

# PAVIMENTOS BETUMINOSOS ECONÓMICOS PARA VIAS DE BAIXO TRÁFEGO

MARISA DINIS DE ALMEIDA, *ASSISTENTE, DEC-UBI*;  
J. P. CASTRO GOMES, *PROF. ASSOCIADO DEC-UBI*;  
LUIZ A. P. OLIVEIRA, *PROF. ASSOCIADO DEC-UBI*.

## RESUMO

Neste trabalho apresenta-se um estudo experimental de uma mistura betuminosa aberta a frio, onde se substituiu parte dos agregados naturais pelos resíduos da mina da Panasqueira com o objectivo de se obter uma mistura com vantagens económicas a utilizar em estradas municipais e caminhos rurais.

Apresentam-se os ensaios de caracterização realizados ao agregado granítico e aos resíduos da mina da Panasqueira assim como as composições e as misturas realizadas em laboratório com os respectivos resultados obtidos.

Finalmente, discutem-se as vantagens económicas e ambientais das misturas com utilização de resíduo.

## 1. INTRODUÇÃO

A necessidade de desenvolver um estudo de pavimentos betuminosos económicos para vias de baixo tráfego, nomeadamente estradas e caminhos municipais, surgiu devido ao mau estado de conservação que grande parte deste tipo de vias se encontra, no interior do país e sobretudo na Beira Interior.

Uma vez que o problema da deposição dos resíduos da mina da Panasqueira a céu aberto é uma preocupação das pessoas em geral, mas principalmente de quem convive mais directamente com este facto, pensou-se em dar uma utilidade a milhões de toneladas deste material. Assim, neste estudo, sugere-se a substituição parcial dos agregados naturais das misturas betuminosas por resíduos da Mina da Panasqueira, em simultâneo com a utilização da tecnologia a frio, mais atractiva do ponto de vista ambiental e de maior economia energética.

Inicialmente realizou-se um conjunto de ensaios de forma a caracterizar os agregados graníticos e os resíduos da mina da Panasqueira. De seguida, fez-se o estudo de diferentes percentagens de substituição de agregados naturais por estes resíduos definindo-se diferentes misturas betuminosas. Por fim realizou-se um estudo económico comparativo entre os custos de uma mistura aberta a frio com resíduos da mina da Panasqueira e soluções correntes de pavimentos fabricados a quente.

## 2. CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

A caracterização dos materiais utilizados (agregados naturais e resíduos da mina da Panasqueira) realizou-se através de um conjunto de ensaios físicos e mecânicos.

### 2.1. Agregados

Os agregados seleccionados para este estudo são de origem granítica, uma vez que são os mais utilizados no nosso país, nomeadamente, na Beira Interior, na execução de estradas.

Os agregados são provenientes de uma pedreira da região, com exploração a cargo da firma Joaquim Bartolomeu. Trata-se de um granodiorito de textura média fina [1], sem alteração, com uma resistência à compressão na ordem dos 170MPa [2].

Para o presente estudo utilizaram-se três britas graníticas com a seguinte classificação da central de britagem: brita 3/6, brita 6/15 e brita 15/25.

## 2.2. Resíduos da mina da Panasqueira

O couro mineiro da Panasqueira está encravado em rochas que apresentam uma sequência de xistos, arcoses e grauvaques chamada “complexo das Beiras” ou “complexo xisto-grauváquico” [3].

Os resíduos da mina da Panasqueira não são mais do que os restos minerais que se produziram e produzem durante a extração de volfrâmio, constituídos, essencialmente, por quartzo e grauvaque.

## 2.3. Propriedades físicas e mecânicas dos agregados e resíduos

No quadro 1, apresenta-se uma síntese das propriedades físicas e mecânicas dos agregados graníticos e dos resíduos da mina da Panasqueira.

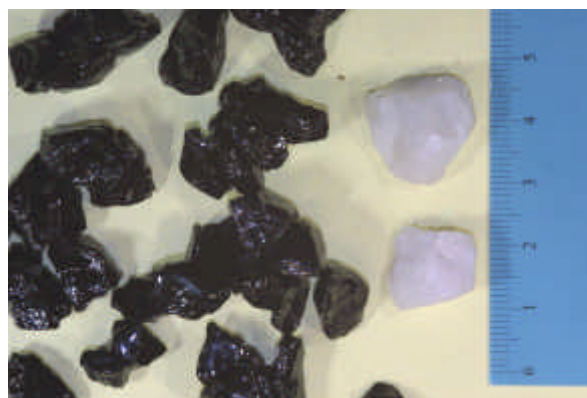
**Quadro 1 – Propriedades físicas e mecânicas dos agregados e resíduos**

Propriedades	Agregado	Resíduos
Dimensão máxima (mm)	25,4	25,4
Dimensão mínima (mm)	9,52	1,19
Massa volúmica (g/cm <sup>3</sup> )	2,66	2,79
Absorção de água (%)	0,2	0,2
Desgaste Los Angeles (%)	20,0	19,2
Resistência esmagamento (% material friável)	21,5	16,5
Índice de lamelação	14,0	27,7
Índice de alongamento	5,0	35,2
Adesividade (%)	100	100

Após a realização dos ensaios de caracterização e análise dos resultados verificou-se que os agregados e resíduos utilizados neste estudo têm propriedades físicas e mecânicas muito semelhantes.



**Figura 1 – Adesividade nas partículas de grauvaque**



**Figura 2 – Adesividade nas partículas de quartzo**

Nas figuras 1 e 2, pode verificar-se a boa adesividade à emulsão betuminosa revelada pelos resíduos da mina da Panasqueira. Este factor, juntamente com as boas características de

dureza é fundamental aquando da definição da composição de uma mistura aberta, influenciando directamente a resistência desta.

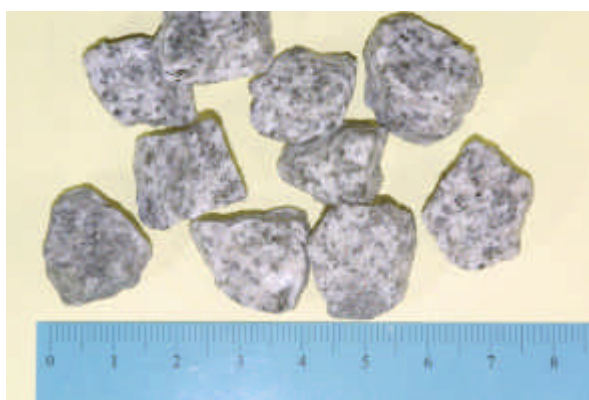
Quanto à forma, verificou-se que os resíduos apresentaram-se mais irregulares que o agregado granítico, como se ilustra nas figuras 3, 4 e na figura 5, respectivamente, traduzida pelos índices de lamelação e alongamento. No entanto, os valores determinados não excedem o limite máximo de 40% recomendado para agregados a utilizar em estradas [4].



**Figura 3 – Resíduo (forma lamelar)**



**Figura 4 – Resíduo (forma alongada)**



**Figura 5 – Granito (forma regular)**

### **3. METODOLOGIA DE COMPOSIÇÃO DAS MISTURAS**

A realização das misturas betuminosas consistiu na selecção dos materiais, na fabricação e caracterização de corpos de prova e na execução de ensaios de controlo do conteúdo de emulsão.

#### **3.1. Estudo da composição das misturas abertas**

A composição granulométrica das misturas betuminosas foi feita de acordo com o fuso granulométrico de referência do caderno de encargos da JAE para camadas com espessura superior a 6cm. De acordo com este fuso, formularam-se 3 misturas diferentes fazendo-se variar as percentagens de material, como se pode verificar no quadro 2. Assim, obteve-se uma mistura utilizando apenas agregados graníticos (MA), uma mistura constituída só por resíduos da mina da Panasqueira (MR) e uma mistura constituída por agregados graníticos e por resíduos (MAR).

**Quadro 2 – Formulação das misturas (%)**

Materiais	MA	MAR	MR
Brita 3/6	30	-	-
Brita 6/15	25	-	-
Brita 15/25	45	30	-
Resíduo	-	70	100

No quadro 3, encontram-se resumidos os conteúdos iniciais de emulsão determinados com base na expressão da percentagem de betume residual (1).

$$P_b = K \cdot a \cdot \sqrt[5]{S_e} \quad (1)$$

Sendo:

$P_b$  – Percentagem de betume residual;

$k$  – Módulo de riqueza do betume;

$a$  – Coeficiente corrector da massa volúmica da mistura de agregados;

$S_e$  – Superfície específica;

**Quadro 3 – Massas volúmicas ( $g/cm^3$ ), conteúdos iniciais de betume e de emulsão (%) das misturas**

Misturas	Massa Volúmica	$P_b$	E
MA	2,689	3,5	5,8
MAR	2,763	3,2	5,3
MR	2,787	3,5	5,8

A partir dos valores mínimos obtidos para o conteúdo de emulsão (E) fizeram-se incrementos até à percentagem de 7%, correspondendo ao valor máximo que a mistura suportou sem escorrência, perfazendo um total de 6 teores diferentes de conteúdo de emulsão (5,5%, 5,8%, 6,0%, 6,2%, 6,5% e 7,0%).

### 3.2. Preparação e caracterização dos corpos de prova

Prepararam-se corpos de prova correspondentes aos três diferentes tipos de misturas de acordo com as percentagens definidas no quadro 3, misturaram-se e esquarteraram-se os agregados até se obterem fracções de aproximadamente 1kg. Posteriormente, adicionou-se a cada fracção a quantidade de emulsão, previamente pesada, realizando-se a mistura manualmente, até os agregados se apresentarem homogénea e totalmente cobertos. A mistura colocou-se em moldes Marshall e compactou-se mecanicamente com 50 pancadas em cada face do corpo de prova. Depois de desmoldados foram colocados em estufa a 60°C durante 24 horas, e depois de frios foram pesados e medidos para posterior caracterização.

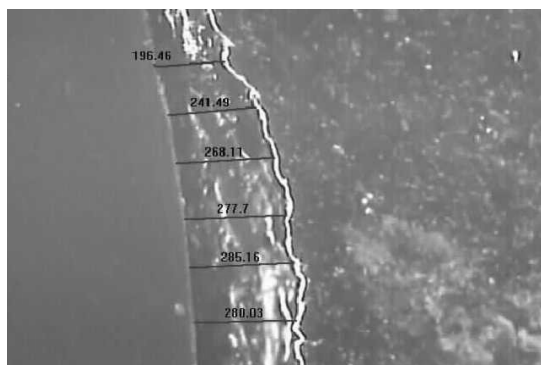
Na caracterização dos corpos de prova utilizou-se a metodologia das misturas densas, estabelecendo-se relações entre massas e volumes dos componentes da mistura compactada (ar, betume e agregado), para obtenção de algumas propriedades, tais como a porosidade ou a absorção de betume.

Relativamente à absorção de betume, os valores médios obtidos para as diferentes misturas estão resumidos no quadro 5.

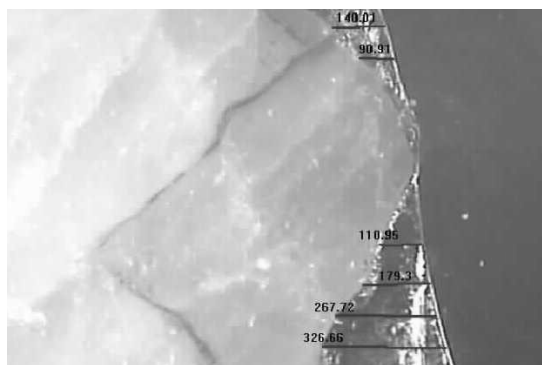
**Quadro 5 – Absorção de betume (%)**

Mistura	Absorção de betume
MA	0,63
MAR	0,76
MR	0,87

Simultaneamente, realizou-se um estudo microscópico de forma a estudar a profundidade de absorção de betume nas amostras de agregado e resíduo e desta forma contrapor com a tendência revelada pelos valores obtidos na caracterização dos corpos de prova. Assim foi possível confirmar, como se ilustra nas figuras seguintes, que a profundidade de absorção de betume no resíduo (amostras de grauvaque – Figura 6 e quartzo – Figura 7) é maior que nos agregados (amostra de granito – Figura 8).



**Figura 6 – Absorção de betume numa amostra de grauvaque**



**Figura 7 – Absorção de betume numa amostra de quartzo**

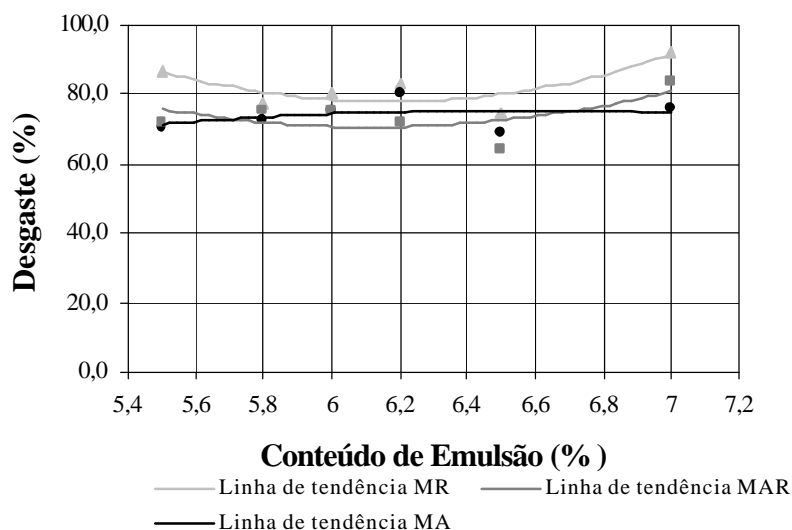


**Figura 8 – Absorção de betume numa amostra de granito**

### **3.2. Ensaio Cantabro**

De forma a avaliar a resistência à desagregação das diferentes misturas realizadas utilizou-se o ensaio cantabro.

Na figura 9 estão expressos graficamente os resultados obtidos. Verificou-se que a mistura com resíduos apresentou maior desgaste para todos os conteúdos de emulsão e que a mistura com agregados e resíduo, de uma maneira geral, apresentou menores valores de desgaste. Após a análise dos resultados, considerou-se que, para todas as misturas, o conteúdo óptimo de emulsão corresponde a 6,5%.



**Figura 8 – Variação do Desgaste, valores médios.**

#### 4 ESTUDO ECONÓMICO

Com a realização do estudo económico pretendeu-se mostrar que, para estradas com baixo volume de tráfego pertencentes à rede de estradas municipais, as misturas betuminosas abertas, fabricadas por processos a frio com utilização do resíduo da mina da Panasqueira, tornam-se numa solução de custo inferior a uma mistura com as mesmas características fabricada por processos a quente e utilizando outros agregados.

Assim, determinou-se o custo das diferentes misturas (MA, MAR e MR), do qual depende o custo de construção de um pavimento (Quadro 6) considerando o custo da mistura a frio com resíduo da mina da Panasqueira sem transporte e com transporte (central betuminosa implantada na cidade da Covilhã). Considerou-se que o conteúdo de emulsão das misturas é de 6,5%.

**Quadro 6 – Custo Industrial do Produto Acabado (€/ton)**

CIPA	Mistura a Quente	Mistura a Frio com Agregados	Mistura a Frio com Resíduos da mina da Panasqueira	
			Sem Transporte	Com Transporte
Matérias-Primas	18,60	18,38	2,48	5,48
Mão-de-obra Directa	0,14	0,14	0,14	0,14
Gastos Gerais de Fabrico	Amortização	0,36	0,036	0,036
	Gás	4,44	0	0
	Energia	1,16	0,58	0,58
	Outros	0,10	0,10	0,10
<b>Total</b>	<b>24,80</b>	<b>19,23</b>	<b>3,34</b>	<b>6,34</b>

Quando comparados os Custos de Produção entre as duas misturas da técnica a frio, com agregados e com resíduos da mina da Panasqueira, constata-se que a única componente que é responsável pela diferença de resultados é o valor do consumo de matérias-primas.

A mistura a frio com resíduos da mina da Panasqueira apresenta um CIPA muito pequeno quando comparado com a solução utilizando agregados, garantindo uma diminuição nos custos de construção de uma estrada.

## **5 CONCLUSÕES**

Este estudo permitiu concluir que os resíduos da mina da Panasqueira podem ser utilizados em misturas betuminosas abertas, em substituição dos agregados, uma vez que apresentam propriedades físicas e mecânicas muito semelhantes às britas graníticas.

Os resultados do ensaio cantabro permitem concluir que a mistura que apresenta melhor desgaste médio é a mistura de agregados e resíduo (MAR).

Através do estudo económico, verificou-se que a mistura a frio com resíduos da mina da Panasqueira apresenta um custo, por tonelada, muito inferior ao da mistura fabricada com agregados ou através da mistura a quente, permitindo ganhos consideráveis no investimento inicial de construção de pavimentos rodoviários de baixo tráfego.

## **BIBLIOGRAFIA**

[1] CASTRO GOMES, J.P., Pereira de Oliveira, L.A., Gonilho Pereira, C.N., Torgal, F.M.A.S.P. – “Absorption and permeability tests of aggregates”, in Portuguese Geotechnical Congress, LNEC, Lisboa (Portugal), April, 2002.

[2] CASTRO GOMES, J.P., Rodrigues de Carvalho, J.A., Pissarra Cavaleiro, V. M. – “Water Absorption and Oxygen Permeability of Covilhã Granite”, in Portuguese Geotechnical congress, LNEC, Lisboa (Portugal), April, 2002.

[3] ANTÃO, A.M. – “Os recursos minerais na Beira Baixa”. Associação Portuguesa de Geólogos, Geonovas, nº15, Lisboa, 2001, pp. 45 – 59.

[4] FERNÁNDEZ DEL CAMPO, J.A. – “Mezclas Abiertas en Frío”, in Pavimentos Bituminosos en Frío. Editores técnicos Asociados, S.A., Barcelona, 1983, pp. 189 – 248.