. Descrição do teste PSV

Na realização dos ensaios são apertados 14 provetes elementares em torno da periferia da denominada “roda de estrada” e sujeitos a duas fases de polimento pelas rodas com pneus de borracha. Os 14 provetes correspondem a 6 amostras distintas com dois provetes da mesma amostra, restando dois provetes elementares referentes à pedra de controlo.

A primeira fase é da abrasão por um esmeril de corneana por três horas, seguido por três horas de polimento com um esmeril em pó.

O grau de polimento dos provetes elementares é então verificado por intermédio do medidor de fricção (Pêndulo Britânico) que usa um deslizador de borracha especial sob cuidadosas condições

de controlo. Os provetes com pedra de controlo são usados para verificar o deslizador antes do ensaio com o pêndulo. Dois provetes de controlo são também incluídos em cada teste de catorze provetes para verificar todo o procedimento e para permitir o ajuste do resultado para compensar variações menores no polimento e/ou no teste de fricção. Os resultados são expressos como “coeficiente de polimento acelerado” (PSV), a média dos quatro provetes do teste de cada agregado.

A figura 4 mostra uma máquina de polimento acelerado onde se pode verificar que o mecanismo de alimentação do esmeril é amovível.

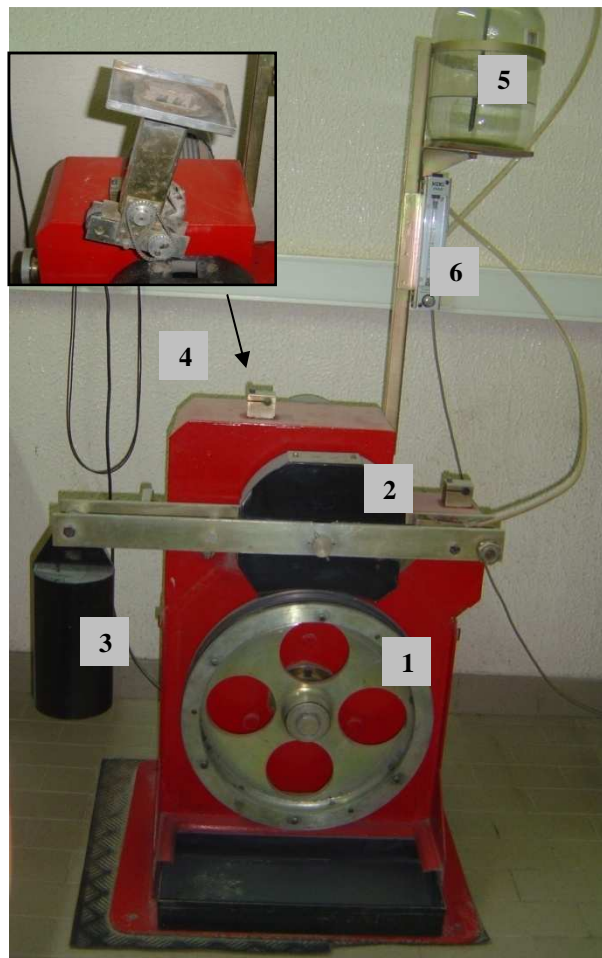


Figura 4 – máquina de polimento acelerado (LGMC do CICCOPN)

Legenda:

1. Roda de estrada
2. Roda com pneu de borracha sólida (na figura apresenta-se com tampa de protecção)
3. Peso
4. Mecanismo de alimentação
5. Alimentação de água
6. Controlo de caudal

A máquina consiste numa roda da estrada, girando a 320 rpm, em torno da periferia onde são apertados os 14 provetes elementares. Uma roda de borracha é posicionada verticalmente acima da roda da estrada, sendo exercida uma força de 725 N.

Existem dois mecanismos de alimentação e uma fonte de água. O primeiro mecanismo alimenta o esmeril de corneana, misturado com água entre a roda da borracha e a roda de estrada, enquanto o segundo mecanismo alimenta o esmeril em pó, com água, na mesma posição.

Após o fim do ensaio é removida a roda de estrada e são retirados os provetes elementares da roda para lavá-los cuidadosamente com jacto de água de modo a remover qualquer vestígio de esmeril em pó. Este procedimento de limpeza é importante pois qualquer vestígio de esmeril em pó que permaneça nos interstícios entre as partículas de pedra afecta o resultado do ensaio de fricção.

Após a limpeza, os provetes elementares são imersos em água durante um período de 30 a 120 minutos (figura 5).



Figura 5 – Provetes imersos em água (LGMC do CICOPN)

Em seguida retira-se da água e procede-se imediatamente ao ensaio de fricção. Os provetes elementares não podem secar antes do ensaio de fricção.

7.2.3. Ensaio de fricção (Pêndulo Britânico)

O equipamento (figura 6) possui um pêndulo que consiste num braço tubular que gira sobre um eixo unido a uma coluna vertical. Na extremidade do braço tubular encontra-se um bloco de massa constante com um deslizador de borracha. O pêndulo é libertado de uma posição horizontal de modo que entre em contacto com a amostra do agregado com uma velocidade constante. A distância que o bloco de borracha percorre após entrar em contacto com o provete é determinada pela fricção da superfície da amostra de agregados, que anteriormente se submeteu à máquina de polimento acelerado.

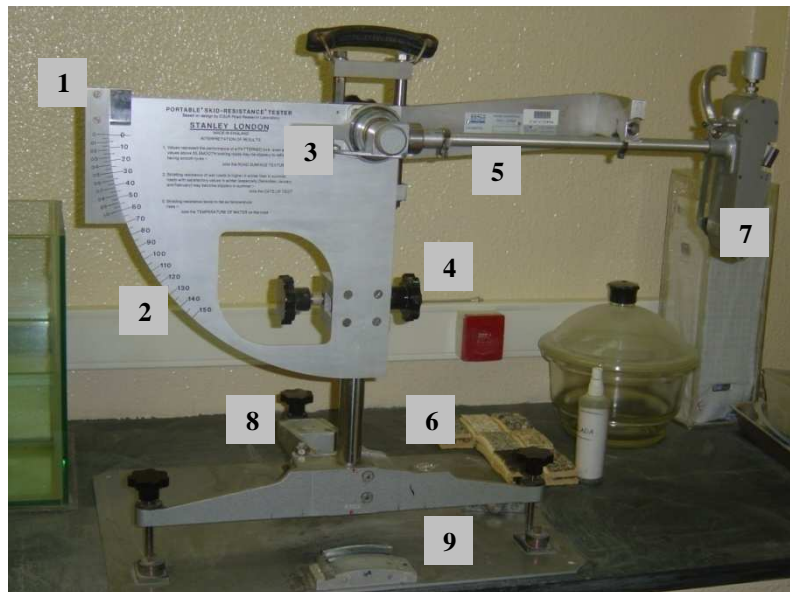


Figura 6 – Medidor de fricção

Legenda:

1. Escala de leitura do valor PSV
2. Escala de leitura em pavimento
3. Agulha
4. Parafuso de alinhamento vertical
5. Pêndulo
6. Nível de bolha
7. Deslizador de borracha
8. Parafuso de nivelamento
9. Posicionador do provete elementar de ensaio

Este equipamento tanto pode ser usado em estrada (in situ) como em laboratório.

7.2.4. Cálculos e expressão de resultados

Para que os ensaios possam ser considerados satisfatórios, calcula-se o PSV para cada agregado a partir da seguinte expressão 1:

$$PSV = S + (52,5) - C \quad (2)$$

Onde:

S é o valor médio para os quatro provetes elementares do agregado;

C é o valor para os quatro provetes elementares de pedra de controlo de PSV.

7.3. Outros testes de resistência ao escorregamento

Para efectuar os testes de resistência ao escorregamento existem, para além do pêndulo Britânico que já foi anteriormente descrito, outros ensaios que de seguida serão brevemente explicados.

Após a conclusão da camada de desgaste o caderno de encargos normalmente prevê a realização de um destes ensaios na camada para medir o atrito final obtido no pavimento. O pêndulo britânico apesar de se poder utilizar “in situ” normalmente não é utilizado nesta fase pois apenas apresenta resultados pontuais enquanto que os seguintes ensaios apresentam resultados em contínuo e com maior rendimento.

- “SCRIM”

Nos últimos anos tem havido uma tendência generalizada para desenvolver equipamentos de medida do coeficiente de atrito (atrito potencial), os quais se integram normalmente no fluxo normal de tráfego, obtendo-se deste modo valores com maior representatividade da situação normal de circulação.

Destes equipamentos o mais utilizado tem sido o “SCRIM” (Sideways Force Coefficient Routine Inspection Machine, figura 7 e 8). Este permite medir o coeficiente de atrito transversal (CAT) do pavimento, em contínuo, à velocidade de 60 km/h nas estradas e de 100 km/h nas auto-estradas.

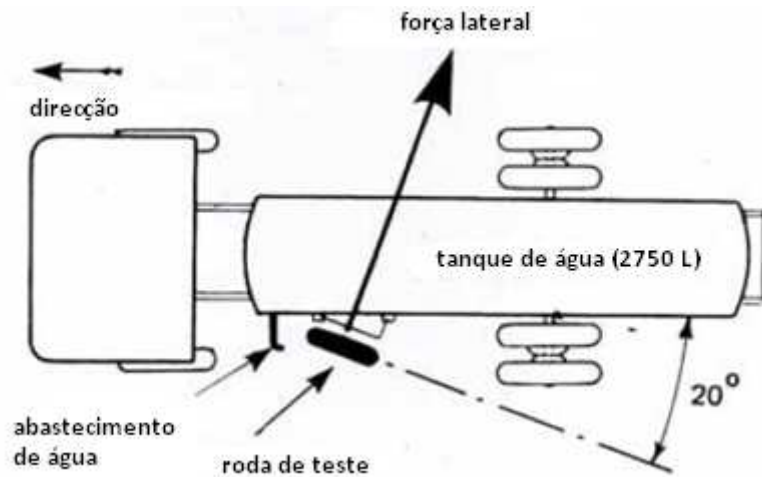


Figura 7 – Diagrama do “SCRIM”

Fonte: The effect of crushing on the skid resistance of chipseal roads



Figura 8 – camião “SCRIM”

Fonte: The effect of crushing on the skid resistance of chipseal roads

O “SCRIM” funciona através de um teste de uma força lateral de escorregamento utilizando para tal uma roda de medição montada a 20° da direção do percurso. O coeficiente de atrito transversal é a razão entre a força horizontal perpendicular ao plano de rotação da roda de teste e a acção vertical normal ao pavimento, que a massa suspensa exerce sobre a roda com o valor de 200 kgf. Quando um pavimento está molhado, o atrito decresce rapidamente e varia muito em função do tipo de pavimento. Para tornar a medida mais selectiva, o pavimento é molhado na zona de contacto da roda de teste com uma película de água de 0,50 mm.

A água é aplicada à superfície da estrada a partir dum tanque de armazenamento com capacidade para 2750 litros. Para aumentar a selectividade e obter dados independentes do estado do pneu de teste, este é liso, obtendo assim também uma boa reprodutibilidade das medições.

- “Grip Tester”

O “Grip Tester” (figura 9) é outro equipamento que permite a observação em contínuo do atrito. É apoiado em pneus num triciclo: dois pneus de movimentação de 25,4 cm de diâmetro na parte frontal e um pneu de 25,4 cm de diâmetro na parte traseira para medição da resistência ao escorregamento (roda de medição). A roda de medição gira na superfície de teste através de uma corrente motriz ligada às rodas de movimentação. As células de carga medem as forças verticais e horizontais na roda de medição.



Figura 9 – “Grip Tester”

Fonte: http://www.findlayirvine.com/products/prod_det.php?sectorId=3&productId=10

O “Grip Tester” pode ser usado como reboque em veículos tradicionais (figura 10), ou no modo de empurrão manual.



Figura 10 – “Grip Tester” em modo de reboque

Fonte: The effect of crushing on the skid resistance of chipseal roads

Quando em reboque, a água é aplicada na estrada a partir de um tanque montado na parte traseira do veículo ou com um vaporizador quando em modo de empurrão manual.

(Adaptado de R. Henderson, G. Cook, P. Cenek, J. Patrick, S. Potter, 2006; F. Branco, P. Pereira, L. Santos, 2006)

7.3.1. Correlação entre os testes de escorregamento

É possível efectuar uma boa correlação entre as medições de fricção providenciadas por o Pêndulo Britânico, o Griptest e SCRIM (Cenek e tal. 2004) e a conversão entre as medidas de fricção efectuadas com estes três equipamentos pode ser alcançado com o uso das relações desenvolvidas por a PIARC – World Road Association (1995). Estas medições são bastante úteis para investigação e compreensão da resistência ao escorregamento nas estradas. A fricção real verificada no desempenho de um carro em travagens de emergência será em função de alguns factores, em conjunto com a superfície da estrada.

Os factores, entre outros, são: velocidade de deslizamento, pressão do pneu, tipo de piso, efeito de lubrificação da borracha do pneu verificado na estrada, temperatura e espessura da película de água.

CAPÍTULO II

1. ESTUDO COMPARATIVO DOS RESULTADOS DO PSV E CLASSIFICAÇÃO GEOLÓGICA DOS AGREGADOS

Este projecto utiliza os dados correspondentes a 136 amostras e respectivos relatórios de ensaios do coeficiente de polimento acelerado, disponibilizados pelo CICCOPN (Centro de Formação Profissional da Indústria da Construção Civil e Obras Públicas do Norte), assim como os respectivos provetes para a caracterização geológica do agregado.

O objectivo como já foi referido é procurar estabelecer valores de tendência, identificando valores expectáveis para o coeficiente de polimento acelerado com base na origem e nas características geológicas dos agregados das amostras disponíveis.

Para caracterizar geologicamente os agregados é utilizada a descrição petrográfica simplificada, essencialmente visual. Esta descrição apresenta certos condicionalismos nomeadamente quanto ao número e pouca variedade geológica dos agregados dos provetes elementares disponíveis do ensaio de PSV, mas também quanto à falta de informação em determinados relatórios quanto a proveniência dos agregados. Outro dos condicionalismos presentes refere-se à descrição petrográfica dos agregados uma vez que é efectuada nos provetes dos ensaios onde a fracção de agregado utilizada é a que passa no peneiro de 10 mm e retida no peneiro de barras de 7,2 mm, sendo pois de tamanho relativamente reduzido.

1.1. Descrição petrográfica

A descrição petrográfica é essencialmente visual para determinação do tipo de rocha. Sempre que necessário a amostra é lavada. Cada tipo de rocha é cuidadosamente inspeccionado. Sempre que se justifique é utilizado um reagente, nomeadamente o ácido clorídrico diluído, para verificação dos calcários.

O estado de alteração nos agregados para camadas de desgaste de pavimentos é normalmente W_1 verificando-se casualmente estados de alteração de W_{1-2} , W_2 ou raramente W_3 (tabela 20).

Zonas	Grau de alteração	Nomenclatura		Significado	
Zona inferior	Sã ou não alterada	W1	W1-2	Não se observam sinais de alteração na matriz rochosa	Sã e compacta; Descontinuidades fechadas; Permeabilidade é praticamente nula
	Ligeiramente alterada	W2		Mudanças na cor original da matriz rochosa (descoloração)	
Zona intermédia	Moderadamente alterada	W3	W3	Menos de metade do material rochoso está decomposto e/ou desagregado num solo, mantendo-se a petrofábrica original	Maciço mais ou menos são; Intersectado por descontinuidades abertas
Zona superior	Muito alterada	W4	W4-5	Mais de metade do material rochoso está decomposto e/ou desagregado num solo; a rocha é muito friável	Zona alterada a muito alterada ou mesmo decomposta; Permeabilidade do tipo intersticial; Pode coexistir uma circulação fissural
	Completamente alterada	W5		Todo o material rochoso está muito decomposto e/ou desagregado num solo residual	

Tabela 20 - Classificação do grau de alteração

Fonte: Apontamentos Geomecânica, adaptado de ISRM, 1978, 1981; G.S.L. – working party, 1995

Para além da determinação do tipo de rocha, este estudo incide na sub-divisão dos granitos devido em grande parte a uma frequente utilização em camadas de desgaste de pavimentos e consequentemente apresentam-se em maior número nos dados disponibilizados. Os granitos são estudados particularmente quanto ao tamanho do grão mineralógico que é expectável como sendo um factor influente no PSV. Outras sub-divisões que podem eventualmente interessar são quanto ao tipo de granito que pode ser biotítico, com tendência porfiróide ou com bastante feldspato.

Os provetes elementares analisados são, como já foi referido, predominantemente agregados graníticos, mas também calcários, basaltos e alguns provetes de gnaiss e mármore.

Os elementos essenciais do granito são a ortoclase e quartzo, normalmente associados a biotite, a biotite e moscovite ou, mais raramente, só moscovite e por vezes hornoblenda. Também podem conter microclina e oligoclase. Os granitos são rochas faneríticas, geralmente grosseiramente equigranulares. A cor dos granitos depende muito da cor do feldspato e também das proporções relativas de feldspato e de elementos escuros. Normalmente, devido ao predomínio de minerais félsicos, é clara, branca ou acinzentada, podendo também ser rosada ou vermelha. Há granitos cinzentos-escuros, em geral porque o feldspato e o quartzo apresentam tal cor, mas são bastante raros.

Os calcários são formados essencialmente por calcite (CaCO_3). A maioria é constituída por grãos tão finos que não se distinguem uns dos outros macroscopicamente e não têm aparência cristalina. Alguns, porém, são nitidamente cristalinos. Os calcários constituem um grupo variadíssimo que inclui formações de origem química, orgânica, detrítica ou mista. Identificam-se facilmente por darem efervescência viva, a frio, com ácido clorídrico. Podem ter compacidade muito variada mas mesmo os calcários mais compactos riscam-se facilmente com o canivete. Certas formações calcárias de fraca coesão são friáveis. Os calcários compactos, de grão relativamente fino, têm fractura lisa. A cor é vulgarmente branca, mas pode ser cinzenta-azulada, cinzenta-escura, negra, amarelada ou acastanhada.

Os basaltos são rochas afaníticas de cor escura (negra, cinzenta-escura, verde-anegrado e raramente verde-avermelhada), em geral de aspecto homogéneo, compacto, quase aveludado e por vezes vesiculares. Pelo exame macroscópico reconhece-se serem constituídos por elementos ferromagnesianos (augite e por vezes biotite, hornoblenda e olivina), magnetite, ilmenite e plagioclases (labradorite e por vezes anortite). Há bastantes basaltos porfíricos mas a textura porfírica é muito menos vulgar nos basaltos do que nas rochas afaníticas de cores claras. Frequentemente apresentam fenocristais de olivina e o facto de ser tão comum em geral, tais casos, designam-se de basaltos olivínicos.

Os gnaisses são rochas formadas por metamorfismo dos granitos. Contêm sempre proporção elevada de feldspato assim como o quartzo, micas (biotite, moscovite) e hornoblenda são constituintes vulgares destas rochas. Os grãos ou lentículas de quartzo, sendo desenvolvidos, identificam-se pela fractura e brilho. Os feldspatos podem também formar grãos relativamente grandes, dando à rocha aspecto porfiróide. As micas formam como que faixas ou então delgadas manchas. A fractura da rocha dá-se mais facilmente segundo os planos de acumulação destes minerais. A grafite pode encontrar-se em gnaisses formados a partir de rochas sedimentares, dando origem à rocha escura, quase negra. As cores branca, cinzenta-clara a escura ou avermelhada são as mais vulgares e a verde verifica-se quando abunda a clorite.

Os mármore resultam da recristalização de calcários ou de dolomias, devido a acções metamórficas. São então constituídos essencialmente por calcite ou por dolomite. Os mármore são visivelmente cristalinos e mais ou menos brilhantes. Podem ser formados por grãos que não se distinguem macroscopicamente, ou serem fanerocristalinos, de grão fino, médio ou grosseiro. A cor normalmente é branca mas muitas vezes são corados (quase sempre por óxidos de ferro ou matérias carbonosas) uniformemente ou em desenhos variados. São, em geral maciços, sem xistosidade, mas há variedades com xistosidade mais ou menos desenvolvida.

(Adaptado de Costa B., 1950)

1.2. Apresentação da descrição petrográfica e dos resultados obtidos nos ensaios PSV

Para um melhor tratamento de dados foi criada a tabela 21 onde se verifica particularmente as subdivisões do granito quanto ao tamanho do grão mineralógico e sua respectiva dimensão aproximada.

Grupo dos granitos	Designação	Dimensão aproximada do grão mineralógico (mm)
1	grão fino	< 1
2	grão médio	2 a 4
3	grão grosseiro	> 5
4	grão fino a médio	1 a 2
5	grão médio a grosseiro	4 a 5
6	com tendência porfiróide	-
7	biotítico	-
8	com bastante feldspato	-
9	heterogéneo	-

Tabela 21 – subdivisão dos granitos

As tabelas seguintes correspondem ao estudo efectuado quanto à descrição petrográfica dos agregados dos provetes elementares do ensaio PSV assim como o seu respectivo resultado do PSV. As tabelas estão divididas de acordo com os grupos (classificação geológica) das amostras onde também se pode verificar o ano em que foi efectuado o ensaio de PSV, a referência da amostra, a classificação geológica dos agregados, o grau de alteração, a origem e o valor do PSV.

- Granitos – Grão Fino

Ano	Referência da amostra	Classificação geológica dos agregados	Grupo		Grau de alteração	Origem	PSV
2007	-	granito	1	-	W1-2 por vezes W3	-	54
2005	Agregado classe I	granito	1	-	W1	Penafiel	55
2005	Agregado de Forno de Algodres	granito	1	-	W1	Guarda	52
2006	NA 152/06	granito	1	8	W1	-	59
2004	Brita 6/14	granito	1	7	W1	-	53
2005	Brita 4/12	granito	1	-	W1	Braga	60
2006	Brita 6/14	granito	1	-	W1	-	58
2004	Amostra nº 1, 6/12 classe 1 drenante	granito	1	-	W1	-	51
2006	Brita 4/12	granito	1	7	W1	-	53
2006	Agregado 4/12	granito	1	-	W1	-	53

Valor PSV		
Médio	Máximo	Mínimo
54,8	60	51

Tabela 22 - estudo dos granitos – grão fino

- Granitos – Grão fino a médio

Ano	Referência da amostra	Classificação geológica dos agregados	Grupo		Grau de alteração	Origem	PSV
2006	Brita 10/15	granito	4	-	W1-2	-	58
2006	Gravilha 6/16	granito	4	-	W1	Alpendurada	55
2005	Gravilha 5/10	granito	4	-	W1	Guimarães	55
2006	LA0651220GCZD21 6	granito	4	-	W1	Gondomar	62
2003	-	granito	4	-	W1	-	
2007	-	granito	4	-	W1-2 por vezes W3	-	54

Tabela 23 - estudo dos granitos – grão fino a médio

Ano	Referência da amostra	Classificação geológica dos agregados	Grupo		Grau de alteração	Origem	PSV
2007	-	granito	4	-	W1	-	51
2006	Amostra nº 2, Gravilha 4/10	granito	4	-	W1	Guarda	45
2005	Agregado classe i, Brita 6/12	granito	4	-	W1	Vila Nova de Famalição	52
2006	A0212/06	granito	4	-	W1-2	-	58
2003	-	granito	4	-	W1	-	53
2006	A0318/06	granito	4	-	W1	-	52
2005	Gravilha 4/10	granito	4	-	W1	Viseu	57
2003	-	granito	4	-	W1	-	53
2006	A0280/06	granito	4	-	W1	-	55
2006	Brita 6/12 drenante	granito	4	-	W1	Penafiel	53
2005	-	granito	4	-	W1	-	58
2005	Agregado 6/12	granito	4	-	W1	Vila Nova de Famalição	55
2005	-	granito	4	-	W1	-	54
2004	Brita 1	granito	4	-	W1	-	54
2006	Amostra nº 670, Agregado 4/10 Barmac	granito	4	-	W1	Braga	55
2006	Amostra nº 655, Agregado 4/10	granito	4	7	W1	Braga	53
2005	A0946/05	granito	4	-	W1-2 por vezes W3	-	56
2005	-	granito	4	-	W1	-	55
2004	6/12 drenante	granito	4	-	W1	-	51
2006	Gravilha 4/10	granito	4	-	W1	-	54
2006	A1115/06	granito	4	-	W1	-	52

Valor PSV		
Médio	Máximo	Mínimo
54,2	62	45

Tabela 24 – estudo dos granitos – grão fino a médio (continuação)

- Granitos – Grão médio

Ano	Referência da amostra	Classificação geológica dos agregados	Grupo		Grau de alteração	Origem	PSV
2005	brita	granito	2	-	W1	-	55
2004	-	granito	2	6	W1	-	53
2005	A0030/05, Brita 10/15	granito	2	-	W1	Penafiel	54
2007	-	granito	2	-	W1	-	53
2007	-	granito	2	-	W1	-	53
2006	A0052/06	granito	2	-	W1	-	53
2006	Gravilha 6/16	granito	2	-	W1-2 por vezes W3	Alpendurada	55
2004	-	granito	2	-	W1	-	53
2006	Agregado 4/8	granito	2	7	W1	Paredes de Coura	56
2005	Agregado classe II, Brita 6/14	granito	2	-	W2 por vezes W3	Penafiel	53
2005	A0471/05 - 10/6,3 PROV. Labc.	granito	2	-	W1	-	52
2005	A0483/05, Fracção 6,3/10	granito	2	-	W1	-	52
2006	A0335/06	granito	2	-	W1	-	54
2003		granito	2	-	W1	-	53
2005	Amostra nº 5923, Agregado 5/10	granito	2	6	W1	Vila Nova de Gaia	51
2005	Amostra nº 5998, Agregado 5/12	granito	2	-	W1-2 por vezes W3	Vila Real	54
2006	A0293/06	granito	2	8	W1	-	51
2004	Gravilha 5/10	granito	2	-	W1	V. N. Famalicão	51
2004	Gravilha 6/15	granito	2	8	W1	Viseu	50
2005	-	granito	2	7	W1	-	57
2005	A0592/05	granito	2	-	W1	-	53
2004	Gravilha 5/10	granito	2	8	W1	-	51
2006	Amostra nº 343, Agregado 4/8	granito	2	-	W1	Ponte de Lima	52
2006	Amostra nº 321, Agregado 4/10	granito	2	-	W1	Penafiel	53
2005	Agregado Britado 8/16	granito	2	-	W1	-	52

Tabela 25 – estudo dos granitos – grão médio

Ano	Referência da amostra	Classificação geológica dos agregados	Grupo		Grau de alteração	Origem	PSV
2006	Amostra nº 678, Agregado 4/10	granito	2	-	W1	Viseu	54
2005	A0681/05	granito	2	-	W1	-	53
2005	A0813/05, Brita 1	granito	2	-	W1	-	58
2005	Agregado 6/16 - Amostra 3	granito	2	6	W1-2 por vezes W3	Santo Tirso	54
2003	-	granito	2	-	W1	-	53
2003	-	granito	2	-	W1	-	53
2006	A0531/06	granito	2	-	W1	-	53
2006	A0553/06	granito	2	-	W1	-	51
2005	Agregado 4/8	granito	2	6	W1	Vila do Conde	51
2003	-	granito	2	-	W1	-	52
2004	Gravilha 5/15	granito	2	-	W1	-	52
2004	gravilha 6/12	granito	2	-	W1	-	54
2004	Brita 10/15	granito	2	-	W1-2 por vezes W3	-	53
2005	A1142/05	granito	2	6	W1	-	57
2005	Gravilha 5/10	granito	2	-	W1	Vila Flor	57
2006	Agregado 5/8	granito	2	-	W1-2 por vezes W3	-	52
2005	Areão 5/10	granito	2	-	W1-2 por vezes W3	-	59
2006	A1032/06	granito	2	-	W1	-	53

Valor PSV		
Médio	Máximo	Mínimo
53,3	59	50

Tabela 26 - estudo dos granitos – grão médio (continuação)

- Granitos – Grão médio a grosseiro

Ano	Referência da amostra	Classificação geológica dos agregados	Grupo		Grau de alteração	Origem	PSV
2007	-	granito	5	8	W1	-	52
2007	-	granito	5	-	W1	-	49
2006	5/16 Azul	granito	5	8	W1	Viseu	51
2005	A0318/05, proveniência: LABC	granito	5	8	W1	Viseu	52
2005	A0356/05	granito	5	-	W1	-	47
2005	A0487/05 Fracção 6,3/10	granito	5	8	W1	-	56
2006	Amostra nº 356, Agregado 4/8	granito	5	-	W1	Vila do Conde	51
2006	Amostra nº 331, Agregado 4/12	granito	5	-	W1	Vila Real	51
2006	A0591/06	granito	5	-	W1	-	52
2005	Amostra A0882/05	granito	5	8	W1	-	52
2005	A0912/05	granito	5	-	W1	-	55
2005	A0992/05	granito	5	-	W1	-	55
2005	A1096/05	granito	5	-	W1	-	51
2006	Amostra nº 5137, (granito)	granito	5	8	W1	Viseu	47
2006	A0801/06	granito	5	-	W1	-	52

Valor PSV		
Médio	Máximo	Mínimo
51,5	56	47

Tabela 27 - estudo dos granitos – grão médio a grosseiro

- Granitos – Grão grosseiro

Ano	Referência da amostra	Classificação geológica dos agregados	Grupo		Grau de alteração	Origem	PSV
2005	A0353/05	granito	3	8	W1	-	47
2005	A0355/05	granito	3	8	W1	-	47
2003	-	granito	3	8	W1	-	52
2006	A0515/06	granito	3	8	W1	-	49

Valor PSV		
Médio	Máximo	Mínimo
48,8	52	47

Tabela 28 - estudo dos granitos – grão grosseiro

- Granitos – Com tendência porfiróide

Ano	Referência da amostra	Classificação geológica dos agregados	Grupo		Grau de alteração	Origem	PSV
2004		granito	2	6	W1	-	53
2005	Amostra nº 5923, Agregado 5/10	granito	2	6	W1	Vila Nova de Gaia	51
2005	Agregado 6/16 - Amostra 3	granito	2	6	W1-2 por vezes W3	Santo Tirso	54
2005	Agregado 4/8	granito	2	6	W1	Vila do Conde	51
2005	A1142/05	granito	2	6	W1	-	57

Valor PSV		
Médio	Máximo	Mínimo
53,2	57	51

Tabela 29 - estudo dos granitos – com tendência porfiróide

- Granitos – Biotíticos

Ano	Referência da amostra	Classificação geológica dos agregados	Grupo		Grau de alteração	Origem	PSV
2006	Agregado 4/8	granito	2	7	W1	Viana do Castelo	56
2005		granito	2	7	W1	-	57
2006	Amostra nº 655, Agregado 4/10	granito	4	7	W1	Braga	53
2004	Brita 6/14	granito	1	7	W1	-	53
2006	Brita 4/12	granito	1	7	W1	-	53

Valor PSV		
Médio	Máximo	Mínimo
54,4	57	53

Tabela 30 - estudo dos granitos – biotíticos

- Granitos – com bastante feldspato

Ano	Referência da amostra	Classificação geológica dos agregados	Grupo		Grau de alteração	Origem	PSV
2007		granito	5	8	W1	-	52
2006	5/16 Azul	granito	5	8	W1	Nelas	51
2005	A0318/05, proveniência: LABC	granito	5	8	W1	Viseu	52
2005	A0353/05	granito	3	8	W1	-	47
2005	A0355/05	granito	3	8	W1	-	47
2005	A0487/05 Fracção 6,3/10	granito	5	8	W1	-	56
2006	A0293/06	granito	2	8	W1	-	51
2003		granito	3	8	W1	-	52
2006	NA 152/06	granito	1	8	W1	-	59
2004	Gravilha 6/15	granito	2	8	W1	Viseu	50
2004	Gravilha 5/10	granito	2	8	W1	-	51
2006	A0515/06	granito	3	8	W1	-	49
2005	Amostra A0882/05	granito	5	8	W1	-	52
2006	Amostra nº 5137, (granito)	granito	5	8	W1	Viseu	47

Valor PSV		
Médio	Máximo	Mínimo
51,1	59	47

Tabela 31 - estudo dos granitos – com bastante feldspato

- Granitos – provetes com elevada heterogeneidade entre as partículas constituintes

Ano	Referência da amostra	Classificação geológica dos agregados	Grupo		Grau de alteração	Origem	PSV
2007		granito	9	-	W1	-	56
2006	Agregado da camada de desgaste 8/16	granito	9	-	W1	-	52
2005	A0939/05	granito	9	-	W1-2 por vezes W3	-	60

Valor PSV		
Médio	Máximo	Mínimo
56,0	60	52

Tabela 32 – estudo dos granitos – provetes com elevada heterogeneidade entre as partículas constituintes

- Granitos – Valores Globais

Valor PSV		
Médio	Máximo	Mínimo
53,1	62,0	45,0

Tabela 33 – Granitos – Valores Globais

- Calcários

Ano	Referência da amostra	Classificação geológica dos agregados	Grupo		Grau de alteração	Origem	PSV
2007		calcário	-	-	W1	-	25
2006	A0460/06	calcário	-	-	W1	-	43
2005		calcário	-	-	W1	-	37
2005	Agregado "Vale da Pedreira"	calcário	-	-	W1	Rio Maior	31
2005	A163 - Agregado britado de natureza carbonatada	calcário	-	-	W1	Sesimbra	33
2005	A0820/05	calcário	-	-	W1	-	34
2005	A0861/05	calcário	-	-	W1	-	38
2005	A1077/05	calcário	-	-	W1	-	44
2006	Amostra nº 6505 (calcário)	calcário	-	-	W1	Rio Maior	30
2004	A0757/04, agregado 6/14, 04,07,27	calcário	-	-	W1	Vila Franca de Xira	42
2006	A1126/06	calcário	-	-	W1	-	39

Valor PSV		
Médio	Máximo	Mínimo
36,0	44	25

Tabela 34 – estudo dos calcários

- Basaltos

Ano	Referência da amostra	Classificação geológica dos agregados	Grupo		Grau de alteração	Origem	PSV
2006	Brita nº 1	basalto	-	-	W1	-	65
2006	Brita nº 1	basalto	-	-	W1	-	56
2005	-	basalto	-	-	W1	-	55
2006	-	basalto	-	-	W1	-	51
2003	-	basalto	-	-	W1	-	53
2006	-	basalto	-	-	W1	-	54
2006	Amostra nº 6508	basalto	-	-	W1	Rio Maior	53
2006	A0854/06	basalto	-	-	W1	-	54
2005	-	basalto	-	-	W1	-	63

Valor PSV		
Médio	Máximo	Mínimo
56,0	65	51

Tabela 35 – estudo dos basaltos

- Mármoreos

Ano	Referência da amostra	Classificação geológica dos agregados	Grupo		Grau de alteração	Origem	PSV
2005	-	mármore	-	-	W1	-	39
2006	A0835/06	mármore	-	-	W1	-	52

Valor PSV		
Médio	Máximo	Mínimo
45,5	52	39

Tabela 36 – estudo dos mármoreos

- Gnaisses

Ano	Referência da amostra	Classificação geológica dos agregados	Grupo		Grau de alteração	Origem	PSV
2006	Amostra nº 27/06, Agregado Britado 8/16	gnaisse	-	-	W1	-	51
2004	Gravilha nº1	gnaisse	-	-	W1	-	50
2003	-	gnaisse	-	-	W1	-	52
2006	6/12	gnaisse	-	-	W1	Santa Maria da Feira	49

Valor PSV		
Médio	Máximo	Mínimo
50,5	52	49

Tabela 37 – estudo dos gnaisses

1.3. Análise de resultados

Na análise de resultados verifica-se que os agregados provenientes de rochas de origem magmática apresentam valores de PSV mais elevados. São rochas resultantes da consolidação do magma, de origem profunda, a altas temperaturas e compostas essencialmente por materiais silicatados. O seu modo de cristalização (velocidade de arrefecimento) traduz-se na sua textura, ou seja a sua relação entre os grãos de minerais, conferindo uma boa aplicabilidade para agregado e com características de polimento de boa qualidade.

Já os agregados provenientes de rochas metamórficas que apresentam um valor de PSV inferior aos agregados de rochas magmáticas, resultam de alterações físicas (de temperatura e pressão) e químicas de rochas pré-existentes. No entanto de referir que alguns agregados de origem metamórfica apresentam valores de PSV mais elevados que alguns agregados de origem magmática.

Os agregados provenientes de rochas sedimentares apresentam valores de PSV mais baixo de todos. São rochas normalmente provenientes da acumulação de detritos de rochas pré-existentes que sofreram um processo de desagregação, transporte e sedimentação.

As rochas que são compostas por minerais de dureza diferente e as rochas com grãos minerais de dureza mais elevada numa matriz relativamente macia, têm uma resistência mais elevada ao polimento. As rochas onde os minerais têm quase a mesma dureza desgastam-se uniformemente e tendem a ter uma baixa resistência ao polimento (J. G. Cabrera, J. R. Dixon, 1996)

Os valores mais baixos do PSV são relativos aos calcários (rochas sedimentares) por estes serem constituídos essencialmente por calcite, um mineral que apresenta uma dureza baixa, de 3 na escala de Mohs. Os mármore apresentam um valor de PSV mais elevado e apesar de possuírem uma composição mineralógica idêntica aos calcários, o seu valor mais elevado pode ser justificado na sua origem, pois são rochas metamórficas. Os valores baixos dos calcários e mármore limitam, na maioria das vezes, a sua utilização em camadas de desgaste por não apresentar as características exigidas quanto ao polimento. Os cadernos de encargos referentes às misturas betuminosas constituintes das camadas de desgaste dos pavimentos com tráfego de velocidade elevada só admitem, normalmente, PSV superior a 50, subindo este valor para 55 no caso de misturas betuminosas do tipo drenante.

Por outro lado os basaltos apresentam o valor de PSV mais elevado, são rochas magmáticas, apresentam essencialmente minerais de augite (dureza 5,5 a 6), olivina (dureza 6,5 a 7), hornblenda (dureza 5,0 a 6,0), magnetite (dureza 5,5 a 6,5) e plagioclases (dureza 6,0 a 6,5). Exibem alguns cristais desenvolvidos sobre a massa vítrea.

Os granitos apresentam um valor relativamente elevado de PSV (rochas magmáticas). São constituídos essencialmente por quartzo (de dureza 7) e ortoclase (dureza 6), associados a biotite e moscovite. Verifica-se nos granitos uma influência do tamanho do grão mineralógico ou seja quanto mais fino é o grão mineralógico, maior é o valor do PSV. Este estado verifica-se principalmente em rochas que são compostas por minerais de dureza diferente, onde os grãos minerais de dureza mais elevada têm uma resistência maior ao desgaste do que os grãos minerais de dureza mais baixa criando assim no caso de agregados mais finos uma microtextura mais favorável e uma resistência mais elevada ao polimento, ao contrário dos agregados com grão minerais mais grosseiros, como se verifica na figura 11.

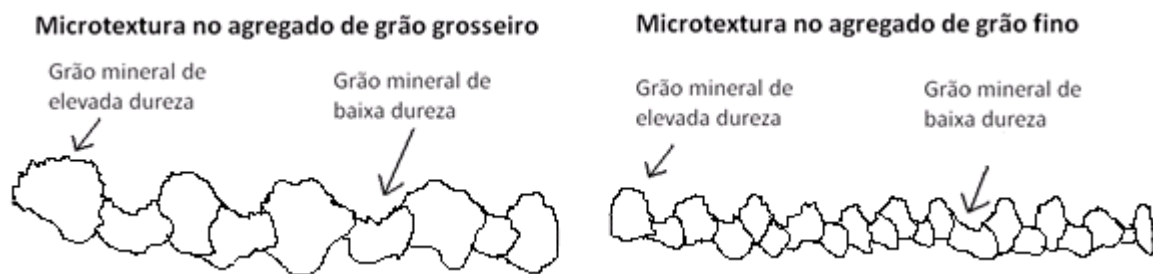


Figura 11 – Diferenças na microtextura entre agregados com minerais finos e grosseiros

Já os gnaisses apresentam valores de PSV relativamente mais baixos. Apesar de os gnaisses serem de origem metamórfica, diferente dos granitos (origem magmática) têm valores de PSV idênticos por possuírem uma composição mineralógica idêntica. Normalmente apresentam também proporções elevadas de feldspato, tendo também como minerais constituintes o quartzo, micas (biotite e moscovite) e hornoblenda.

O gráfico da figura 12 exibe valores médios do PSV em função da classificação geológica dos agregados.

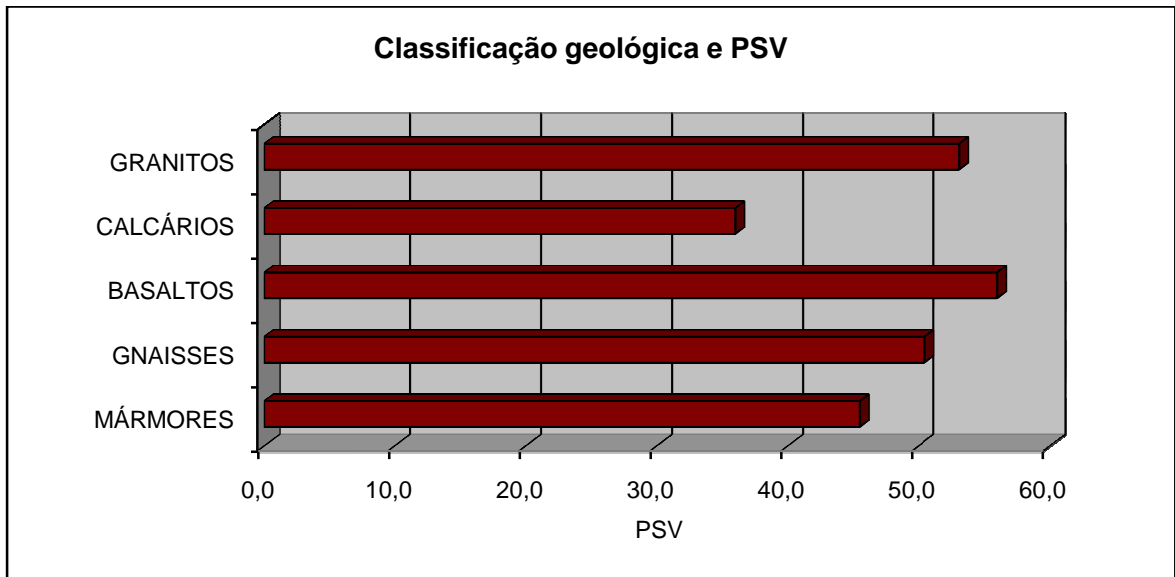


Figura 12 – Valores médios do PSV em função da classificação geológica do agregado

Relativamente ao grupo dos granitos verifica-se uma tendência do tamanho do grão mineralógico. É notório pelo gráfico da figura 13 que quanto mais fino o tamanho do grão mineralógico, mais elevado é o coeficiente de polimento acelerado.

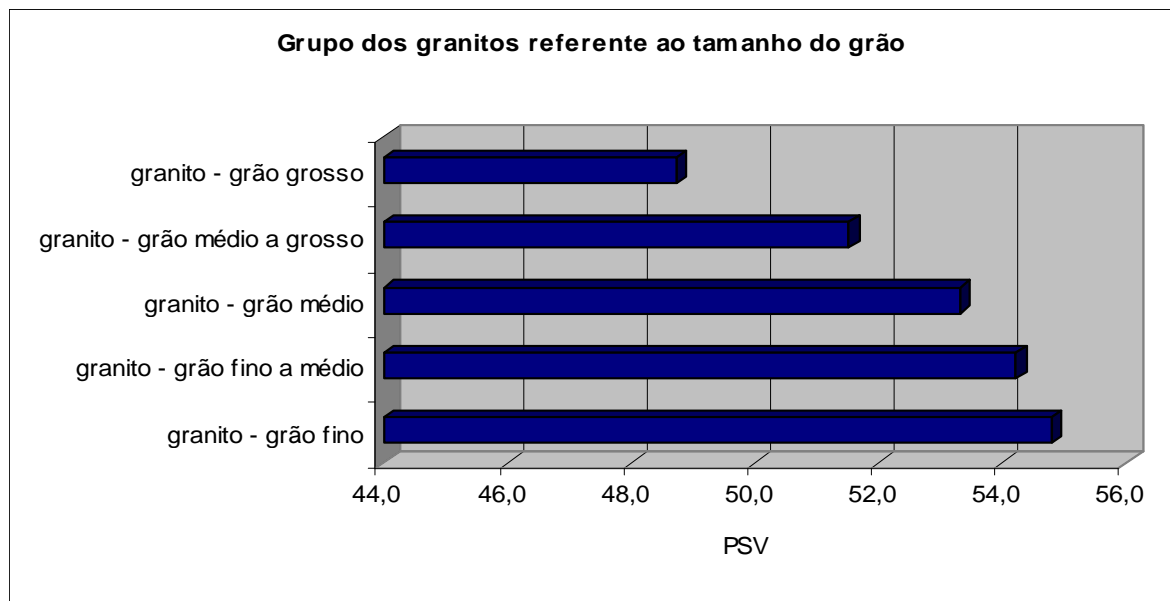


Figura 13 – Valores médios do PSV em função do tamanho dos grãos minerais de agregados graníticos

Quanto a outras características do grupo dos granitos verifica-se que o material heterogéneo apresenta um PSV relativamente elevado pois a diversificação entre minerais duros e macios é mais acentuada. Os que contêm bastante feldspato apresentam um PSV relativamente baixo pois o facto de existir apenas mineral em maioria, não apresentando portanto diversificação entre minerais duros e macios, faz com que o desgaste seja mais uniforme. Os granitos com tendência porfiróide e os biotíticos apresentam um PSV dentro da média dos granitos sendo os porfiróides mais baixos por apresentarem quantidades significativas de feldspato (fig. 14).

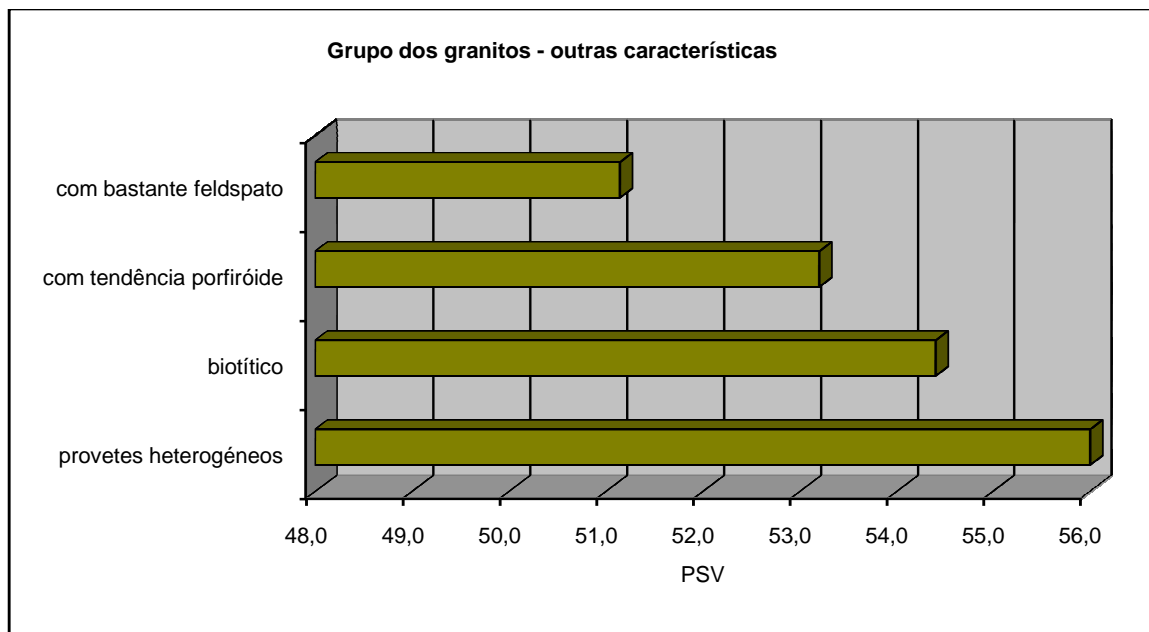


Figura 14 – Valores médios do PSV no grupo dos granitos – outras características

O grau de alteração dos agregados classificados através dos provetes elementares é na sua maioria W_{1-2} , por vezes W_2 ou W_3 . Uma vez que os agregados dos provetes em estudo e na generalidade dos agregados aplicados em camadas de desgaste de pavimentos é são ou ligeiramente alterada, a relação do grau de alteração com o PSV é de certo modo limitada pois com os dados disponíveis não se verifica qualquer tendência em especial nessa relação. No entanto, é previsível que este factor tenha pouca influência no resultado.

Na tentativa de estabelecer valores de tendência do PSV com base nas características geológicas, chega-se à tabela 38 para uma análise expedita dos valores espectáveis do PSV.

Classificação geológica	PSV	
	médio	máx.
		mín.
Granito	53	62
		45
Calcário	36	44
		25
Basalto	56	65
		51
Gnaisses	51	52
		49
Mármore	46	52
		39

Tabela 38 - valores expectáveis do PSV relativamente às características geológicas

Para os granitos podem ainda ser apresentados os seguintes valores em função da dimensão do grão mineralógico (tabela 39).

Granito			grão fino		grão fino a médio		grão médio		grão médio a grosseiro		grão grosseiro	
PSV	Médio	Máx.	55	60	54	62	53	59	52	56	49	52
		Mín.		51		45		50		47		47

Tabela 39 - valores expectáveis do PSV relativamente às características geológicas (grupo dos granitos)

2. RESULTADOS DO PSV COM BASE NA PROVENIÊNCIA DOS AGREGADOS

Com base na informação disponível e tendo em consideração os principais centros de produção de rocha industrial (figura 15), é apresentado um zonamento a nível de Portugal Continental do valor do coeficiente de polimento acelerado e a sua respectiva proveniência (figura 16). Contudo, devido à escassez de informação quanto à proveniência dos agregados, esta análise apresenta-se de certo modo limitada.

Portugal apresenta uma geologia variada, factor que influencia a distribuição do valor do coeficiente de polimento acelerado, verificando-se valores mais elevados na zona norte, predominantemente granítica e com valores mais baixos na zona centro e sul onde os calcários abundam.

- Localização dos principais centros produtores de rocha industrial



Figura 15 - Localização dos principais centros produtores de rocha industrial.
 Fonte: Divisão de Estatística da DGGE

- Coeficiente de polimento acelerado com base na proveniência dos agregados em estudo

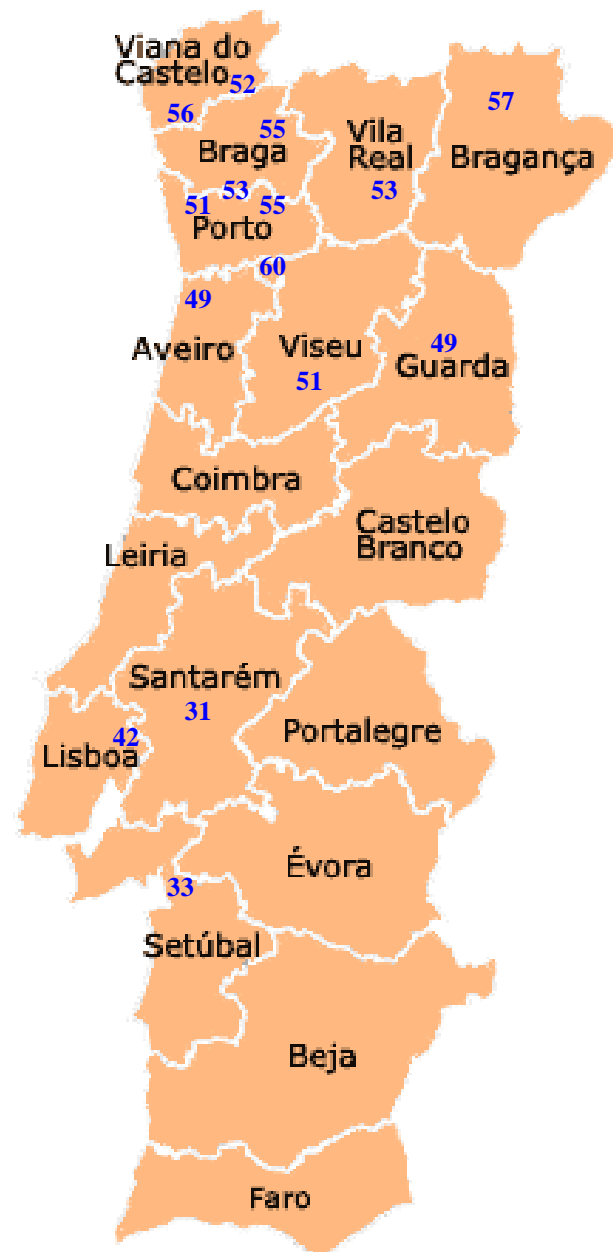


Figura 16 - Coeficiente de polimento acelerado com base na proveniência dos agregados em estudo

É necessário ter em consideração que os valores representados no mapa da figura 16 são meramente indicativos da proveniência de alguns dos agregados em estudo, não podendo ser equacionados como regra geral dos valores de tendência da relação entre o PSV e a proveniência do agregado. Tal situação é explicada, por exemplo, com o facto de, no norte de Portugal, o PSV mais alto e o mais baixo coabitarem na mesma zona (PSV de 60 e 49, perto da cidade do Porto). Contudo, podem-se obter algumas deduções, nomeadamente no facto de ser mais provável encontrar uma rocha que origine um agregado com PSV de boa qualidade na região norte. Ao contrário, na região sul, o PSV é significativamente mais baixo, explicado pelo facto de ser uma região essencialmente calcária. Não quer isto dizer que não seja possível encontrar um agregado no centro e sul com boas características quanto ao polimento ou um agregado com fracas características de polimento no norte, pois tais factos poderão ocorrer em situações pontuais.

CAPÍTULO III

1. APERFEIÇOAMENTO DO COEFICIENTE DE POLIMENTO ACELERADO NOS AGREGADOS

Determinados agregados cujas características a nível do coeficiente de polimento acelerado estão um pouco abaixo do valor mínimo exigido num caderno de encargos para camadas de desgaste em pavimentos poderão ser susceptíveis de aperfeiçoamento para que possam ser de facto usados nessa aplicação.

Os cadernos de encargo na sua grande maioria exigem um PSV igual ou superior a 50 para a generalidade das camadas de desgaste de pavimentos e superior a 55 para determinadas misturas betuminosas. Os agregados cujos valores estejam próximos mas abaixo desse valor não poderão assim ser usados nessas camadas. A questão que se coloca é saber se alterando a forma do agregado e criando simultaneamente maior número de faces fragmentadas se o valor do PSV aumenta, passando a cumprir o valor especificado no caderno de encargos.

1.1. Influência das faces fragmentadas do agregado na microtextura

Algumas questões levantam-se relativamente a que parâmetros da microtextura e da forma dos agregados contribuem para uma resistência elevada ao escorregamento. Seria importante verificar se um agregado com baixa microtextura apresenta uma resistência aceitável ao escorregamento, oferecendo-lhe para tal uma percentagem elevada de faces fragmentadas e que influência pode ter o tamanho e forma das partículas na resistência ao escorregamento.

Dado a falta da informação do efeito das características da textura e da forma dos agregados na resistência ao escorregamento, não poderão ser efectuadas decisões precisas quanto ao grau de fragmentação necessários para um agregado relativamente aos critérios da resistência ao escorregamento.

Foram efectuadas pesquisas nos últimos 30 anos que desenvolveram modelos para prever a resistência ao escorregamento a partir da textura dos pavimentos, mas estes modelos tendem a ser empíricos e relativamente simples que normalmente não oferecem boas previsões da resistência ao escorregamento. As razões para tal são relativas à imprecisão em isolar a porção da textura que está em contacto com o pneu, mas também pela incapacidade de medir com precisão a microtextura do agregado.

1.2. Procedimento de estudo

Para avaliar a possibilidade que o melhoramento da forma e uma maior quantidade de faces fragmentadas num agregado possui para aumentar o valor do coeficiente de polimento acelerado foram recolhidas determinadas amostras provenientes de duas pedreiras de produção de agregados.

1.2.1. Localização e caracterização geológica, geomorfológica e geotécnica da proveniência das amostras recolhidas

- Pedreira Coutada Nº2

A pedreira Coutada nº2 localiza-se no distrito do Porto, concelho de Santo Tirso, Freguesia de Monte Córdova, mais concretamente no lugar de Coutada do Lamosêlo.



Figura 17 – Localização da pedreira Coutada nº2

Fonte: ©2008 Google - Dados do mapa ©2008 Tele Atlas

A região onde se insere a pedreira COUTADA Nº2 pertence à região do Minho integrando-se no contexto mais vasto do relevo do Noroeste da Península Ibérica. Este maciço encontra-se cartografado à escala 1:50 000 na folha 9-B Guimarães da Carta Geológica de Portugal.

A morfologia minhota e galega ocidental são marcadas pela oposição entre relevos elevados, culminando em planaltos descontínuos. A originalidade do relevo desta região deve-se às suas

características litológicas, em que predominam as rochas cristalinas, as condições climáticas húmidas favoráveis à alteração e a uma tectónica complexa influenciando a morfologia (criando desníveis ou facilitando a erosão diferencial), cujos efeitos são difíceis de distinguir.

A simples observação dos mapas topográficos regionais mostra que o relevo da região está marcado por depressões alinhadas, ocupadas pela drenagem fluvial, constituindo lineamentos importantes dispostos em famílias de orientação preferencial de falhas.

O tipo de rocha predominante na zona é o granito. Trata-se de um granito monzonítico de grão médio porfiróide com duas micas, essencialmente biotítico e conhecido pelo nome de granito de Monte Córdova ou Paços de Ferreira.

É um granito, conforme já referido, de duas micas, com percentagem maior de biotite, revelando tendência monzonítica, por vezes quase granodiorítica. A microlina que ocorre nos megacristais é poicilitica e pertítica.

A plagioclase é frequentemente zonada e contém mirmequite. Além do quartzo primário, xenomorfo, em geral cataclástico com extinção ondulante, ocorre quartzo microgranulado, secundário. A moscovite pode exibir textura simplectítica na bordadura das plagas. A biotite contém geralmente diversas incursões de apatite e zircão, podendo ocorrer na sua dependência turmalina acessória.

As rochas graníticas e granitóides de diferentes tipos afloram largamente na região onde se insere a pedreira (mais de 75% do total da área), sendo por isso frequentemente utilizadas como pedra industrial e ornamental. A exploração da pedra granítica constitui na área em estudo uma tradição que remonta a muitas dezenas de anos.

Do ponto de vista geológico, a pedreira de St. Tirso está situada numa *zona de contacto* entre duas formações graníticas: os Granitos do Fontão e os Granitos de St. Tirso. Os Granitos do Fontão são ortosi-albiticos de grão fino, enquanto que os granitos de St. Tirso são monzogranitos biotíticos, porfiróides de grão grosseiro.

Do ponto de vista estrutural, o maciço rochoso apresenta fracturação dominante nas direcções N-S a NNW e NE-SW. A observação macroscópica das formações ocorrentes permite confirmar as duas litologias dominantes acima referidas. Um granito ortosi-albitico de grão fino, de duas micas e monzogranitos biotíticos, porfiróides de grão grosseiro.

O maciço rochoso é geralmente de qualidade boa a excelente ($RQD > 75\%$), encontra-se pouco alterado e/ou são (W_{1-2}). Predominam as fracturas medianamente afastadas (F_3), ocorrendo pontualmente fracturas próximas a muito próximas (F_4 e F_3).

(Mota-Engil, S.A. – DICIN – Direcção de Centros Industriais, 2006)

- Pedreira da Mimosa

O local da pedreira da Mimosa no distrito do Porto, concelho de Penafiel, freguesia de Peroselo, no lugar da Cabeça Santa.

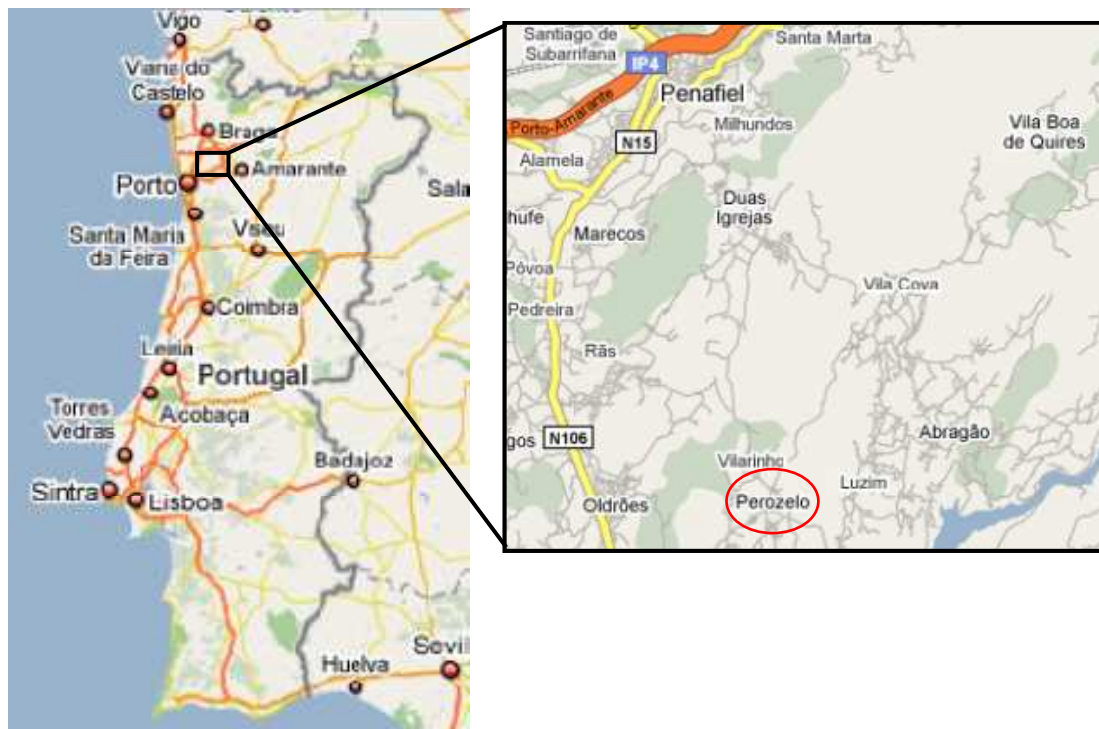


Figura 18 – Localização da pedreira da Mimosa
 Fonte: ©2008 Google - Dados do mapa ©2008 Tele Atlas

A região encontra-se cartografada à escala 1:50 000 na folha 9-D Penafiel da Carta Geológica de Portugal. Este maciço situa-se, do ponto de vista geomorfológico, na vertente ocidental do amplexo granítico de Cabeça Santa, segundo uma direcção geral NNE-SSW. Este maciço apresenta em geral uma forma elipsoidal, alongada e constitui um importante relevo de resistência na região. O bordo Oeste constitui uma importante escarpa de falha regional, bem patente na geometria alongada do corpo granítico, na deformação do material granítico junto a esse bordo e sobretudo no lineamento tectónico regional materializado pela Ribeira das Lajes.

O maciço granítico de Penafiel faz parte de uma faixa de granitóides variscos, de orientação NW-SE, que se estendem desde o Alto Minho até às Beiras.

O material-rocha presente na pedreira é um granito monzonítico porfiróide, de duas micas, essencialmente biotítico associado a estruturas de idade Varisca. Esta zona rochosa é limitada a norte por granitos porfiróides, de grão grosseiro de duas micas, essencialmente biotíticos que

ocupam uma faixa de orientação NW-SE, a sul e a este por granodioritos e raros quartzodioritos biotíticos (Medeiros e tal., 1980).

Macroscopicamente as rochas da unidade geológica apresentam grão grosseiro, cor cinzenta, por vezes apresenta uma foliação fluidal materializada pelos megacristais de feldspato e dos filossilicatos. Este litótipo apresenta uma boa homogeneidade textural, quer quanto à granularidade quer quanto à cor.

Do ponto de vista geomecânico pode ser considerado como muito fracturado, regra geral F_{4-5} , onde as diáclases mais comuns apresentam uma orientação média $N30^{\circ} - 40^{\circ}E$. Apresenta um estado de alteração são (W_{1-2}), coincidente com o eixo do corpo granítico. Nas zonas limítrofes do afloramento caracterizam-se, por vezes, por uma intensa alteração, exibindo granito bastante desagregado (W_{4-5}).

(Pereira C., 2006)

1.3. Método para aperfeiçoamento de forma e faces fragmentadas nos agregados

Para fazer variar a forma e o número de faces fragmentadas no agregado recorreu-se às respectivas instalações de britagem dessas pedreiras e efectuaram-se determinadas modificações na linha de produção, mais precisamente no sistema de retorno dos agregados, com diferentes percentagens de retorno de agregado para o equipamento de fragmentação (moinho cónico). Os agregados foram então rebitados em diferentes percentagens devido a esse mesmo retorno e conseqüentemente com diferentes índices de forma/achatamento e quantidades de faces fragmentadas no produto final obtido.

Em cada pedreira foram recolhidas 3 amostras, sendo uma amostra proveniente da produção normal (sem retorno do agregado), outra amostra com retorno de 25% e mais uma amostra com retorno de 75%. Prevê-se então um melhoramento da forma e um maior número de faces fragmentadas nos agregados à medida que a percentagem de retorno aumenta.

As diferentes percentagens de retorno do agregado foram obtidas rodando os denominados "bypass" (figura 19). Para amostras onde não se pretendia retorno, nenhum bypass foi rodado; para amostras onde se pretendia 25% de retorno foi rodado um bypass e para amostras onde se pretendia 75% de retorno foram rodados três bypass.



Figura 19 – sistema que efectua o retorno dos agregados – “bypass”

Após as recolhas efectuadas das diferentes amostras com as diferentes percentagem de retorno, foi efectuado para cada amostra (num total de 6 amostras) o ensaio de coeficiente de polimento acelerado para verificar se há de facto melhorias quanto às características de polimento no agregado.

As modificações efectuadas nos índices de forma e achatamento e percentagem de faces fragmentadas no agregado com vista à melhoria do valor do coeficiente de polimento acelerado podem ser susceptíveis de alterar outras características importantes nos agregados, tais como a granulometria, resistência ao desgaste, resistência à fragmentação ou afinidade do agregado ao betume. Tais características foram estudadas para verificar se continuam a cumprir os requisitos mínimos que lhes são exigidas nos cadernos de encargos em agregados de camadas de desgaste para pavimentos. Está igualmente em aberto a possibilidade não só de preservar as características mínimas mas também de as melhorar caso se verifique uma tendência de melhoria com o aumento da percentagem de material rebitado.

As amostras de agregados foram recolhidas, na pedreira da Mimosa, em Penafiel (figura 20) e na pedreira Coutada Nº2 em Santo Tirso nas respectivas linhas de produção. Um particular cuidado é prestado em relação à quantidade de material a recolher para que este seja suficiente para os vários ensaios a realizar. Para tal é efectuado antecipadamente um estudo nas diversas normas

para avaliar as quantidades necessárias, salvaguardando também material extra para algum contratempo que possa ocorrer, chegando-se a uma quantidade de aproximadamente 40 kg de cada amostra. Posteriormente é utilizado o método de esquartelamento para obter as massas de material necessárias para cada ensaio.



Figura 20 – Recolha de amostras de agregado 6/14. Pedreira da Mimosa - Penafiel

Todos os ensaios foram realizados por mim, alternando entre os laboratórios de mecânica dos solos, mecânica das rochas e materiais de construção do ISEP assim como o Laboratório de Geotecnia e Materiais de Construção do CICCOPN.

1.3.1. Análise Granulométrica

Nesta fase do trabalho é feita uma análise granulométrica das amostras recolhidas. A análise consiste na separação, por meio de um conjunto de peneiros, do material em diversas classes granulométricas de granulometria decrescente. A dimensão das aberturas e o número de peneiros (figura 21) são seleccionados de acordo com a natureza das amostras e a precisão exigida.

O método adoptado é a peneiração, com lavagem seguida de peneiração a seco, neste caso com auxílio a uma máquina de peneirar. A massa das partículas retida nos diversos peneiros é relacionada com a massa inicial do material. As percentagens cumulativas que passam em cada peneiro são apresentadas sob forma numérica e gráfica.

Os relatórios dos ensaios são apresentados no anexo 1 e foram efectuados expressamente para este trabalho. As curvas granulométricas são de seguida apresentadas.



Figura 21 – Peneiros para análise granulométrica de agregados. Laboratório de Mecânica das Rochas – ISEP

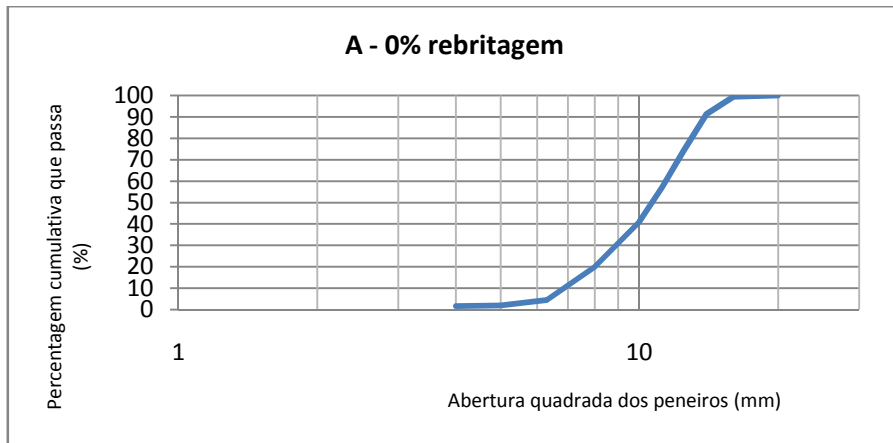


Figura 22 - Representação gráfica da análise granulométrica de agregado 6/14 proveniente da Pedreira da Mimosa com 0% de rebitagem

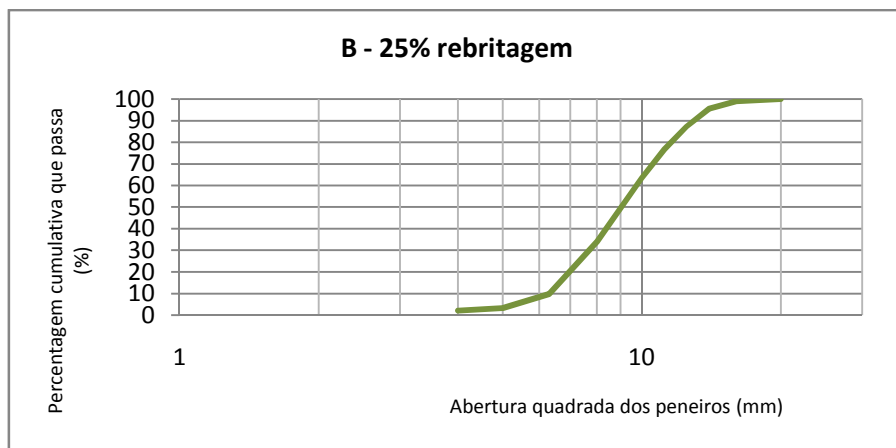


Figura 23 - Representação gráfica da análise granulométrica de agregado 6/14 proveniente da Pedreira da Mimosa com 25% de rebitagem

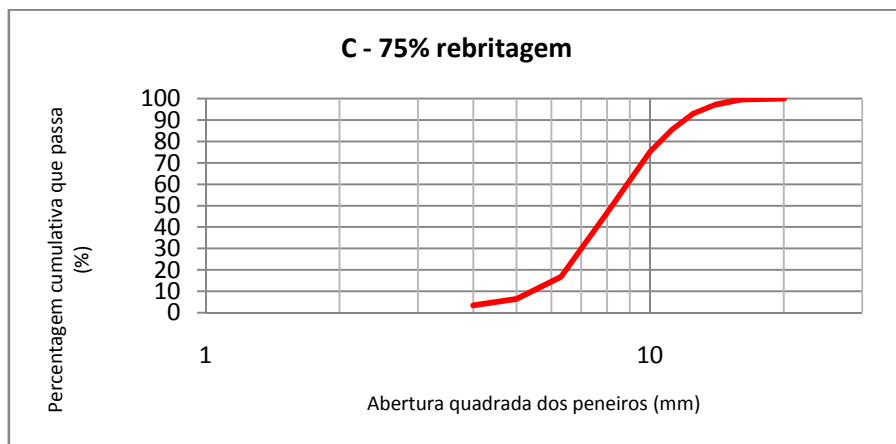


Figura 24 - Representação gráfica da análise granulométrica de agregado 6/14 proveniente da Pedreira da Mimosa com 75% de rebitagem

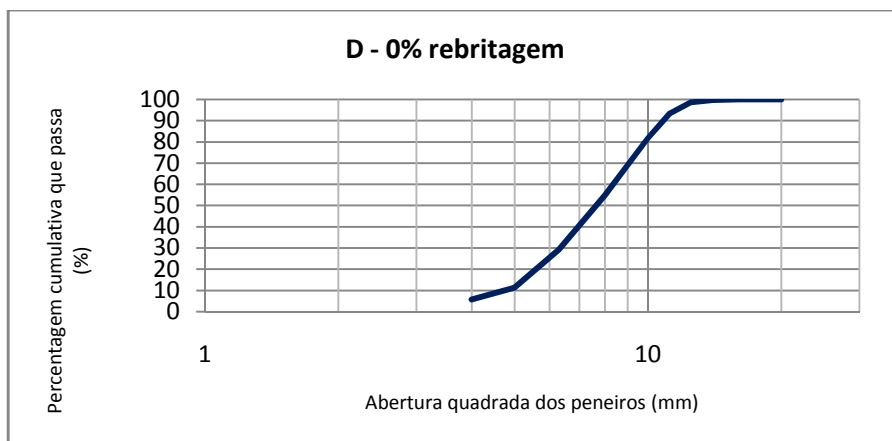


Figura 25 - Representação gráfica da análise granulométrica de agregado 6/14 proveniente da Pedreira Coutada Nº2 com 0% de rebitagem

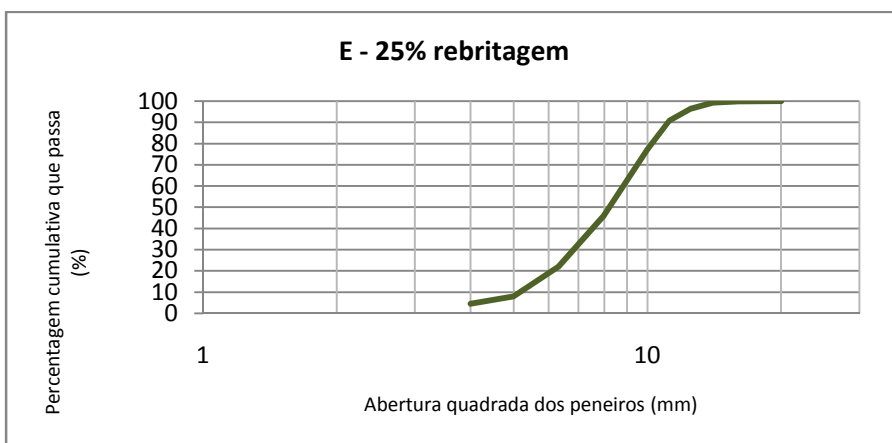


Figura 26 - Representação gráfica da análise granulométrica de agregado 6/14 proveniente da Pedreira Coutada Nº2 com 25% de rebitagem

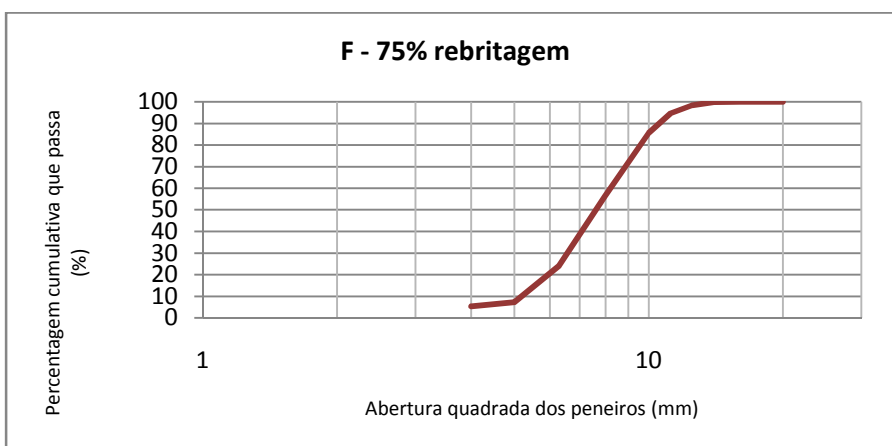


Figura 27 - Representação gráfica da análise granulométrica de agregado 6/14 proveniente da Pedreira Coutada Nº2 com 75% de rebitagem

Verifica-se na análise granulométrica uma redução de granulometria à medida que a percentagem de rebitagem no agregado aumenta. Este facto constata-se com maior incidência na pedreira da Mimosa através da análise gráfica de comparação das diferentes curvas na figura 28. Consequentemente verifica-se na própria instalação de britagem da pedreira o aumento da produção de agregados finos, de fracção 0/5.

Nas amostras provenientes da pedreira Coutada Nº2 verifica-se após análise granulométrica que a sua granulometria não varia de forma significativa com a variação de material rebitado, tal como se verifica na figura29 as diferentes curvas são muito próximas umas das outras. Nota-se igualmente uma ligeira escassez de material de granulometria mais graúda.

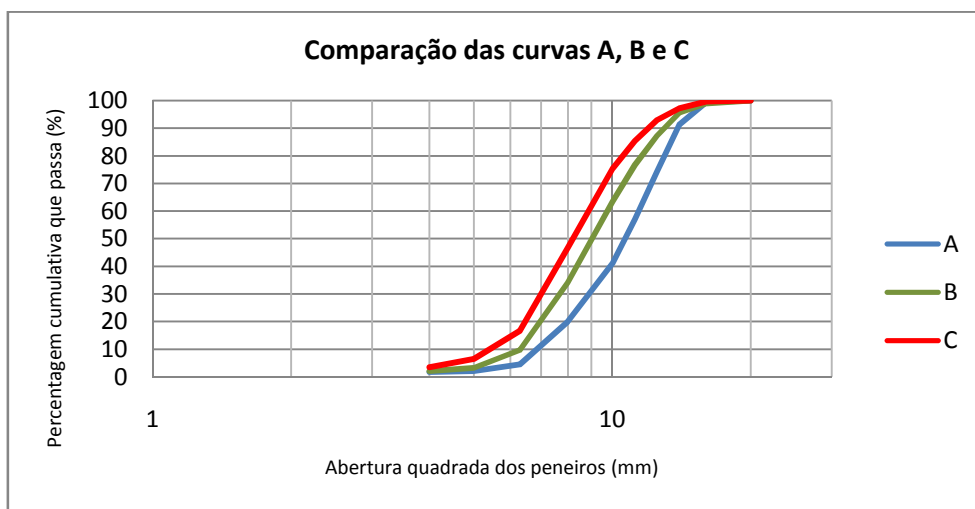


Figura 28 – comparação das diferentes curvas granulométricas da Pedreira da Mimosa.

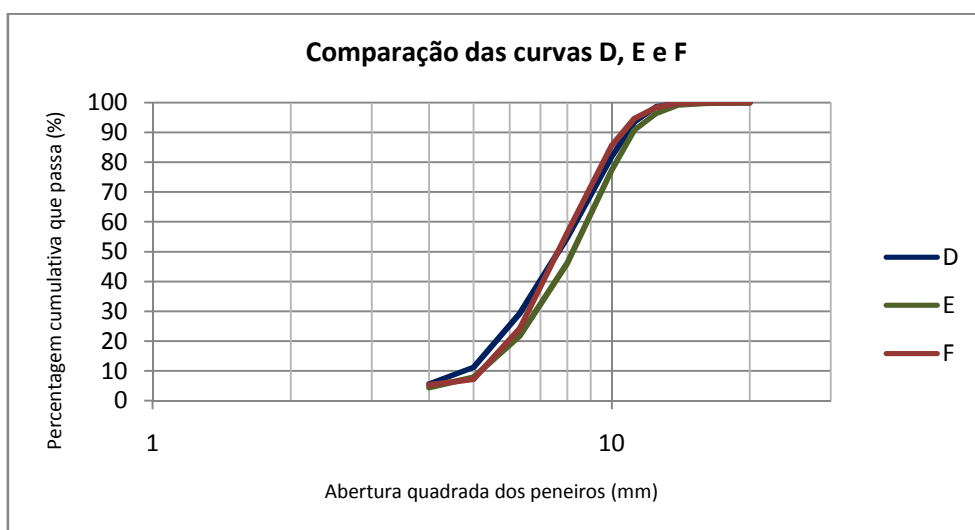


Figura 29 - comparação das diferentes curvas granulométricas da Pedreira Coutada Nº 2.

1.3.2. Índice de Achatamento

O índice de achatamento é um dos ensaios que avalia a forma das partículas de agregado. Tanto o índice de achatamento como o índice de forma são fundamentais para avaliar a evolução da melhoria de forma do agregado nas diferentes amostras.

O princípio do ensaio consiste em duas operações de peneiração. Na primeira operação são utilizados peneiros, sendo a amostra separada em várias fracções granulométricas. Em seguida cada fracção é peneirada utilizando peneiros de barras (figura 30) com ranhuras paralelas. O índice de achatamento corresponde à massa total das partículas que passam nos peneiros de barras, expressa em percentagem da massa total seca de partículas ensaiadas.

Os relatórios dos ensaios são apresentados no anexo 2.



Figura 30 – Peneiros de barras. Laboratório de Mecânica das Rochas - ISEP

Relativamente ao índice de achatamento, como seria de esperar, este melhora à medida que a percentagem de rebitagem aumenta. Esta situação verifica-se com maior incidência nas amostras da Pedreira Coutada Nº2 onde os índices de achatamento sem rebitagem eram relativamente elevados passando progressivamente para categorias mais favoráveis à medida que a percentagem de agregado britado aumentava. As amostras referentes à Pedreira da Mimosa apresentavam já índices de achatamento bastante razoáveis, havendo portanto pouco por onde melhorar. Contudo verificou-se uma melhoria, ainda que pouco significativo.

Pedreira da Mimosa			
	0% rebitagem	25% rebitagem	75% rebitagem
Índice de achatamento (<i>FI</i>)	5	4	3
Classe	FI ₁₀	FI ₁₀	FI ₁₀

Tabela 40 – Quadro resumo dos índices de achatamento das amostras provenientes da Pedreira da Mimosa

Pedreira Coutada Nº2			
	0% rebitagem	25% rebitagem	75% rebitagem
Índice de achatamento (<i>FI</i>)	16	11	4
Classe	FI ₂₀	FI ₁₅	FI ₁₀

Tabela 41 – Quadro resumo dos índices de achatamento das amostras provenientes da Pedreira Coutada Nº2

1.3.3. Índice de Forma

O índice de forma é outro ensaio para caracterizar a forma das partículas de agregado.

Neste ensaio as partículas individuais na amostra de agregado são classificadas com base na relação entre o comprimento L e a espessura E utilizando um paquímetro (figura 31).

O índice de forma é calculado como a massa das partículas com uma razão $L/E > 3$, expressa em percentagem da massa total seca das partículas ensaiadas.

Os relatórios dos ensaios são apresentados no anexo 3.

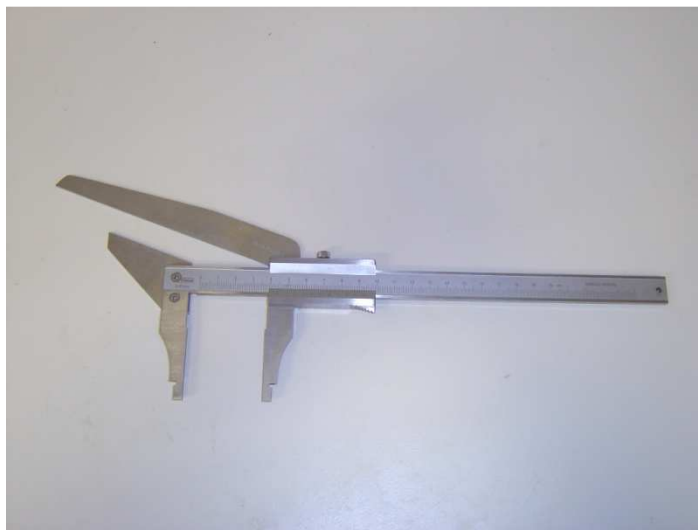


Figura 31 – Paquímetro. Laboratório de Mecânica das Rochas - ISEP

O índice de forma acompanha de certo modo a tendência verificada no índice de achatamento, com o agregado a ser melhorado à medida que a percentagem de rebitagem aumenta. Esta tendência constata-se com maior incidência nas amostras provenientes da pedreira Coutada Nº2, pois apresentavam elevados índices de forma que com a rebitagem melhoraram significativamente.

Ao analisar cada fracção granulométrica verifica-se que os 25% de rebitagem apresentam uma certa tendência para melhorar os índices de forma das fracções de agregados mais grossos enquanto que ao passar para 75% de rebitagem nota-se uma certa tendência de melhoria dos índices de forma das fracções de agregados mais finos.

Estes factores vão ao encontro do resultado que se pretende, relativamente à melhoria dos índices de forma e achatamento e conseqüente aumento da percentagem de faces fragmentadas, com vista ao melhoramento do coeficiente de polimento acelerado.

Pedreira da Mimosa			
	0% rebitagem	25% rebitagem	75% rebitagem
Índice de forma médio (<i>SI</i>)	13	10	7
Classe	SI ₁₅	SI ₁₅	SI ₁₅

Tabela 42 - Quadro resumo dos índices de forma das amostras provenientes da Pedreira da Mimosa

Pedreira Coutada Nº2			
	0% rebitagem	25% rebitagem	75% rebitagem
Índice de forma médio (<i>SI</i>)	31	28	9
Classe	SI ₃₅	SI ₃₀	SI ₁₅

Tabela 43 - Quadro resumo dos índices de forma das amostras provenientes da Pedreira Coutada Nº2

1.3.4. Resistência ao Desgaste (micro-Deval)

Este ensaio determina a resistência ao desgaste através do coeficiente micro-Deval, que corresponde à percentagem da amostra original reduzida a uma dimensão inferior a 1,6 mm, após rotação num cilindro.

O ensaio consiste na medição do desgaste produzido pela fricção entre os agregados e uma carga abrasiva, num tambor rotativo sob condições definidas.

Quando a rotação termina, a percentagem retida num peneiro de 1,6 mm é utilizada para calcular o coeficiente micro-Deval.

Este ensaio é realizado com agregados secos e com adição de água, para dar o valor de M_{DE} . De notar que um valor mais baixo do coeficiente micro-Deval indicia uma melhor resistência ao desgaste.

De referenciar alguns contratempos neste ensaio, nomeadamente o facto de este equipamento (figura 32) ter sido adquirido muito recentemente e de ainda não ter sido utilizado no ISEP, tendo para tal sido necessário recorrer à montagem do equipamento assim como de estudar o seu funcionamento.

Os relatórios dos ensaios são apresentados no anexo 4.



Figura 32 – Equipamento para o ensaio micro-Deval. Laboratório de Materiais de Construção - ISEP

A resistência ao desgaste através do coeficiente micro-Deval não indica alterações de maior, verificando-se apenas um ligeiro decréscimo da qualidade com percentagem de rebitagem de 75%, ainda que insuficiente para alterar a categoria onde se encontra.

O ligeiro decréscimo de qualidade que se verifica pode dever-se a uma micro fissuração mais acentuada das partículas pois devido à rebitagem essa micro fissuração suplementar pode fragilizar as partículas em termos de desgaste.

Pedreira da Mimosa			
	0% rebitagem	25% rebitagem	75% rebitagem
Resistência ao desgaste (M_{DE})	13	13	14
Classe	$M_{DE}15$	$M_{DE}15$	$M_{DE}15$

Tabela 44 - Quadro resumo dos valores M_{DE} das amostras provenientes da Pedreira da Mimosa

Pedreira Coutada Nº2			
	0% rebitagem	25% rebitagem	75% rebitagem
Resistência ao desgaste (M_{DE})	11	11	12
Classe	$M_{DE}15$	$M_{DE}15$	$M_{DE}15$

Tabela 45 - Quadro resumo dos valores M_{DE} das amostras provenientes da Pedreira Coutada Nº2

1.3.5. Resistência à Fragmentação (Los Angeles)

A resistência à fragmentação através do ensaio Los Angeles permite avaliar a resistência do agregado à abrasão e choque e de forma indirecta a resistência mecânica do agregado. O seu princípio consiste em fazer rodar, num tambor rotativo (figura 33), uma amostra de agregado com carga de esferas de aço. No final é avaliado a quantidade de material retido no peneiro de 1,6 mm.

O número de esferas a utilizar é de 11, havendo no entanto uma classificação alternativa com bandas mais estreitas que variam consoante a fracção granulométrica. No caso da amostra proveniente da pedreira Coutada Nº2 com 75% de rebitagem é necessário recorrer a essa classificação alternativa que devido a condicionalismos quanto à granulometria é utilizada a fracção granulométrica 6,3 a 10 mm, usando para tal apenas 9 esferas.

Os relatórios dos ensaios são apresentados no anexo 5.



Figura 33 - Equipamento de Los Angeles. Laboratório de Materiais de Construção - ISEP

Quanto à resistência à fragmentação através do coeficiente Los Angeles verificam-se algumas alterações com particular incidência na Pedreira Coutada Nº2 com os agregados a apresentarem resistências mais favoráveis com a rebitagem. Este aspecto é explicado por o facto dos agregados provenientes desta pedreira apresentarem inicialmente índices de forma e achatamento elevados, ou seja, apresentam partículas mais alongadas que são mais frágeis na resistência à fragmentação. Após rebitagem apresentam partículas menos alongadas e mais resistentes à fragmentação, com coeficientes de Los Angeles mais favoráveis.

Na Pedreira da Mimosa a resistência à fragmentação não apresenta variações significativas pois os agregados já apresentavam inicialmente índices de forma e achatamento bastante favoráveis que tornam assim as partículas mais resistentes à fragmentação.

Pedreira da Mimosa			
	0% rebitagem	25% rebitagem	75% rebitagem
Resistência à fragmentação (LA)	42	40	42
Classe	LA ₅₀	LA ₄₀	LA ₅₀

Tabela 46 - Quadro resumo dos valores LA das amostras provenientes da Pedreira da Mimosa

Pedreira Coutada Nº2			
	0% rebitagem	25% rebitagem	75% rebitagem
Resistência à fragmentação (LA)	47	43	40
Classe	LA ₅₀	LA ₅₀	LA ₄₀

Tabela 47 - Quadro resumo dos valores LA das amostras provenientes da Pedreira Coutada Nº2

1.3.6. Afinidade ao Betume

Este ensaio é efectuado segundo a norma EN 12697-11:2005. Os agregados têm uma fracção granulométrica de 8 a 11,2 mm (alternativamente 5,6 a 8 mm ou 6,3 a 10 mm). A amostra é lavada, secada e misturada com o betume para obter uma cobertura total e uniforme. O agregado revestido a betume é colocado com as partículas soltas umas das outras sobre uma película de silicone ou uma placa de metal, ficando à temperatura ambiente durante a noite. Posteriormente são divididas em amostras de três porções iguais para a análise. Cada porção é transferida para um frasco de água. Os frascos são selados e colocados num dispositivo que os fazem rolar (figura 34). Os frascos rolam à temperatura ambiente a uma velocidade especificada. O grau de cobertura do betume nas partículas de agregado é estimado visualmente por dois técnicos independentemente em intervalos especificados do tempo, após 6h e 24h de ensaio. Como complemento podem ser efectuadas leituras após as 48h e 72h de ensaio.

Os relatórios dos ensaios são apresentados no anexo 6.



Figura 34 – Equipamento para rolamento dos frascos (LGMC do CICCOPN)

Relativamente à afinidade do agregado ao betume verifica-se uma ligeira diminuição quando a percentagem de material rebitado aumenta. Esta situação pode-se verificar melhor na leitura após 24 horas, embora na leitura após 6 horas também se verifica em parte essa tendência.

Este facto pode ser explicado devido à redução das micro cavidades onde o betume fica acomodado após rebitagem dos agregados.

Contudo esta diminuição de qualidade quanto a afinidade do agregado ao betume não é muito acentuada e não causa impedimento significativo para agregados aplicados em camadas de desgaste de pavimentos rodoviários.

Pedreira da Mimosa			
Ensaio	0% rebitagem	25% rebitagem	75% rebitagem
Afinidade ao betume (%)	65 (após 6h)	65 (após 6h)	63 (após 6h)
	38 (após 24h)	25 (após 24h)	25 (após 24h)

Tabela 48 - Quadro resumo dos valores de afinidade do agregado ao betume das amostras provenientes da Pedreira da Mimosa

Pedreira Coutada Nº2			
Ensaio	0% rebitagem	25% rebitagem	75% rebitagem
Afinidade ao betume (%)	80 (após 6h)	80 (após 6h)	78 (após 6h)
	43 (após 24h)	43 (após 24h)	38 (após 24h)

Tabela 49 - Quadro resumo dos valores de afinidade do agregado ao betume das amostras provenientes da Pedreira Coutada Nº2

1.3.7. Coeficiente de Polimento Acelerado

Por fim é efectuado o ensaio do coeficiente de polimento acelerado (PSV). Como já foi atrás descrito o PSV é uma medida da resistência dos agregados grossos ao polimento causado por rodas de veículos em condições semelhantes às que ocorrem na superfície de uma estrada. O ensaio é realizado em agregados que passam no peneiro de 10 mm e são retidos num peneiro de barras de 7,2 mm de abertura. Numa primeira fase os provetes elementares são sujeitos a polimento numa máquina de polimento acelerado. Posteriormente o estado de polimento atingido por cada provete elementar é medido num ensaio de fricção, num equipamento denominado de pêndulo britânico.

Com este ensaio é efectuada a comparação dos valores do PSV das diferentes amostras tendo em conta a alteração da forma e maior número de faces fragmentadas dos agregados, com percentagens de 0%, 25% e 75% de rebitagem. Procura-se, nesta comparação entre amostras, estabelecer uma tendência de melhoramento do valor do PSV com base na melhoria de forma e maior número de faces fragmentadas do agregado.

Os relatórios dos ensaios são apresentados no anexo 7.

Nos ensaios efectuados para o coeficiente de polimento acelerado (PSV) constatou-se o facto de a rebitagem do agregado melhorar este valor. Verifica-se assim que quanto maior a percentagem de rebitagem do agregado para o moinho cónico mais elevado será o valor do PSV.

Nas amostras referentes à pedreira da Mimosa verifica-se que o valor do PSV sem retorno do agregado é de 50, inferior a 55, valor mínimo exigido nos cadernos de encargo para algumas camadas de desgaste de pavimentos. Quando a percentagem de retorno do agregado sobe para 25% o valor do PSV sobe ligeiramente para os 51 ainda que abaixo do mínimo exigido. O valor mínimo exigido é alcançado com uma percentagem de retorno de agregado de 75%, onde a amostra estudada fixou-se exactamente nos 55.

As amostras referentes à pedreira Coutada N^o2 apresentavam já valores de PSV bastante elevados, e acima do mínimo exigido. Contudo esta tendência de melhoramento verifica-se igualmente com uma maior percentagem de material rebitado. Aqui o valor do PSV sem retorno de agregado é de 59. Com um retorno do material de 25% não sofreu alterações, permanecendo nos 59, mas com um retorno de agregado de 75% o valor sobe para 61.

Verifica-se igualmente que a com uma percentagem de rebitagem de 25% em ambos os casos pouco afecta o valor do PSV tornando assim a aplicação desta percentagem de certo modo limitada.

Esta solução afigura-se como uma alternativa essencialmente para agregados cujo valor de PSV se encontra imediatamente abaixo do mínimo exigido para aplicação em camadas de desgaste e onde se pretende essa mesma aplicação, pois o melhoramento conseguido é aproximadamente de 5 valores para as amostras estudadas. Na prática é sempre necessário verificar qual a percentagem de rebitagem que se adequa para cada caso em específico. Deverão obviamente ser salvaguardados outros factores, nomeadamente de carácter económico, para que esta solução seja viável.

Pedreira da Mimosa			
	0% rebitagem	25% rebitagem	75% rebitagem
Coeficiente de polimento (<i>PSV</i>)	50	51	55
Classe	PSV ₅₀	PSV ₅₀	PSV ₅₀

Tabela 50 - Quadro resumo dos valores de PSV das amostras provenientes da Pedreira da Mimosa

Pedreira Coutada Nº2			
	0% rebitagem	25% rebitagem	75% rebitagem
Coeficiente de polimento (<i>PSV</i>)	59	59	61
Classe	PSV ₅₆	PSV ₅₆	PSV ₅₆

Tabela 51 - Quadro resumo dos valores de PSV das amostras provenientes da Pedreira Coutada Nº2

Apesar dos valores obtidos indicarem uma tendência quanto ao melhoramento do valor do PSV, estes valores carecem sempre de confirmação, pois um parâmetro como a microtextura de um agregado é sempre difícil de avaliar.

Um método de avaliação directa da microtextura pode ser efectuado com o Surtronic 3+.

O Surtronic 3+ (Taylor Hobson 1993) é um instrumento para medição da textura superficial (figura 35). É um equipamento portátil e usado geralmente para medir a aspereza de superfície de componentes de metal. É também apropriado para medir superfícies similarmente ásperas em materiais de maior dureza. Para efectuar a medição, usa uma lâmina com diamante (raio = 5.0 μm) que atravesse o perfil da superfície a ser testada. A deflexão da lâmina é detectada por um colector indutivo que produza uma saída com relação à deflexão da lâmina. Para maior protecção, o braço é protegido por um tubo exterior oco (haste do colector).



Figura 35 – Surtronic 3+

Fonte: The effect of crushing on the skid resistance of chipseal roads, 2006

Este equipamento não se encontra disponível em Portugal, sendo portanto inviável para um projecto de mestrado desta envergadura e com recursos económicos limitados encomendar um estudo com este equipamento. Fica no entanto esta referência para futuros desenvolvimentos nesta matéria, para que os resultados aqui obtidos possam ser mais fundamentados.

CAPÍTULO IV

1. ESTUDO ECONÓMICO

1.1. Custos

Os custos inerentes ao presente trabalho são essencialmente relacionados com os ensaios realizados. Os ensaios foram todos eles realizados por mim, sendo portanto os custos de utilização e desgaste dos equipamentos assim como todos os consumíveis relacionados, suportados por o ISEP e CICCOPN. A tabela 52 fornece os preços que normalmente são praticados nestes ensaios assim como os laboratórios onde estes foram realizados.

Ensaio	Laboratório	Custo (€)	Nº ensaios	Custo total (€)
Análise granulométrica	ISEP	44	6	264
Índice de forma	ISEP	84	6	504
Índice de achatamento	ISEP	84	6	504
Micro-Deval	ISEP	66	6	396
Los Angeles	ISEP	66	6	396
Afinidade ao betume	LGMC do CICCOPN	201	3	603
Coeficiente de polimento	LGMC do CICCOPN	425	3	1275
Custo total global				3942

Tabela 52 – Custo de ensaios.

1.2. Viabilidade económica para melhoramento do coeficiente de polimento do agregado

As questões que se levantam quanto à viabilidade económica para melhoramento do coeficiente de polimento referem-se essencialmente à quebra de produção de um agregado de determinado calibre quando se efectua o retorno. Se, numa instalação de britagem, verificarmos isoladamente um calibre onde esta solução está a ser aplicada (agregado 6/14) no caso de haver 25%, 50% ou 75% de retorno do agregado para rebitagem haverá conseqüentemente 25%, 50% e 75% respectivamente de quebra na produção desse mesmo calibre. Outra questão que influencia negativamente esta solução é um aumento da produção de agregado fino quando ocorre o processo de rebitagem. Os agregados finos, normalmente de calibre 0/6, são um material com pouco valor no mercado.

Este estudo visa essencialmente a viabilidade económica tendo em conta a variação da produção e a quantidade de agregados finos produzidos. No que se refere à economia do desgaste dos equipamentos esta não é linear pois existem equipamentos que são utilizados quase do mesmo modo quer exista retorno ou não. O custo associado ao desgaste dos equipamentos quando há retorno de material é cerca de 0,7€. Para além dos custos do desgaste há que considerar o custo da energia eléctrica, mão-de-obra utilizada e amortizações do equipamento. Sempre que se efectua retorno todos estes parâmetros têm a sua influência. No entanto, quando não se possui um sistema de apuramento de custos eficientes, como é o caso, calcula-se o custo total da instalação para a produção média e admitindo que este custo é constante, variando a quantidade produzida determina-se o custo proporcionalmente, uma vez que com retorno a produção baixa.

É de seguida exemplificada na tabela 53 o estudo económico tendo em conta determinados aspectos e em função das diferentes percentagens de retorno de material.

A produção diária da instalação é referente à fracção 6/14. É um valor estimado pois varia mediante diversos factores e dependendo das necessidades, tal como a produção de “tout-venant” ou outras fracções granulométricas.

A produção de agregados finos (fracção 0/6) aumenta com uma maior percentagem de rebitagem de material. É um material com pouco valor comercial, por vezes inferior a 1,5€ e de difícil escoamento para o mercado. Uma certa quantidade deste material é utilizada no fabrico de misturas betuminosas. Existe também a possibilidade de vender areia aumentando deste modo o seu valor comercial, no entanto é necessário um custo acrescido para lavagem, tratamento de lamas e movimentação de e para os stocks. Nesta solução normalmente perde-se cerca de 15% em lamas. O seguinte estudo económico tem em consideração o cenário óptimo pois considera o total escoamento deste material.

Percentagem em rebitagem	0%	25%	50%	75%
Produção horária média da instalação de britagem (ton/h)	75			
Nº de turnos por dia	1	1	1	1
Nº de horas por turno	8	8	8	8
Nº de horas por dia	8	8	8	8
Produção diária da instalação de britagem (ton/dia)	600			
Produção de pó, fracção 0/6 (%)	25	43,75	62,5	81,25
Produção de pó, fracção 0/6 (ton/dia)	150	262,5	375	487,5
Produção diária da instalação de britagem sem pó (ton/dia)	450	337,5	225	112,5
Preço de venda do agregado 6/14 sem características para aplicação em camadas de desgaste de pavimentos (€/ton)	5,5			
Preço de venda do agregado 6/14 com características para aplicação em camadas de desgaste de pavimentos (€/ton)	8			
Preço de venda de pó, fracção 0/6 (€/ton)	2,5			
Venda diária de material (€/dia)	2850	3356	2738	2119
Custo fabril (€/ton)	4,5			
Custo fabril diário (€/dia)	2700			
Saldo diário (€/dia)	150	656	38	-581

Tabela 53 – Estudo económico

O preço de venda dos agregados estipulado é apenas indicativo do que normalmente é praticado por as pedreiras. Face à conjectura económica actual verifica-se que o lucro que uma pedreira pode apresentar não é o mais favorável.

No estudo apresentado na tabela 53 verifica-se que quando não é efectuado retorno do material, o saldo diário da pedreira é positivo com lucro de 150€. Neste caso o preço de venda do agregado é de 5,5€/ton tendo em conta que o agregado não apresenta características para aplicação em camadas de desgaste de pavimentos.

Quando é efectuado retorno de 25% de material para que este possa ser utilizado nas camadas de desgaste o saldo apresenta-se bastante positivo em relação ao saldo sem retorno de material, apresentando um lucro de 656€, com preço de venda de agregado de 8€/ton. Este cenário apresenta-se como o mais favorável em termos económicos, tendo em consideração que os 25% de rebitagem de agregado são suficientes para que possam ser utilizados em camadas de desgaste.

Para retorno de 50% de material o saldo, apesar de ser inferior em comparação com material sem retorno, é positivo com um lucro de apenas 38€ e com preço de venda de agregado de 8€/ton.

No caso de ser necessário 75% de retorno de material para que este possa ser utilizado em camadas de desgaste, o saldo apresenta-se bastante negativo, com prejuízo de 581€, tendo em consideração que o preço de venda do agregado é igualmente de 8€/ton. Esta situação verifica-se essencialmente, como já foi anteriormente explicada, devido ao facto da produção baixar drasticamente mas também devido à elevada produção de finos que tem baixo valor comercial.

Se partirmos do princípio que é pretendido um lucro idêntico ao apresentado no caso de não haver retorno, o preço de venda do agregado com retorno de 25% poderia ser baixado para 6,5€/ton. No caso de retorno de 50% o preço de venda teria de aumentar para 8,5€/ton e no caso de retorno de 75% o preço de venda teria de ser substancialmente superior, neste caso de 14,5€/ton (tabela 54).

Percentagem em rebitagem	25%	50%	75%
Preço de venda do agregado 6/14 com características para aplicação em camadas de desgaste de pavimentos que seria necessário para obtenção do mesmo saldo com 0% de rebitagem (€/ton)	6,5	8,5	14,5

Tabela 54 – Estudo económico – comparação de preço unitário da fracção de agregado.

CAPÍTULO V

1. CONCLUSÕES

O grau de polimento da superfície do agregado das camadas de desgaste é um factor de grande importância na resistência das mesmas ao escorregamento, exigindo-se à camada superficial dos pavimentos uma boa aderência ao pneumático dos veículos.

O ensaio de polimento acelerado está previsto para avaliar a maior ou menor susceptibilidade dos agregados ao polimento. Com base nos resultados deste ensaio, conclui-se sobre a possibilidade de aplicação de um agregado em camadas de desgaste do pavimento.

O estudo realizado, avaliando as características geológicas dos provetes sujeitos a ensaio e confrontando essa avaliação com os valores de PSV obtidos, permite definir algumas conclusões:

- A origem do agregado influencia o valor do PSV, verificando-se uma tendência para a obtenção de valores mais altos para agregados produzidos a partir de rochas de origem magmática, seguindo-se os de origem metamórfica, encontrando-se os valores mais baixos para os agregados de origem sedimentar. No entanto de referir que alguns agregados de origem metamórfica apresentam valores de PSV mais elevados que alguns agregados de origem magmática.

- As rochas compostas por diferentes minerais de diferente dureza bem como as rochas com minerais de dureza mais elevada numa matriz relativamente macia, têm uma resistência mais elevada ao polimento. Pelo contrário, as rochas em que os minerais têm dureza semelhante produzem agregados que se desgastam uniformemente e tendem a ter uma baixa resistência ao polimento.

- Define-se nitidamente uma diferenciação entre os valores do PSV nos agregados de calcário, granito e basalto, sendo maior o valor nos basaltos seguindo-se dos granitos e por fim dos calcários.

- Os granitos apresentam boas características quanto ao polimento, verificando-se uma influência do tamanho do grão: quanto mais fino o grão, maior o valor do PSV.

- Os gnaisses, apesar de possuírem características mineralógicas semelhantes aos granitos, apresentam valores inferiores e estes. Verifica-se também que apresentam valores superiores aos calcários. No entanto esta conclusão é de certo modo limitada devido ao reduzido número de provetes de gnaiss ensaiados. Possivelmente uma maior amostragem poderia fornecer conclusões mais precisas.

- Os mármore apresentam valores de PSV relativamente superiores aos calcários, apesar de possuírem características mineralógicas semelhantes. Verifica-se no entanto a mesma limitação quanto ao reduzido número de provetes de mármore para uma avaliação eficaz.

- Quanto à proveniência dos agregados, apesar da escassez de informação, pode-se verificar uma determinada tendência dos valores do PSV diferenciando as zonas mais a norte, essencialmente graníticas, PSV mais elevado, das zonas calcárias a centro e sul, com PSV mais baixo.

Os resultados a que este estudo chegou, nomeadamente quanto aos valores expectáveis do PSV com base nas características geológicas dos agregados, têm a finalidade de efectuar unicamente uma avaliação prévia do comportamento do agregado ao polimento, não podendo ser em caso algum razão para a não realização do ensaio de coeficiente de polimento acelerado que se encontra especificado na NP EN 1097-8:2003.

Numa segunda fase do estudo procurou-se melhorar o valor do polimento dos agregados através de um aperfeiçoamento dos seus parâmetros de forma por rebitagem e conseqüentemente obter um maior número de faces fragmentadas nos agregados. Deste modo procurou-se avaliar sobre a obtenção de uma microtextura mais favorável, oferecendo assim uma maior aspereza superficial das partículas de agregado.

O aperfeiçoamento da forma dos agregados foi conseguido através de processos de rebitagem, através de um sistema de retorno na linha de produção das instalações de britagem, sendo recolhidas amostras com diferentes percentagens de rebitagem.

Os ensaios efectuados para o coeficiente de polimento acelerado (PSV) das amostras recolhidas revelaram uma tendência na melhoria do polimento quando estes apresentaram uma maior percentagem de retorno para rebitagem. Na prática esta melhoria é de aproximadamente 1 a 5 valores do PSV, para os agregados ensaiados, pelo que esta metodologia poderá ser utilizada apenas para agregados cujo valor de PSV se encontra imediatamente abaixo do mínimo exigido nos cadernos de encargo para camadas desgaste de pavimentos. Este método está obviamente sujeito a ponderação, existindo alguns condicionalismos tais como a quebra nos índices de produção mas também uma maior produção de agregados finos que é um material com pouco valor comercial.

Este estudo avaliou o comportamento dos agregados ao polimento exclusivamente através do ensaio de PSV, necessitando portanto de validação em obra, na superfície da camada de desgaste. Obviamente que o ensaio é indicativo do comportamento do agregado ao polimento mas não deixa de estar sujeito a determinados condicionalismos e algumas incertezas que só em obra podem ser esclarecidas.

Numa nota final e como sugestão futura, fica em aberto o estudo destas soluções com um número de amostras mais alargado para que as tendências aqui avaliadas sejam cada vez mais fiáveis, uma vez que este tipo de trabalho é sempre sujeito a condicionalismos quanto à quantidade de amostras disponíveis.

2. BIBLIOGRAFIA

Anderson, D.A., Henry. J.J. 1979. The selection of aggregates for skid resistant pavements. *Proceedings, Association of Asphalt Paving Technologists, Technical Sessions*, Denver Colorado, pp. 587-610.

APORBET – Associação Portuguesa de Fabricantes de Misturas Betuminosas, 1998. *Misturas Betuminosas: Contribuição para a Normalização do Fabrico e da Aplicação*.

Apontamentos da disciplina de Ciências da terra de Engenharia Geotécnica e Geoambiente, ISEP, 2003.

Branco F., Pereira P., Santos L., 2006. *Pavimentos Rodoviários*.

Cabrera J., Dixon J., 1996. *Performance and Durability of Bituminous Materials: Proceedings of Symposium*, University of Leeds

Cenek, P.D., Fong, S., Stevenson, H.S., Brown, D.N., Stewart, P.F. 1998. Skid resistance: the influence of alluvial aggregate size and shape. *Transfund New Zealand Research Report No. 119*. 100 pp.

Chaminé H., 2006. *Guia de apoio à disciplina de geomecânica de Engenharia Geotécnica e Geoambiente*, ISEP.

Choubane, B., Holzschuher, C.R., Gokhale, S. 2004. Precision of locked-wheel testers for measurement of roadway surface friction characteristics. *Transportation Research Record 1869*: 145-151.

Clark, S., 1981. *Mechanics of pneumatic tires*. US Department of Transportation, National Highway Traffic Safety Administration, Washington DC 20590.

Coutinho J.S., 1999. *Materiais de Construção 1: Agregados*.

Costa B., 1950. *Classificação macroscópica de rochas*

Delalande G, 1992. *Résistance des granulats au polissage. Méthode d'essai par projection*.

French, T., 1989. *Tyre technology*. Adam-Hilger, Bristol and New York. 170 pp.

Freire A., 2004. *Agregados para misturas betuminosas*. Universidade Nova de Lisboa/ Faculdade de Ciências e Tecnologia.

Henderson R., Cook G., Cenek P., Patrick J., Potter S., 2006. The effect of crushing on the skid resistance of chipseal roads. *Opus Central Laboratories*, Lower Hutt, New Zealand.

Hongyuan L., Shaoquan K., Lindqvist P.A., 2005. *Microscope Rock Texture Characterization and Simulation of Rock Aggregate Properties* SGU project 60 1362/2004.

Kuttish J.S., 2004. *Quantifying the Relationship between Skid Resistance and Wet Weather Accidents for Virginia Data*.

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1971. Ensaio de polimento acelerado de agregados para camadas de desgaste. Estudo realizado para a JAE.

Moore, D.F. 1975. *The friction of pneumatic tyres*. Elsevier Scientific Publishing Company.

Mota-Engil, S.A. – DICIN – Direcção de Centros Industriais, 2006. Pedreira de Santo Tirso. Prospecção Geológico-Geotécnica.

Pereira, C. M.S.; Chaminé, H. I.; Vieira, A. R.; Teixeira, J.; Gomes, A. & Fonseca, P. E., 2005. Geologia estrutural e geotecnia do maciço granítico do Alto da Cabeça Santa (NW de Portugal): implicações para a gestão do georrecurso da pedreira da Mimosa. *Cadernos Lab. Xeol. Laxe, A Coruña*, 30: 40-65.

Pereira, C. M. S., 2006. Compartimentação de maciços pela técnica de amostragem linear: o caso da pedreira da Mimosa. Tese de Mestrado

PIARC - Technical Committee on Surface Characteristics C1. 1995. International PIARC experiment to compare and harmonize texture and skid resistance measurements.

QUIDNOVI, 2006. Manual de apoio ao estudante - Geologia

Velho J. L., 2005. Mineralogia industrial: princípios e aplicações.

Wilson D., 2006. An Analysis of the Seasonal and Short-Term Variation of Road Pavement Skid Resistance.

Normas:

EN 12697-11:2005. CEN – European Committee for Standardization. Bituminous mixtures – Test methods for hot mix asphalt – Part 11: Determination of the affinity between aggregate and bitumen.

NP EN 13043:2004. Agregados para misturas betuminosas e tratamentos superficiais para estradas, aeroportos e outras áreas de circulação. Instituto Português da Qualidade.

NP EN 933-9:2002. Ensaio das propriedades geométricas dos agregados. Parte 9: Determinação do teor de finos. Ensaio do azul de metileno. Instituto Português da Qualidade.

NP EN 933-8:2002. Ensaio das propriedades geométricas dos agregados. Parte 9: Determinação do teor de finos. Ensaio do equivalente de areia. Instituto Português da Qualidade.

NP EN 1097-8:2003. Ensaio das propriedades mecânicas e físicas dos agregados. Parte 8: Determinação do coeficiente de polimento. Instituto Português da Qualidade.

NP EN 932-3:2002. Ensaio das propriedades gerais dos agregados. Parte 3: Método e terminologia para a descrição petrográfica simplificada. Instituto Português da Qualidade. EN 932-3:1996/A 1:2003. Tests for general properties of aggregates. Part 3: Procedure and terminology for simplified petrographic description.

NP EN 933-1:2000. Ensaio das propriedades geométricas dos agregados. Parte 1: Análise Granulométrica. Método de peneiração. EN 933-1:1997/A 1:2005. Tests for geometrical properties of aggregates. Part 1: Determination of particle size distribution - Sieving method.

NP EN 933-3:2002. Ensaio das propriedades geométricas dos agregados. Parte 3: Determinação da forma das partículas – Índice de achatamento. EN 933-3:1997/A 1:2003. Tests for geometrical properties of aggregates. Part 3: Determination of particle shape - Flakiness index.

NP EN 933-4:2008. Ensaio das propriedades geométricas dos agregados. Parte 4: Determinação da forma das partículas – Índice de forma.

NP EN 1097-2:2002. Ensaio das propriedades mecânicas e físicas dos agregados. Parte 2: Métodos para a determinação da resistência à fragmentação. NP EN 1097-2:2002/Errata Fev.:2006.

NP EN 1097-1:2002. Ensaio das propriedades mecânicas e físicas dos agregados. Parte 1: Determinação da resistência ao desgaste (micro-Deval). EN 1097-1:1996/A 1:2003. Tests for mechanical and physical properties of aggregates. Part 1: Determination of the resistance to wear (micro-Deval).

Sites consultados:

<http://engenium.wordpress.com/2007/06/24/aderencia-em-pavimentos-rodoviaros-microtextura-e-macrotextura/>

<http://e-geo.ineti.pt/>

<http://www.mastrad.com/psvdoc>

<http://www.dgge.pt>

<http://maps.google.com/maps>

ANEXOS

Índice de anexos

Anexo 1 – Relatórios de ensaios de análise granulométrica.....	133
Anexo 2 – Relatórios de ensaios de índice de forma	141
Anexo 3 – Relatórios de ensaios de índices de forma.....	149
Anexo 4 – Relatórios de ensaios de resistência ao desgaste (micro-Deval)	155
Anexo 5 – Relatórios de ensaios de resistência à fragmentação (Los Angeles).....	161
Anexo 6 – Relatórios de ensaios de afinidade do agregado ao betume.....	165
Anexo 7 – Relatórios de ensaios do coeficiente de polimento acelerado	173

Anexo 1 – Relatórios de ensaios de análise granulométrica

Análise granulométrica - Método de peneiração NP EN 933-1:2000 e EN 933-1:1997/A 1:2005	Laboratório: ISEP
Identificação da amostra: A - Pedreira da Mimosa; Agregado 6/14 com 0% de retorno para o moinho	Data: 11-02-2008
	Operador: Pedro Fontes
Procedimento usado: lavagem e peneiração	

Massa seca total M_1 (kg)	2,2505
Massa seca após lavagem M_2 (kg)	2,2333
Massa seca dos finos removidos por lavagem $M_1 - M_2$ (kg)	0,0172

Dimensão das aberturas do peneiro	Massa do material retido (R_i)	Percentagem do material retido	Percentagem cumulativa do material passado
mm	kg	$((R_i/M_1) \times 100)$	$(100 - (R_i/M_1) \times 100)$
20	0,0000	0,0	100
16	0,0119	0,5	99
14	0,1848	8,2	91
12,5	0,3822	17,0	74
11,2	0,3885	17,3	57
10	0,3604	16,0	41
8	0,4764	21,2	20
6,3	0,3468	15,4	4
5	0,0553	2,5	2
4	0,0070	0,3	2
Material restante no fundo P =	0,0180		

Percentagem de finos (f) que passa o peneiro de $63 \mu\text{m} = ((M_1 - M_2) + P)/M_1 \times 100$	1,56
---	------

$\sum R_i + P$	2,23	Observações:
$((M_2 - (\sum R_i + P))/M_2) \times 100$	0,1 < 1 %	

Análise granulométrica - Método de peneiração NP EN 933-1:2000 e EN 933-1:1997/A 1:2005	Laboratório: ISEP
Identificação da amostra: B - Pedreira da Mimosa; Agregado 6/14 com 25% de retorno para o moinho	Data: 11-02-2008 Operador: Pedro Fontes
Procedimento usado: lavagem e peneiração	

Massa seca total M_1 (kg)	2,2553
Massa seca após lavagem M_2 (kg)	2,2329
Massa seca dos finos removidos por lavagem $M_1 - M_2$ (kg)	0,0224

Dimensão das aberturas do peneiro mm	Massa do material retido (R_i) kg	Porcentagem do material retido $((R_i/M_1) \times 100)$	Porcentagem cumulativa do material passado $(100 - (R_i/M_1) \times 100)$
20	0,0000	0,0	100
16	0,0245	1,1	99
14	0,0758	3,4	96
12,5	0,1869	8,3	87
11,2	0,2382	10,6	77
10	0,2997	13,3	63
8	0,6631	29,4	34
6,3	0,5474	24,3	10
5	0,1463	6,5	3
4	0,0270	1,2	2
Material restante no fundo P =	0,0200		

Porcentagem de finos (f) que passa o peneiro de 63 μm = $((M_1 - M_2) + P)/M_1 \times 100$	1,88
---	------

$\sum R_i + P$	2,23	Observações:
$((M_2 - (\sum R_i + P))/M_2) \times 100$	0,2 < 1 %	

Análise granulométrica - Método de peneiração NP EN 933-1:2000 e EN 933-1:1997/A 1:2005	Laboratório: ISEP
Identificação da amostra: C - Pedreira da Mimosa; Agregado 6/14 com 75% de retorno para o moinho	Data: 12-02-2008 Operador: Pedro Fontes
Procedimento usado: lavagem e peneiração	

Massa seca total M_1 (kg)	2,2509
Massa seca após lavagem M_2 (kg)	2,2230
Massa seca dos finos removidos por lavagem $M_1 - M_2$ (kg)	0,0279

Dimensão das aberturas do peneiro mm	Massa do material retido (R_i) kg	Percentagem do material retido $((R_i/M_1) \times 100)$	Percentagem cumulativa do material passado $(100 - (R_i/M_1) \times 100)$
20	0,0000	0,0	100
16	0,0089	0,4	100
14	0,0535	2,4	97
12,5	0,0968	4,3	93
11,2	0,1686	7,5	85
10	0,2264	10,1	75
8	0,6475	28,8	47
6,3	0,6725	29,9	17
5	0,2303	10,2	7
4	0,0676	3,0	4
Material restante no fundo P =	0,0477		

Percentagem de finos (f) que passa o peneiro de $63 \mu\text{m} = ((M_1 - M_2) + P)/M_1 \times 100$	3,36
---	------

$\sum R_i + P$	2,22	Observações:
$((M_2 - (\sum R_i + P))/M_2) \times 100$	0,1 < 1 %	

Análise granulométrica - Método de peneiração NP EN 933-1:2000 e EN 933-1:1997/A 1:2005	Laboratório: ISEP
Identificação da amostra: D - Pedreira Coutada Nº2;	Data: 12-02-2008
Agregado 6/14 com 0% de retorno para o moinho	Operador: Pedro Fontes
Procedimento usado: lavagem e peneiração	

Massa seca total M_1 (kg)	2,2542
Massa seca após lavagem M_2 (kg)	2,1940
Massa seca dos finos removidos por lavagem $M_1 - M_2$ (kg)	0,0602

Dimensão das aberturas do peneiro mm	Massa do material retido (R_i) kg	Porcentagem do material retido $((R_i/M_1) \times 100)$	Porcentagem cumulativa do material passado $(100 - (R_i/M_1) \times 100)$
20	0,0000	0,0	100
16	0,0000	0,0	100
14	0,0063	0,3	100
12,5	0,0253	1,1	99
11,2	0,1167	5,2	93
10	0,2625	11,6	82
8	0,6072	26,9	55
6,3	0,5767	25,6	29
5	0,4064	18,0	11
4	0,1259	5,6	6
Material restante no fundo P =	0,0673		

Porcentagem de finos (f) que passa o peneiro de $63 \mu\text{m} = ((M_1 - M_2) + P)/M_1 \times 100$	5,66
---	------

$\sum R_i + P$	2,19	Observações:
$((M_2 - (\sum R_i + P))/M_2) \times 100$	0,0 < 1 %	

Análise granulométrica - Método de peneiração NP EN 933-1:2000 e EN 933-1:1997/A 1:2005	Laboratório: ISEP
Identificação da amostra: E - Pedreira Coutada Nº2; Agregado 6/14 com 25% de retorno para o moinho	Data: 13-02-2008 Operador: Pedro Fontes
Procedimento usado: lavagem e peneiração	

Massa seca total M_1 (kg)	2,2594
Massa seca após lavagem M_2 (kg)	2,2000
Massa seca dos finos removidos por lavagem $M_1 - M_2$ (kg)	0,0594

Dimensão das aberturas do peneiro mm	Massa do material retido (R_i) kg	Percentagem do material retido $((R_i/M_1) \times 100)$	Percentagem cumulativa do material passado $(100 - (R_i/M_1) \times 100)$
20	0,0000	0,0	100
16	0,0040	0,2	100
14	0,0126	0,6	99
12,5	0,0649	2,9	96
11,2	0,1266	5,6	91
10	0,3060	13,5	77
8	0,7015	31,0	46
6,3	0,5523	24,4	22
5	0,3129	13,8	8
4	0,0787	3,5	4
Material restante no fundo P =	0,0375		

Percentagem de finos (f) que passa o peneiro de $63 \mu\text{m} = ((M_1 - M_2) + P)/M_1 \times 100$	4,29
---	------

$\sum R_i + P$	2,20	Observações:
$((M_2 - (\sum R_i + P))/M_2) \times 100$	0,1 < 1 %	

Análise granulométrica - Método de peneiração NP EN 933-1:2000 e EN 933-1:1997/A 1:2005	Laboratório: ISEP
Identificação da amostra: F - Pedreira Coutada Nº2;	Data: 13-02-2008
Agregado 6/14 com 75% de retorno para o moinho	Operador: Pedro Fontes
Procedimento usado: lavagem e peneiração	

Massa seca total M_1 (kg)	2,2626
Massa seca após lavagem M_2 (kg)	2,1750
Massa seca dos finos removidos por lavagem $M_1 - M_2$ (kg)	0,0876

Dimensão das aberturas do peneiro mm	Massa do material retido (R_i) kg	Porcentagem do material retido $((R_i/M_1) \times 100)$	Porcentagem cumulativa do material passado $(100 - (R_i/M_1) \times 100)$
20	0,0000	0,0	100
16	0,0000	0,0	100
14	0,0043	0,2	100
12,5	0,0316	1,4	98
11,2	0,0860	3,8	95
10	0,2048	9,1	86
8	0,6602	29,2	56
6,3	0,7283	32,2	24
5	0,3829	16,9	7
4	0,0435	1,9	5
Material restante no fundo P =	0,0295		

Porcentagem de finos (f) que passa o peneiro de $63 \mu\text{m} = ((M_1 - M_2) + P)/M_1 \times 100$	5,18
---	------

$\sum R_i + P$	2,17	Observações:
$((M_2 - (\sum R_i + P))/M_2) \times 100$	0,2 < 1 %	

Anexo 2 – Relatórios de ensaios de índice de forma

Índice de achatamento	Laboratório: ISEP
NP EN 933-3:2002 e EN 933-3:1997/A 1:2003	
Identificação da amostra: A - Pedreira da Mimosa; Agregado 6/14 com 0% de retorno para o moinho	Data: 18-02-2008
	Operador: Pedro Fontes

Massa do provete M_0 (g)	2233,3
Massa retida no peneiro de 80 mm (g)	0
Massa que passa no peneiro de 4 mm (g)	18
Soma de massas rejeitadas (g)	18

Peneiração em peneiros de ensaio		Peneiração em peneiros de barras		
Fracção granulométrica d_i/D_i	Massa (R_i) da fracção granulométrica d_i/D_i	Largura nominal da ranhura no peneiro de barras	Massa que passa pelo peneiro de barras (m_i)	F_i
mm	mm	mm	g	$= (m_i/R_i) \times 100$
63/80	-	40	-	
50/63	-	31,5	-	
40/50	-	25	-	
31,5/40	-	20	-	
25/31,5	-	16	-	
20/25	-	12,5	-	
16/20	11,9	10	0	0
12,5/16	567	8	46,6	8
10/12,5	748,5	6,3	23,8	3
8/10	476,4	5	22,2	5
6,3/8	346,8	4	15,3	4
5/6,3	55,3	3,15	1,6	3
4/5	7	2,5	-	
$M_1 = \sum R_i$	2205,9	$M_2 = \sum m_i$	109,5	

$FI = (M_2/M_1) \times 100$	5	
$100 \times (M_0 - (\sum R_i + \sum (\text{massas rejeitadas}))) / M_0$	0,1	< 1%

Índice de achatamento	Laboratório: ISEP
NP EN 933-3:2002 e EN 933-3:1997/A 1:2003	
Identificação da amostra: B - Pedreira da Mimosa;	Data: 18-02-2008
Agregado 6/14 com 25% de retorno para o moinho	Operador: Pedro Fontes

Massa do provete M_0 (g)	2232,9
Massa retida no peneiro de 80 mm (g)	0
Massa que passa no peneiro de 4 mm (g)	20
Soma de massas rejeitadas (g)	20

Peneiração em peneiros de ensaio		Peneiração em peneiros de barras		
Fracção granulométrica d_i/D_i	Massa (R_i) da fracção granulométrica d_i/D_i	Largura nominal da ranhura no peneiro de barras	Massa que passa pelo peneiro de barras (m_i)	F_i
mm	mm	mm	g	$= (m_i/R_i) \times 100$
63/80	-	40	-	
50/63	-	31,5	-	
40/50	-	25	-	
31,5/40	-	20	-	
25/31,5	-	16	-	
20/25	-	12,5	-	
16/20	24,5	10	0	0
12,5/16	262,7	8	17,5	7
10/12,5	537,9	6,3	11,4	2
8/10	663,1	5	34	5
6,3/8	549,4	4	17,9	3
5/6,3	146,3	3,15	4,9	3
4/5	27	2,5	-	

$M_1 = \sum R_i$	2183,9	$M_2 = \sum m_i$	85,7
------------------	--------	------------------	------

$FI = (M_2/M_1) \times 100$	4
$100 \times (M_0 - (\sum R_i + \sum (\text{massas rejeitadas}))) / M_0$	0,1 < 1%

Índice de achatamento	Laboratório: ISEP
NP EN 933-3:2002 e EN 933-3:1997/A 1:2003	
Identificação da amostra: C - Pedreira da Mimosa; Agregado 6/14 com 75% de retorno para o moinho	Data: 19-02-2008
	Operador: Pedro Fontes

Massa do provete M_0 (g)	2223
Massa retida no peneiro de 80 mm (g)	0
Massa que passa no peneiro de 4 mm (g)	47,7
Soma de massas rejeitadas (g)	47,7

Peneiração em peneiros de ensaio		Peneiração em peneiros de barras		
Fracção granulométrica d_i/D_i	Massa (R_i) da fracção granulométrica d_i/D_i	Largura nominal da ranhura no peneiro de barras	Massa que passa pelo peneiro de barras (m_i)	F_i
mm	mm	mm	g	$= (m_i/R_i) \times 100$
63/80	-	40	-	
50/63	-	31,5	-	
40/50	-	25	-	
31,5/40	-	20	-	
25/31,5	-	16	-	
20/25	-	12,5	-	
16/20	8,9	10	0	0
12,5/16	150,3	8	10	7
10/12,5	395	6,3	12,8	3
8/10	647,5	5	16,4	3
6,3/8	672,5	4	18,1	3
5/6,3	230,3	3,15	5	2
4/5	67,6	2,5	-	

$M_1 = \sum R_i$	2104,5	$M_2 = \sum m_i$	62,3
------------------	--------	------------------	------

$FI = (M_2/M_1) \times 100$	3
-----------------------------	----------

$100 \times (M_0 - (\sum R_i + \sum (\text{massas rejeitadas}))) / M_0$	0,1	< 1%
---	-----	------

Índice de achatamento	Laboratório: ISEP
NP EN 933-3:2002 e EN 933-3:1997/A 1:2003	
Identificação da amostra: D - Pedreira Coutada Nº2;	Data: 19-02-2008
Agregado 6/14 com 0% de retorno para o moinho	Operador: Pedro Fontes

Massa do provete M_0 (g)	2197,3
Massa retida no peneiro de 80 mm (g)	0
Massa que passa no peneiro de 4 mm (g)	67,3
Soma de massas rejeitadas (g)	67,3

Peneiração em peneiros de ensaio		Peneiração em peneiros de barras		
Fracção granulométrica d_i/D_i	Massa (R_i) da fracção granulométrica d_i/D_i	Largura nominal da ranhura no peneiro de barras	Massa que passa pelo peneiro de barras (m_i)	F_i
mm	mm	mm	g	$= (m_i/R_i) \times 100$
63/80	-	40	-	
50/63	-	31,5	-	
40/50	-	25	-	
31,5/40	-	20	-	
25/31,5	-	16	-	
20/25	-	12,5	-	
16/20	0	10	-	
12,5/16	31,6	8	16,5	52
10/12,5	379,2	6,3	70,1	18
8/10	607,2	5	82	14
6,3/8	576,7	4	90,9	16
5/6,3	406,4	3,15	58,3	14
4/5	43,5	2,5	-	
$M_1 = \sum R_i$	2001,1	$M_2 = \sum m_i$	317,8	

$FI = (M_2/M_1) \times 100$	16
$100 \times (M_0 - (\sum R_i + \sum (\text{massas rejeitadas}))) / M_0$	3,9* > 1%

* nota – como o valor é superior a 1%, o ensaio deveria ser repetido. Contudo, face à escassez de material disponível não foi possível efectuar a sua repetição.

Índice de achatamento	Laboratório: ISEP
NP EN 933-3:2002 e EN 933-3:1997/A 1:2003	
Identificação da amostra: E - Pedreira Coutada Nº2;	Data: 20-02-2008
Agregado 6/14 com 25% de retorno para o moinho	Operador: Pedro Fontes

Massa do provete M_0 (g)	2196
Massa retida no peneiro de 80 mm (g)	0
Massa que passa no peneiro de 4 mm (g)	37,5
Soma de massas rejeitadas (g)	37,5

Peneiração em peneiros de ensaio		Peneiração em peneiros de barras		
Fracção granulométrica d_i/D_i	Massa (R_i) da fracção granulométrica d_i/D_i	Largura nominal da ranhura no peneiro de barras	Massa que passa pelo peneiro de barras (m_i)	F_i
mm	mm	mm	g	$= (m_i/R_i) \times 100$
63/80	-	40	-	
50/63	-	31,5	-	
40/50	-	25	-	
31,5/40	-	20	-	
25/31,5	-	16	-	
20/25	-	12,5	-	
16/20	4	10	0	0
12,5/16	77,5	8	7,3	9
10/12,5	432,6	6,3	49,1	11
8/10	701,5	5	75,5	11
6,3/8	552,3	4	68,3	12
5/6,3	312,9	3,15	38,1	12
4/5	78,7	2,5	-	
$M_1 = \sum R_i$	2080,8	$M_2 = \sum m_i$	238,3	
$FI = (M_2/M_1) \times 100$			11	
$100 \times (M_0 - (\sum R_i + \sum (\text{massas rejeitadas}))) / M_0$			0,0	< 1%

Índice de achatamento	Laboratório: ISEP
NP EN 933-3:2002 e EN 933-3:1997/A 1:2003	
Identificação da amostra: F - Pedreira Coutada Nº2;	Data: 20-02-2008
Agregado 6/14 com 75% de retorno para o moinho	Operador: Pedro Fontes

Massa do provete M_0 (g)	2171,1
Massa retida no peneiro de 80 mm (g)	0
Massa que passa no peneiro de 4 mm (g)	29,5
Soma de massas rejeitadas (g)	29,5

Peneiração em peneiros de ensaio		Peneiração em peneiros de barras		
Fracção granulométrica d_i/D_i	Massa (R_i) da fracção granulométrica d_i/D_i	Largura nominal da ranhura no peneiro de barras	Massa que passa pelo peneiro de barras (m_i)	F_i
mm	mm	mm	g	$= (m_i/R_i) \times 100$
63/80	-	40	-	
50/63	-	31,5	-	
40/50	-	25	-	
31,5/40	-	20	-	
25/31,5	-	16	-	
20/25	-	12,5	-	
16/20	0	10	-	
12,5/16	35,9	8	0	0
10/12,5	290,8	6,3	6,3	2
8/10	660,3	5	25,3	4
6,3/8	728,3	4	41,9	6
5/6,3	382,9	3,15	18,5	5
4/5	43,5	2,5	-	
$M_1 = \sum R_i$	2098,2	$M_2 = \sum m_i$	92	

$FI = (M_2/M_1) \times 100$	4	
$100 \times (M_0 - (\sum R_i + \sum (\text{massas rejeitadas}))) / M_0$	0,0	< 1%

Anexo 3 – Relatórios de ensaios de índices de forma

Índice de forma	Laboratório: ISEP		
NP EN 933-4:2008			
Identificação da amostra: A - Pedreira da Mimosa; Agregado 6/14 com 0% de retorno para o moinho	Data: 25-02-2008		
	Operador: Pedro Fontes		
M0 (g)	2233,3		
Fracção Granulométrica d_i/D_i onde $D_i \leq 2 d_i$ mm	Massa M_1 g	Massa M_2 g	Índice de forma SI % = $(M_2/M_1) \times 100$ arred. às unidades
11,2 - 16	464,2	54,2	12
8 - 11,2	219,7	34,7	16
5 - 8	177,8	26	15
Índice de forma médio (SI)			13

Índice de forma	Laboratório: ISEP		
NP EN 933-4:2008			
Identificação da amostra: B - Pedreira da Mimosa; Agregado 6/14 com 25% de retorno para o moinho	Data: 25-02-2008		
	Operador: Pedro Fontes		
M0 (g)	2232,9		
Fracção Granulométrica d_i/D_i onde $D_i \leq 2 d_i$ mm	Massa M_1 g	Massa M_2 g	Índice de forma SI % = $(M_2/M_1) \times 100$ arred. às unidades
11,2 - 16	500,9	39,7	8
8 - 11,2	285,7	33,4	12
5 - 8	185,9	24,6	13
Índice de forma médio (SI)			10

Índice de forma	Laboratório: ISEP		
NP EN 933-4:2008			
Identificação da amostra: C - Pedreira da Mimosa;	Data: 26-02-2008		
Agregado 6/14 com 75% de retorno para o moinho	Operador: Pedro Fontes		
M0 (g)	2223		
Fracção Granulométrica d_i/D_i onde $D_i \leq 2 d_i$ mm	Massa M_1 g	Massa M_2 g	Índice de forma SI % = $(M_2/M_1) \times 100$ arred. às unidades
11,2 - 16	318,9	28,4	9
8 - 11,2	293	18,2	6
5 - 8	166,3	9,2	6
Índice de forma médio (SI)			7

Índice de forma	Laboratório: ISEP		
NP EN 933-4:2008			
Identificação da amostra: D - Pedreira Coutada Nº2;	Data: 26-02-2008		
Agregado 6/14 com 0% de retorno para o moinho	Operador: Pedro Fontes		
M0 (g)	2197,3		
Fracção Granulométrica d_i/D_i onde $D_i \leq 2 d_i$ mm	Massa M_1 g	Massa M_2 g	Índice de forma SI % = $(M_2/M_1) \times 100$ arred. às unidades
8 - 11,2	253,4	75,8	30
5 - 8	166,7	55,4	33
Índice de forma médio (SI)			31

Índice de forma		Laboratório: ISEP	
NP EN 933-4:2008			
Identificação da amostra: E - Pedreira Coutada Nº2;		Data: 27-02-2008	
Agregado 6/14 com 25% de retorno para o moinho		Operador: Pedro Fontes	
M0 (g)	2196		
Fracção Granulométrica d_i/D_i onde $D_i \leq 2 d_i$ mm	Massa M_1 g	Massa M_2 g	Índice de forma SI % = $(M_2/M_1) \times 100$ arred. às unidades
8 - 11,2	249,8	63,4	25
5 - 8	141,7	44,7	32
Índice de forma médio (SI)			28

Índice de forma		Laboratório: ISEP	
NP EN 933-4:2008			
Identificação da amostra: F - Pedreira Coutada Nº2;		Data: 27-02-2008	
Agregado 6/14 com 75% de retorno para o moinho		Operador: Pedro Fontes	
M0 (g)	2171,1		
Fracção Granulométrica d_i/D_i onde $D_i \leq 2 d_i$ mm	Massa M_1 g	Massa M_2 g	Índice de forma SI % = $(M_2/M_1) \times 100$ arred. às unidades
8 - 11,2	213,4	17,1	8
5 - 8	136,9	15,5	11
Índice de forma médio (SI)			9

Anexo 4 – Relatórios de ensaios de resistência ao desgaste (micro-Deval)

Resistência ao desgaste - micro-Deval	Laboratório: ISEP
NP EN 1097-1:2002 e EN 1097-1:1996/A 1:2003	
Identificação da amostra: A - Pedreira da Mimosa;	Data: 03-03-2008
Agregado 6/14 com 0% de retorno para o moinho	Operador: Pedro Fontes
Fracção granulométrica (mm)	10 a 14
Tipo de ensaio efectuado	Húmido
Data do ensaio	07-07-2008
Coeficiente de micro-Deval	
M_{DE}	
Provetes elementar 1	12,1
Provetes elementar 2	13,7
M_{DE} (Média dos dois provetes elementares)	13

Resistência ao desgaste - micro-Deval	Laboratório: ISEP
NP EN 1097-1:2002 e EN 1097-1:1996/A 1:2003	
Identificação da amostra: B - Pedreira da Mimosa;	Data: 03-03-2008
Agregado 6/14 com 25% de retorno para o moinho	Operador: Pedro Fontes
Fracção granulométrica (mm)	10 a 14
Tipo de ensaio efectuado	Húmido
Data do ensaio	07-07-2008
Coeficiente de micro-Deval	
M_{DE}	
Provetes elementar 1	13,5
Provetes elementar 2	12,8
M_{DE} (Média dos dois provetes elementares)	13

Resistência ao desgaste - micro-Deval	Laboratório: ISEP
NP EN 1097-1:2002 e EN 1097-1:1996/A 1:2003	
Identificação da amostra: C - Pedreira da Mimosa;	Data: 04-03-2008
Agregado 6/14 com 75% de retorno para o moinho	Operador: Pedro Fontes
Fracção granulométrica (mm)	10 a 14
Tipo de ensaio efectuado	Húmido
Data do ensaio	08-07-2008
Coeficiente de micro-Deval	
M_{DE}	
Provete elementar 1	14,3
Provete elementar 2	14,0
M_{DE} (Média dos dois provetes elementares)	14

Resistência ao desgaste - micro-Deval	Laboratório: ISEP
NP EN 1097-1:2002 e EN 1097-1:1996/A 1:2003	
Identificação da amostra: D - Pedreira Coutada Nº2;	Data: 04-03-2008
Agregado 6/14 com 0% de retorno para o moinho	Operador: Pedro Fontes
Fracção granulométrica (mm)	10 a 14
Tipo de ensaio efectuado	Húmido
Data do ensaio	08-07-2008
Coeficiente de micro-Deval	
M_{DE}	
Provete elementar 1	10,6
Provete elementar 2	11,3
M_{DE} (Média dos dois provetes elementares)	11

Resistência ao desgaste - micro-Deval	Laboratório: ISEP
NP EN 1097-1:2002 e EN 1097-1:1996/A 1:2003	
Identificação da amostra: E - Pedreira Coutada Nº2;	Data: 05-03-2008
Agregado 6/14 com 25% de retorno para o moinho	Operador: Pedro Fontes
Fracção granulométrica (mm)	10 a 14
Tipo de ensaio efectuado	Húmido
Data do ensaio	09-07-2008
Coeficiente de micro-Deval	
M_{DE}	
Provete elementar 1	11,1
Provete elementar 2	11,4
M_{DE} (Média dos dois provetes elementares)	11

Resistência ao desgaste - micro-Deval	Laboratório: ISEP
NP EN 1097-1:2002 e EN 1097-1:1996/A 1:2003	
Identificação da amostra: F - Pedreira Coutada Nº2;	Data: 05-03-2008
Agregado 6/14 com 75% de retorno para o moinho	Operador: Pedro Fontes
Fracção granulométrica (mm)	10 a 14
Tipo de ensaio efectuado	Húmido
Data do ensaio	09-07-2008
Coeficiente de micro-Deval	
M_{DE}	
Provete elementar 1	11,7
Provete elementar 2	11,8
M_{DE} (Média dos dois provetes elementares)	12

Anexo 5 – Relatórios de ensaios de resistência à fragmentação (Los Angeles)

Resistência à fragmentação - Los Angeles	Laboratório: ISEP
NP EN 1097-2:2002 e EN 1097-2:1998/A 1:2006	
Identificação da amostra: A - Pedreira da Mimosa;	Data: 10-03-2008
Agregado 6/14 com 0% de retorno para o moinho	Operador: Pedro Fontes
Fracção granulométrica (mm)	Los Angeles LA
10 a 14	42

Resistência à fragmentação - Los Angeles	Laboratório: ISEP
NP EN 1097-2:2002 e EN 1097-2:1998/A 1:2006	
Identificação da amostra: B - Pedreira da Mimosa;	Data: 10-03-2008
Agregado 6/14 com 25% de retorno para o moinho	Operador: Pedro Fontes
Fracção granulométrica (mm)	Los Angeles LA
10 a 14	40

Resistência à fragmentação - Los Angeles	Laboratório: ISEP
NP EN 1097-2:2002 e EN 1097-2:1998/A 1:2006	
Identificação da amostra: C - Pedreira da Mimosa;	Data: 11-03-2008
Agregado 6/14 com 75% de retorno para o moinho	Operador: Pedro Fontes
Fracção granulométrica (mm)	Los Angeles LA
10 a 14	42

Resistência à fragmentação - Los Angeles	Laboratório: ISEP
NP EN 1097-2:2002 e EN 1097-2:1998/A 1:2006	
Identificação da amostra: D - Pedreira Coutada Nº2;	Data: 11-03-2008
Agregado 6/14 com 0% de retorno para o moinho	Operador: Pedro Fontes
Fracção granulométrica (mm)	Los Angeles LA
10 a 14	47

Resistência à fragmentação - Los Angeles	Laboratório: ISEP
NP EN 1097-2:2002 e EN 1097-2:1998/A 1:2006	
Identificação da amostra: E - Pedreira Coutada Nº2;	Data: 12-03-2008
Agregado 6/14 com 25% de retorno para o moinho	Operador: Pedro Fontes
Fracção granulométrica (mm)	Los Angeles LA
10 a 14	43

Resistência à fragmentação - Los Angeles	Laboratório: ISEP
NP EN 1097-2:2002 e EN 1097-2:1998/A 1:2006	
Identificação da amostra: F - Pedreira Coutada Nº2;	Data: 12-03-2008
Agregado 6/14 com 75% de retorno para o moinho	Operador: Pedro Fontes
Fracção granulométrica (mm)	Los Angeles LA
6,3 a 10	40

Anexo 6 – Relatórios de ensaios de afinidade do agregado ao betume

Afinidade do agregado ao betume	Laboratório: CICCOPN - LGMC	
EN 12697-11:2005		
Identificação da amostra: A - Pedreira da Mimosa;	Data: 08-04-2008	
Agregado 6/14 com 0% de retorno para o moinho	Operador: Pedro Fontes	
Características do ensaio e do provete		
Data do início do ensaio	30-06-2008	
Data do fim do ensaio	01-07-2008	
Fracção seleccionada para ensaio (mm)	8/11,2	
Referência do betume	50/70	
Velocidade de rotação (rpm)	60	
Massa do agregado (g) *	150	
Massa volúmica do agregado (Kg/m ³)	2,65	
Massa do betume (g) *	5	
Resultados obtidos		
Operador 1		
Percentagem de agregado coberto com betume após 6 h de ensaio (%)	60	
Percentagem de agregado coberto com betume após 24 h de ensaio (%)	35	
Operador 2		
Percentagem de agregado coberto com betume após 6 h de ensaio (%)	70	
Percentagem de agregado coberto com betume após 24 h de ensaio (%)	40	
Cálculo dos valores médios das leituras dos 2 operadores		
Percentagem de agregado coberto com betume após 6 h de ensaio (%)	65	
Percentagem de agregado coberto com betume após 24 h de ensaio (%)	38	
* Nota: A norma EN 12697-11 especifica que este ensaio deve ser efectuado com 3 provetes da mesma amostra em 3 diferentes frascos de ensaio, com uma massa de agregado de 600 g e uma massa de betume de 16 g. Contudo, visto que este é um estudo comparativo foi apenas utilizado um frasco para cada amostra com as massas de agregado e betume acima indicadas e com proporções equivalentes ao especificado na norma		

Afinidade do agregado ao betume	Laboratório: CICCOPN - LGMC	
EN 12697-11:2005		
Identificação da amostra: B - Pedreira da Mimosa;	Data: 08-04-2008	
Agregado 6/14 com 25% de retorno para o moinho	Operador: Pedro Fontes	
Características do ensaio e do provete		
Data do início do ensaio	30-06-2008	
Data do fim do ensaio	01-07-2008	
Fracção seleccionada para ensaio (mm)	8/11,2	
Referência do betume	50/70	
Velocidade de rotação (rpm)	60	
Massa do agregado (g) *	150	
Massa volúmica do agregado (Kg/m ³)	2,65	
Massa do betume (g) *	5	
Resultados obtidos		
Operador 1		
Percentagem de agregado coberto com betume após 6 h de ensaio (%)	65	
Percentagem de agregado coberto com betume após 24 h de ensaio (%)	25	
Operador 2		
Percentagem de agregado coberto com betume após 6 h de ensaio (%)	65	
Percentagem de agregado coberto com betume após 24 h de ensaio (%)	25	
Cálculo dos valores médios das leituras dos 2 operadores		
Percentagem de agregado coberto com betume após 6 h de ensaio (%)	65	
Percentagem de agregado coberto com betume após 24 h de ensaio (%)	25	
* Nota: A norma EN 12697-11 especifica que este ensaio deve ser efectuado com 3 provetes da mesma amostra em 3 diferentes frascos de ensaio, com uma massa de agregado de 600 g e uma massa de betume de 16 g. Contudo, visto que este é um estudo comparativo foi apenas utilizado um frasco para cada amostra com as massas de agregado e betume acima indicadas e com proporções equivalentes ao especificado na norma		

Afinidade do agregado ao betume	Laboratório: CICCOPN - LGMC	
EN 12697-11:2005		
Identificação da amostra: C - Pedreira da Mimosa;	Data: 08-04-2008	
Agregado 6/14 com 75% de retorno para o moinho	Operador: Pedro Fontes	
Características do ensaio e do provete		
Data do início do ensaio	30-06-2008	
Data do fim do ensaio	01-07-2008	
Fracção seleccionada para ensaio (mm)	8/11,2	
Referência do betume	50/70	
Velocidade de rotação (rpm)	60	
Massa do agregado (g) *	150	
Massa volúmica do agregado (Kg/m ³)	2,65	
Massa do betume (g) *	5	
Resultados obtidos		
Operador 1		
Percentagem de agregado coberto com betume após 6 h de ensaio (%)	65	
Percentagem de agregado coberto com betume após 24 h de ensaio (%)	25	
Operador 2		
Percentagem de agregado coberto com betume após 6 h de ensaio (%)	60	
Percentagem de agregado coberto com betume após 24 h de ensaio (%)	25	
Cálculo dos valores médios das leituras dos 2 operadores		
Percentagem de agregado coberto com betume após 6 h de ensaio (%)	63	
Percentagem de agregado coberto com betume após 24 h de ensaio (%)	25	
* Nota: A norma EN 12697-11 especifica que este ensaio deve ser efectuado com 3 provetes da mesma amostra em 3 diferentes frascos de ensaio, com uma massa de agregado de 600 g e uma massa de betume de 16 g. Contudo, visto que este é um estudo comparativo foi apenas utilizado um frasco para cada amostra com as massas de agregado e betume acima indicadas e com proporções equivalentes ao especificado na norma		

Afinidade do agregado ao betume	Laboratório: CICCOPN - LGMC	
EN 12697-11:2005		
Identificação da amostra: D - Pedreira Coutada Nº2;	Data: 10-04-2008	
Agregado 6/14 com 0% de retorno para o moinho	Operador: Pedro Fontes	
Características do ensaio e do provete		
Data do início do ensaio	02-07-2008	
Data do fim do ensaio	03-07-2008	
Fracção seleccionada para ensaio (mm)	8/11,2	
Referência do betume	50/70	
Velocidade de rotação (rpm)	60	
Massa do agregado (g) *	150	
Massa volúmica do agregado (Kg/m ³)	2,65	
Massa do betume (g) *	5	
Resultados obtidos		
Operador 1		
Percentagem de agregado coberto com betume após 6 h de ensaio (%)	80	
Percentagem de agregado coberto com betume após 24 h de ensaio (%)	40	
Operador 2		
Percentagem de agregado coberto com betume após 6 h de ensaio (%)	80	
Percentagem de agregado coberto com betume após 24 h de ensaio (%)	45	
Cálculo dos valores médios das leituras dos 2 operadores		
Percentagem de agregado coberto com betume após 6 h de ensaio (%)	80	
Percentagem de agregado coberto com betume após 24 h de ensaio (%)	43	
* Nota: A norma EN 12697-11 especifica que este ensaio deve ser efectuado com 3 provetes da mesma amostra em 3 diferentes frascos de ensaio, com uma massa de agregado de 600 g e uma massa de betume de 16 g. Contudo, visto que este é um estudo comparativo foi apenas utilizado um frasco para cada amostra com as massas de agregado e betume acima indicadas e com proporções equivalentes ao especificado na norma		

Afinidade do agregado ao betume	Laboratório: CICCOPN - LGMC	
EN 12697-11:2005		
Identificação da amostra: E - Pedreira Coutada Nº2;	Data: 10-04-2008	
Agregado 6/14 com 25% de retorno para o moinho	Operador: Pedro Fontes	
Características do ensaio e do provete		
Data do início do ensaio	02-07-2008	
Data do fim do ensaio	03-07-2008	
Fracção seleccionada para ensaio (mm)	8/11,2	
Referência do betume	50/70	
Velocidade de rotação (rpm)	60	
Massa do agregado (g) *	150	
Massa volúmica do agregado (Kg/m ³)	2,65	
Massa do betume (g) *	5	
Resultados obtidos		
Operador 1		
Percentagem de agregado coberto com betume após 6 h de ensaio (%)	80	
Percentagem de agregado coberto com betume após 24 h de ensaio (%)	45	
Operador 2		
Percentagem de agregado coberto com betume após 6 h de ensaio (%)	80	
Percentagem de agregado coberto com betume após 24 h de ensaio (%)	40	
Cálculo dos valores médios das leituras dos 2 operadores		
Percentagem de agregado coberto com betume após 6 h de ensaio (%)	80	
Percentagem de agregado coberto com betume após 24 h de ensaio (%)	43	
* Nota: A norma EN 12697-11 especifica que este ensaio deve ser efectuado com 3 provetes da mesma amostra em 3 diferentes frascos de ensaio, com uma massa de agregado de 600 g e uma massa de betume de 16 g. Contudo, visto que este é um estudo comparativo foi apenas utilizado um frasco para cada amostra com as massas de agregado e betume acima indicadas e com proporções equivalentes ao especificado na norma		

Afinidade do agregado ao betume	Laboratório: CICCOPN - LGMC	
EN 12697-11:2005		
Identificação da amostra: F - Pedreira Coutada Nº2;	Data: 10-04-2008	
Agregado 6/14 com 75% de retorno para o moinho	Operador: Pedro Fontes	
Características do ensaio e do provete		
Data do início do ensaio	02-07-2008	
Data do fim do ensaio	03-07-2008	
Fracção seleccionada para ensaio (mm)	8/11,2	
Referência do betume	50/70	
Velocidade de rotação (rpm)	60	
Massa do agregado (g) *	150	
Massa volúmica do agregado (Kg/m ³)	2,65	
Massa do betume (g) *	5	
Resultados obtidos		
Operador 1		
Percentagem de agregado coberto com betume após 6 h de ensaio (%)	80	
Percentagem de agregado coberto com betume após 24 h de ensaio (%)	35	
Operador 2		
Percentagem de agregado coberto com betume após 6 h de ensaio (%)	75	
Percentagem de agregado coberto com betume após 24 h de ensaio (%)	40	
Cálculo dos valores médios das leituras dos 2 operadores		
Percentagem de agregado coberto com betume após 6 h de ensaio (%)	78	
Percentagem de agregado coberto com betume após 24 h de ensaio (%)	38	
* Nota: A norma EN 12697-11 especifica que este ensaio deve ser efectuado com 3 provetes da mesma amostra em 3 diferentes frascos de ensaio, com uma massa de agregado de 600 g e uma massa de betume de 16 g. Contudo, visto que este é um estudo comparativo foi apenas utilizado um frasco para cada amostra com as massas de agregado e betume acima indicadas e com proporções equivalentes ao especificado na norma		

Anexo 7 – Relatórios de ensaios do coeficiente de polimento acelerado

Ensaio de Polimento Acelerado - Agregados	Laboratório: ISEP
NP EN 1097-8/2003	
Identificação da amostra: A - Pedreira da Mimosa;	Data: 20-06-2008
Agregado 6/14 com 0% de retorno para o moinho	Operador: Pedro Fontes

Referência dos abrasivos utilizados
Tipo 1: Emery Corn S882 - 190 WEM
Tipo 2: Emery Flour S882 - 191 WEM

Determinação do coeficiente de polimento acelerado - PSV		
Referência dos provetes	A1	A2
Data de moldagem	16-06-2008	16-06-2008
Número de partículas dos provetes	41	40
Carga aplicada (N)	725	
Número de rotações da roda de estrada	115200	
Data de ensaio	19-06-2008	
c ₁ - valor do coeficiente na 1ª passagem	53	55
c ₂ - valor do coeficiente na 2ª passagem	53	54
c ₃ - valor do coeficiente na 3ª passagem	52	53
c ₄ - valor do coeficiente na 4ª passagem	52	53
c ₅ - valor do coeficiente na 5ª passagem	52	53
PSV _i - PSV obtido em cada provete = (c ₃ +c ₄ +c ₅)/3	52	53
S - PSV do agregado não corrigido = $\sum PSV_i/i$	52,5	
C - PSV do agregado padrão = média de 2 provetes	54,9	
PSV = S+52,5-C	50	

Nota: A norma NP EN 1097-8/2003 especifica que este ensaio deve ser efectuado com quatro provetes da mesma amostra (2 provetes em cada diferente dia, na roda de estrada) contudo, visto que este é um estudo comparativo foram apenas usados dois provetes num só dia e numa só roda de estrada.

Ensaio de Polimento Acelerado - Agregados	Laboratório: ISEP
NP EN 1097-8/2003	
Identificação da amostra: B - Pedreira da Mimosa;	Data: 20-06-2008
Agregado 6/14 com 25% de retorno para o moinho	Operador: Pedro Fontes

Referência dos abrasivos utilizados
Tipo 1: Emery Corn S882 - 190 WEM
Tipo 2: Emery Flour S882 - 191 WEM

Determinação do coeficiente de polimento acelerado - PSV		
Referência dos provetes	B1	B2
Data de moldagem	16-06-2008	16-06-2008
Número de partículas dos provetes	43	39
Carga aplicada (N)	725	
Número de rotações da roda de estrada	115200	
Data de ensaio	19-06-2008	
c ₁ - valor do coeficiente na 1ª passagem	54	55
c ₂ - valor do coeficiente na 2ª passagem	54	54
c ₃ - valor do coeficiente na 3ª passagem	53	54
c ₄ - valor do coeficiente na 4ª passagem	53	54
c ₅ - valor do coeficiente na 5ª passagem	53	54
PSV _i - PSV obtido em cada provete = (c ₃ +c ₄ +c ₅)/3	53	54
S - PSV do agregado não corrigido = $\sum PSV_i/i$	53,5	
C - PSV do agregado padrão = média de 2 provetes	54,9	
PSV = S+52,5-C	51	

Nota: A norma NP EN 1097-8/2003 especifica que este ensaio deve ser efectuado com quatro provetes da mesma amostra (2 provetes em cada diferente dia, na roda de estrada) contudo, visto que este é um estudo comparativo foram apenas usados dois provetes num só dia e numa só roda de estrada.

Ensaio de Polimento Acelerado - Agregados	Laboratório: ISEP
NP EN 1097-8/2003	
Identificação da amostra: C - Pedreira da Mimosa;	Data: 20-06-2008
Agregado 6/14 com 75% de retorno para o moinho	Operador: Pedro Fontes

Referência dos abrasivos utilizados
Tipo 1: Emery Corn S882 - 190 WEM
Tipo 2: Emery Flour S882 - 191 WEM

Determinação do coeficiente de polimento acelerado - PSV		
Referência dos provetes	C1	C2
Data de moldagem	17-06-2008	17-06-2008
Número de partículas dos provetes	39	41
Carga aplicada (N)	725	
Número de rotações da roda de estrada	115200	
Data de ensaio	19-06-2008	
c ₁ - valor do coeficiente na 1ª passagem	59	57
c ₂ - valor do coeficiente na 2ª passagem	58	57
c ₃ - valor do coeficiente na 3ª passagem	58	56
c ₄ - valor do coeficiente na 4ª passagem	58	56
c ₅ - valor do coeficiente na 5ª passagem	58	56
PSV _i - PSV obtido em cada provete = (c ₃ +c ₄ +c ₅)/3	58	56
S - PSV do agregado não corrigido = $\sum PSV_i/i$	57,0	
C - PSV do agregado padrão = média de 2 provetes	54,9	
PSV = S+52,5-C	55	

Nota: A norma NP EN 1097-8/2003 especifica que este ensaio deve ser efectuado com quatro provetes da mesma amostra (2 provetes em cada diferente dia, na roda de estrada) contudo, visto que este é um estudo comparativo foram apenas usados dois provetes num só dia e numa só roda de estrada.

Ensaio de Polimento Acelerado - Agregados	Laboratório: ISEP
NP EN 1097-8/2003	
Identificação da amostra: D - Pedreira Coutada Nº2;	Data: 20-06-2008
Agregado 6/14 com 0% de retorno para o moinho	Operador: Pedro Fontes

Referência dos abrasivos utilizados
Tipo 1: Emery Corn S882 - 190 WEM
Tipo 2: Emery Flour S882 - 191 WEM

Determinação do coeficiente de polimento acelerado - PSV		
Referência dos provetes	D1	D2
Data de moldagem	17-06-2008	17-06-2008
Número de partículas dos provetes	41	37
Carga aplicada (N)	725	
Número de rotações da roda de estrada	115200	
Data de ensaio	19-06-2008	
c ₁ - valor do coeficiente na 1ª passagem	62	64
c ₂ - valor do coeficiente na 2ª passagem	61	63
c ₃ - valor do coeficiente na 3ª passagem	60	62
c ₄ - valor do coeficiente na 4ª passagem	60	62
c ₅ - valor do coeficiente na 5ª passagem	60	62
PSV _i - PSV obtido em cada provete = (c ₃ +c ₄ +c ₅)/3	60	62
S - PSV do agregado não corrigido = $\sum PSV_i/i$	61,0	
C - PSV do agregado padrão = média de 2 provetes	54,9	
PSV = S+52,5-C	59	

Nota: A norma NP EN 1097-8/2003 especifica que este ensaio deve ser efectuado com quatro provetes da mesma amostra (2 provetes em cada diferente dia, na roda de estrada) contudo, visto que este é um estudo comparativo foram apenas usados dois provetes num só dia e numa só roda de estrada.

Ensaio de Polimento Acelerado - Agregados	Laboratório: ISEP
NP EN 1097-8/2003	
Identificação da amostra: E - Pedreira Coutada Nº2;	Data: 20-06-2008
Agregado 6/14 com 25% de retorno para o moinho	Operador: Pedro Fontes

Referência dos abrasivos utilizados
Tipo 1: Emery Corn S882 - 190 WEM
Tipo 2: Emery Flour S882 - 191 WEM

Determinação do coeficiente de polimento acelerado - PSV		
Referência dos provetes	E1	E2
Data de moldagem	18-06-2008	18-06-2008
Número de partículas dos provetes	39	39
Carga aplicada (N)	725	
Número de rotações da roda de estrada	115200	
Data de ensaio	19-06-2008	
c ₁ - valor do coeficiente na 1ª passagem	61	63
c ₂ - valor do coeficiente na 2ª passagem	60	63
c ₃ - valor do coeficiente na 3ª passagem	60	62
c ₄ - valor do coeficiente na 4ª passagem	60	62
c ₅ - valor do coeficiente na 5ª passagem	60	62
PSV _i - PSV obtido em cada provete = (c ₃ +c ₄ +c ₅)/3	60	62
S - PSV do agregado não corrigido = $\sum PSV_i/i$	61,0	
C - PSV do agregado padrão = média de 2 provetes	54,9	
PSV = S+52,5-C	59	

Nota: A norma NP EN 1097-8/2003 especifica que este ensaio deve ser efectuado com quatro provetes da mesma amostra (2 provetes em cada diferente dia, na roda de estrada) contudo, visto que este é um estudo comparativo foram apenas usados dois provetes num só dia e numa só roda de estrada.

Ensaio de Polimento Acelerado - Agregados	Laboratório: ISEP
NP EN 1097-8/2003	
Identificação da amostra: F - Pedreira Coutada Nº2;	Data: 20-06-2008
Agregado 6/14 com 75% de retorno para o moinho	Operador: Pedro Fontes

Referência dos abrasivos utilizados
Tipo 1: Emery Corn S882 - 190 WEM
Tipo 2: Emery Flour S882 - 191 WEM

Determinação do coeficiente de polimento acelerado - PSV		
Referência dos provetes	F1	F2
Data de moldagem	18-06-2008	18-06-2008
Número de partículas dos provetes	40	41
Carga aplicada (N)	725	
Número de rotações da roda de estrada	115200	
Data de ensaio	19-06-2008	
c ₁ - valor do coeficiente na 1ª passagem	65	64
c ₂ - valor do coeficiente na 2ª passagem	65	63
c ₃ - valor do coeficiente na 3ª passagem	64	62
c ₄ - valor do coeficiente na 4ª passagem	64	62
c ₅ - valor do coeficiente na 5ª passagem	64	62
PSV _i - PSV obtido em cada provete = (c ₃ +c ₄ +c ₅)/3	64	62
S - PSV do agregado não corrigido = $\sum PSV_i/i$	63,0	
C - PSV do agregado padrão = média de 2 provetes	54,9	
PSV = S+52,5-C	61	

Nota: A norma NP EN 1097-8/2003 especifica que este ensaio deve ser efectuado com quatro provetes da mesma amostra (2 provetes em cada diferente dia, na roda de estrada) contudo, visto que este é um estudo comparativo foram apenas usados dois provetes num só dia e numa só roda de estrada.

