



Instituto Superior de Engenharia do Porto

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOTÉCNICA

**Betão betuminoso com betume anti-querosene
Formulação, aplicação e comportamento**

Teresa Cristina Ferreira Baptista



Instituto Superior de Engenharia do Porto

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOTÉCNICA

**Betão betuminoso com betume anti-querosene
Formulação, aplicação e comportamento**

Teresa Cristina Ferreira Baptista

1920199

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 Mestre Adriano Teixeira, Equiparado a Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Geotécnica do ISEP e do Eng.º Miguel Saturnino, Administrador da Empresa Alberto Couto Alves, SA.

Júri

Presidente

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

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

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

Doutora Maria da Conceição Moutinho Azevedo
Professora Convidada, Universidade Católica de Lisboa

Engenheiro Miguel Ricardo Paixão e Saturnino de Matos
Administrador, Alberto Couto Alves, SA

Dedico esta tese à minha filha Maria Teresa, com muito amor e carinho, pois para elaborar este trabalho nem sempre estive disponível para ela.

Agradecimentos

Em geral:

À administração, colaboradores e amigos da Alberto Couto Alves, SA – Por tornarem possível a realização deste trabalho, colocando ao meu dispor os meios necessários para concretização do mesmo.

Em Particular:

Ao Eng. Adriano Teixeira – Orientador de projecto por parte do ISEP, pelo auxílio, apoio, orientação, amizade e disponibilidade prestada para a realização deste trabalho;

Ao Eng. Miguel Saturnino – Orientador por parte da empresa pela facilidade de comunicação e pela capacidade com que transmitiu os seus conhecimentos;

À Eng.ª Susana Maricato – Galp Energia, pela documentação cedida e disponibilidade demonstrada;

À Amélia e ao Orlando – Técnicos de Laboratório da Alberto Couto Alves, SA, pela disponibilidade demonstrada na realização de ensaios.

Em especial:

Ao Duarte Nuno – Meu marido pela ajuda, incentivo e apoio prestado durante a elaboração deste trabalho.

Palavras-chave

Pavimento, betão betuminoso, betume anti-querosene, ensaio Cântabro.

Resumo

Este trabalho pretende contribuir para um melhor conhecimento do comportamento de misturas betuminosas, destacando-se a mistura betuminosa com incorporação de betume anti-querosene, aplicada como camada de desgaste na obra “ Empreitada para as Obras de Beneficiação/ Reforço do Pavimento, no Sublanço Penafiel/ Amarante, da A4 ”, sobre a qual é feita uma breve descrição. Esta mistura foi aplicada em Portugal pela primeira vez.

O betume anti-querosene utilizado na formulação da mistura é considerado um ligante especial modificado com polímero, pelo que foi abordado o seu processo de fabrico, vantagens e inconvenientes.

Para avaliar a influência do ligante no desempenho da mistura betuminosa face à agressividade dos derrames de hidrocarbonetos foi realizado um estudo laboratorial com diferentes betumes.

Como durante a realização do trabalho entrou em vigor a Marcação CE das misturas betuminosas foi realizado o enquadramento da mistura betuminosa com incorporação de betume anti-querosene na nova normalização.

No estudo realizado sobre a acção do combustível nas misturas betuminosas, foi ensaiada uma mistura betuminosa com uma amostra de betume anti-querosene cujos resultados obtidos nos ensaios foram bem diferentes dos obtidos na fase de dimensionamento da referida mistura, logo podemos dizer que o ensaio cântabro pode por si só não ser suficiente para avaliar laboratorialmente o comportamento de misturas betuminosas com baixa porosidade.

Keywords

Pavement, asphalt concrete, bitumen anti-kerosene, "*Cântabro*" test.

Abstract

This work aims to contribute to a better understanding of the behavior of bituminous mixtures, especially with the incorporation of bituminous mix asphalt anti-kerosene, used as a layer of attrition in "Contract for the Works of improvement / strengthening the flooring in the A4route Penafiel / Amarante", on which a brief description is done. This mixture was, for the first time, applied in Portugal.

The bitumen anti-kerosene used in the mixture formulation is considered a special binder modified with polymer, which was considered by its manufacturing process, advantages and disadvantages.

To evaluate the influence of binder on the bituminous mixture performance against the aggression of oil spills, a laboratory study with a different bitumen was done. As CE Marking of bituminous mixtures came into force during the work, the framework for incorporation with bituminous mixture of bitumen anti-kerosene was done using the new standards.

In the study of the effect of fuel on the bituminous mixtures, was tested a bituminous mixture with a sample of bitumen anti-kerosene from tests whose results were quite different from those obtained during the sizing of the mixture, then we can say that the Cantabro test cannot by itself be sufficient to evaluate the clinical behavior of bituminous mixtures with low porosity.

ÍNDICE

2 – Enquadramento e objectivos	12
2.1 – Enquadramento	12
2.2 – Objectivos	12
3 – Classificação e caracterização de um pavimento.....	14
3.1 – Introdução	14
3.2 – Classificação e caracterização	14
3.3 – Camadas constituintes de um pavimento.....	14
4 – Descrição sumária da empreitada	16
4.1 – Introdução	16
4.2 – Identificação das operações de cada fase e métodos construtivos	17
4.2.1 – Frente 1 – Secção corrente.....	17
4.2.2 – Frente 2 – Nós de ligação	19
4.2.3 – Casos particulares.....	20
4.2.4 – Ligação entre camadas.....	21
4.2.5 – Acções complementares	22
5 – Betume especial modificado com polímeros anti-querosene	23
5.1 – Introdução	23
5.2 – Processo de fabrico do betume anti-querosene.....	23
5.3 – Características do betume anti-querosene	26

5.4 – Principais aplicações.....	27
5.5 – Vantagens e inconvenientes do betume anti-querosene.....	29
6– Mistura betuminosa em betão betuminoso com betume anti-querosene	30
6.1 – Introdução	30
6.2 – Características dos constituintes do betão betuminoso	30
6.2.1 – Betume especial modificado com polímeros – anti-querosene.....	30
6.2.2 – Agregados	31
6.2.3 – Filer comercial.....	32
6.3 – Características da mistura betuminosa.....	33
6.4 – Caracterização e formulação do betão betuminoso	34
6.4.1 – Métodos de ensaio utilizados.....	34
6.4.2 – Características da mistura betuminosa formulada	44
6.4.3 – Comportamento da mistura betuminosa formulada em presença dos combustíveis.....	48
7 – Processo de fabrico e aplicação do betão betuminoso.....	55
7.1 – Introdução	55
7.2 – Processo de fabrico	55
7.3 – Processo de aplicação.....	60
7.4 - Controlo da qualidade realizado	63
7.4.1 - Trecho experimental	64
7.4.2 - Controlo da qualidade na execução da obra.....	66
8 – Ensaio de caracterização de desempenho da mistura betuminosa.....	75
8.1 – Introdução	75

8.2 – Ensaio com simulador de tráfego – Wheel Traking.....	75
8.3 – Medição da regularidade longitudinal.....	78
9 – Estado actual do betão betuminoso.....	85
9.1 – Introdução	85
9.2 – Inspeção visual do pavimento	85
10 – Estudo da acção do combustível	88
10.1 – Introdução	88
10.2 – Metodologia de ensaio	88
10.2.1 – Fabrico e acondicionamento dos provetes.....	88
10.2.2 – Resultados obtidos com o betume de penetração nominal 35/50	89
10.2.3 – Resultados obtidos com o betume modificado de alto módulo	92
10.2.3 – Resultados obtidos com o betume anti-querosene	95
11 – Enquadramento do betão betuminoso com anti-querosene na normalização actual	102
11.1 – Introdução	102
11.2 – Marcação CE das misturas betuminosas	102
11.3 – Nova designação das misturas betuminosas.....	103
11.4 – Requisitos para as misturas betuminosas no âmbito da Marcação CE.....	104
11.5 – Ensaio de tipo Iniciais do betão betuminoso com anti-querosene.....	106
11.6 – Ficha de produto e relatório ensaios iniciais tipo	110
12 – Discussão	113
13 – Conclusões.....	114
Referências Bibliográficas	115

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Constituição de um pavimento	15
Figura 2 – Início da obra – km 41+570 (fim do trecho em pavimento rígido)	16
Figura 3 – Fim da obra – km 59+200 (fim da concessão da Brisa)	17
Figura 4 – Tanques de armazenamento do betume original	24
Figura 5 – Tanque de incorporação do polímero	24
Figura 6 – Aspecto geral da instalação para a modificação do betume	25
Figura 7 – Tanques de maturação do betume anti-querosene	25
Figura 8 – Carregamento do betume em camião cisterna	25
Figura 9 – Derrame de combustível no pavimento	27
Figura 10 -Terminais de viaturas pesadas	28
Figura 11 – Praça de portagem	28
Figura 12 – Áreas de serviço (bombas de combustível).....	28
Figura 13 – Betume anti-querosene.....	30
Figura 14 – Agregados naturais provenientes de britagem	31
Figura 15 – Fuso granulométrico da mistura de agregados	32
Figura 16 – Filer comercial	32
Figura 17 – Provetes moldados com 75 pancadas por face	34
Figura 18 – Serie de peneiros utilizada no ensaio de análise granulométrica de agregados.....	35
Figura 19 – Equipamento utilizado na determinação dos índices de lamelação e alongamento	35
Figura 20 – Equipamento utilizado nas massas volúmicas e absorção de água do pó de pedra	36

Figura 21 – Equipamento utilizado nas massas volúmicas e absorção de água dos agregados	37
Figura 22 – Equipamento utilizado no ensaio de Desgaste de “Los Angeles”	38
Figura 23 – Máquina de Desgaste de “Los Angeles”	38
Figura 24 – Proveta utilizada na realização do ensaio de equivalente de areia	39
Figura 25 – Agitador automático utilizado no ensaio de equivalente de areia	39
Figura 26 – Equipamento utilizado no ensaio de azul-de-metileno	40
Figura 27 – Agitação do material com o azul-de-metileno	40
Figura 28 – Picnómetro para determinação do peso específico do betume	41
Figura 29 – Picnómetro para determinação da densidade das partículas	41
Figura 30 – Picnómetro para determinação da baridade máxima teórica.....	42
Figura 31 – Mistura betuminosa para determinação da baridade máxima teórica.....	42
Figura 32 – Prensa para determinação da força de rotura e deformação de um provete	43
Figura 33 – Provete submetido ao ensaio Marshall	43
Figura 34 – Agregados constituintes da mistura betuminosa	44
Figura 35 – Curva granulométrica da mistura de agregados e fuso granulométrico	45
Figura 36 – Gráficos finais da mistura betuminosa	46
Figura 37 – Aspecto da mistura betuminosa produzida	48
Figura 38 – Compactador para compactação dos provetes	49
Figura 39 – Provetes moldados com 50 pancadas por face	50
Figura 40 – Provetes moldados com 75 pancadas por face	50
Figura 41 – Provetes imersos em gasóleo durante 24 h a 25 °C.....	51
Figura 42 – Provetes ao final de 24h de imersão em gasóleo a 25 °C.....	51

Figura 43 – Aspecto dos provetes após 24h de imersão em gasóleo	52
Figura 44 – Provetes submetidos ao ensaio cântabro com imersão em água.....	53
Figura 45 – Provetes submetidos ao ensaio cântabro com imersão em gasóleo	53
Figura 46 – Central descontínua de 120 t/h.....	55
Figura 47 – Tolvas de alimentação a frio	57
Figura 48 – Tanque de fuelóleo	57
Figura 49 – Secador de agregados	58
Figura 50 – Ventilador extractor e filtro de mangas.....	58
Figura 51 – Tanques de armazenamento de betume	59
Figura 52 – Silos de filer + elevador de filer + elevador de agregados.....	59
Figura 53 – Unidade de mistura (reservatório de agregados a quente+ criva + misturador)	60
Figura 54 – Camiões de transporte da mistura betuminosa	61
Figura 55 – Cisterna de emulsão JM 85/8.....	61
Figura 56 – Espalhamento com pavimentadoras	62
Figura 57 – Operação de compactação com cilindros	63
Figura 58 – Operação de compactação na zona da portagem de plena via	63
Figura 59 – Parque de estacionamento	64
Figura 60 – Espalhamento da mistura com a ABG Titan 225	64
Figura 61 – Curva granulométrica da mistura de agregados obtidos após extracção do betume ...	66
Figura 62 – Mufla (método de incineração).....	67
Figura 63 – Amostra após incineração	68
Figura 64 – Granulometria de uma das amostras ensaiadas e fuso granulométrico	68

Figura 65 – Baridade da mistura compactada	69
Figura 66 – Preparação provetes para ensaio compressão Marshall	70
Figura 67 – Prensa de ensaio Marshall.....	70
Figura 68 – Picnómetro de vácuo para determinação da baridade máxima teórica	72
Figura 69 – Provetes resultantes do ensaio cântabro	73
Figura 70 – Equipamento “Wheel traker”	76
Figura 71 – Pormenor do provete durante o ensaio	76
Figura 72 – Gráficos variação da deformação NLT – 173	78
Figura 73 – Simulação de ¼ de veículo	79
Figura 74 – Perfilómetro a laser.....	80
Figura 75 – Valores de IRI na via direita no sentido Penafiel/Amarante	82
Figura 76 – Valores de IRI via esquerda no sentido Penafiel/Amarante.....	82
Figura 77 – Valores de IRI via direita no sentido Amarante/Penafiel.....	83
Figura 78 – Valores de IRI via esquerda no sentido Amarante/Penafiel.....	83
Figura 79 – Zona da transição do betão betuminoso drenante e do betão betuminoso com anti-querosene	86
Figura 80 – Aspecto geral da Praça de Portagem de plena via em Amarante	86
Figura 81 – Aspecto geral da Praça de Portagem de plena via em Amarante (2).....	86
Figura 82 – Acesso ao parque de estacionamento.....	87
Figura 83 – Pormenor de um derrame	87
Figura 84 – Pormenor de um derrame (2)	87
Figura 85 – Provetes Marshall moldados com 50 e 75 pancadas por face.....	89

Figura 86 – Gráficos dos resultados dos cântabros com betume de penetração 35/50	90
Figura 87 – Gráfico dos ensaios de Cântabro.....	91
Figura 88 – Provetes resultantes dos cântabros com betume de penetração 35/50.....	91
Figura 89 – Gráficos dos resultados dos cântabros com betume modificado de alto módulo	93
Figura 90 – Gráfico dos ensaios Cântabro com betume 35/50 e modificado de alto modulo.....	94
Figura 91 – Provetes resultantes dos cântabros com betume modificado de alto módulo	94
Figura 92 – Gráficos dos resultados dos cântabros com betume anti-querosene (1ª amostra)	96
Figura 93 – Provetes resultantes dos cântabros com betume anti-querosene (1ª amostra)	97
Figura 94 – Gráficos dos resultados dos cântabros com betume antiquerosene (2ª amostra)	98
Figura 95 – Provetes resultantes dos cântabros com betume anti-querosene (2ª amostra)	99
Figura 96 – Gráficos dos resultados dos cântabros com betume anti-querosene (3ª amostra)	100
Figura 97 – Provetes resultantes dos cântabros com betume anti-querosene (3ª amostra)	100
Figura 98 – Gráficos dos resultados dos cântabros com betume anti - querosene várias amostras	101
Figura 99 – Provetes resultantes dos ensaios cântabro	101
Figura 100 – Quadro com as novas designações das misturas betuminosas	103
Figura 101 – Série base + série	104
Figura 102 – Fuso e curva granulométrica da mistura de agregados (Marcação CE).....	106
Figura 103 – Ensaio de tracção indirecta.....	107
Figura 104 – Resultado do ensaio de sensibilidade à água.....	108
Figura 105 – Gráficos do ensaio de pista pela norma europeia	110
Figura 106 – Exemplo de uma ficha técnica de produto.....	111
Figura 107 – Exemplo de um relatório – Ensaios iniciais tipo	112

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 – Características do betume anti-querosene.....	26
Quadro 2 – Limites do fuso granulométrico do filer	33
Quadro 3 – Características volumétricas da mistura.....	45
Quadro 4 – Resultados dos ensaios	47
Quadro 5 – Resultados da perda de massa com imersão em gasóleo.....	52
Quadro 6 – Resultados dos ensaios cântabro com imersão em água e gasóleo	54
Quadro 8 – Resultados da percentagem de betume.....	67
Quadro 9 – Resultados da baridade dos provetes	69
Quadro 10 – Resultados da força de rotura dos provetes	71
Quadro 11 – Resultados da deformação dos provetes.....	71
Quadro 12 – Resultados da baridade máxima teórica das amostras	72
Quadro 13 – Resultados do ensaio cântabro com imersão em gasóleo	73
Quadro 14 – Resultados da resistência conservada.....	73
Quadro 15 – Resultados da porosidade	74
Quadro 16 – Resultados do grau saturação em betume	74
Quadro 17 – Preparação da mistura betuminosa e moldagem da placa.....	77
Quadro 18 – Características e condições de ensaio NLT – 173.....	77
Quadro 19 – Resultados obtidos NLT – 173	77
Quadro 20 – Valores de IRI (m/km), por troços de 100 metros em camadas de desgaste	80
Quadro 20 – Valores da baridade dos provetes com betume 35/50.....	89

Quadro 21 – Valores dos ensaios cântabro dos provetes com betume 35/50.....	90
Quadro 22 – Valores dos ensaios realizados à mistura betuminosa com betume 35/50	91
Quadro 23 – Valores da baridade dos provetes com betume modificado alto módulo	92
Quadro 23 – Valores dos ensaios cântabro dos provetes com betume modificado alto módulo ...	93
Quadro 24 – Valores da baridade dos provetes com betume anti-querosene (1ª amostra).....	95
Quadro 25 – Valores do cântabro dos provetes com betume anti-querosene (1ª amostra)	96
Quadro 26 – Valores da baridade dos provetes com betume anti-querosene (2ª amostra).....	97
Quadro 27 – Valores do cântabro dos provetes com betume anti-querosene (2ª amostra)	98
Quadro 28 – Valores da baridade dos provetes com betume anti-querosene (3ª amostra).....	99
Quadro 29 – Valores do cântabro dos provetes com betume anti-querosene (3ª amostra)	100
Quadro 30 – Fuso granulométrico do betão betuminoso.....	105
Quadro 31 – Características e condições de ensaio EN 12697-22	109
Quadro 32 – Resultados obtidos EN 12697-22.....	109

1– Introdução

Uma das primeiras formas de pavimentação foi a calçada romana, grande obra de engenharia construída em várias camadas, que ainda hoje resiste em vários troços. Em Portugal é de destacar a calçada portuguesa que, constituindo uma forma tradicional de revestimento, foi elevada a fenómeno artístico por calceteiros artistas que inundaram com os seus mares de pedras as nossas praças e artérias principais.

No espaço urbano onde devido ao aumento de funções e constrangimentos, se tenta conciliar o transporte, lazer e acessibilidade tanto em áreas comerciais como residenciais e de serviços, é imprescindível associar os factores de segurança e conforto aos custos de investimento e de manutenção; neste contexto a pavimentação ganha um relevo especial.

Com o aumento da rede viária, os pavimentos são um factor de incontornável importância na gestão dos recursos naturais existentes. Assim devemos projectar e desenvolver pavimentos de acordo com as principais acções a que vão estar sujeitos, contribuindo desta forma para o aumento da sua vida útil e conseqüentemente maximizar os recursos naturais existentes contribuindo para a redução dos impactos ambientais negativos.

Do ponto de vista físico o pavimento é uma estrutura em camadas, que recebe na sua superfície solicitações do tráfego de veículos com rodas flexíveis (pneus) e se apoia directamente sobre a fundação. Em função da maior ou menor rigidez da estrutura, o pavimento pode ser denominado rígido ou flexível (SÓRIA, 1997).

O dimensionamento de um pavimento consiste em calcular as espessuras das camadas e especificar as características dos materiais dessas camadas de forma a limitar, durante a vida de projecto, a ocorrência de degradações. No dimensionamento de um pavimento deve ser avaliado o seu comportamento nos diversos factores estruturais/funcionais, estéticos e económicos (Pereira, P e V. Miranda:1999).

As principais funções dos pavimentos são: resistir aos esforços verticais oriundos do tráfego e distribuí-los; melhorar as condições de circulação quanto ao conforto e segurança; resistir aos esforços horizontais, aumentando a vida útil da camada de desgaste; resistir às acções das climatéricas.

2 – Enquadramento e objectivos

2.1 – Enquadramento

O presente trabalho pretende contribuir para um melhor conhecimento das misturas betuminosas aplicadas em pavimentos rodoviários flexíveis, sendo abordados vários tipos de misturas betuminosas, com incorporação de diferentes tipos de betumes; betumes tradicionais, betumes duros e betumes modificados com polímeros e betumes especiais particularmente o betume anti-querosene.

Este trabalho vai incidir de uma forma especial na mistura betuminosa com betume especial anti-querosene. O carácter inovador deste tipo de mistura betuminosa, o facto da mistura ter sido produzida e aplicada em obra pela primeira vez em Portugal, e o facto de a autora exercer funções de Responsável do Departamento de Laboratório na empresa Alberto Couto Alves, adjudicatário da empreitada, conduziram à escolha do tema deste trabalho.

2.2 – Objectivos

Este trabalho tem dois objectivos principais:

- Fazer a apresentação de um caso de obra em que foi utilizada como camada de desgaste de um pavimento flexível uma mistura betuminosa inovadora com o recurso a um ligante nunca antes usado em Portugal.
- Realizar um estudo laboratorial para analisar a influência do ligante no desempenho da mistura betuminosa face à agressividade dos derrames de hidrocarbonetos libertados pelo tráfego automóvel.

Assim este trabalho foi dividido em capítulos de acordo com:

- No primeiro capítulo é realizada uma Introdução geral ao trabalho.
- No segundo capítulo é feito um enquadramento do trabalho, são apresentados os objectivos principais e é descrito o assunto de cada capítulo.
- No terceiro capítulo faz-se a classificação e caracterização da estrutura de um pavimento, considerando os pavimentos flexíveis e fazendo referência aos pavimentos rígidos.
- No quarto capítulo é feita uma descrição sumária da empreitada, sua natureza, âmbito dos trabalhos e métodos construtivos utilizados.

- No quinto capítulo caracteriza-se o ligante especial modificado com polímero, designado por anti-querosene. Processo de fabrico, vantagens e inconvenientes.
- No sexto capítulo é analisado o caso de estudo, ou seja a utilização de misturas betuminosas com incorporação de anti-querosene em camadas de desgaste, sua formulação, produção e aplicação.
- No sétimo capítulo é abordado o processo de fabrico e aplicação do betão betuminoso.
- No capítulo oitavo são apresentados os ensaios de caracterização de desempenho do betão betuminoso com betume anti-querosene aplicado em obra.
- No nono capítulo é feita uma análise do estado actual do pavimento, nomeadamente a camada de desgaste em betão betuminoso.
- No décimo capítulo é apresentado o estudo realizado sobre a acção do combustível.
- No décimo primeiro capítulo feito o enquadramento da mistura betuminosa na nova normalização.
- No décimo segundo capítulo apresenta-se a discussão, ou seja as principais dificuldades que ocorreram durante a realização deste trabalho.
- No décimo terceiro capítulo são apresentadas as conclusões do trabalho.

3 – Classificação e caracterização de um pavimento

3.1 – Introdução

A estrutura de um pavimento é constituída por varias camadas. Em geral um pavimento é constituído por quatro camadas: sub – base, base, regularização e desgaste.

Este trabalho tem por objectivo o estudo de uma mistura betuminosa especial, do tipo betão betuminoso para aplicação em camadas de desgaste, incorporando no seu processo de fabrico um betume do tipo 35/50, especial anti-querosene,. A camada de desgaste define-se como sendo a camada superior da estrutura do pavimento que suporta directamente as cargas exteriores, devendo, por isso, constituir a camada de maior qualidade (Pereira, P.A.A:1992).

3.2 – Classificação e caracterização

De uma forma geral, os pavimentos podem ser classificados em rígidos e flexíveis. O pavimento rígido, pouco deformável, é constituído principalmente por betão. O pavimento flexível, é constituído por misturas betuminosas assentes sobre camadas granulares estabilizadas mecanicamente. Este tipo de pavimento admite maiores deformações que os pavimentos rígidos (Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa e Instituto de Pesquisas Rodoviárias:2005).

3.3 – Camadas constituintes de um pavimento

Os pavimentos podem ser constituídos por uma estrutura simples, definida apenas por duas camadas, uma de base e outra de desgaste ou por uma estrutura mais complexa constituída por sub-base, base, regularização e desgaste (Figura 1).

A definição da constituição e espessura das camadas que constituem os pavimentos é estabelecida no dimensionamento do pavimento em fase de projecto. Entretanto, admite-se que as camadas vão ficando técnica e economicamente mais nobres, à medida que se aproximam da superfície do pavimento (JAE:1995).

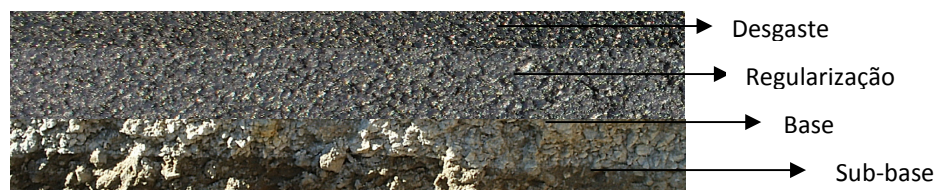


Figura 1 – Constituição de um pavimento

Desgaste – Camada destinada a resistir directamente às acções do tráfego, a impermeabilizar o pavimento ou pelo contrário dar-lhe determinadas condições de permeabilidade como no caso das camadas drenantes, a melhorar as condições de circulação, no que se refere ao conforto e à segurança e a transmitir, de forma atenuada, as acções do tráfego às camadas inferiores pavimento. No caso dos pavimentos flexíveis a camada de desgaste é constituída por uma mistura betuminosa, composta por betume, agregados, filer e caso necessário aditivos. A camada de desgaste de um pavimento betuminoso é caracterizada como sendo esbelta e relativamente flexível.

Regularização – camada executada quando se torna necessário criar melhores condições de regularidade para colocação da camada de desgaste.

Actualmente o dimensionamento do pavimento procura não recorrer a esta camada, prevendo camadas de base adequadas de forma a garantir uma regularidade superficial que permita a aplicação da camada de desgaste directamente sobre a camada de base.

Base e sub-base – camadas destinadas a resistirem às acções dos veículos e a transmiti-las, de forma conveniente, ao leito do pavimento. A camada estruturalmente mais importante é a camada de base, que no caso dos pavimentos flexíveis recebe grandes tensões originadas pelo tráfego, pois a camada de desgaste não tem espessura e rigidez suficiente para distribuir as tensões. Estas camadas são geralmente constituídas quer por material granular estabilizado mecanicamente, correntemente designado por AGE (agregado de granulometria extensa), quer por misturas betuminosas do tipo densas, como por exemplo o macadame betuminoso.

4 – Descrição sumária da empreitada

4.1 – Introdução

A empreitada “ Empreitada para as Obras de Beneficiação / Reforço do Pavimento, no Sublanço Penafiel / Amarante, da A4 – Auto-estrada” envolve não só a secção corrente entre o km 41+570 (fim do trecho em pavimento rígido) (Figura 2) e o km 59+200 (fim da concessão da Brisa) (Figura 3) da referida auto-estrada, mas também os ramos integrados na concessão da Brisa do Nó de Penafiel, dos Nós de Amarante da margem direita e da margem esquerda do Rio Tâmega e ainda os ramos do Nó de ligação ao IP 9 entre a auto-estrada e praça de portagem.

Na empreitada utilizaram-se diversas misturas betuminosas:

- Mistura betuminosa densa e betão betuminoso subjacente ao betão betuminoso drenante, que incorporam betumes convencionais, como por exemplo o betume 35/50;
- Macadame betuminoso de alto módulo fabricado com betumes duros, do tipo 10/20;
- Betão betuminoso drenante, como camada de desgaste dos pavimentos de plena via, microbetão betuminoso rugoso, como camada de desgaste dos ramos dos nós de ligação e argamassa betuminosa para camada de regularização dos tabuleiros das obras de arte, misturas fabricadas com betumes modificados com polímeros;
- Betão betuminoso especial para camada de desgaste na praça de portagem de plena via e dos nós de Penafiel e de Ligação ao IP 9 que incorpora no seu processo de fabrico betumes do tipo 35/50.



Figura 2 – Início da obra – km 41+570 (fim do trecho em pavimento rígido)



Figura 3 – Fim da obra – km 59+200 (fim da concessão da Brisa)

4.2 – Identificação das operações de cada fase e métodos construtivos

Conforme definido no Projecto de Execução e de acordo com as condições estabelecidas no Caderno de Encargos, nas Cláusulas Técnicas Especiais e de acordo com o dossier de exploração apresentado pelo dono de obra, o faseamento dos trabalhos compreende genericamente a realização das seguintes tarefas:

4.2.1 – Frente 1 – Secção corrente

Fase Preliminar – Na qual se realizam os trabalhos preparatórios para arranque das tarefas, proceder-se à colocação do equipamento de balizamento e protecção dos locais de trabalho e à desmontagem das guardas de segurança metálicas e/ou remoção das guardas de segurança rígidas.

Fase 1 – Execução das passagens de obra (PO).

Fase 2 – Na qual se procede, em toda a largura da faixa de rodagem e bermas, a trabalhos de saneamento das misturas betuminosas existentes, pela realização de fresagens, selagem de fissuras existentes e enchimento das zonas fresadas com misturas betuminosas com as espessuras definidas no projecto, até à cota de base da camada de desgaste em betão betuminoso drenante, e posterior implementação da sinalização horizontal provisória. Instalação, quando necessário, de acrescentos (alongadores) nas guardas de segurança metálicas de acordo com o previsto no Caderno de Encargos e posterior implementação da sinalização horizontal provisória.

Fase 3 – Execução de ranhuragem do pavimento nos pontos baixos, pontos de inclinação transversal nula e junto aos encontros das passagens inferiores, viadutos e pontes.

Fase 4 – Fase na qual se procede aos seguintes trabalhos:

- Remoção da sinalização horizontal provisória;
- Aplicação da camada de desgaste em betão betuminoso drenante na faixa de rodagem e bermas e em betão betuminoso com betume especial anti-querosene na praça de portagem de plena via;
- Instalação, quando necessário, de acrescentos (alongadores) nas guardas de segurança metálicas de acordo com o previsto no Caderno de Encargos e posterior implementação da sinalização horizontal provisória.

Fase 5 – Fase de acabamentos na qual se procede à substituição das juntas das passagens inferiores e viadutos, assim como a elevação quando necessário, das tampas das caixas de visita de telecomunicações até à cota final da nova camada de desgaste;

Fase 6 – Fase de acabamentos na qual se concluem as obras de drenagem lateral e trabalhos complementares, a sinalização horizontal definitiva e trabalhos finais de limpeza de toda a zona afectada pela obra.

Obras de Arte

Sobre as passagens inferiores e viadutos, com o objectivo de não aumentar a sobrecarga nos respectivos tabuleiros, procede-se à fresagem das camadas betuminosas existentes numa profundidade média de 0,06 m e posterior aplicação de uma camada de 0,02 m de espessura média em argamassa betuminosa com betumes modificados com polímeros, com características de regularização, subjacente à camada de desgaste em betão betuminoso drenante com 0,04 m de espessura.

É efectuada ainda a impermeabilização dos tabuleiros das seguintes obras de arte: Viaduto da Vertente do Rio Tâmega 3 e Ponte sobre o Rio Tâmega. Com o objectivo de não aumentar a sobrecarga no respectivos tabuleiros, procede-se à fresagem das camadas betuminosas existentes numa profundidade média de 0,08 m e posterior aplicação de membranas e/ou revestimentos contínuos entre duas camadas de argamassa betuminosa com betumes modificados com

polímeros com 0,02 m de espessura média, com características de regularização, subjacentes à camada de desgaste em betão betuminoso drenante com 0,04 m de espessura.

Passagens de emergência

Na zona das passagens de emergência existentes procede-se à fresagem com uma profundidade de 0,05 m em toda a sua área, e à aplicação de uma camada de betão betuminoso subjacente, cujas espessuras variam de acordo com a passagem de emergência e conforme definido no projecto, subjacente à camada de desgaste em betão betuminoso drenante.

Sobre a qual é aplicada uma camada de betão betuminoso drenante com 0,04 m de espessura. Para as passagens de emergência / passagens de obra novas, a executar, a estrutura do pavimento a adoptar é a seguinte:

- Camada de desgaste em betão betuminoso drenante com 0,04 m de espessura;
- Camada de regularização em betão betuminoso subjacente à camada de betão betuminoso drenante com espessura variável;
- Camada de base em mistura betuminosa densa 0,05 m;
- Enchimento do separador com materiais provenientes das fresagens com espessura variável.

4.2.2 – Frente 2 – Nós de ligação

Fase Preliminar – Na qual se realizam os trabalhos preparatórios para arranque das obras, se proceder à colocação do equipamento de balizamento e protecção dos locais de trabalho e instalação de sinalização temporária de obra.

Fase 1 – Na qual se realizam em parte da via os trabalhos de saneamento das misturas betuminosas existentes, pela realização de fresagens e enchimento destas zonas com misturas betuminosas, até à cota do pavimento existente.

Fase 2 – Na qual se procede a trabalhos de remoção da sinalização horizontal (provisória ou a existente nas zonas que não foram fresadas) e à aplicação da camada de desgaste em microbetão betuminoso rugoso na faixa de rodagem e bermas nos ramos dos nós e em betão betuminoso com betume especial anti-querosene na praça de portagem.

Fase 3 – Fase de acabamentos na qual se executa a sinalização horizontal definitiva e os trabalhos finais de limpeza de toda a zona afectada pela obra. É de referir que esta fase deve ser realizada simultaneamente com a aplicação da camada de desgaste da secção corrente em betão betuminoso drenante.

Nós de Ligação – Ramos

Nos ramos do Nó de Penafiel, Nó de ligação ao IP 9 e Nós da margem direita e esquerda do Rio Tâmega procede-se à fresagem dos locais onde ocorrem fendas do tipo “pele de crocodilo” numa profundidade mínima de 0,07 m e enchimento com mistura betuminosa densa com igual espessura, aplicando-se posteriormente em toda a largura e extensão uma camada de desgaste com 0,03 m de espessura em microbetão betuminoso rugoso.

Nós de Ligação – Praça de portagem

Na zona da praça de portagem, procede-se à fresagem com uma profundidade de 0,12 m e à aplicação de uma camada de 0,07 m de uma mistura betuminosa de alto módulo em macadame betuminoso, subjacente à camada de 0,05 m de betão betuminoso com betume especial anti-querosene.

4.2.3 – Casos particulares

Assegurando todos os critérios de gestão de tráfego e as inerentes acções de segurança anteriormente descritas, deve o empreiteiro ter especial atenção aos casos particulares que são apresentados seguidamente:

- Pavimentação de reforço das vias de abrandamento e aceleração dos ramos dos nós de ligação que integram a empreitada;
- Pavimentação de reforço das vias de abrandamento e aceleração de acesso à Área de Serviço de Penafiel;
- Transição entre o pavimento da secção corrente e os ramos dos nós de ligação;

- Pavimentação das passagens inferiores em que a camada de desgaste em betão betuminoso drenante deve ser executada em simultâneo com a camada de desgaste dos trechos de secção corrente que lhes estão adjacentes;
- Aplicação nas passagens inferiores da camada de regularização em argamassa betuminosa cuja execução deverá ser simultânea com a execução da camada de regularização em betão betuminoso subjacente à camada de desgaste em betão betuminoso drenante nos trechos de secção corrente que lhes estão adjacentes, de modo a permitir a circulação do tráfego antes da aplicação desta camada;
- Pavimentação dos viadutos e pontes cuja intervenção, feita numa única fase, impõe o desvio do tráfego entre passagens de obra;
- Pavimentação das Praças de Portagem quer da Plena Via quer do Nó de Penafiel. O faseamento deverá ter em consideração os condicionamentos inerentes à praça de portagem, sendo que os trabalhos a realizar devem ser previamente aprovados pelo Dono de Obra;
- Nas proximidades dos nós de ligação a circulação faz-se apenas numa via em cada faixa de rodagem, de modo a permitir a entrada e saída de veículos para os nós, utilizando para o efeito os esquemas juntos ao plano de trabalhos.

4.2.4 – Ligação entre camadas

Para se garantir a ligação entre as camadas betuminosas e as camadas granulares é aplicada uma rega de impregnação de emulsão betuminosa catiónica – ECI – de baixa viscosidade, de forma a conferir um elevado poder de adesão, aplicada a uma taxa de 1,2 kg/m².

De igual modo para se garantir a ligação entre qualquer tipo de misturas betuminosas (mesmo entre as misturas betuminosas clássicas), utilizar-se uma emulsão betuminosa modificada com polímeros, de forma a conferir um elevado poder de adesão, aplicada a uma taxa de 0,7 kg/m². As características dos dois tipos de material que constituem as regas estão definidas nas Cláusulas Técnicas Gerais do Caderno de Encargos.

4.2.5 – Acções complementares

Prevê-se ainda a realização das seguintes acções: Limpeza e selagem de fissuras de pequena abertura com mástique betuminoso, desmontagem das vigas e amortecedores e eventuais dispositivos de protecção de motociclistas das guardas de segurança flexíveis para execução das camadas de pavimento e posterior montagem com instalação de alongadores nas zonas onde se verifica a subida da cota final do pavimento, desmontagem das vigas e amortecedores e eventuais dispositivos de protecção de motociclistas e arranque e substituição dos prumos das guardas de segurança flexíveis para execução das camadas de pavimento nas seguintes situações – na secção corrente quando as guardas de segurança forem adjacentes às valetas de separador ou quando forem adjacentes às valetas de bordadura e for prevista a sua elevação e nos ramos bidireccionais para garantia da continuidade das camadas constituintes do pavimento, remoção da guarda rígida do tipo “New Jersey” existente na zona de praça de portagem e posterior reinstalação da mesma para a garantia da continuidade das camadas constituintes do pavimento, elevação das tampas das caixas de visita da rede de telecomunicações.

5 – Betume especial modificado com polímeros anti-querosene

5.1 – Introdução

Este ligante especial modificado com polímero é designado por anti-querosene. Pretende-se com a utilização deste tipo de betume conferir à mistura betuminosa um melhor desempenho, quer estrutural quer funcional. O facto de ser um betume especial modificado faz com que a mistura betuminosa apresente uma menor susceptibilidade térmica e uma melhor resistência às deformações plásticas, permitindo melhorar a adesividade agregado/betume e garantir uma maior flexibilidade da mistura betuminosa, aspecto que contribui para um melhor comportamento da mistura betuminosa à fadiga (Oliveira, J.R.M.:2003).

No entanto, a característica que destaca este ligante dos restantes betumes modificados é o de ser sujeito a uma modificação especial cujo objectivo é o de aumentar a durabilidade das misturas onde é incorporado, quando expostas a derrames de combustíveis e lubrificantes (Minhoto, M.:2002).

5.2 – Processo de fabrico do betume anti-querosene

O processo de fabrico do betume especial anti-querosene consiste na modificação de um betume tradicional (Figura 4) de penetração nominal 50/70 e temperatura de amolecimento na ordem dos 50°C, segundo a Especificação LNEC E-80 e a Norma Europeia EN 12591, por aditivação de uma determinada percentagem de polímero relativamente ao peso do ligante. Para que a dispersão do polímero seja efectiva e para que as reacções químicas se completem, a formulação do ligante é específica, bem como as condições de fabrico da mistura. Para o efeito, a temperatura, o tempo de mistura e reacção são devidamente estudadas e controladas.

A incorporação do polímero no betume quente (Figura 5), faz com que exista uma reacção, e, ao mesmo tempo, sejam absorvidos e fixados os maltenos que constituem uma das fracções voláteis e aromáticas do betume comparativamente aos betumes convencionais, onde os maltenos se perdem no tempo por acção dos raios ultra-violeta.

A fixação deste constituinte do betume permite obter um significativo aumento na resistência ao envelhecimento nas misturas betuminosas com incorporação do betume anti-querosene, aspecto

que conduz à obtenção de uma melhoria considerável das propriedades do betume e da mistura betuminosa no tempo, ou seja, uma maior durabilidade do pavimento.



Figura 4 – Tanques de armazenamento do betume original



Figura 5 – Tanque de incorporação do polímero

A modificação do betume é feita em fábrica adequada para o efeito (Figura 6), sendo os principais equipamentos constituídos por um tanque misturador, onde se processa a aditivação do betume e tanques de maturação em número adequado à produção do ligante (Figura 7). Após terminado todo o processo de modificação, o betume é armazenado em tanques para posteriormente ser carregado e expedido (Figura 8).



Figura 6 – Aspecto geral da instalação para a modificação do betume



Figura 7 – Tanques de maturação do betume anti-querosene



Figura 8 – Carregamento do betume em camião cisterna

As características atribuídas ao betume original através desta modificação permitem ultrapassar a vulnerabilidade do betume à acção dos combustíveis dado serem ambos hidrocarbonetos. Deste modo, as misturas que incorporam este tipo de ligante apresentam durabilidades superiores às que utilizam ligantes convencionais ou mesmo modificados correntes.

5.3 – Características do betume anti-querosene

O betume anti-querosene permite maior resistência do pavimento aos derrames de combustível, associando-lhe uma menor susceptibilidade térmica a altas temperaturas. No quadro 1 apresentam-se as principais características do betume anti-querosene.

Parâmetros	Unidade	Mínimo	Máximo
Penetração (25°C, 100g, 5s) [EN 1426]	0,1mm	35	50
Temperatura de Amolecimento [EN 1427]	°C	70	—
Ponto de Fragilidade Fraass [EN 12593]	°C	—	-18
Viscosidade dinâmica (135°C) [EN 12596]	Pa.s	0,2	0,8
Recuperação Elástica (25°C) [13398]	%	25	—
Após RTFOT – EN 12607 – 1			
Varição da Temperatura de Amolecimento	°C	—	2
Penetração (25°C, 100g, 5s)	0,1mm	81	—
Varição da massa	%	—	0,1

Quadro 1 – Características do betume anti-querosene

Em laboratório a formulação é testada adicionando o polímero ao betume, em misturador rotativo e à temperatura de 170 °C a 180 °C, resultando um betume modificado especial com penetração nominal entre 35 e 50 (0,1 mm) e ponto de amolecimento superior a 70 °C.

5.4 – Principais aplicações

Sendo o betume anti-querosene um betume especial, modificado com polímeros, com características de resistência a derrames de óleos, combustíveis e outros hidrocarbonetos é especialmente indicado para camadas de desgaste sujeitas a derrames destes tipos de produtos. Na realidade os lubrificantes e combustíveis são hidrocarbonetos que atacam o betume da mistura betuminosa que constitui o pavimento, reduzindo-lhe assim o seu tempo de vida (Figura 9).

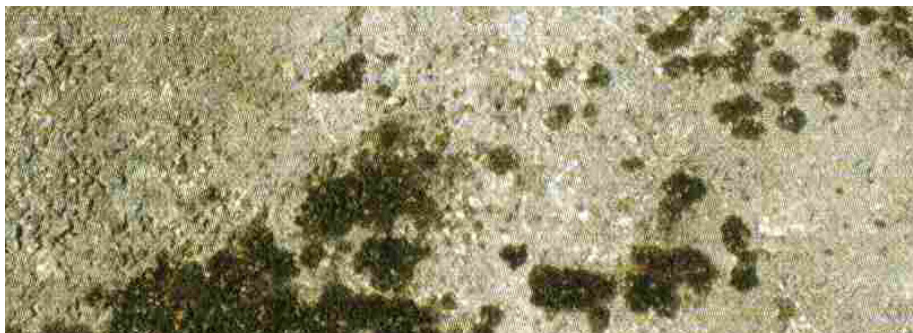


Figura 9 – Derrame de combustível no pavimento

Face às suas características especiais anti-derrame tem como campos de aplicação preferencial:

- Terminais de viaturas pesadas (Figura 10)
- Praças de portagem (Figura 11)
- Áreas de serviço (bombas de combustível) (Figura 12)
- Parques de estacionamento
- Instalações aeroportuárias
- Hangares



Figura 10 -Terminais de viaturas pesadas

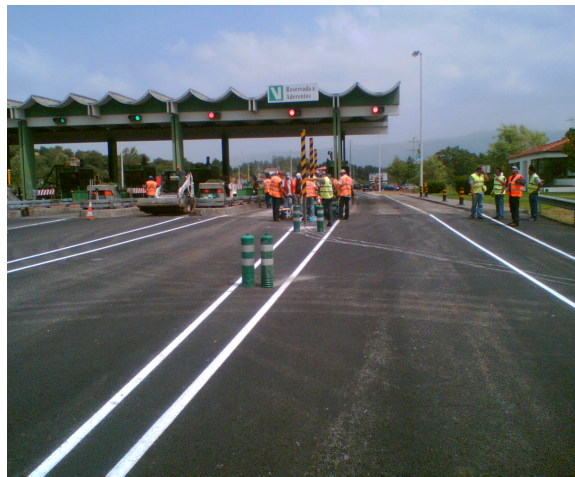


Figura 11 – Praça de portagem



Figura 12 – Áreas de serviço (bombas de combustível)

5.5 – Vantagens e inconvenientes do betume anti-querosene

Vantagens

A utilização de misturas betuminosas com betume anti-querosene nas camadas de desgaste, para além de garantirem uma maior resistência aos derrames de combustíveis e óleos, pretende contribuir para um melhor comportamento do pavimento em termos de:

- Deformações permanentes
- Fendilhamento por fadiga
- Fendilhamento térmico
- Envelhecimento (durabilidade)

Inconvenientes

Em termos económicos o uso do betume anti-querosene não se apresenta vantajoso. No entanto pode tornar-se atraente, sob o ponto de vista custo/benefício, pois os custos directos assim como os indirectos de manutenção dos pavimentos podem ser consideravelmente mais baixos do que os realizados com misturas convencionais.

Em termos de espalhamento da mistura betuminosa com betume anti-querosene deve existir cuidados adicionais na limpeza do equipamento. O equipamento de espalhamento deve ser constantemente borrifado com produtos adequados, nas zonas de contacto com a mistura betuminosa, para evitar que a mistura adira aos equipamentos.

6– Mistura betuminosa em betão betuminoso com betume anti-querosene

6.1 – Introdução

A mistura betuminosa do tipo betão betuminoso com betume anti-querosene é uma mistura a quente com granulometria de tipo contínuo com incorporação de um betume não convencional, designado por anti-querosene. O objectivo de utilizar este tipo de betume é melhorar o comportamento funcional e estrutural das camadas de desgaste, face os principais fenómenos e acções a que estão sujeitas, principalmente os derrames de combustível sobre o pavimento, tendo em vista retardar o aparecimento das patologias mais correntes.

Embora não existam no mercado betumes totalmente resistentes à acção dos combustíveis, os resultados obtidos nos ensaios realizados em laboratório permitem concluir que a utilização de um betume anti-querosene conduz a misturas betuminosas mais resistentes quando comparadas com as misturas produzidas com betumes convencionais.

6.2 – Características dos constituintes do betão betuminoso

6.2.1 – Betume especial modificado com polímeros – anti-querosene

O betume utilizado na mistura betuminosa (Figura 13), cujas características foram descritas anteriormente, foi fornecido pela Probitalp, empresa do grupo Galp Energia.



Figura 13 – Betume anti-querosene

6.2.2 – Agregados

Os agregados a incorporar na mistura betuminosa (Figura 14), provenientes da exploração de formações homogéneas, devem ser limpos, duros, pouco alteráveis sob a acção dos agentes climatéricos, com adequada adesividade ao ligante, de qualidade uniforme e isentos de materiais decompostos, de matéria orgânica ou outras substâncias prejudiciais.

Os agregados devem ser constituídos por materiais pétreos britados, provenientes de exploração de pedreiras ou seixeiras, devendo neste caso apresentar, no mínimo, três faces de fractura e com um coeficiente de redução mínimo de 4D.



Figura 14 – Agregados naturais provenientes de britagem

Características dos agregados

Os agregados a utilizar devem obedecer às mesmas características especificadas para os agregados do betão betuminoso rugoso, mencionadas nas Clausulas Técnicas Gerais do Caderno de Encargos da Brisa.

A composição granulométrica da mistura dos agregados, do tipo 0/16, deve ser obrigatoriamente obtida pelo menos a partir de três fracções distintas, e respeitar obrigatoriamente o fuso granulométrico mencionado nas Clausulas Técnicas Gerais do Caderno de Encargos da Brisa (Figura 15):

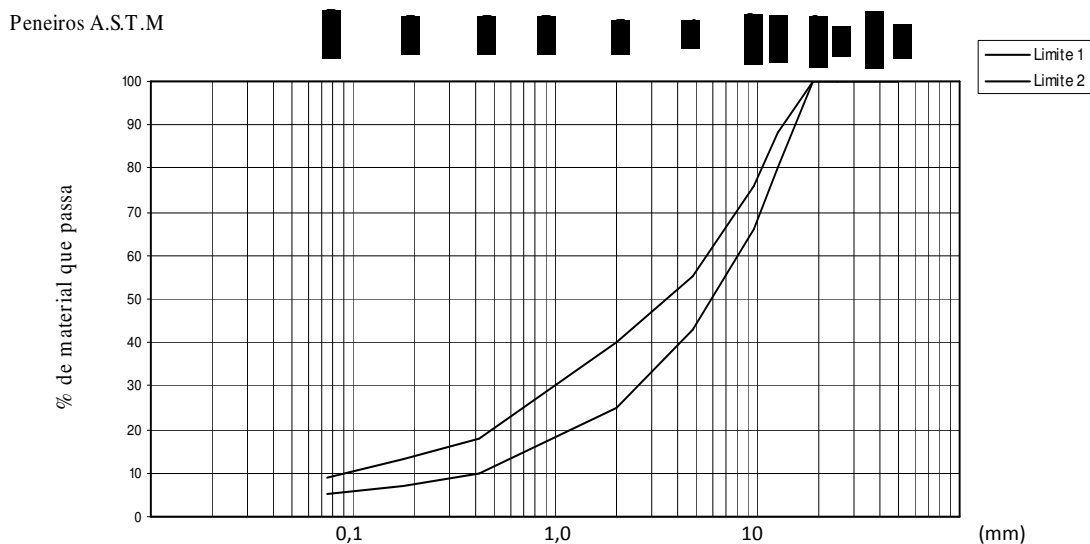


Figura 15 – Fuso granulométrico da mistura de agregados

Os agregados devem ainda obedecer aos seguintes parâmetros:

- Percentagem de desgaste na máquina de " Los Angeles " (Gran. B) ≤ 25%
- Percentagem de material britado 100%
- Índices de alongamento e lamelação ≤ 15%
- Absorção de água para cada uma das frações granulométricas < 1%
- Equivalente de areia ≥ 60%

6.2.3 – Filer comercial

O fornecimento do filer (Figura 16) à central de produção da mistura deve ser sempre acompanhado de um boletim de ensaio que caracterize o lote de fabrico. Dada a importância das características do filer, não se deve alterar a sua proveniência. Caso haja necessidade de alterar a sua proveniência deve ser realizado um novo estudo de formulação de mistura (Hugo Silva:2005).

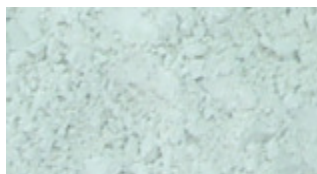


Figura 16 – Filer comercial

Características do filer comercial

O filer comercial, a incorporar na mistura betuminosa, deve obedecer às seguintes prescrições:

- Ser constituído por pó de calcário, cimento Portland, ou cal hidráulica devidamente apagada;
- Apresentar-se seco e isento de torrões provenientes de agregação das partículas, de substâncias prejudiciais e apresentar um índice de plasticidade inferior a 4. O limite do índice de plasticidade não se aplica ao cimento e à cal hidráulica;
- Ter granulometria satisfazendo aos seguintes valores (Quadro 2).

Abertura das malhas dos peneiros	Percentagem acumulada do material
ASTM	que passa
0,425 mm (nº 40)	100
0,180 mm (nº 80)	95 - 100
0,075 mm (nº 200)	75 - 100

Quadro 2 – Limites do fuso granulométrico do filer

6.3 – Características da mistura betuminosa

Os resultados dos ensaios sobre a mistura betuminosa fabricada com betume anti-querosene, devem estar de acordo com os valores a seguir indicados:

- Número de pancadas em cada extremo do provete (Figura 17) 75
- Força de rotura > 1200 N
- Deformação ≤ 4 mm
- Relação ponderal filer/ betume > 1,3
- Grau de saturação em betume 70 a 80 %
- Porosidade (*) < 4 %
- Resistência conservada > 80 %

Nota: A temperatura de fabrico da mistura betuminosa para moldagem dos provetes deve estar compreendida entre 170 e 180°C enquanto que a temperatura de compactação deve estar compreendida entre os 155 e 165°C.

(*) Os cálculos da porosidade devem ser efectuados com base na baridade máxima teórica determinada pelo picnometro de vácuo (ASTM D 2041), para a percentagem óptima de betume.



Figura 17 – Provetes moldados com 75 pancadas por face

6.4 – Caracterização e formulação do betão betuminoso

O estudo de formulação da mistura betuminosa com betume anti-querosene foi elaborado pelo método de Marshall conduzido através da norma NP 142, considerando 5 percentagens de betume diferentes, variando entre 4,0 e 6,0 %.

A mistura betuminosa projectada, além de cumprir as Cláusulas Técnicas Gerais do Caderno de Encargos da BRISA para o betão betuminoso, teve que respeitar um parâmetro adicional definido nas Cláusulas Técnicas Especiais e avaliado no ensaio Cântabro (Norma Espanhola NLT 362), mas substituindo a imersão em água por imersão em gasóleo.

6.4.1 – Métodos de ensaio utilizados

Análise granulométrica de agregados, Especificação LNEC E – 233 de 1969 (Figura 18)

O presente ensaio tem como objectivo determinar quantitativamente a distribuição por tamanhos das partículas de agregados finos e grossos, para construção rodoviária. O agregado é peneirado através de uma serie de peneiros, começando pelo de abertura correspondente à máxima dimensão do agregado, de modo a separá-lo nas fracções pretendidas.



Figura 18 – Serie de peneiros utilizada no ensaio de análise granulométrica de agregados

Índices de lamelação e alongamento, British Standard BS 812 de 1980 (Figura 19)

Estes métodos de ensaio classificam as partículas dos agregados como partículas lamelares e alongadas.

Índice de lamelação – O índice de lamelação de um agregado é quantificado através da separação das partículas lamelares, expressando a sua massa como percentagem da massa do provete ensaiado.

Índice de Alongamento – O índice de alongamento de um agregado é quantificado através da separação das partículas alongadas, expressando a sua massa como percentagem da massa do provete ensaiado.



Figura 19 – Equipamento utilizado na determinação dos índices de lamelação e alongamento

Determinação das massas volúmicas e da absorção de água de areias, Norma Portuguesa NP 954 de 1973 (anulada) (Figura 20)

O presente ensaio tem como objectivo determinar as massas volúmicas e a absorção de água de areias. Determina-se a massa da areia (pó de pedra) com as partículas saturadas sem água superficial, da massa de água por ela deslocada e da massa de areia após secagem.

Massa volúmica do material impermeável das partículas – Cociente da massa de areia seca pelo volume do material das partículas mais o dos poros destas, nos quais a água não penetrou ao fim de 24 h de imersão.

Massa volúmica das partículas saturadas – Cociente da massa da areia mais a de água por esta absorvida em 24h de imersão pelo volume do material das partículas mais o de todos os seus poros.

Massa volúmica das partículas secas – Cociente da massa da areia seca pelo volume do material das partículas mais o de todos os seus poros.

Absorção de água – Massa de água que a areia seca é capaz de absorver em 24h de imersão, expressa em percentagem da massa da areia seca.



Figura 20 – Equipamento utilizado nas massas volúmicas e absorção de água do pó de pedra

Massas volúmicas e absorção de água de britas e godos, Norma Portuguesa NP 581 de 1969 (anulada)(Figura 21)

O presente ensaio tem como objectivo determinar as massas volúmicas e a absorção de água de agregados grossos.

Massa volúmica do material impermeável das partículas – Quociente da massa de agregado seco pelo volume do material das partículas mais o dos poros destas, nos quais a água não penetrou ao fim de 24 h de imersão.

Massa volúmica das partículas saturadas – Quociente da massa do agregado mais a da água por esta absorvida em 24h de imersão pelo volume do material das partículas mais o de todo os seus poros.

Massa volúmica das partículas secas – Quociente da massa do agregado seco pelo volume do material das partículas mais o de todos os seus poros.

Absorção de água – A percentagem, referida á massa do agregado seco da água absorvida durante 24h de imersão á temperatura ambiente.



Figura 21 – Equipamento utilizado nas massas volúmicas e absorção de água dos agregados

Ensaio de desgaste pela maquina de “Los Angeles”, Especificação LNEC E 237 de 1970 (Figuras 22 e 23)

O objectivo do presente ensaio consiste em determinar a perda por desgaste sofrida por um agregado quando submetido a ensaio na maquina de “Los Angeles”.



Figura 22 – Equipamento utilizado no ensaio de Desgaste de “Los Angeles”



Figura 23 – Máquina de Desgaste de “Los Angeles”

Ensaio de equivalente de areia, Especificação LNEC E199 de 1967 (Figura 24 e 25)

O objectivo deste ensaio é determinar o equivalente de areia, característica que exprime convencionalmente a quantidade de elementos finos eventualmente plásticos existentes num agregado. Materiais que apresentam equivalente de areia superior a 30 % em geral são não plásticos. Se o equivalente de areia for inferior a 20 % o material pode apresentar plasticidade

devendo ser realizados ensaios complementares, como por exemplo o ensaio de azul-de-metileno.

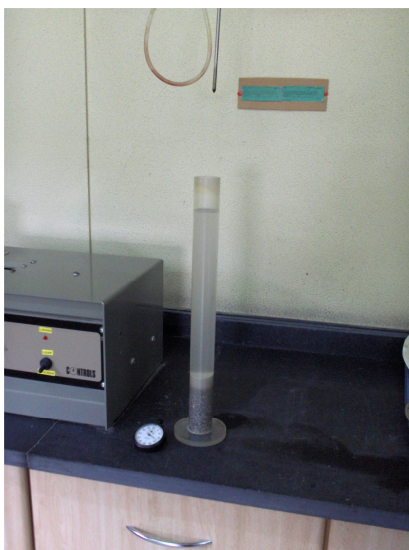


Figura 24 – Proveta utilizada na realização do ensaio de equivalente de areia



Figura 25 – Agitador automático utilizado no ensaio de equivalente de areia

Ensaio de azul-de-metileno, Norma Francesa (AFNOR) NF18 – 592 de 1990 (Figuras 26 e 27)

O objectivo deste ensaio consiste em determinar o “valor de azul” dos finos de um agregado e assim avaliar da qualidade do material no que diz respeito ao seu comportamento em presença da água. Este ensaio permite medir a capacidade de adsorção de azul-de-metileno pelos elementos finos argilosos, definindo de forma eficaz a maior ou menor sensibilidade à água, ou seja, no caso de agregados, o grau de limpeza ou a existência de materiais sensíveis à água no agregado. O valor

de azul-de-metileno é a quantidade expressa em gramas de azul-de-metileno adsorvido por 100 g de finos.



Figura 26 – Equipamento utilizado no ensaio de azul-de-metileno

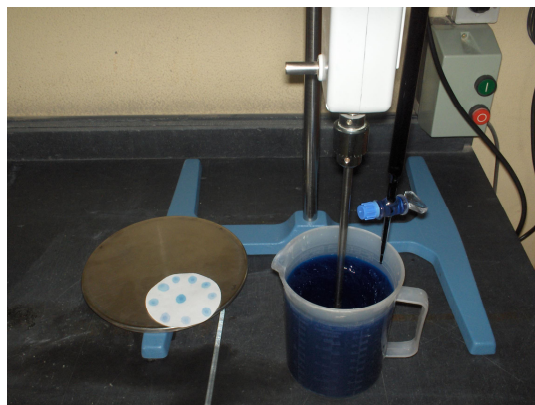


Figura 27 – Agitação do material com o azul-de-metileno

Determinação da densidade do betume com o picnómetro, Especificação LNEC E35 de 1956 (Figura 28)

O objectivo deste ensaio consiste em determinar com o picnómetro a densidade do betume.

Densidade de um material betuminoso – Quociente da massa de determinado volume de um material betuminoso a 25 ± 1 °C pela massa de igual volume de água destilada à mesma temperatura.



Figura 28 – Picnómetro para determinação do peso específico do betume

Determinação da densidade das partículas, Norma Portuguesa NP 83 de 1965 (anulada) (Figura 29)

O objectivo deste ensaio consiste em determinar o peso específico do filer comercial.

Densidade de partículas – Quociente da massa de um dado volume dessas partículas á temperatura do ensaio, pela massa de igual volume de água destilada a 20 °C



Figura 29 – Picnómetro para determinação da densidade das partículas

Determinação da Baridade Máxima Teórica, Santandard Test Method ASTM D 2041 (Figura 30 e 31)

Pretende-se com este ensaio determinar a baridade máxima teórica de uma mistura betuminosa considerando a existência apenas dos agregados envolvidos com o betume, ou seja, excluindo o ar retido durante as compactações. Este aspecto é conseguido utilizando a mistura betuminosa desagregada dentro de um picnómetro onde é colocada a mistura imersa em água e submetido a vácuo para eliminação do ar retido entre as partículas.



Figura 30 – Picnómetro para determinação da baridade máxima teórica



Figura 31 – Mistura betuminosa para determinação da baridade máxima teórica

Ensaio compressão Marshall (força de rotura e deformação), Norma portuguesa NP 142 de 1968 (anulada) (Figura 32 e 33)

O presente método destina-se a fixar o ensaio de compressão Marshall, o qual fornece indicações sobre resistência á deformação plástica apresentada pelos provetes cilíndricos de uma mistura betuminosa.

Força de rotura do provete – Valor da força máxima por ele suportada durante o ensaio, expressa em Newton.

Deformação do provete – Encurtamento sofrido pelo diâmetro paralelo á direcção da actuação da força, expresso em milímetro.



Figura 32 – Prensa para determinação da força de rotura e deformação de um provete

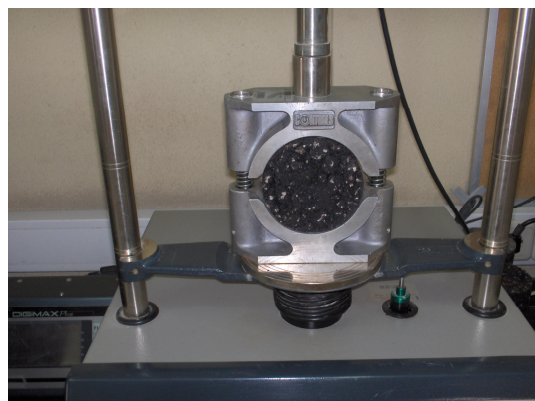


Figura 33 – Provette submetido ao ensaio Marshall

6.4.2 – Características da mistura betuminosa formulada

Os materiais utilizados na formulação da mistura betuminosa foram os seguintes:

- Agregados 10/14, 6/12 e o pó de pedra 0/4 obtidos a partir da britagem do granito, provenientes da pedreira da Secil Britas localizada em Penafiel;
- Filer comercial, calcário, fornecido pela Eurocálcio;
- Betume Kerovia 35/50 fornecido pela Probigalp.

A mistura de agregados (Figura 34) foi estudada de forma a cumprir com o fuso granulométrico imposto no caderno de encargos da obra, resultando uma mistura constituída pelas seguintes percentagens de agregados:

- Agregado 10/14 – 20,0 %
- Agregado 6/12 – 32,0 %
- Agregado 0/4 – 45,0 %
- Filer Comercial – 3,0 %



Figura 34 – Agregados constituintes da mistura betuminosa

Desta composição resulta uma curva granulométrica representada na figura 35.

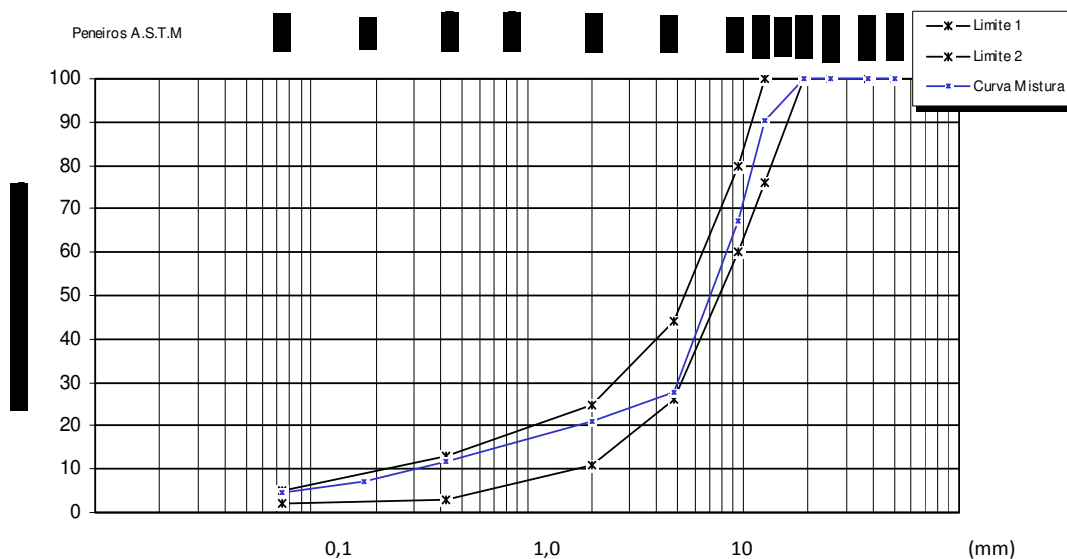


Figura 35 – Curva granulométrica da mistura de agregados e fuso granulométrico

A mistura betuminosa foi formulada pelo método Marshall tendo-se obtido os valores apresentados de forma resumida no quadro 3.

Percentagens de betume		4,0	4,5	5,0	5,5	6,0
Bp	Baridade dos provetes (g/cm ³)	2,34	2,36	2,37	2,36	2,35
BMT= 100 / (P/g)	Baridade máxima teórica (g/cm ³)	2,49	2,47	2,45	2,43	2,42
$np = (BMT - bp) / BMT * 100$	Porosidade dos Provetes (%)	5,9	4,4	3,4	3,1	2,8
$cb = bp * (Pb / Gb)$	Teor volumétrico em betume (%)	9,0	10,2	11,4	12,5	13,6
$ni = np + cb$	Porosidade dos provetes sem betume (%)	14,9	14,6	14,8	15,6	16,4
$sb = (cb / ni) * 100$	Grau de saturação em betume (%)	60,4	69,9	77,0	80,1	82,9
$VMA = 100 - bp * (100 - Pb) / Gs$	Vazios na mistura de agregados (%)	13,6	13,3	13,4	14,2	15,0

Quadro 3 – Características volumétricas da mistura

Com base nos resultados obtidos foram traçados os gráficos apresentados na figura 36, que evidenciam a variação das principais características da mistura com a variação da percentagem em betume (Asphalt Institute:1989).

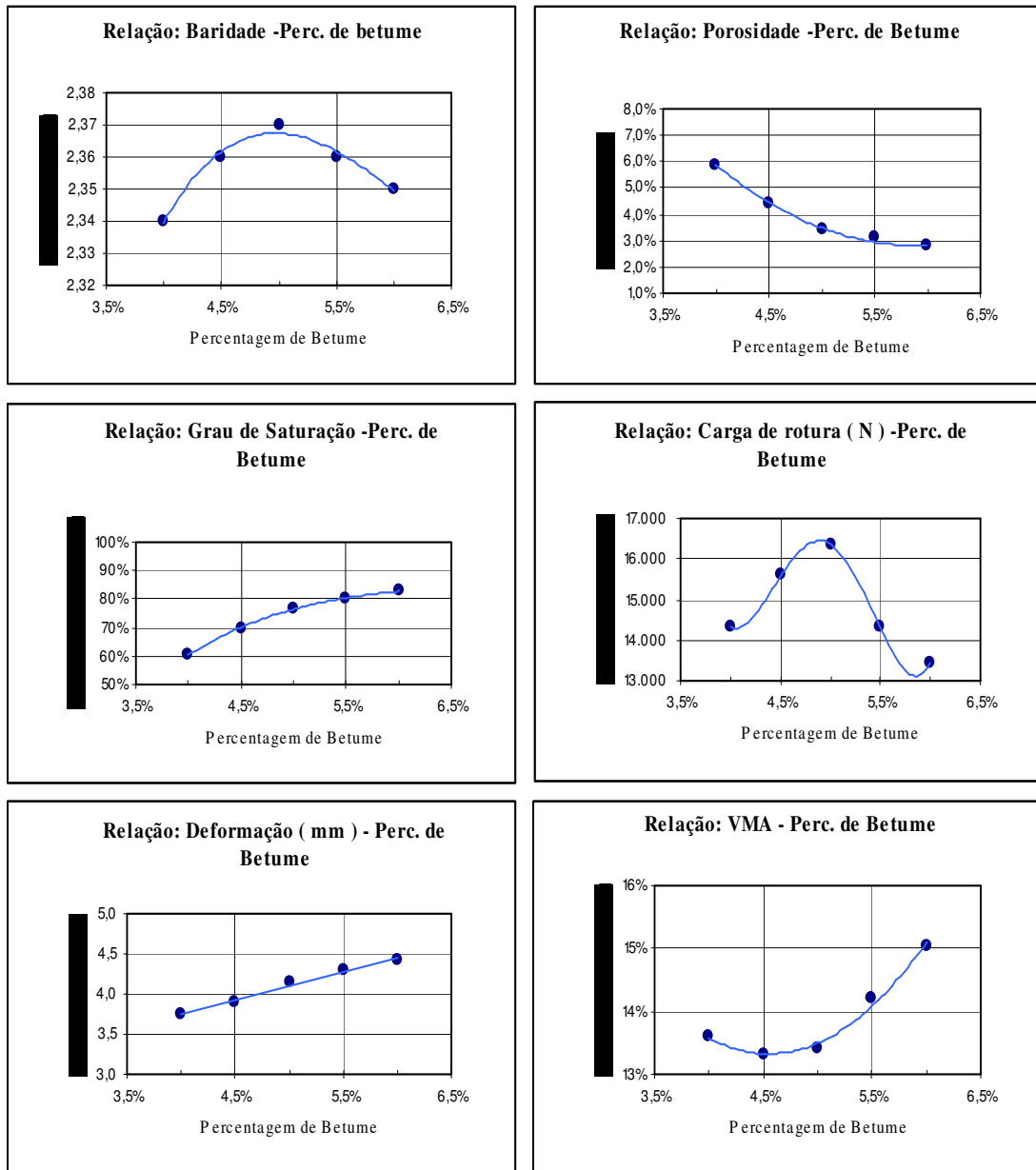


Figura 36 – Gráficos finais da mistura betuminosa

O traçado dos gráficos obtidos conduziu a adopção de uma percentagem óptima de betume de 5,0%. Para esta percentagem em betume as características da mistura de agregados e da mistura betuminosa são as apresentadas no quadro 4 (JAE:1998):

Designação	Características exigidas	Características observadas
Desgaste de “Los Angeles” (%)	Gran. B máx. 25	Gran. B 24
Índice de alongamento (%)	Máx. 15	2 a 5
Índice de lamelação (%)	Máx.15	4
Equivalente de areia (%)	Mín. 60	62
Valor de azul-de-metileno	—	0,51
Absorção de água (%)	Máx. 1	0,4 a 0,9
Força de rotura (N)	> 12000	16400
Deformação (mm)	< 4	4,15
Grau de saturação em betume (%)	70 a 80	78
Valor de VMA (%)	—	13,4
Porosidade (%)	< 4	3
Relação ponderal filer/betume	> 1,3	1,3
Resistência conservada (%)	80	90
Percentagem de betume	—	5,0
Baridade provetes (g/cm ³)	—	2,37
Baridade máxima teórica (g/cm ³)	—	2,43

Quadro 4 – Resultados dos ensaios

A fórmula de trabalho da mistura betuminosa foi estabelecida com base nos resultados obtidos laboratorialmente. No sentido de validar a composição da mistura betuminosa e estudar o método de compactação mais eficaz, procedeu-se à execução de um trecho experimental. A composição final da mistura betuminosa é a seguinte (Figura 37) (Aporbet:1998).

- Agregado 10/14 – 21,7 %
- Agregado 6/12 – 30,2 %
- Agregado 0/4 – 40,2 %
- Filer comercial – 2,9 %
- Betume – 5,0 %

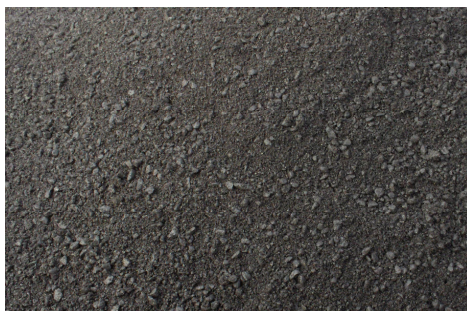


Figura 37 – Aspecto da mistura betuminosa produzida

6.4.3 – Comportamento da mistura betuminosa formulada em presença dos combustíveis

O caderno de encargos definia nas suas cláusulas técnicas especiais um método laboratorial para a avaliação do comportamento da mistura betuminosa com incorporação de betume anti-querosene, o método definido consiste na realização do ensaio cântabro substituindo a imersão dos provetes em água pela sua imersão em gasóleo.

Método de ensaio – Preparação de provetes

Para a realização do ensaio cântabro foram moldados em laboratório provetes cilíndricos com cerca de 1200 g, tendo sido utilizadas 2 energias de compactação diferentes (Figura 38):

- 50 Pancadas por face, adoptando o critério do método de Cântabro (NLT 362) (Figura 39);
- 75 Pancadas por face, segundo o critério aplicável ao betão betuminoso (NP 142) (Figura 40);

O facto de se terem utilizado duas energias diferentes resulta da duvida que surgiu de qual seria a energia mais indicada para moldar os provetes, pois o método cântabro prevê que os provetes sejam moldados com 50 pancadas por face e o Caderno de Encargos prevê para o betão betuminoso a moldagem dos provetes com 75 pancadas por face. Optou-se pela realização de provetes com ambas energias com o objectivo de verificar quais as diferenças existentes.

O gasóleo foi o produto seleccionado por ser o combustível reconhecidamente mais agressivo para as misturas **betuminosas** (Baptista, Teresa:2008).



Figura 38 – Compactador para compactação dos provetes

Procurou-se que a temperatura na fase de compactação fosse tão próxima quanto possível da recomendada para a compactação em obra entre 155 e 165 °C.



Figura 39 – Provetes moldados com 50 pancadas por face



Figura 40 – Provetes moldados com 75 pancadas por face

Método de ensaio – Tempo de imersão dos provetes

No caderno de encargos o valor máximo da perda por desgaste através do método cântabro, após 24h de imersão em gasóleo a 25 °C (Figura 41), é de 15 %.

A norma EN 12697-43 preconiza um método para avaliar o comportamento das misturas betuminosas na presença de combustíveis baseado na perda de massa dos provetes após um tempo de imersão de 72 h (Figura 42).

Assim considerou-se vantajosa a quantificação não só da perda por desgaste definida no método cântabro mas também a perda de massa dos provetes definida na norma europeia, adoptando-se o tempo de imersão em gasóleo de 24 h previsto no método cântabro.



Figura 41 – Provetes imersos em gasóleo durante 24 h a 25 °C



Figura 42 – Provetes ao final de 24h de imersão em gasóleo a 25 °C

Ensaio perda de massa com imersão em gasóleo

Os provetes foram imersos durante 24 h em gasóleo a 25 °C. No final desse tempo foi avaliada a perda de massa dos provetes (Figura 43).



Figura 43 – Aspecto dos provetes após 24h de imersão em gasóleo

No quadro 5 apresentam-se os valores de perda de massa obtidos nos provetes moldados com 50 e 75 pancadas por face.

Nº de pancadas aplicadas aos provetes Marshall	Perda de massa média após imersão em gasóleo durante 24 horas (%)	Valor Máx. permitido pela EN12697-43 (%)
50	1,5	5
75	1,6	

Quadro 5 – Resultados da perda de massa com imersão em gasóleo

Como é possível verificar, os valores obtidos na perda de massa não variam significativamente com a energia de compactação dos provetes, sendo um pouco maiores no caso dos provetes compactados com 75 pancadas por face.

De qualquer modo, ambos os valores são significativamente inferiores ao valor definido pela norma, apesar do tempo de imersão ter sido inferior ao definido na norma europeia.

Ensaio Cântabro com imersão em água e gasóleo

Os provetes para ensaio cântabro foram imersos em água e em gasóleo, de modo a comparar de que forma a mistura é susceptível ao ataque por combustíveis (Figuras 44 e 45).

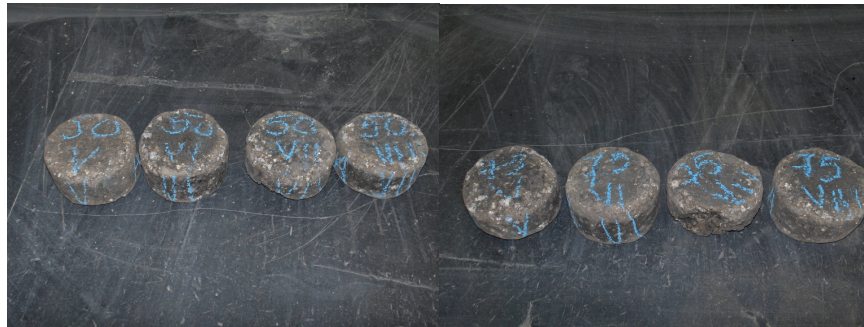


Figura 44 – Provetes submetidos ao ensaio cântabro com imersão em água



Figura 45 – Provetes submetidos ao ensaio cântabro com imersão em gasóleo

Dos valores apresentados no quadro 6, verifica-se que o combustível se revela significativamente mais agressivo do que a água, provocando perdas por desgaste superiores às causadas pela água. No entanto e considerando o limite máximo imposto pelo Caderno de Encargos da Brisa para imersão em gasóleo, os valores obtidos cumprem com o requisito.

Nº de pancadas por face aplicadas aos provetes Marshall	Perda por desgaste após imersão em água durante 24 horas (%)	Perda por desgaste após imersão em gasóleo durante 24 horas (%)	Perda por desgaste máx. permitido no CE após imersão em gasóleo (%)
50	2,6	7,8	15
75	3,1	4,7	15

Quadro 6 – Resultados dos ensaios cântabro com imersão em água e gasóleo

7 – Processo de fabrico e aplicação do betão betuminoso

7.1 – Introdução

A mistura betuminosa em betão betuminoso com incorporação de betume anti-querosene é produzida sem que sejam necessárias alterações na central, pois o betume anti-querosene é armazenado nos tanques da mesma forma que os betumes tradicionais, duros ou modificados.

Quanto à aplicação as misturas produzidas com o betume anti-querosene têm um comportamento semelhante às misturas betuminosas com betumes modificados (Pereira, P. e L. Picado Santos:2002).

7.2 – Processo de fabrico

A mistura foi fabricada numa central descontínua, da marca Intrame de 120 t/h, localizada em Avintes, arredores da cidade do Porto (Figuras 46).



Figura 46 – Central descontínua de 120 t/h

A mistura de constituintes e a produção é assim feita de forma descontínua, nome pela qual é designado este tipo de centrais que, por esse facto, têm maior precisão e controlo na produção.

A central de produção de misturas betuminosas é constituída pelos seguintes equipamentos:

- Cinco tolvas de alimentação de agregados a frio;
- Secador de agregados;
- Elevador de agregados;
- Elevador de filer;
- Silo de armazenamento de filer;
- Crivo de selecção de agregados;
- Quatro silos de agregados quentes;
- Báscula de agregados;
- Báscula de filer;
- Báscula de betume;
- Misturador;
- Dois reservatórios/ tanques de betume;
- Reservatório de fuel/ tanque de fuel;
- Caldeira de óleo térmico;
- Filtro de mangas;
- Ventilador extractor;
- Silo de armazenamento da mistura betuminosa;
- Cabine de comando e potência.

As matérias-primas necessárias para a produção da mistura betuminosa são os betumes e os agregados naturais britados. Os primeiros tem origem restrita nas refinarias nacionais e os segundos são extraídos em exploração das massas minerais da região.

Os agregados naturais britados, repartidos em fracções granulométricas, que vão desde um pó de pedra 0/4 mm até à fracção de 25 mm. Os agregados são introduzidos em tolvas de alimentação a frio (Figura 47) e de seguida, através de uma tela transportadora, enviados a um forno secador cujo queimador trabalha a fuelóleo (Figura 48).



Figura 47 – Tolvas de alimentação a frio



Figura 48 – Tanque de fuelóleo

Este secador (Figura 49) está equipado com um ventilador extractor associado a um filtro de mangas (Figura 50), para captação e recolha das partículas mais finas, evitando assim que sejam libertadas para a atmosfera. Estas são depositadas e transportadas a um silo alimentador para reintrodução na mistura. Os gases efluentes da instalação, para além dos provenientes directamente da queima de combustível, são essencialmente os libertados pela secagem dos agregados, e constituídos essencialmente por vapor de água.



Figura 49 – Secador de agregados



Figura 50 – Ventilador extractor e filtro de mangas

Os agregados secos e quentes são elevados a um crivo de selecção onde é feita uma separação precisa por fracções constituintes da fórmula da mistura e a sua colocação em silos para dosagem. Todos estes equipamentos funcionam em sub pressão para que as partículas mais finas sejam arrastadas em direcção ao filtro de mangas, e assim separadas da fase gasosa.

O betume armazenado (Figura 51) é pré-aquecido a uma temperatura constante, adequada ao tipo da mistura a produzir. Para tal a central possui uma caldeira e um circuito de óleo térmico que garante os aquecimentos necessários.



Figura 51 – Tanques de armazenamento de betume

Os diferentes materiais dos silos quentes (Figura 52) são descarregados numa báscula de dosagem, de forma sequencial e após acumulação de peso a cada fracção. É feita também a alimentação do betume e de filer às básculas de dosagem respectivas.

As doses assim preparadas são introduzidas na misturadora para a produção final da mistura betuminosa a uma temperatura adequada (Figura 53). Terminada esta operação em tempo controlado, a misturadora descarrega o conteúdo sobre camião e reinicia ciclicamente a mistura de uma nova amassadura.



Figura 52 – Silos de filer + elevador de filer + elevador de agregados



Figura 53 – Unidade de mistura (reservatório de agregados a quente+ criva + misturador)

Para além dos elementos listados, que são componentes da central propriamente dita, a unidade industrial conta ainda com um gerador, uma báscula de camiões, e uma pá carregadora de rodas cuja actividade principal é o abastecimento de agregados às tolvas da central.

7.3 – Processo de aplicação

Transporte

O dimensionamento dos meios de transporte é feito, de modo a garantir que exista sempre um camião cheio com mistura (Figura 54), nas devidas condições, em espera junto da pavimentadora. O transporte da mistura desde a central de fabrico até à colocação em obra deve ser feito com recurso a camiões com meios de cobertura de modo a permitirem que a mistura esteja sempre coberta até à descarga na pavimentadora.



Figura 54 – Camiões de transporte da mistura betuminosa

Espalhamento

A mistura betuminosa é colocada em camada com recurso a pavimentadoras. A velocidade da pavimentadora deve ser bem coordenada com a produção da central de misturas betuminosas. A anteceder o espalhamento deve aguardar-se pela finalização do processo de rotura da emulsão modificada (Figura 55).

Se a pavimentadora se mantiver parada mais de quinze minutos ou o intervalo de tempo entre o fim da descarga de um camião e o início da descarga de outro for igualmente superior a quinze minutos, a pavimentadora (Figura 56) deve ser afastada da camada, para permitir que os cilindros compactem essa área.



Figura 55 – Cisterna de emulsão JM 85/8



Figura 56 – Espalhamento com pavimentadoras

Compactação

Relativamente á operação de compactação devem ser utilizados cilindros de rasto liso, estáticos e vibradores. Na fase final desta operação podem ainda ser utilizados cilindros de pneus para permitir um melhor acabamento da superfície do pavimento (Figuras 57 e 58). Os rolos dos cilindros devem ser humedecidos com água ou, se necessário com água e sabão para impedir a aderência de material durante a compactação. No mínimo utiliza-se um cilindro de rasto liso estático e dois cilindros de rasto liso vibradores em função da largura de espalhamento de forma a cobrir a largura total da pavimentadora. No caso de serem utilizadas duas espalhadoras em paralelo o número mínimo de cilindros deve ser de seis unidades de forma a cobrirem a largura total de espalhamento. Os cilindros vibradores são utilizados para a compactação inicial (junto da espalhadora) e seguidamente o cilindro estático.

Os compactadores vibradores devem ser utilizados na passagem inicial e mantidos atrás da pavimentadora, a não mais de 30 m. Os restantes compactadores devem seguir o mais perto possível destes últimos. Serão efectuadas tantas passagens quanto possível com o segundo conjunto de compactadores, antes da temperatura da mistura betuminosa descer abaixo dos 120 °C.



Figura 57 – Operação de compactação com cilindros



Figura 58 – Operação de compactação na zona da portagem de plena via

Se a temperatura ambiente for inferior a 15 °C o adjudicatário deve obrigatoriamente diminuir a distância acima indicada para 15 m e colocar no mínimo mais um cilindro estático com vibração. Se a temperatura ambiente for inferior ou igual a 10 °C os trabalhos devem ser imediatamente suspensos.

7.4 - Controlo da qualidade realizado

O estudo de formulação da mistura betuminosa foi conduzido através do método de Marshall. Seguido da realização de um trecho experimental do qual em conjunto com a fiscalização, foi definida a composição final da mistura a aplicar em obra.

7.4.1 - Trecho experimental

Conforme referido foi realizado no dia 15 de Julho de 2006 um trecho experimental, no parque de estacionamento do garrafão da portagem de Amarante (Figura 59). Na execução da camada foram utilizados: um camião de caixa basculante no transporte da mistura betuminosa, uma pavimentadora ABG Titan 225 no espalhamento da mistura betuminosa (Figura 60) e dois cilindros Hamm de rastros lisos (HD 90 e HD 70) na operação de compactação.



Figura 59 – Parque de estacionamento



Figura 60 – Espalhamento da mistura com a ABG Titan 225

No quadro 7 são apresentados os resultados obtidos nos ensaios realizados ao betão betuminoso aplicado no trecho experimental.

Características		Caderno Encargos	Estudo	Amostra
Porcentagem de betume (%)			5,0	5,1
Força de roptura (N)		>12000	16400	14106
Deformação (mm)		< 4	4,15	3,83
bp	Baridade dos provetes (g/cm3)		2,37	2,35
BMT	Baridade máxima teorica (g/cm3)		2,43	2,43
$np = (BMT - bp) / bmt * 100$	Porosidade (%)	<4	3,0	3,6
$cb = bp * (Pb / Gb)$	Teor volumétrico em betume (%)		11,4	11,5
$ni = np + cb$	Porosidade dos provetes sem betume (%)		14,4	15,1
$sb = (cb / ni) * 100$	Grau de saturação em betume(%)	70 a 80	79,2	76,4
$VMA = 100 - bp * (100 - Pb) / Gs$	Vazios na mistura de agregados (%)		13,4	14,4
Resistência conservada (%)		> 80	90	84
Relação ponderal filer/betume (%)		>1,3	1,4	1,0

Quadro 7 – Resultados dos ensaios do betão betuminoso aplicado no trecho experimental

A curva granulométrica da mistura betuminosa após a extracção do betume é apresentada na figura 61.

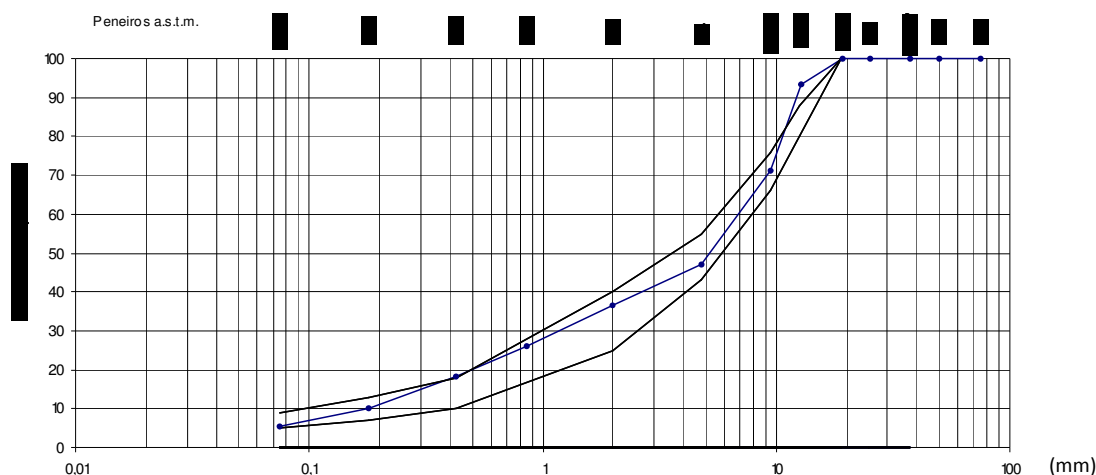


Figura 61 – Curva granulométrica da mistura de agregados obtidos após extracção do betume

7.4.2 - Controlo da qualidade na execução da obra

Após a realização do trecho experimental e de aferida a composição da mistura, verificaram-se as características da mistura aplicada em obra através dos ensaios previstos no Caderno de Encargos da Brisa e realizados pelo empreiteiro e fiscalização.

Durante o decorrer dos trabalhos foram recolhidas amostras diárias pelo adjudicatário para realização dos ensaios: percentagem de betume da mistura betuminosa, análise granulométrica da mistura de agregados, baridade da mistura betuminosa compactada, ensaio Marshall, ensaio cântabro com imersão em gasóleo e características volumétricas da mistura betuminosa.

Percentagem de betume

O registo da central constitui um bom indicador da percentagem de betume. No entanto esta característica deve ser determinada em laboratório sobre amostras recolhidas durante a aplicação em obra. Durante o fabrico da mistura betuminosa, a percentagem de betume foi controlada utilizando o método de incineração pois é o mais aconselhável para controlar a percentagem de betumes modificados (Figura 62).



Figura 62 – Mufla (método de incineração)

Os valores obtidos nos ensaios (Quadro 8) são idênticos ao valor definido no estudo de formulação da mistura betuminosa, verificando-se apenas uma variação máxima de 0,2 %.

Percentagem de betume	Estudo	Amostras
Resultados obtidos (%)	5,0	5,2
		5,1
		5,1
		5,1

Quadro 8 – Resultados da percentagem de betume

Granulometria

Após a incineração (Figura 63), procedeu-se à análise granulométrica da mistura de agregados, de modo a poder verificar a sua conformidade com o fuso granulométrico exigido. Os resultados dos ensaios realizados cumprem o fuso granulométrico e apresentam curvas similares. Como

exemplo, na figura 64 mostra-se a granulometria obtida na amostra recolhida na via esquerda da praça de portagem.



Figura 63 – Amostra após incineração

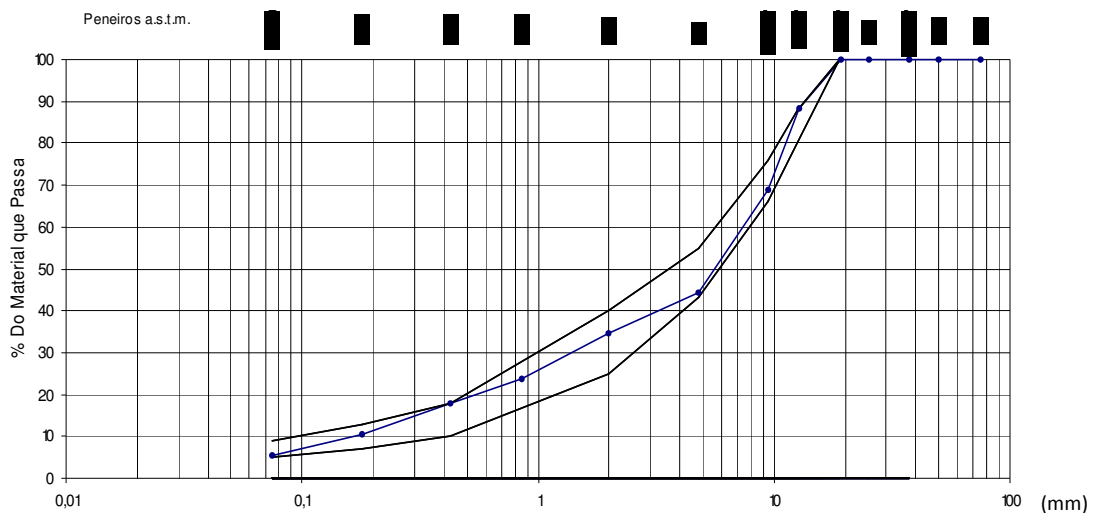


Figura 64 – Granulometria de uma das amostras ensaiadas e fuso granulométrico

Baridade dos provetes da mistura compactada

A baridade média obtida nas várias amostras (Figura 65 e quadro 9) é semelhante, no entanto obteve-se na segunda amostra um valor de $2,34 \text{ g/cm}^3$, que pode indicar um valor de temperatura da mistura betuminosa durante a compactação inferior á recomendada.



Figura 65 – Baridade da mistura compactada

Baridade dos provetes	Estudo	Amostras
Resultados obtidos (g/cm ³)	2,37	2,34
		2,38
		2,37
		2,37

Quadro 9 – Resultados da baridade dos provetes

Ensaio Marshall

Após a determinação da baridade da mistura compactada, efectuou-se o ensaio de compressão Marshall, recorrendo ao equipamento das figuras 66 e 67.



Figura 66 – Preparação provetes para ensaio compressão Marshall



Figura 67 – Prensa de ensaio Marshall

Perante os resultados apresentados nos quadros 10 e 11, conclui-se que apesar das forças de rotura das amostras serem inferiores às do estudo as deformações obtidas também são inferiores e os seus valores cumprem o estipulado em Caderno de Encargos.

Força de rotura média	Estudo	Amostras
-----------------------	--------	----------

Resultados obtidos (N)	16400	14306
		14838

Quadro 10 – Resultados da força de rotura dos provetes

Deformação média	Estudo	Amostras
Resultados obtidos (mm)	4,15	3,90
		3,90

Quadro 11 – Resultados da deformação dos provetes

Baridade máxima teórica

A baridade máxima teórica das amostras foi determinada com o picnómetro de vácuo (Figura 68) e foi realizada nas quatro amostras recolhidas em obra. Os resultados obtidos (Quadro 12) variaram entre 2,43 e 2,45 g/cm³.



Figura 68 – Picnómetro de vácuo para determinação da baridade máxima teórica

Baridade máxima teórica	Estudo	Amostras
Resultados obtidos (g/cm ³)	2,43	2,43
		2,45
		2,44
		2,45

Quadro 12 – Resultados da baridade máxima teórica das amostras

Ensaio cântabro com imersão em gasóleo

O ensaio cântabro com imersão em gasóleo foi realizado para duas amostras (Figura 69). Os valores obtidos (Quadro 13) cumprem o estipulado em Caderno de Encargos, o que comprova os valores obtidos na fase de estudo do betão betuminoso com incorporação de betume anti-querosene.



Figura 69 – Provetes resultantes do ensaio cântabro

Ensaio cântabro com imersão em gasóleo	Caderno Encargos	Amostras
Resultados obtidos (%)	≤ 15	14
		13

Quadro 13 – Resultados do ensaio cântabro com imersão em gasóleo

Resistência conservada

A resistência conservada foi realizada em duas amostras e os valores obtidos foram superiores ao exigido em Caderno Encargos (Quadro 14).

Resistência conservada	Estudo	Amostras
Resultados obtidos (%)	90	88
		93

Quadro 14 – Resultados da resistência conservada

As características volumétricas da mistura betuminosa são apresentadas nos quadros 15 e 16.

Porosidade	Estudo	Amostras
Resultados obtidos (%)	3,0	3,6
		2,7
		3,2
		3,2

Quadro 15 – Resultados da porosidade

Grau de Saturação em betume	Estudo	Amostras
Resultados obtidos (%)	78,0	76,5
		81,2
		78,6
		78,3

Quadro 16 – Resultados do grau saturação em betume

8 – Ensaio de caracterização de desempenho da mistura betuminosa

8.1 – Introdução

Após a conclusão da obra, foram realizados ensaios para a caracterização da mistura betuminosa com incorporação de betume anti-querosene e desempenho do pavimento conforme previsto em Caderno de Encargos. Seguidamente são apresentados os valores obtidos nos ensaios de pista, cujo objectivo consiste em avaliar a resistência às deformações permanentes da mistura betuminosa e do ensaio IRI que é realizado para avaliar a regularidade da superfície da camada de desgaste. Relativamente ao ensaio IRI os valores apresentados não contemplam as características de superfície portagem de plena via, pois nesta zona não é realizada esta determinação (Pais, J.C., Pereira P e M.C. Azevedo:2000).

8.2 – Ensaio com simulador de tráfego – Wheel Traking

Para avaliar o comportamento à deformação permanente da mistura betuminosa, foram realizados ensaios com simulador de tráfego “Wheel traker”. A temperatura adoptada foi de 60º C, valor previsto na norma de ensaio a qual representa o valor máximo a adoptar nos ensaios de caracterização à deformação permanente de misturas betuminosas para camada de desgaste. Inicialmente este ensaio foi realizado pela Norma Europeia EN 12697 – 22 Small Size Device – procedimento B. No entanto devido ao facto de não existirem valores de referência segundo a EN 12697 – 22 no Caderno de Encargos da Brisa, foi realizado novamente o ensaio de pista pela Norma Espanhola NLT 173, visto não existir, do nosso conhecimento, uma correlação directa entre os dois métodos.

Equipamento utilizado e condições de ensaio

Os ensaios com simulador de tráfego, habitualmente designados por ensaios de whell tracking, foram realizados com o equipamento existente no CICCOPN (Figuras 70 e 71), o qual permite ensaiar provetes.

Moldagem das placas

A mistura betuminosa em betão betuminoso para moldagem das placas foi realizada no CICCOPN de acordo com fórmula de trabalho utilizada em obra. Para o efeito utilizou-se uma misturadora com capacidade de 200 l. De seguida moldaram-se as placas das quais foram extraídas por serragem os provetes submetidos a ensaio



Figura 70 – Equipamento “Wheel traker”



Figura 71 – Pormenor do provete durante o ensaio

Relativamente ao ensaio realizado pela Norma Espanhola NLT – 173, o valor obtido comprova o bom desempenho da mistura, conforme demonstrado seguidamente (Quadros 17, 18 e 19 e Figura 72).

Massa de mistura betuminosa (kg)	116
Capacidade da misturadora (l)	200
Dimensões do molde (cm)	100 X 60 x 7,8
Temperatura de compactação (°C)	155
Método de compactação	Cilindro metálico
Data de preparação	03/10/2006

Quadro 17 – Preparação da mistura betuminosa e moldagem da placa

Procedimento de ensaio	NLT 173/84
Duração do ensaio (min)	120
Temperatura do ensaio (°C)	60
Amplitude (mm)	230
Nº de ciclos por minuto	21
Pressão de contacto (kN/m ²)	900 ± 25

Quadro 18 – Características e condições de ensaio NLT – 173

Referência do provete		3	4
Data de ensaio		04/06/2007	19/06/2007
Dimensões do provete	Comprimento (mm)	299	300
	Largura (mm)	281	280
	Espessura (mm)	49	50
Profundidade de rodeira ao fim de 120 minutos (mm)		3,87	3,18
RD _{AIR} – Profundidade média de rodeira ao fim de 120 minutos (mm)		3,53	
V _{105/120} – Velocidade de deformação (10 ⁻³ mm/min)		13,3	8,0
V _{m105/120} – Velocidade média de deformação (10 ⁻³ mm/min)		10,7	

Quadro 19 – Resultados obtidos NLT – 173

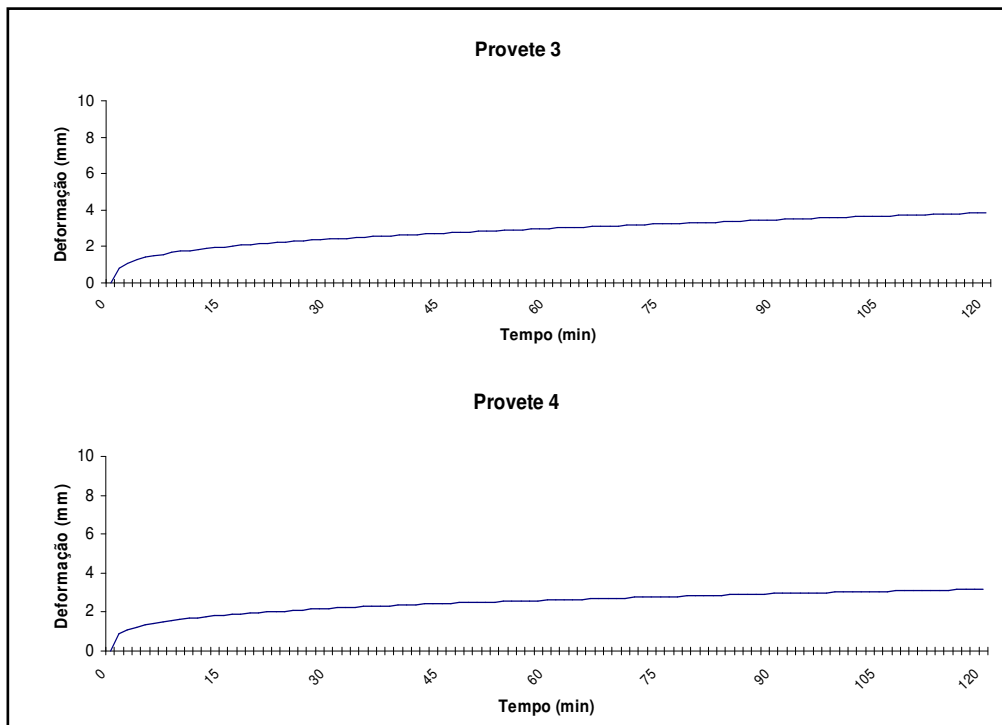


Figura 72 – Gráficos variação da deformação NLT – 173

8.3 – Medição da regularidade longitudinal

A importância de avaliar as características superficiais do pavimento deve-se ao facto de, do ponto de vista do utilizador, esta ser uma das principais características pois dela depende em grande parte a sua segurança e comodidade de circulação.

Índice de Regularidade Internacional (IRI)

Tecnicamente, o IRI é a representação matemática dos deslocamentos acumulados da suspensão de um veículo tipo, divididos pela distância percorrida pelo veículo durante o teste. Deste modo o IRI tem as unidades de uma inclinação (m/km). Em vez de se acumularem os deslocamentos com a suspensão de um veículo teste, o IRI é medido a partir do perfil longitudinal usando como simulação do sistema vulgarmente descrito na literatura por um quarto de veículo, ilustrado seguidamente (Figura 73).

A simulação de um quarto de veículo é entendida como a representação teórica da resposta de um quarto de veículo utilizado na altura em que o IRI foi desenvolvido. Os coeficientes das equações foram determinados no relatório do NCHRP 228 de modo a que a correlação entre o modelo e o quarto de veículo fosse a melhor.

Desde a publicação destes conceitos em 1986, o IRI tem sido o método mais largamente utilizado como indicador da regularidade de um pavimento.

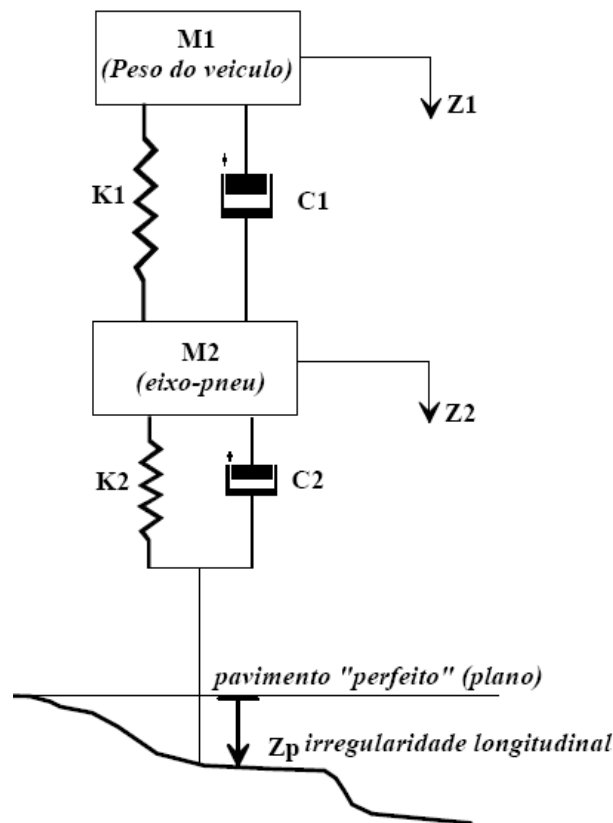


Figura 73 – Simulação de ¼ de veículo

O Caderno de Encargos adoptado, concretamente o da Brisa, classifica uma estrada analisando a média dos valores obtidos nas duas rodéiras e não apenas nos valores obtidos em cada alinhamento separadamente, efectuando a contagem dos valores, e respectiva transformação em frequências acumuladas, por comparação dos mesmos com os limites dos intervalos de classe. A classificação imposta nesse C.E. estabelece os valores apresentados no quadro 20 como aceitáveis para valores de IRI em camadas de desgaste quando a espessura total das novas camadas em misturas betuminosas for igual ou superior a 8 cm, como é o caso.

Camada	Porcentagem do lote analisado		
	50%	80%	100%
Camada de desgaste	$\leq 1,5$	$\leq 1,8$	$\leq 2,0$

Quadro 20 – Valores de IRI (m/km), por trechos de 100 metros em camadas de desgaste

Equipamento utilizado e condições de ensaio

O equipamento de laser utilizado pela empresa Consulpav na medição do IRI (Figura 74) foi o modelo Laser Profiler Hawkeye 1000. Este equipamento também pode ser utilizado na medição da macrotextura da superfície do pavimento.

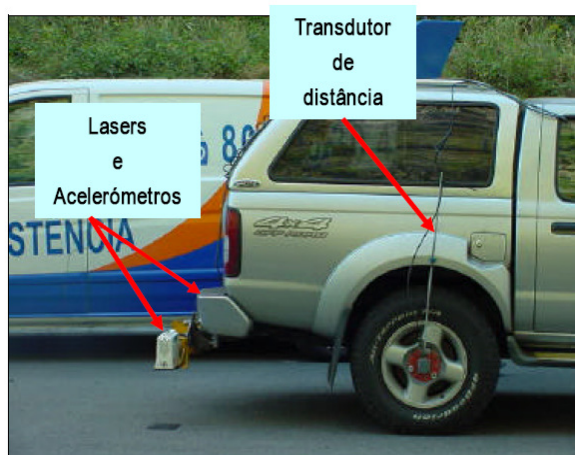


Figura 74 – Perfilometro a laser

O equipamento de leitura laser pode ser montado numa barra rígida situada na traseira do carro e localizada ao nível do pára-choques do veículo. Os sensores laser podem ser montados de modo a medir o perfil longitudinal na rodagem direita, central e esquerda.

O sistema mede, separadamente, duas quantidades, por aproximadamente cada 50 mm percorridos:

1. A distância relativa entre a viga que contém o laser e o pavimento;

2. A aceleração vertical da viga que contém o laser (para remover o efeito das oscilações verticais do veículo);

Primeiro, o perfil das inclinações é calculado através da combinação da derivada das medições do laser e o integral das leituras lidas pelo acelerómetro. Através da integração do perfil das inclinações obtém-se o perfil longitudinal do pavimento. O IRI é medido a partir do perfil longitudinal utilizando a simulação do quarto de veículo, como já foi referido anteriormente. A profundidade de textura (PT) obtém-se com base no perfil longitudinal aplicando uma regressão quadrática.

Os sistemas de filtragem e calibração foram desenvolvidos de modo a que as medições pudessem ser efectuadas a velocidades compreendidas entre 30 e 120 km/h. Se estas velocidades forem excedidas o equipamento alerta deste facto através de um sinal sonoro.

As medições de IRI e PT, efectuadas com este aparelho, não devem ser efectuadas com piso molhado, dado que o laser se reflecte a partir da água e causa medições erróneas das distâncias entre o pavimento e a viga onde o laser está montado.

Resultados das medições

Os ensaios foram realizados no dia 6 de Junho de 2007, para ambos os sentidos, nos alinhamentos coincidentes com a rodeira direita e a rodeira esquerda das vias direita e esquerda, que se desenvolvem aproximadamente entre o km 41+576 e o km 59+200. Para além destas vias, foram ensaiadas as vias de lentos existentes em ambos os sentidos do sublanço em causa. A medição da regularidade longitudinal, expressa através do IRI (International Roughness Index), foi realizada usando o equipamento multifunção Laser Profiler System descrito anteriormente.

Com base nos valores do referido parâmetro, foram definidos os gráficos que traduzem o andamento da regularidade longitudinal registada ao longo do traçado:

- Para o sentido Penafiel/Amarante, essa variação encontra-se representada (Figuras 75 e 76) para as rodeiras direita e esquerda da via direita, e da via esquerda, respectivamente;
- Para o sentido Amarante/Penafiel, (Figuras 77 e 78) traduzem a oscilação do mesmo parâmetro IRI para as rodeiras direita e esquerda da via direita, e da via esquerda, respectivamente.

Para além destes valores, nos gráficos são representados os valores exigidos no Caderno de Encargos para as classes de IRI, que permite ter uma visão global dos troços que cumprem ou não os requisitos que garantem o conforto da condução sentido pelo utente. Adicionalmente, são assinaladas por linhas verticais mais escuras as passagens inferiores/viadutos (início e fim), uma vez que podem coincidir com pontos de IRI elevado devido às juntas de dilatação dessas obras de arte.

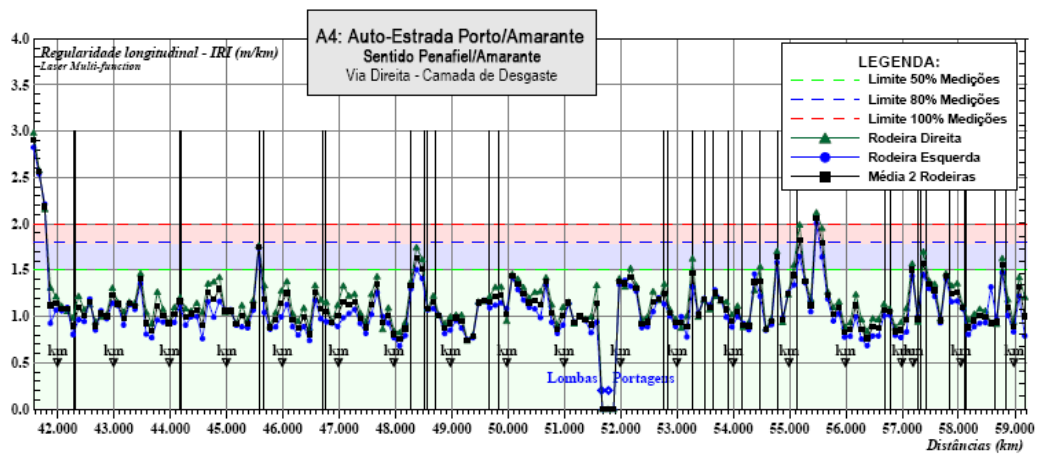


Figura 75 – Valores de IRI na via direita no sentido Penafiel/Amarante

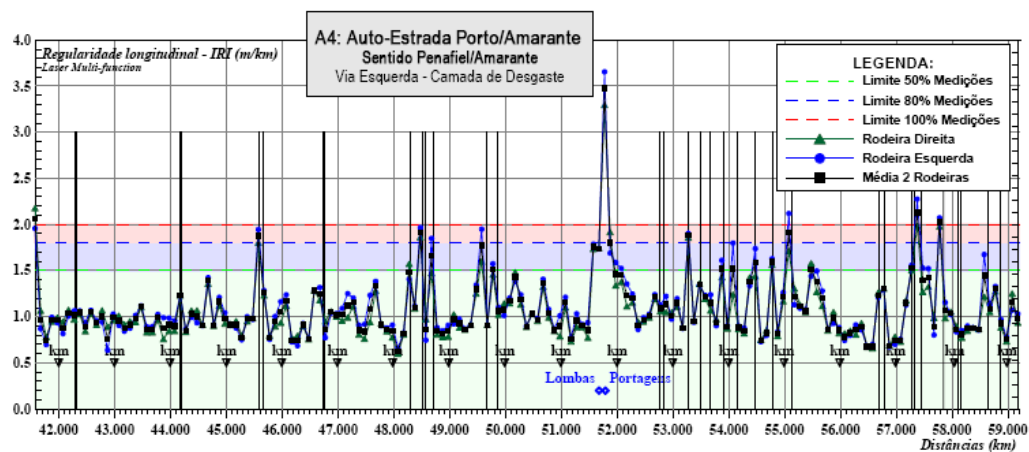


Figure 5 - Valores do IRI calculados para troços de 100 metros obtidos na via esquerda do sentido Penafiel/Amarante (análise global)

Figura 76 – Valores de IRI via esquerda no sentido Penafiel/Amarante

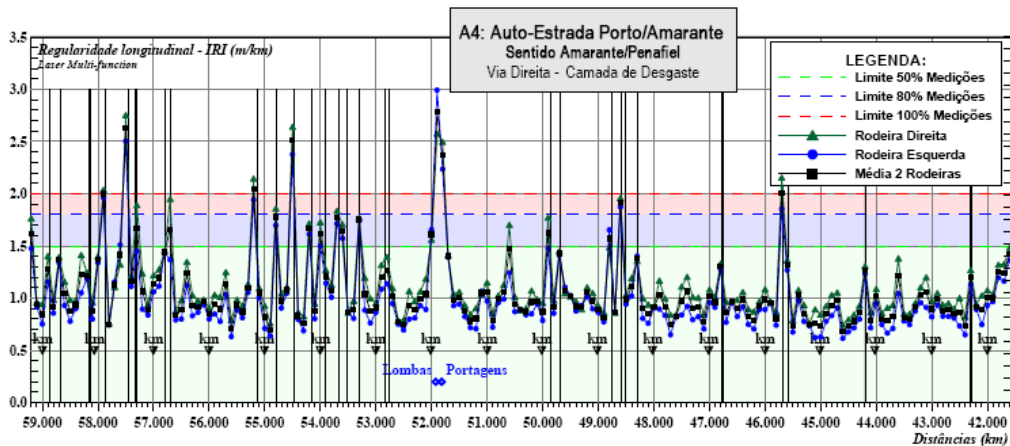


Figura 77 – Valores de IRI via direita no sentido Amarante/Penafiel

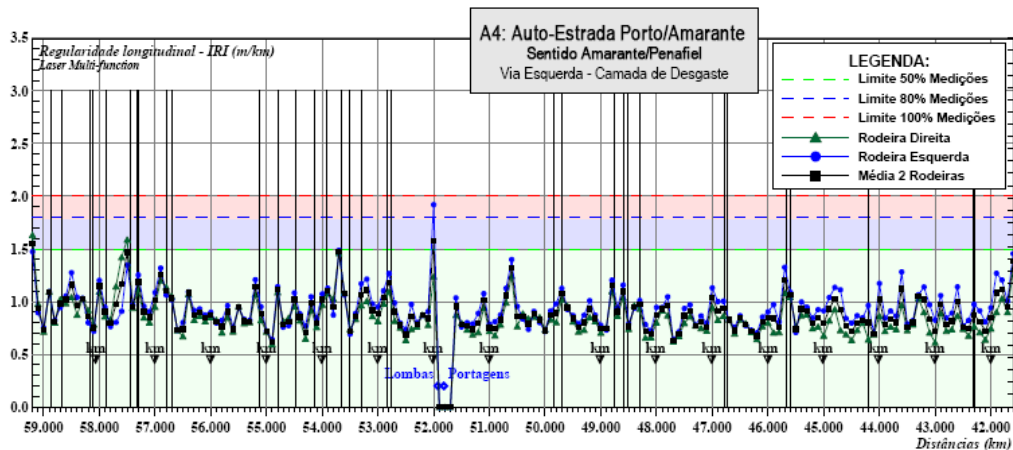


Figura 78 – Valores de IRI via esquerda no sentido Amarante/Penafiel

Após análise dos gráficos conclui-se que os resultados obtidos nas vias direitas e esquerda no sentido Penafiel/Amarante, não satisfazem totalmente as especificações impostas pelo Caderno de Encargos da Brisa.

No caso da via direita, em termos percentuais, esta não cumpre o especificado apenas por 2% que correspondem aos primeiros 300 m do sublanço em estudo.

No que diz respeito à via esquerda, apesar do rodado esquerdo apresentar resultados aceitáveis, esta também não satisfaz as imposições do C. E., uma vez que de acordo com o que já foi referido a classificação da estrada é efectuada com base na média dos valores obtidos nas duas rodeiras e não apenas nos valores obtidos em cada alinhamento separadamente.

No entanto, salienta-se que o único trecho que apresenta valores acima do aceitável representa os primeiros 100m ensaiados, com um resultado de IRI=2,07 m/km ($> 2,0$ m/km), razão pela qual não se considera este resultado representativo da globalidade da via esquerda.

Para o sentido Amarante/Penafiel, denota-se que os resultados obtidos para todas as vias satisfazem as especificações impostas pelo Caderno de Encargos da Brisa. Para esta análise e, mais uma vez, de acordo com a nomenclatura do referido C. E. a conclusão é que nesse sentido o pavimento se encontra, em termos de regularidade longitudinal, num estado aceitável.

Refira-se no entanto que os valores de regularidade longitudinal obtidos nesta campanha reflectem o estado de um pavimento já em serviço há cerca de um ano e não de um pavimento acabado de construir.

9 – Estado actual do betão betuminoso

9.1 – Introdução

O comportamento final da camada de desgaste em betão betuminoso com incorporação de betume anti-querosene, revelou que na realidade se verificaram os pressupostos apontados na utilização deste tipo de betume nas misturas betuminosas para camada de desgaste, sendo que permitiu uma optimização das condições gerais de execução em termos técnico-construtivos.

Confirma-se que esta técnica responde aos padrões esperados de comportamento, de forma satisfatória. É uma solução inicialmente mais dispendiosa, no entanto, pelo que foi observado no local, decorridos os dois primeiros anos de utilização, não se visualiza qualquer tipo de patologias, pelo que será expectável que os encargos associados aos futuros trabalhos de manutenção sejam consideravelmente reduzidos quando comparados com uma solução tradicional.

9.2 – Inspeção visual do pavimento

As inspeções visuais efectuadas à obra após dois anos da aplicação da mistura betuminosa tiveram como objectivo aprofundar o conhecimento sobre o actual estado do pavimento. No entanto para concluir sobre o estado real do pavimento seria necessário proceder a estudos aprofundados, incluindo ensaios “in situ” e em laboratório.

As fotografias obtidas na obra em Outubro de 2008 (Figuras 79, 80, 81, 82, 83 e 84) evidenciam o bom estado do pavimento, e também algum cuidado na manutenção dos sistemas de drenagem presentes nas vias de comunicação, que se não existir provoca os incómodos inerentes para os vários utilizadores, no caso de ocorrerem maiores níveis de pluviosidade. As figuras 83 e 84 evidenciam a existência de derrames sobre o pavimento não sendo visíveis quaisquer degradações, supondo-se que a utilização do betume anti-querosene possa contribuir para não aparecimento de desprendimentos devidos a acção nefasta dos combustíveis derramados.



Figura 79 – Zona da transição do betão betuminoso drenante e do betão betuminoso com anti-querosene



Figura 80 – Aspecto geral da Praça de Portagem de plena via em Amarante



Figura 81 – Aspecto geral da Praça de Portagem de plena via em Amarante (2)



Figura 82 – Acesso ao parque de estacionamento



Figura 83 – Pormenor de um derrame



Figura 84 – Pormenor de um derrame (2)

10 – Estudo da acção do combustível

10.1 – Introdução

De forma a contribuir para um maior conhecimento da influência do combustível (gasóleo) nas misturas betuminosas, elaborou-se um estudo com uma forte componente prática, desenvolveu-se uma campanha de ensaios que permitissem estabelecer conclusões sobre este tema (Sousa, J.B.:1997).

As misturas betuminosas utilizadas neste estudo foram produzidas utilizando a mesma formulação da mistura aplicada na obra, pois o único constituinte que variou foi o betume, todos os outros constituintes, agregados e filler foram os mesmos.

Neste estudo utilizaram-se três betumes diferentes: um betume convencional de penetração nominal 35/50, um betume modificado de alto módulo e um betume anti- querosene (Picado Santos:2005).

10.2 – Metodologia de ensaio

Para ser possível avaliar os resultados obtidos com os diferentes betumes, as misturas betuminosas foram produzidas em laboratório utilizando a mesma formulação da mistura aplicada na obra.

A influência do gasóleo foi estudada realizando-se ensaios cântabro comparativos com provetes previamente condicionados em gasóleo e em água e sem condicionamento prévio.

10.2.1 – Fabrico e acondicionamento dos provetes

Para os betumes convencional de penetração nominal 35/50 e modificado de alto módulo foram produzidos trinta e dois provetes Marshall, dezoito moldados com 75 pancadas por face e dezoito moldados com 50 pancadas por face. Após determinação da baridade, os provetes foram ensaiados de acordo com os procedimentos seguintes:

Procedimento 1: Seis provetes sem condicionamento, para determinação do cântabro seco;

Procedimento 2: Seis provetes condicionados em água a 60 °C durante 24 h, seguindo-se 24 h ao ar a 25 °C para determinação do cântabro húmido com imersão em água;

Procedimento 3: Seis provetes condicionados em gasóleo a 25 °C durante 24 h seguindo-se um período de 24 h ao ar a 25 °C para determinação do cântabro húmido com imersão em gasóleo.

Para o betume anti-querosene foram produzidos quarenta provetes Marshall, vinte moldados com 75 pancadas por face e vinte moldados com 50 pancadas por face (Figura 85), cujas baridades dos provetes foram determinadas, tendo de seguida sido ensaiados de acordo com os procedimentos seguintes:



Figura 85 – Provetes Marshall moldados com 50 e 75 pancadas por face

10.2.2 – Resultados obtidos com o betume de penetração nominal 35/50

Os valores obtidos nos ensaios de baridade dos provetes são apresentados no quadro 20.

Tipo de acondicionamento	Baridade dos Provetes (g/cm ³)			
	50 pancadas por face		75 pancadas por face	
	Provete	Média	Provete	Média
Provetes sem condicionamento	2,36	2,36	2,40	2,39
	2,35		2,39	
	2,38		2,38	
Provetes condicionados em água	2,39	2,39	2,39	2,40
	2,39		2,41	
	2,38		2,40	
Provetes condicionados em gasóleo	2,36	2,36	2,42	2,41
	2,38		2,41	
	2,34		2,40	

Quadro 20 – Valores da baridade dos provetes com betume 35/50

Os valores obtidos nos ensaios cântabro são apresentados no quadro 21.

Tipo de acondicionamento	Ensaio Cântabro (%)			
	50 pancadas por face		75 pancadas por face	
	Provete	Média	Provete	Média
Provetes sem condicionamento	15	13	7	8
	13		11	
	12		7	
Provetes condicionados em água	16	16	16	13
	14		12	
	18		12	
Provetes condicionados em gasóleo	64	60	33	35
	47		36	
	68		37	

Quadro 21 – Valores dos ensaios cântabro dos provetes com betume 35/50

Os gráficos da figura 86 destinam-se a representar graficamente os valores obtidos nos ensaios cântabro.

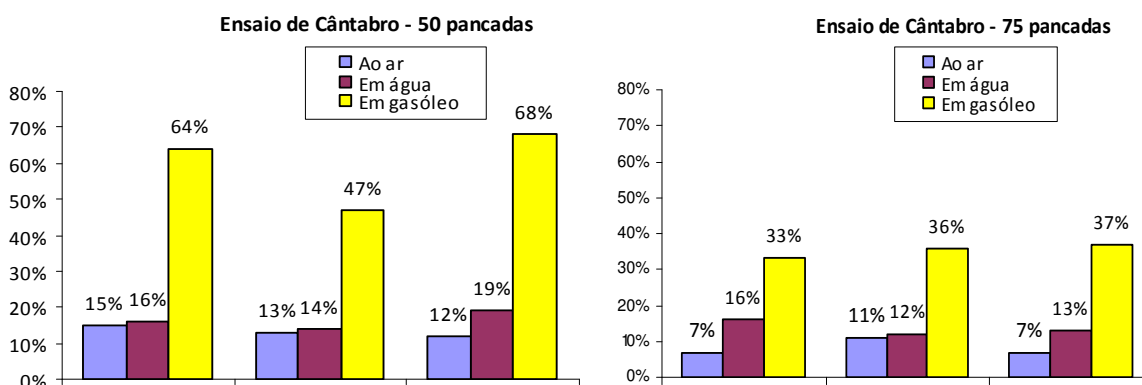


Figura 86 – Gráficos dos resultados dos cântabros com betume de penetração 35/50

Seguidamente apresenta-se o resumo dos valores obtidos nos ensaios realizados à mistura betuminosa com betume 35/50 (Quadro 22).

Tipo de acondicionamento	50 pancadas por face		75 pancadas por face	
	Baridade (g/cm ³)	Cântabro (%)	Baridade (g/cm ³)	Cântabro (%)
Provetes sem condicionamento	2,36	13	2,39	8
Provetes condicionados em água	2,39	16	2,40	13
Provetes condicionados em gasóleo	2,36	60	2,41	35

Quadro 22 – Valores dos ensaios realizados à mistura betuminosa com betume 35/50

No gráfico da figura 87, são representados graficamente os valores obtidos nos ensaios cântabro realizados.

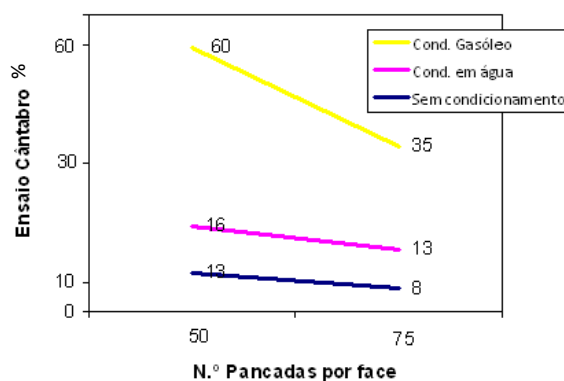


Figura 87 – Gráfico dos ensaios de Cântabro

Na figura 88 é possível visualizar o aspecto final dos provetes submetidos ao ensaio cântabro.



Figura 88 – Provetes resultantes dos cântabros com betume de penetração 35/50

Análise dos resultados

A análise dos resultados permite concluir:

- A mistura betuminosa com betume de penetração 35/50 apresenta bons resultados no ensaio cântabro a seco e após imersão em água, aspecto que não surpreende pois trata-se de uma mistura betuminosa densa com baixa porosidade. No entanto apresenta maus resultados no ensaio cântabro com imersão em gasóleo, o que faz suspeitar do seu mau desempenho aos derrames de combustíveis;
- O comportamento da mistura betuminosa é fortemente influenciado pelo estado de compactação da mistura betuminosa.

10.2.3 – Resultados obtidos com o betume modificado de alto módulo

Os valores obtidos nos ensaios de baridade dos provetes são apresentados no quadro 23.

Tipo de acondicionamento	Baridade dos Provetes (g/cm ³)			
	50 pancadas por face		75 pancadas por face	
	Provete	Média	Provete	Média
Provetes sem condicionamento	2,37	2,36	2,40	2,40
	2,35		2,39	
	2,36		2,40	
Provetes condicionados em água	2,34	2,35	2,39	2,39
	2,35		2,40	
	2,36		2,38	
Provetes condicionados em gasóleo	2,35	2,35	2,37	2,37
	2,36		2,38	
	2,35		2,37	

Quadro 23 – Valores da baridade dos provetes com betume modificado alto módulo

Os valores obtidos nos ensaios cântabro são apresentados no quadro 23.

Tipo de acondicionamento	Ensaio Cântabro (%)			
	50 pancadas por face		75 pancadas por face	
	Provetes	Média	Provetes	Média
Provetes sem condicionamento	13	15	12	10
	15		10	
	18		9	
Provetes condicionados em água	22	21	17	18
	22		16	
	19		20	
Provetes condicionados em gasóleo	20	21	17	15
	21		11	
	21		16	

Quadro 23 – Valores dos ensaios cântabro dos provetes com betume modificado alto módulo

Os gráficos das figura 89 destinam-se a representar os valores obtidos nos ensaios cântabro.

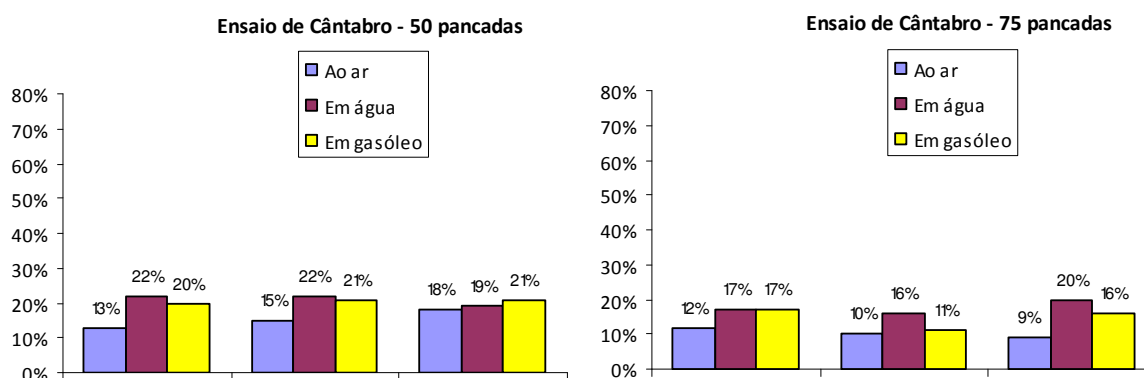


Figura 89 – Gráficos dos resultados dos cântabros com betume modificado de alto módulo

No gráfico da figura 90, são representados os valores obtidos nos ensaios cântabro realizados com betume de penetração 35/50 e o betume modificado de alto módulo.

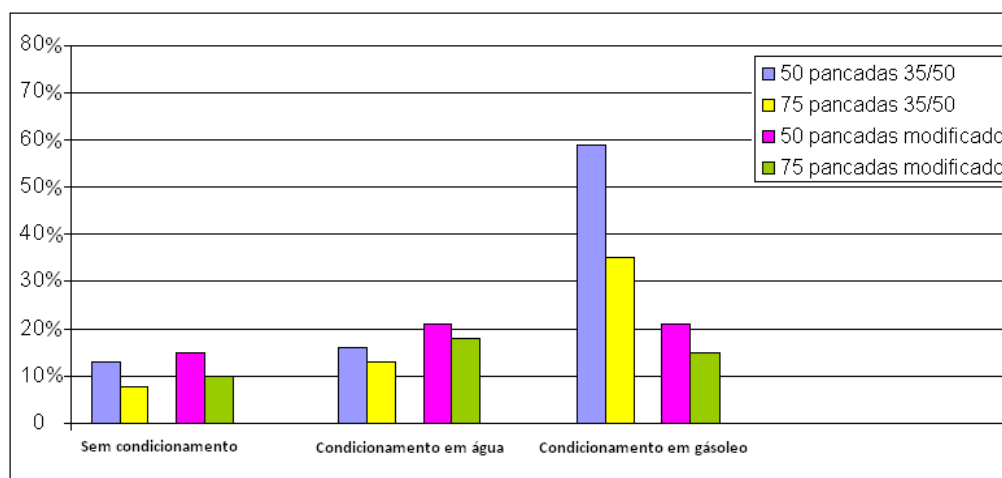


Figura 90 – Gráfico dos ensaios Cântabro com betume 35/50 e modificado de alto modulo

Na figura 91 é possível visualizar o aspecto final dos provetes submetidos ao ensaio cântabro sem condicionamento, com condicionamento em água e gásóleo.



Figura 91 – Provetes resultantes dos cântabros com betume modificado de alto módulo

Análise dos resultados

A análise dos resultados permite concluir:

Para o betume modificado de alto módulo verifica-se um bom comportamento da mistura betuminosa no ensaio cântabro seco. Este comportamento não se altera significativamente quando a mistura betuminosa é imersa em água ou gásóleo. Verifica-se também que o comportamento à desagregação é tanto melhor quanto menor a porosidade da mistura betuminosa. Comparando o comportamento dos dois betumes, penetração 35/50 e modificado

de alto módulo, conclui-se a mistura com incorporação de betume modificado de alto módulo apresenta uma diminuição de características no ensaio cântabro para as condições a seco e após imersão em água e uma melhoria muito significativa dessas características quando o ensaio é realizado após imersão em gasóleo.

10.2.3 – Resultados obtidos com o betume anti-querosene

O betume anti-querosene foi o betume utilizado na empreitada e como tal foi um dos betumes seleccionados. Foram estudadas três misturas com incorporação de betume anti-querosene, isto porque como as amostras foram produzidas de propósito para a realização deste trabalho não se conseguiam atingir os valores de cântabro desejados e já conseguidos quando a mistura foi aplicada em obra.

Primeira amostra de betume anti-querosene

Os valores obtidos nos ensaios de baridade dos provetes são apresentados no quadro 24.

Tipo de acondicionamento	Baridade dos Provetes (g/cm ³)			
	50 pancadas por face		75 pancadas por face	
	Provete	Média	Provete	Média
Provetes sem condicionamento	2,34	2,35	2,39	2,39
	2,36		2,40	
	2,35		2,38	
	2,36		2,37	
Provetes condicionados em água	2,37	2,37	2,37	2,38
	2,36		2,40	
	2,36		2,36	
	2,38		2,38	
Provetes condicionados em gasóleo	2,37	2,38	2,39	2,38
	2,37		2,39	
	2,36		2,38	
	2,41		2,37	

Quadro 24 – Valores da baridade dos provetes com betume anti-querosene (1ª amostra)

Os valores obtidos nos ensaios cântabro são apresentados no quadro 25.

Tipo de acondicionamento	Ensaio Cântabro (%)			
	50 pancadas por face		75 pancadas por face	
	Provete	Média	Provete	Média
Provetes sem condicionamento	14	11	10	9
	10		7	
	10		8	
	11		9	
Provetes condicionados em água	12	11	12	11
	13		9	
	11		14	
	9		9	
Provetes condicionados em gasóleo	35	32	27	28
	29		25	
	36		30	
	28		29	

Quadro 25 – Valores do cântabro dos provetes com betume anti-querosene (1ª amostra)

Os gráficos das figuras 92 destinam-se a representar os valores obtidos nos ensaios cântabro.

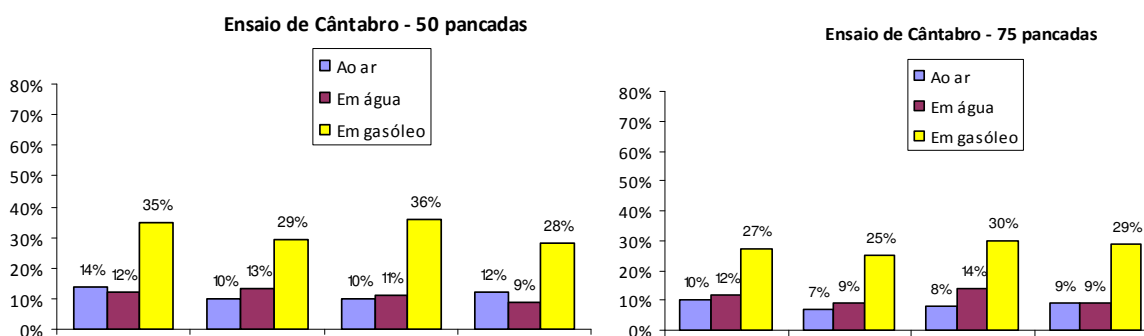


Figura 92 – Gráficos dos resultados dos cântabros com betume anti-querosene (1ª amostra)

Na figura 93 é possível visualizar o aspecto dos provetes submetidos ao ensaio cântabro, sem condicionamento, condicionados em água e condicionados em gasóleo.



Figura 93 – Provetes resultantes dos cântabros com betume anti-querosene (1ª amostra)

Segunda amostra de betume anti-querosene

Os valores obtidos nos ensaios de baridade dos provetes são apresentados no quadro 26.

Tipo de acondicionamento	Baridade dos Provetes (g/cm ³)			
	50 pancadas por face		75 pancadas por face	
	Provete	Média	Provete	Média
Provetes condicionados em água	2,38	2,39	2,42	2,42
	2,40		2,41	
	2,38		2,43	
	2,39		2,42	
Provetes condicionados em gasóleo	2,40	2,39	2,43	2,43
	2,36		2,43	
	2,41		2,43	
	2,40		2,43	

Quadro 26 – Valores da baridade dos provetes com betume anti-querosene (2ª amostra)

Os valores obtidos nos ensaios cântabro são apresentados no quadro 27.

Tipo de acondicionamento	Ensaio Cântabro (%)			
	50 pancadas por face		75 pancadas por face	
	Provete	Média	Provete	Média
Provetes condicionados em água	4	4	2	2
	3		2	
	4		4	
	4		2	
Provetes condicionados em gasóleo	30	33	26	26
	37		25	
	35		26	
	29		26	

Quadro 27 – Valores do cântabro dos provetes com betume anti-querosene (2ª amostra)

Os gráficos da figura 94 destinam-se a destinam-se a representar graficamente os valores obtidos nos ensaios cântabro.

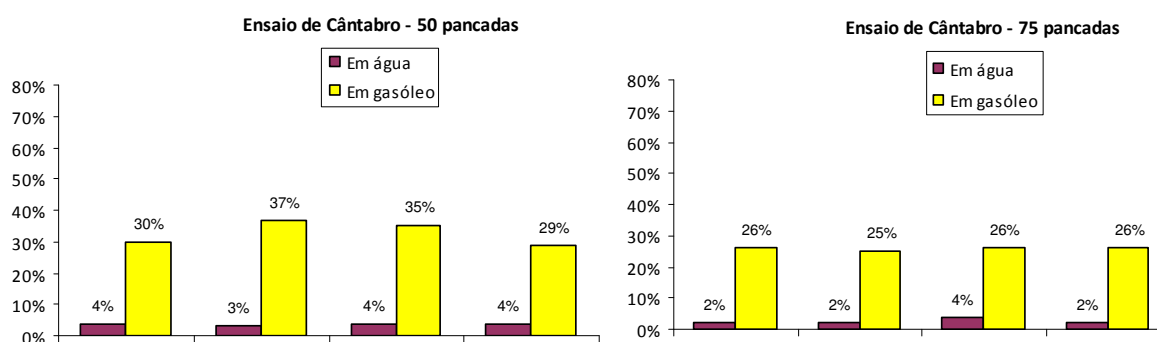


Figura 94 – Gráficos dos resultados dos cântabros com betume anti-querosene (2ª amostra)

Na figura 95 é possível visualizar os provetes resultantes dos ensaios cântabro com imersão em água e gasóleo.

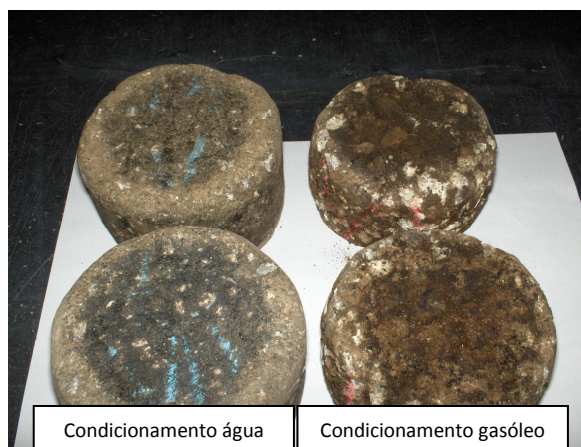


Figura 95 – Provetes resultantes dos cântabros com betume anti-querosene (2ª amostra)

Terceira amostra de betume anti-querosene

Os valores obtidos nos ensaios de baridade dos provetes são apresentados no quadro 28.

Tipo de acondicionamento	Baridade dos Provetes (g/cm ³)			
	50 pancadas por face		75 pancadas por face	
	Provete	Média	Provete	Média
Provetes condicionados em gasóleo	2,38	2,38	2,40	2,40
	2,38		2,41	
	2,38		2,41	
	2,38		2,40	

Quadro 28 – Valores da baridade dos provetes com betume anti-querosene (3ª amostra)

Os valores obtidos nos ensaios cântabro são apresentados no quadro 29.

Tipo de acondicionamento	Ensaio Cântabro (%)			
	50 pancadas por face		75 pancadas por face	
	Provete	Média	Provete	Média
Provetes condicionados em gasóleo	28	26	19	19
	26		17	
	24		18	
	26		20	

Quadro 29 – Valores do cântabro dos provetes com betume anti-querosene (3ª amostra)

Os gráficos da figura 96 destinam-se a destinam-se a destinam-se a representar graficamente os valores obtidos nos ensaios cântabro.

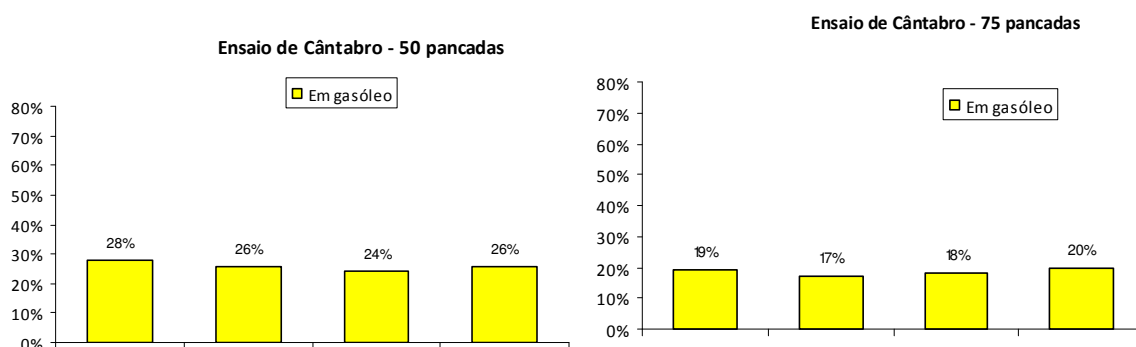


Figura 96 – Gráficos dos resultados dos cântabros com betume anti-querosene (3ª amostra)

Na figura 97 é possível visualizar o aspecto dos provetes resultantes dos ensaios cântabro.

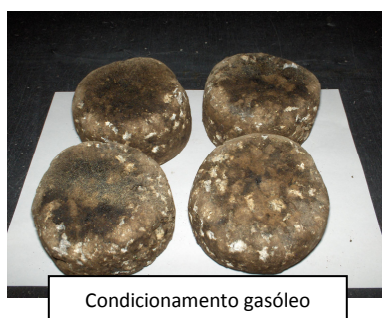


Figura 97 – Provetes resultantes dos cântabros com betume anti-querosene (3ª amostra)

Análise dos resultados

Os ensaios realizados com as diferentes amostras de betume anti-querosene evidenciam um bom comportamento da mistura betuminosa no ensaio cântabro realizado sem acondicionamento e após imersão em água. No entanto o comportamento após imersão em gasóleo foi bem diferente de amostra para amostra. O melhor resultado obtido no ensaio cântabro para o betume anti-querosene diz respeito à terceira amostra nos provetes compactados com 75 pancadas por face em que se obteve o valor médio de 18%, ainda assim superior ao valor máximo definido em caderno de Encargos de 15 %.

No gráfico da figura 98, são representados graficamente os valores obtidos nos ensaios cântabro com imersão em gasóleo realizados com os betumes: 35/50, modificado de alto módulo e anti-querosene (1.^a, 2.^a e 3.^a amostra).

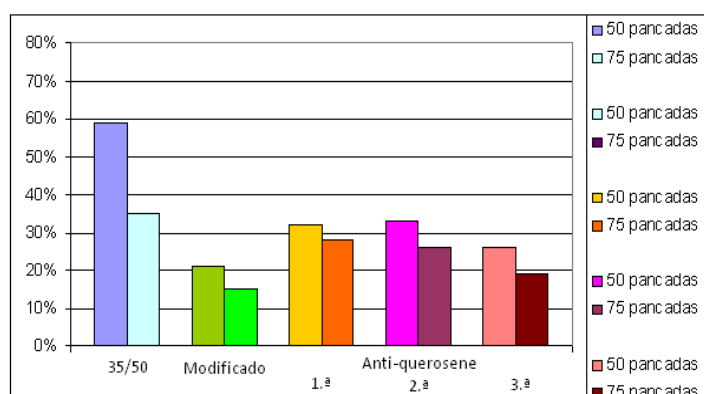


Figura 98 – Gráficos dos resultados dos cântabros com betume anti - querosene várias amostras

Na figura 99 podem visualizar-se os provetes que foram realizados para o estudo da acção do combustível.



Figura 99 – Provetes resultantes dos ensaios cântabro

11 – Enquadramento do betão betuminoso com anti-querosene na normalização actual

11.1 – Introdução

A Marcação CE é uma marca que foi estabelecida pela União Europeia no âmbito da Directiva Comunitária nº 93/465/CEE. Esta Directiva define que os materiais de construção, a serem comercializados e utilizados no Espaço Europeu, têm de cumprir com uma série de requisitos, de forma a obterem a Marca CE, que passa a ser condição obrigatória para a sua comercialização e utilização.

A Marcação CE tem como principal finalidade garantir aos utilizadores que os produtos foram produzidos de uma forma controlada e que cumprem uma série de requisitos, comprovados através de testes e ensaios.

Para além disso, como a referida Directiva é transposta para a legislação de cada país europeu, a Marcação CE passa a ser condição obrigatória para que os produtos possam ser comercializados e utilizados. Ou seja, a Marcação CE é fundamental para todos os intervenientes na construção de modo a poderem cumprir a Legislação Nacional.

11.2 – Marcação CE das misturas betuminosas

A norma NP EN 13108-1 prevê dois tipos de abordagem para definição dos requisitos do betão betuminoso: abordagem empírica e abordagem fundamental. De acordo com o estipulado na Norma Europeia o objectivo final é o de especificar o betão betuminoso em termos de propriedades fundamentais baseadas no desempenho. No entanto, dadas as diferenças de conhecimento e de experiência no espaço comunitário europeu relativamente às especificações baseadas numa abordagem fundamental para este tipo de mistura betuminosa, é incluída a abordagem empírica. Assim, os países com menos experiência na abordagem fundamental podem optar, numa primeira fase, pela abordagem empírica e irem adquirindo experiência nos ensaios baseados no desempenho, de forma a enveredar pelo uso cada vez mais generalizado da abordagem fundamental para especificar o betão betuminoso. Dado o actual estado da arte em Portugal, a especificação do betão betuminoso é com base na abordagem empírica, prevendo-se, no entanto, que Portugal vá adquirindo a experiência necessária para a abordagem fundamental.

11.3 – Nova designação das misturas betuminosas

O grupo do betão betuminoso inclui a generalidade das misturas betuminosas habitualmente aplicadas em Portugal. Na figura 100 consta a nova designação das misturas betuminosas de acordo com a NP EN 13108-1 e a designação anteriormente utilizada. Tendo em vista facilitar a identificação das misturas betuminosas habitualmente utilizadas em Portugal, devem ser adicionadas siglas correspondentes ao tipo de mistura em causa. De acordo com recomendações do Organismo de Normalização Nacional, devem ser mantidas as abreviaturas constantes da versão inglesa da EN 13108-1, para assim facilitar o entendimento comum entre os vários Estados – membro (Figura 100).

Camada	Designação anterior	Designação actual
Base	Macadame Betuminoso Fuso B	AC 32 base ligante (MB)
	Macadame Betuminoso Fuso A	AC 20 base ligante (MB)
	Mistura Betuminosa de Alto Módulo	AC 20 base ligante (MBAM)
Ligação	Macadame Betuminoso Fuso A	AC 20 bin ligante (MB)
	Mistura Betuminosa Densa	AC 20 bin ligante (MBD)
	Mistura Betuminosa de Alto Módulo	AC 16 bin ligante (MBAM)
	Betão Betuminoso Subjacente	AC 14 bin ligante (BBsb)
Regularização ^a	Macadame Betuminoso Fuso A	AC 20 reg ligante (MB)
	Mistura Betuminosa Densa	AC 20 reg ligante (MBD)
	Mistura Betuminosa de Alto Módulo	AC 16 reg ligante (MBAM)
	Betão Betuminoso Subjacente	AC 14 reg ligante (BBsb)
	Betão Betuminoso	AC 14 reg ligante (BB)
Desgaste	Betão Betuminoso	AC 14 surf ligante (BB)
	Betão Betuminoso Rugoso	AC 14 surf ligante (BBr)
	(micro)Betão Betuminoso Rugoso	AC 10 surf ligante (BBr)

^a A EN 13108-1 contempla a aplicação de misturas betuminosas na camada de regularização do pavimento, contudo não indica a designação a adoptar para esta aplicação. Recomenda-se assim a adopção da abreviatura “reg”, referente à camada de regularização cujo termo em inglês é “regulating course”.

EXEMPLO: Uma mistura com a designação “AC32 base ligante (MB)”, produzida com um betume de gama de penetração 35/50 (EN 12591), será identificada por “AC32 base 35/50 (MB)”, onde: “AC” corresponde ao termo em Inglês “Asphalt Concrete” (Betão Betuminoso, na terminologia portuguesa), “32” corresponde à abertura do peneiro superior do agregado na mistura, em milímetros (mm), “base” corresponde à camada a que se destina a mistura betuminosa, “35/50” corresponde à designação do ligante betuminoso, neste caso de acordo com a EN 12591, e “MB” são as iniciais da designação utilizada até à data em Portugal para este tipo de mistura (Macadame Betuminoso).

Nota explicativa de abreviaturas:
AC – designação do produto, cujo termo em inglês é “Asphalt Concrete”;
base – referente à camada de base, cujo termo em inglês é similar “base course”;
bin – referente à camada de ligação, cujo termo em inglês é “binder course”;
reg – referente à camada de regularização, cujo termo em inglês é “regulating course”;
surf – referente à camada de desgaste, cujo termo em inglês é “surface course”.

Figura 100 – Quadro com as novas designações das misturas betuminosas

11.4 – Requisitos para as misturas betuminosas no âmbito da Marcação CE

Tendo em consideração o contexto e a experiência nacional, os requisitos recomendados para declarar a conformidade da mistura são os requisitos gerais e os requisitos empíricos indicados:

- Composição
- Granulometria
- Percentagem de betume
- Revestimento e homogeneidade
- Sensibilidade à água
- Resistência à deformação permanente
- Temperatura
- Durabilidade

Granulometria

Para as misturas betuminosas habitualmente aplicadas em Portugal e de acordo com os fusos granulométricos especificados na NP EN 13108-1, o fuso granulométrico apresentado no quadro mm) tem em consideração os peneiros da “Série Base mais a Série 2” (Figura 101) indicados na NP EN 13043, e são os que melhor se adaptam às misturas produzidas em Portugal, nomeadamente ao betão betuminoso com características de desgaste. Todos os fusos têm em consideração os peneiros: 1,4 *D*, *D*, característico intermédio, extra opcional (para os agregados grossos) e 2 mm, característico intermédio, extra opcional e 0,063 mm (para os agregados finos).



Figura 101 – Série base + série

Abertura dos peneiros (mm)	Fuso (%)	
	Limite 1	Limite 2
20,000	100	100
14,000	90	100
10,000	67	77
4,000	40	52
2,000	25	40
0,500	11	19
0,125	6	11
0,063	5	8

Quadro 30 – Fuso granulométrico do betão betuminoso

Percentagem de betume recomendada

A percentagem mínima de betume da mistura depende da percentagem de betume obtida no estudo de formulação (*B formulação*).

$$B_{\min} = \frac{B_{\text{formulação}}}{\alpha}$$

Sendo α o quociente entre o valor 2650 kg/m³ e a média das massas volúmicas das partículas impermeáveis dos agregados constituintes da mistura expressa nas mesmas unidades.

11.5 – Ensaio de tipo Iniciais do betão betuminoso com anti-querosene

Os Ensaio de Tipo Iniciais devem ser realizados sobre a mistura fabricada de acordo com a composição declarada (composição laboratorial). A validação da mistura betuminosa foi realizada no laboratório da empresa Alberto Couto Alves, SA.

Granulometria da mistura de agregados

No gráfico da figura 102, encontra-se representada a curva granulométrica da mistura de agregados e respectivo fuso granulométrico.

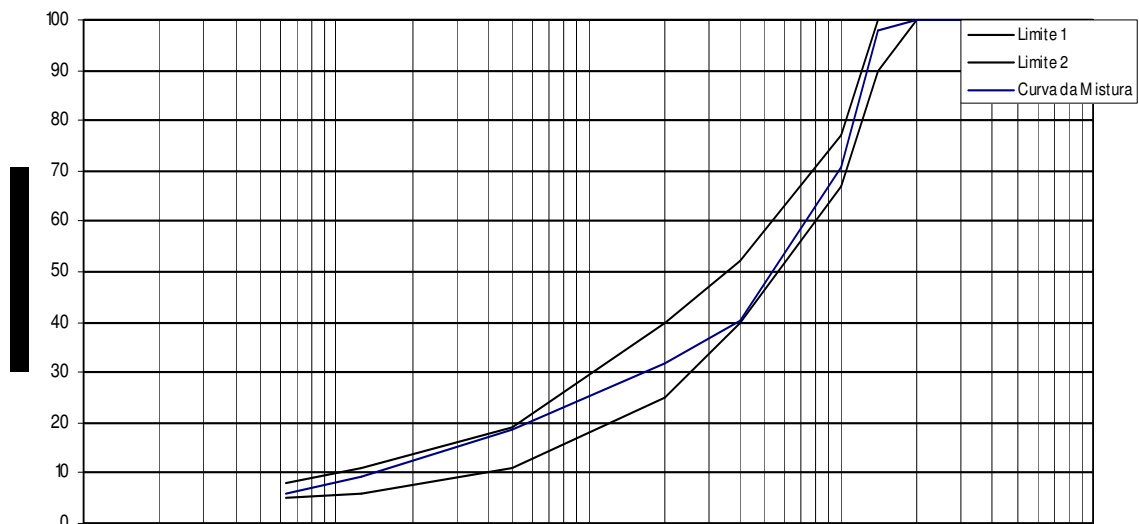


Figura 102 – Fuso e curva granulométrica da mistura de agregados (Marcação CE)

Percentagem de betume da mistura

$$B_{\text{Formulação}} = 5,0 \%$$

$$B_{\text{min.}} = 5,0/1,0076 (\alpha).$$

$$B_{\text{min.}} = 5,0 \%$$

Ensaio sensibilidade à água

O ensaio de Sensibilidade à água foi realizado de acordo com as normas EN 12697-12:2003 “Bituminous mixtures – Test methods for hot mix asphalt – Part 12: Determination of the water sensitivity of bituminous specimens”, EN 12697-23:2003 “Bituminous mixtures – Test methods for hot mix asphalt – Part 23: Determination of the indirect tensile strength of bituminous specimens” e EN 13108-20:2006 “Bituminous mixtures – Material specifications – Part 20: Type Testing”. A temperatura de ensaio foi de 15°C (Figuras 103 e 104).

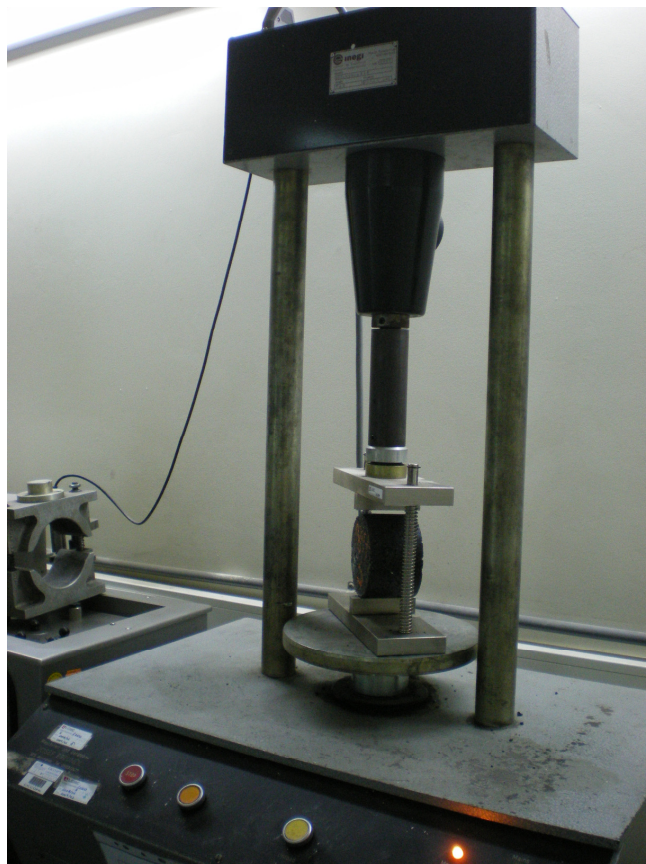


Figura 103 – Ensaio de tracção indirecta

1. Resultados

As dimensões dos provetes individuais apresentam-se em seguida:

Quadro I – Dimensões dos provetes individuais

Provete		1	2	3	4	5	6
Altura (mm)	H	63,57	64,82	62,76	61,82	63,16	64,14
Diâmetro (mm)	D	102,03	102,17	102,21	102,19	102,17	102,25

As médias das dimensões dos provetes apresentam-se em seguida:

Quadro II – Média das dimensões dos provetes

		SECOS	IMERSOS
Provetes nºs		3, 5, 6	4, 1, 2
Média das alturas (mm)	H	63,35	63,40
Média dos diâmetros (mm)	D	102,21	102,13
Baridades (g/cm ³)		2,38	2,38

Nota: Para este ensaio os 6 provetes são divididos em 2 grupos de semelhante baridade e dimensões. Cada grupo é aclimatizado de forma diferente. A referência, a “SECOS” e “IMERSOS” reflecte o acondicionamento por grupo.

Os resultados obtidos à resistência à tracção indirecta (*ITS*) por provete são apresentados no Quadro III:

Quadro III – Resultados *ITS*

Provete	1	2	3	4	5	6
<i>ITS</i> (Kpa)	2024,98	1776,00	2727,40	2373,09	2832,79	2356,49

O tipo de rotura verificada em cada provete, de acordo com a norma EN 12697-23:2003 é apresentado em seguida:

Quadro IV – Tipos de rotura verificadas em cada provete

Provete	1	2	3	4	5	6
Tipo de Rotura	c)	b)	c)	c)	c)	c)

A média dos valores obtidos da resistência à tracção indirecta:

Quadro V – Média *ITS*

<i>ITS_d</i>	(KPa)	2638,89
<i>ITS_w</i>	(KPa)	2058,02

Relação entre resistências à tracção indirecta:

$$ITSR = (ITS_w / ITS_d) \times 100 = 78,0 \%$$

Figura 104 – Resultado do ensaio de sensibilidade à água

Ensaio de pista

O ensaio de pista foi realizado de acordo com a norma europeia EN 12697-22. O valor obtido no ensaio realizado, revela um bom comportamento da mistura às deformações permanentes. A Norma Europeia de produto EN 13108 – 1 para misturas betuminosas do tipo betão betuminoso define classes para a resistência às deformações permanentes. O resultado obtido no betão betuminoso anti-querosene de 0,04 (WTS_{AIR} – Taxa de deformação), enquadra-se na segunda melhor categoria, $WTS_{AIR\ mmmmm}$. (Quadros 31 e 32, e figura 105)

Procedimento de ensaio		EN 12697-22
Duração do ensaio	(min)	10000
Temperatura do ensaio	(°C)	60
Amplitude	(mm)	230
Frequência	(Hz)	0,44
L – Força	(N)	700
W – largura do pneu	(mm)	50

Quadro 31 – Características e condições de ensaio EN 12697-22

Referência do provete		1	2	
Data de ensaio		10/02/2007	10/02/2007	
Dimensões do provete	Comprimento	(mm)	301	301
	Largura	(mm)	281	280
	Espessura	(mm)	77,7	78,3
Baridade do provete		(g/cm ³)	2,32	2,34
Profundidade de rodeira ao fim de 10.000 ciclos		(mm)	2,36	2,36
RD _{AIR} – Profundidade média de rodeira ao fim de 10.000 ciclos		(mm)	2,36	
Taxa de deformação		(mm/10 ³ ciclos)	0,05	0,03
WTS _{air} – Taxa de deformação = valor médio		(mm/10 ³ ciclos)	0,04	

Quadro 32 – Resultados obtidos EN 12697-22

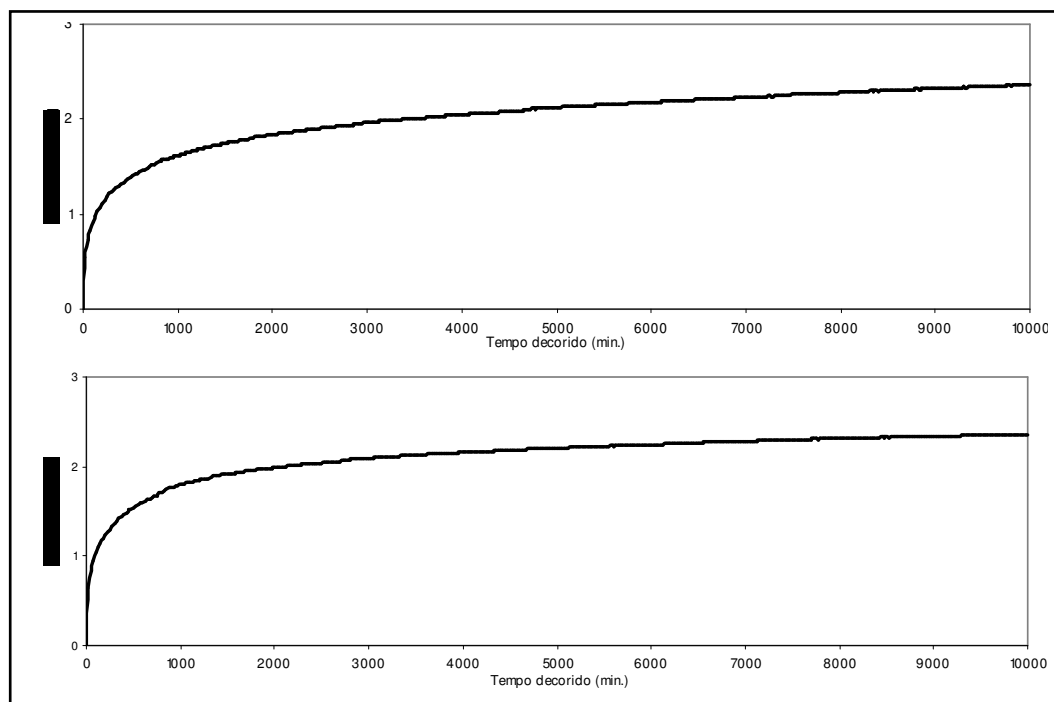


Figura 105 – Gráficos do ensaio de pista pela norma europeia

11.6 – Ficha de produto e relatório ensaios iniciais tipo

A marcação CE das misturas betuminosas a quente é obrigatória desde 1 de Março de 2008. A conformidade de uma mistura betuminosa com os requisitos constantes da NP EN 13108-1 deve ser atestada por um Organismo Notificado, de acordo com o Sistema de Atestação da Conformidade 2+, conforme previsto no anexo ZA da NP EN 13108-1 (para utilização em estradas e outras áreas de circulação, não sujeitas a disposições regulamentares para a reacção ao fogo). O produtor deve elaborar uma Declaração de Conformidade CE que inclua, para além de outras informações, a descrição do produto (tipo, identificação e utilização) e as disposições com as quais o produto se encontra em conformidade.

A ficha técnica do produto e relatório de ensaios iniciais tipo da mistura betuminosa, com as suas características, são documentos importantes para a comercialização e utilização no mercado (Figuras 106 e 107).

Ficha técnica do produto



FICHA TÉCNICA DE PRODUTO

CE			
Alberto Couto Alves S.A.			
Avenida Rebelo Mesquita, Edifício Las Vegas II, nº 1 4760-013 Vila Nova Famalicão 08			
1029 - CPD - PT 08/XXXXX			
EN 13108 - 1			
Betão Betuminoso para Estradas e Outras Áreas de Circulação			
Designação da Mistura Betuminosa: AC 14 surf 35/50 (BB)			
Central de Fabrico : CBI - Avintes		Código de Identificação da Mistura : AC 3	
Requisitos Gerais + Requisitos Empíricos			
Validação em Laboratório			
Curva Granulométrica da Mistura			
Peneiros	%	Passados	
20,000	100		
14,000	98		
10,000	71		
4,000	40		
2,000	32		
0,500	19		
0,125	10		
0,063	6,5		
Percentagem de Ligante	$B_{\min 5,0}$	(5,0%)	
Porosidade			
• Máximo	$V_{\max 5}$	(5,0%)	
• Mínimo	$V_{\min 3}$	(3,0%)	
Valor Mín. de Vazios com Betume	VFB_{\min}	NPD	
Valor Máx. de Vazios com Betume	VFB_{\max}	NPD	
Vazios na Mistura de Agregados	VMA_{\min}	NPD	
Porosidade após 10 Giros	$V10G_{\min}$	NPD	
Sensibilidade à Água	$ITSR_{70}$	(70,0%)	
Resistência à Abrasão Provocada por Pneus Pitonados		NPD	
Reacção ao Fogo		NPD	
Temperatura da Mistura		150°C a 190°C	
Resistência à Deformação Permanente			
• Dispositivo de Menor dimensão			
Inclinação do Ensaio "Wheel Tracking"	$WTS_{AIR 0,5}$	(0,5mm/10 ³ ciclos)	

Mod.DL.078

Revisão:	Data:	Elaborado:	Aprovado:
----------	-------	------------	-----------

Figura 106 – Exemplo de uma ficha técnica de produto

Relatório – Ensaios iniciais tipo



RELATÓRIO - ENSAIOS INICIAIS TIPO

EN 13108 - 20

1 - Generalidades

Fabricante:	ACA - Construções, S.A.		
Endereço:	Avenida Rebelo Mesquita, Edifício Las Vegas 2, nº 1 4760-013 Vila Nova Famalicão		
Data de Emissão:	_____		
Central de Fabrico:	CBI - Avintes		
Designação da Mistura Betuminosa:	AC 14 surf 35/50 (BB)		
Método de Validação da Mistura :	Validação em laboratório de acordo com a EN 13108-20 (Anexo C - C1.3)		
Categorias :			
	Curva laboratorial	Granulometria	Curva de produção
	20,000 100		20,000 100
	14,000 98		14,000 93
	10,000 71		10,000 70
	4,000 40		4,000 45
	2,000 32		2,000 34
	0,500 19		0,500 18
	0,125 10		0,125 11
	0,063 7		0,063 7
Percentagem de Ligante			B _{min 5,0} (5,0%)
Porosidade			
• Máximo			V _{máx5} (5,0%)
• Mínimo			V _{min 3} (3,0%)
Sensibilidade à Água			ITSR ₇₀ (70,0%)
Temperatura da Mistura			150°C a 190°C
Resistência à Deformação Permanente		(Dispositivo de menor dimensão)	
• Inclinação do Ensaio "Wheel Tracking"			WTS _{AIR 0,5} (0,5mm ^{10⁹} ciclos)

2 - Materiais Constituintes

Agregados (0/4,6/12,10/14)	Filer	Ligante	Aditivo
<i>Origem:</i> Secil Britas Penafiel <i>Tipo</i> Granítico	<i>Origem:</i> Eurocálcio <i>Tipo:</i> Calcário	<i>Tipo</i> Convencional <i>Gama:</i> 35/50	<i>Origem:</i> _____ <i>Tipo</i> _____
Todos os constituintes: Em anexo, resultados dos ensaios realizados.			

3 - Fórmula da mistura

Agregado 14/20- _____	Agregado 10/14- 21,7%	Agregado 6/12- 30,2%	Agregado 0/4- 40,2%
Filer comercial- 2,9%	Betume 35/50- 5,0%		

Revisão:	Data:	Elaborado:	Aprovado:
----------	-------	------------	-----------

Mod.DCE.006

Figura 107 – Exemplo de um relatório – Ensaios iniciais tipo

12 – Discussão

Na execução deste trabalho surgiram várias limitações, tais como:

- A falta de documentação sobre o processo de fabrico do betume anti-querosene, talvez motivada pelo facto de se tratar de um betume de comercialização recente, obrigou a obter esta informação através de uma visita à fábrica em Rio Maior.
- O facto de ter sido aplicado este tipo de betume pela primeira vez em Portugal faz com que não exista ainda experiência em relação á utilização deste tipo de ligante nas misturas betuminosas.
- Durante a realização do estudo da mistura betuminosa, que antecedeu a aplicação em obra, surgiram várias dúvidas tais como:
 - Qual a energia de compactação a utilizar na moldagem dos provetes, 50 ou 75 pancadas por face.
 - As cláusulas técnicas especiais definem a utilização no betão betuminoso com betume anti-querosene de agregados com características usualmente empregues no betão betuminoso rugoso. A questão que se colocou com este procedimento foi a de que forma se estaria a comprometer a rugosidade necessária para a superfície do pavimento.
- Na realização do estudo da acção do combustível nas misturas betuminosas, foi ensaiada uma mistura betuminosa com uma amostra de betume anti-querosene tendo-se obtido resultados de ensaios bem diferentes dos obtidos na fase de dimensionamento da referida mistura. Este aspecto obrigou à realização de novos ensaios com novas amostras de ligante. Todo este processo contribuiu para o agravamento do volume de trabalho de laboratório, assim como um atraso na conclusão deste trabalho.
- O facto da marcação CE das misturas betuminosas a quente ser obrigatória desde 1 de Março de 2008, passando a conformidade de uma mistura betuminosa a estar de acordo com os requisitos constantes da NP EN 13108-1, considerou-se necessária esta abordagem de modo a realizar o enquadramento do betão betuminoso com incorporação de anti-querosene na nova normalização.

13 – Conclusões

A camada de desgaste de um pavimento flexível constitui a camada que está sujeita a acções de maior agressividade, sendo pois importante investir na qualidade desta camada como forma de retardar o seu envelhecimento.

Este trabalho procura contribuir para um melhor conhecimento das misturas betuminosas utilizadas em camadas de desgaste no sentido de as adequar à acção de derrames dos veículos que inevitavelmente ocorrem com especial incidência em zonas de paragem ou abrandamento de velocidade.

De todo o trabalho aqui apresentado podemos enumerar as seguintes conclusões:

- A primeira aplicação de uma solução inovadora apresenta sempre inúmeras dificuldades. Neste caso destaca-se o facto da formulação da mistura betuminosa ter sido baseada em estudos empíricos usados e adaptados de outras misturas betuminosas. Na realidade o ensaio cântabro adoptado para a avaliação do comportamento da mistura betuminosa é um ensaio previsto para as misturas betuminosas do tipo drenante.
- A mistura betuminosa em betão betuminoso com incorporação de betume-anti-querosene aplicada em obra apresentou um comportamento no ensaio cântabro de acordo com o preconizado no Caderno de Encargos, não se verificando passados dois anos qualquer tipo de patologia.
- O betume anti-querosene tem comportamento semelhante a um betume modificado, quer no processo de fabrico da mistura betuminosa quer na sua aplicação.
- O estudo realizado com diferentes tipos de betume apresentou resultados que nem sempre distinguiram de forma evidente a melhoria do comportamento da mistura betuminosa com incorporação de betume anti-querosene. Os resultados obtidos no ensaio cântabro não permitiram concluir o melhor desempenho daquele tipo de betume.
- O ensaio cântabro pode por si só não ser suficiente para avaliar laboratorialmente o comportamento de misturas betuminosas com baixa porosidade.
- A mistura betuminosa apresenta um melhor desempenho quanto menor a sua porosidade.
- A mistura betuminosa em betão betuminoso com incorporação de anti-querosene tem a designação de AC 14 Surf 35/50 (BB) segundo a Norma Europeia EN 13108-1.
- Num trabalho futuro poderia ser avaliada a afinidade do betume ao agregado, mas substituindo a água por gasóleo, pois seria um complemento ao ensaio cântabro.

Referências Bibliográficas

APORBET (1998) – Misturas Betuminosas, Contribuição para a normalização do fabrico e aplicação. Associação Portuguesa de Fabricantes de Misturas Betuminosas.

Asphalt Institute (1989) – The Asphalt Handbook – Manual Series (MS4), Asphalt Institute.

Baptista, Teresa (2008) – Mistura betuminosa em betão betuminoso com betume especial anti – querosene, ESTRADA 2008 – V Congresso Rodoviário Português.

British Standards BS812 1980, Índices de lamelação e alongamento.

Caderno de Encargos (CE Brisa) – Reforço do pavimento da A4 Sublanço Penafiel/Amarante, Brisa S.A.

Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa e Instituto de Pesquisas Rodoviárias (2005) – Manual de pavimentação 3ª ed. Rio de Janeiro, 2005. Departamento de Infra-estrutura de transporte, Directoria de Planeamento e pesquisa (Brasil).

EN 13108 -1:2006, Bituminous mixtures – Material specification: Asphalt Concrete.

EN 12697-12:2003, Bituminous mixtures – Test methods for hot mix asphalt – Part 12: Determination of the water sensitivity of bituminous specimens.

EN 13108-20:2006, Bituminous mixtures – Material specifications – Part 20: Type Testing.

EN 12697-22, Bituminous mixtures – Test methods for hot mix asphalt: Wheel tracking.

EN 12697-23:2003, Bituminous mixtures – Test methods for hot mix asphalt – Part 23: Determination of the indirect tensile strength of bituminous specimens.

EN 12697-43, Bituminous mixtures – Test methods for hot mix asphalt: resistance to fuel.

Especificação LNEC E35 de 1956, Determinação da densidade do betume com o picnómetro.

Especificação LNEC E199 de 1967, Ensaio de equivalente de areia.

Especificação LNEC E233 de 1969, Análise granulométrica de agregados.

Especificação LNEC E237 de 1970, Ensaio de Desgaste pela máquina de Los Angeles.

Hugo Silva (2005) – Caracterização do Mástique Betuminoso e da Ligação Agregado-mastique, contributo para o Estudo do Comportamento das Misturas Betuminosas (Tese de Doutoramento).

JAE (1995) – Manual de Concepção de pavimentos para a Rede Rodoviária Nacional, Junta Autónoma de Estradas (actual EP- Estradas de Portugal).

JAE (1998) – Caderno de Encargos: 03- Pavimentação Vol.V. Junta Autónoma de Estradas (actual EP- Estradas de Portugal).

Minhoto, M. (2002) – A optimização das misturas betuminosas com betume modificado com borracha reciclada de pneus usados, 2.º Congresso Rodoviário Português.

NLT-362, Efecto del agua sobre la cohesión de mezclas bituminosas de granulometria abierta, mediante el Ensaio Cântabro de perdida por desgaste.

NLT 173, Resistencia a la deformación plástica de las mezclas bituminosas mediante la pista de ensaio de laboratório.

Norma Francesa NF 18-592 de 1990, Ensaio de azul-de-metileno;

Norma Francesa NF P 98-251-1, Essai Duriez sur mélanges hydrocarbonés à chaud, AFNOR.

Norma Portuguesa NP 83 de 1965, Determinação da densidade das partículas;

Norma Portuguesa NP142 de 1968, Ensaio Marshall.

Norma Portuguesa NP 954 de 1963, Determinação das massas volúmicas e da absorção de água de areias.

Norma Portuguesa NP 581 de 1969, Determinação das massas volúmicas e da absorção de água de britas e godos.

Oliveira, J.R.M. (2003) – Reciclagem de Pavimentos Flexíveis – Caracterização Mecânica de Misturas Betuminosas Recicladas a Quente. Trabalho de Síntese apresentado no âmbito das Provas de Aptidão Pedagógica e de Capacidade Científica, Universidade do Minho.

Pais, J.C., Pereira P e M.C. Azevedo (2000) – Ensaio Mecânicos para Caracterização de Misturas Betuminosas, Estrada 2000 – I Congresso Rodoviário Português.

Pereira, P.A.A (1992) – Gestão da Rede Rodoviária, Universidade do Minho.

Pereira, P (1998) – Contribuição para um Sistema de Gestão Rodoviária – Modelos de Comportamento e Método de Avaliação da Qualidade dos Pavimentos Rodoviários. Dissertação submetida para obtenção do grau de Doutor em Engenharia Civil pela Universidade do Minho.

Pereira, P e V. Miranda (1999) – Gestão da Conservação dos Pavimentos Rodoviários, Universidade do Minho.

Pereira, P. e L. Picado Santos (2002) – Pavimentos Rodoviários, Universidade do Minho.

Picado Santos (2005) – Formulação de misturas betuminosas, Departamento de Engenharia Civil, F. C. T. Universidade de Coimbra.

Relatórios de ensaios de deformações permanentes, CICCOPN/ LGMC.

Sousa, J.B. (1997) – Avaliação dos Métodos de Ensaio e Especificações *SHRP* na Europa, Volume II – Formulação das Misturas e Caracterização do Trecho Piloto, JAE (actual EP).

(SÓRIA, 1997) – Designação de pavimentos rígidos e pavimentos flexíveis consoante a rigidez da estrutura.

Standard Test Method ASTM D 2041, Determinação da baridade máxima teórica.