

**MANUAL**

**DE PAVIMENTAÇÃO**



**BETUMES**



**BETUMES**

A Cepsa Portuguesa Petróleos, SA é uma empresa certificada no âmbito da norma  
**NP EN ISO 9001:2000 (QUALIDADE)**  
da norma  
**OHSAS 18001:1999 (SEGURANÇA)**  
e da norma  
**NP EN ISO 14001:2004 (MEIO AMBIENTE)**

# Prologo

É possível que no momento da realização de um projecto de uma estrada ou durante a execução de uma obra de pavimentação, necessite de informação adicional sobre ligantes betuminosos, misturas betuminosas ou sobre as suas diferentes aplicações.

Pretendemos que este “Manual de Pavimentação” se transforme no seu melhor aliado como livro de consulta e que o ajude na procura da referida informação de forma a encontrar as melhores soluções técnicas.

É nosso objectivo com esta obra ir ao encontro da tradição da CEPSPA Portuguesa que desde 1963 tem contribuído para o desenvolvimento do Mercado da Pavimentação. Tendo sido inclusivamente pioneira na fabricação de emulsões betuminosas em Portugal. Desde sempre continuamos a procurar com todo o nosso empenho, dedicação e saber corresponder às necessidades dos nossos clientes, reforçando o compromisso com eles e com todos os diferentes intervenientes no Mercado.

Olhando o futuro, desde a perspectiva de uma empresa sólida, moderna e dinâmica como é o caso da Cepsa Portuguesa, esperamos que o nosso compromisso com o desenvolvimento tecnológico, a procura de novos produtos e novas soluções construtivas, bem como a sustentabilidade, o respeito e cuidado com o Meio-ambiente, a melhoria contínua e a proximidade e confiança dos nossos clientes, nos garanta o reforço da liderança com que o Mercado nos tem distinguido.

A realização deste Manual foi baseada na edição do “Vademecum de Pavimentación”, promovido por PROAS, filial espanhola do grupo CEPSPA dedicada aos betuminosos. A adaptação às práticas adoptadas no mercado português, foi realizada pela Doutora Maria de Lurdes Antunes.

Após termos concluído esta edição do “Manual de Pavimentação”, não podemos deixar de lhe agradecer o seu trabalho, o seu profissionalismo e a sua confiança em nós e desde já queremos pedir-lhe que nos faça chegar todas as sugestões que considere pertinentes, permitindo-nos assim melhorar o seu conteúdo em edições futuras.

Filipe Ribeiro Henriques  
Director de Especialidades da Cepsa Portuguesa

# Apresentação

O projecto, a construção ou a reabilitação de uma estrada requerem uma série de conhecimentos rigorosos e aprofundados que com o passar do tempo e experiência se vão implementando e consolidando.

A partir desses conhecimentos, Entidades Públicas e Privadas responsáveis por estradas têm publicado diferentes Cadernos de Encargos e Normativas onde recolhem e aplicam estes conhecimentos para a construção e manutenção das suas redes rodoviárias. Estas publicações constituem e proporcionam, o estado da arte a aplicar na construção e manutenção dessas estradas para que esta seja levada a cabo de forma eficiente e satisfatória.

“Infelizmente”, essas especificações nem sempre se encontram reunidas nem estão claramente relacionadas com a finalidade ou o fim a que se destinam. Por este motivo, a Cepsa Portuguesa quis, neste Manual Técnico, recolher essas especificações e apresentá-las de uma forma ordenada e relacionada com os seus objectivos. Nesta tarefa participaram os professores da Cátedra de Caminos da Universidade Politécnica da Catalunha em parceria com a Direcção Técnica de Cepsa-Proas.

A estrutura deste Manual de Pavimentação é a indicada no índice. Apresentam-se, em primeiro lugar, as especificações que têm a ver com os aspectos funcionais e estruturais do pavimento, o seu dimensionamento estrutural, para posteriormente comentar as características e qualidades de cada uma das suas “camadas”.

Neste Manual de Pavimentação quis-se diferenciar, para uma melhor e mais fácil compreensão das especificações sobre misturas asfálticas (misturas betuminosas a quente do PG-3 e PG-4), o seu modo de aplicação como camada de base, intermédia e desgaste. Também se apresentam, à parte, as especificações e critérios de desenho para as misturas betuminosas a frio e dos micro-aglomerados betuminosos. Por último, apresentam-se as técnicas mais usadas na conservação de pavimentos asfálticos e os seus campos de aplicação.

Os autores desejam que esta publicação seja útil aos técnicos de estradas no seu exercício profissional, como uma súmula da normativa, de forma a que seja fácil a sua consulta, advertindo e recomendando, no entanto, que não a substituí pois pode nem sempre coincidir com esta, por ter sido modificada ou por erro de publicação, devendo ser sempre tida em consideração a normativa vigente.

Barcelona, 31 de Dezembro de 2006

Félix Edmundo Pérez Jiménez  
Director Projecto Manual de Pavimentação

José Antonio Soto Sánchez  
Director Técnico de PROAS

Participação na Elaboração deste Manual de Pavimentação:

---

**Cátedra de Caminos UPC**

Félix Edmundo Pérez Jiménez  
Coordinador Proyecto Vademécum

Rodrigo Miró Recasens  
Adriana H. Martínez Reguero

**PROAS-CEPSA**

José A. Soto Sánchez  
Agustín Blanco Morcillo  
Antonio García Siller  
Ignacio Pérez Barreno  
María del Mar Colás Victorio  
Rocío Medel San Miguel

**A adaptação às práticas adoptadas no Mercado português,  
foi realizada pela:**

Doutora Maria de Lurdes Antunes

<b>1. As misturas betuminosas e suas aplicações na pavimentação rodoviária</b>	<b>17</b>
<b>2. Concepção de pavimentos</b>	<b>21</b>
2.1. Comportamento estrutural. Tipos de pavimentos e modos de degradação.	23
2.2. Características funcionais.	30
2.2.1. Especificações relativas a características funcionais.	32
<b>3. Dimensionamento de pavimentos</b>	<b>35</b>
3.1. Manual de Concepção de Pavimentos.	37
3.1.1. Tráfego.	37
3.1.2. Fundação do pavimento.	39
3.1.2.1. Classes de fundação.	39
3.1.2.2. Materiais para terraplenagens.	42
3.1.3. Condições climáticas.	46
3.1.4. Catálogo de estruturas de pavimentos.	47
<b>4. Materiais granulares e materiais tratados com cimento</b>	<b>61</b>
4.1. Materiais granulares.	63
4.2. Materiais tratados com ligantes hidráulicos.	67
<b>5. Misturas betuminosas a quente</b>	<b>73</b>
5.1. Materiais.	76
5.1.1. Agregados e fileres.	76
5.1.2. Ligantes betuminosos.	79
5.1.2.1. Betumes de pavimentação.	79
5.1.2.2. Betumes modificados.	82
5.1.2.3. Betumes modificados com borracha.	85
5.1.2.4. Outros betumes modificados.	87

<b>5.2. Misturas betuminosas para camadas de base.</b>	88
5.2.1. Aspectos gerais.	88
5.2.2. Aspectos particulares relativos a Misturas de Alto Módulo.	93
<b>5.3. Misturas betuminosas para camadas de regularização.</b>	94
5.3.1. Aspectos gerais.	94
5.3.2. Aspectos particulares relativos a Misturas de Alto Módulo.	98
<b>5.4. Misturas betuminosas para camadas de desgaste.</b>	98
5.4.1. Aspectos gerais.	98
5.4.2. Aspectos particulares relativos ao Betão Betuminoso Drenante.	104
5.4.3. Aspectos particulares relativos ao Micro-Betão Betuminoso Rugoso.	105
<b>6. Misturas betuminosas a frio</b>	107
<b>6.1. Emulsões betuminosas.</b>	108
<b>6.2. Agregado Britado de Granulometria Extensa Tratado com Emulsão (ABGETE).</b>	110
<b>6.3. Misturas abertas a frio.</b>	115
<b>7. Regas e tratamentos superficiais</b>	121
<b>7.1. Regas auxiliares.</b>	122
7.1.1. Regas de impregnação.	122
7.1.2. Regas de colagem.	123
<b>7.2. Revestimentos superficiais.</b>	126
<b>7.3. Microaglomerados a frio e slurry seal.</b>	131

<b>8. Conservação e reabilitação de pavimentos betuminosos</b>	139
<b>8.1. Avaliação do estado do pavimento.</b>	140
8.1.1. Avaliação funcional.	140
8.1.2. Avaliação estrutural.	141
8.1.2.1. Inspeção visual.	141
8.1.2.2. Ensaio de carga não destrutivos.	146
8.1.2.3. Zonamento.	147
8.1.2.4. Cálculo da capacidade de carga.	148
<b>8.2. Medidas de conservação ou reabilitação sem aumento da capacidade de carga.</b>	149
<b>8.3. Medidas para aumento da capacidade de carga (reforço)</b>	150
<b>8.4. Reciclagem de pavimentos e de misturas betuminosas.</b>	152
8.4.1. Reciclagem in situ.	152
8.4.2. Reciclagem de misturas betuminosas em central.	154
<b>8.5. Tratamentos anti-reflexão de fendas.</b>	155
<b>9. Anexos</b>	159
Referências.	160
<b>9.1. Glossário de termos.</b>	161
Normas Europeias Relativas a Agregados e Fíleres.	172



# As misturas betuminosas e suas aplicações na pavimentação rodoviária

Os pavimentos rodoviários são constituídos por um conjunto de camadas horizontais, colocadas sobre uma fundação, que têm como função principal suportar as acções induzidas pelos veículos, transmitindo-as à fundação de forma atenuada, proporcionando uma superfície segura e confortável para a circulação dos veículos. Esta definição engloba uma grande variedade de estruturas de pavimentos para as quais, em muitos casos, o betume é um componente essencial, que lhe confere importantes características, daí a designação de “pavimentos betuminosos” adoptada para os pavimentos que incluem misturas betuminosas.

No desenvolvimento dos pavimentos destinados à circulação de veículos de transporte rodoviário, podem-se identificar dois marcos significativos, que coincidem com dois momentos de grande importância para este modo de transporte.

O primeiro coincidiu com o grande aumento de circulação de carros e carruagens nos finais do século XVIII. Os técnicos responsáveis pela construção e conservação das vias, que nalguns casos eram vias sujeitas a portagem dependentes dos municípios ou autoridades regionais, introduziram as bases granulares pouco sensíveis à água, estabelecendo novas especificações sobre materiais e processos construtivos, com o intuito de dispor de pavimentos não deformáveis e resistentes à acção do tráfego e da água. Estes técnicos e construtores de pavimentos como Mc Adam (1756-1836), Telford (1757-1843), Treseguer (1716-1796), introduziram conceitos e materiais que ainda hoje são utilizados:

- A parte superior das terraplenagens é a camada que realmente suporta as acções do tráfego; se se mantiver seca pode suportar cargas consideráveis, sem se deformar.
- Devem utilizar-se pedras partidas na construção do pavimento, por forma a aumentar a estabilidade das camadas granulares, através do aumento do atrito entre as partículas.

O segundo marco surgiu com o aparecimento do automóvel, que pôs em evidência as novas exigências colocadas aos pavimentos pelos veículos motorizados, ou seja, a necessidade de dispor de uma superfície para a circulação dos veículos mais cómoda e segura, exigências estas a que a utilização dos ligantes betuminosos veio responder, em grande medida. Com efeito, a poeira constituía um dos principais incómodos então suportados, quer pelos utilizadores das vias, quer pelas populações que viviam nas suas imediações. O Dr. Ernest Guglielminetti, da Suíça, conhecido posteriormente pelos técnicos de estradas como “Dr. Alcatrão”, propôs ao Príncipe Alberto I, no ano de 1902, a realização de uma rega com alcatrão da superfície da

estrada onde se disputaria o prêmio automobilístico do Mónaco, para evitar o levantamento de poeira à passagem dos veículos. Esta proposta tinha como base a experiência adquirida pelo Dr. Guglielminetti em Java, onde nos hospitais se aplicava uma rega com alcatrão como tratamento anti-poeira.

Os dois marcos anteriormente referidos põem em evidência os dois objectivos principais que se pretendem alcançar com a concepção de um pavimento: em primeiro lugar, que possua características de resistência, para que não se degrade nem se deforme sob a passagem dos veículos; em segundo lugar, que proporcione uma superfície cómoda e segura para a circulação dos veículos, aspecto este a que é dada uma importância cada vez maior. Pode-se afirmar que a contribuição do emprego dos ligantes betuminosos na construção rodoviária foi determinante para a prossecução desses objectivos, por um lado, dando coesão e resistência às camadas de materiais granulares e, por outro, proporcionando camadas e superfícies de circulação cada vez mais seguras e confortáveis.

Os ligantes betuminosos têm diversas aplicações na construção rodoviária sendo utilizados nos seguintes elementos:

- Regas de selagem, de colagem ou de impregnação.
- Revestimentos superficiais.
- Microaglomerados a frio e argamassas betuminosas.
- Betões betuminosos.

Nestes elementos, o betume pode ser aplicado directamente sobre a superfície do pavimento ou sobre camadas existentes (regas e revestimentos superficiais), ou pode ser empregado misturado com agregados finos e / ou filer (argamassas, lamas asfálticas e mástiques) ou ainda em misturas com agregados grossos, agregados finos e fileres (betões betuminosos). Acresce que as técnicas desenvolvidas pelos fabricantes de ligantes betuminosos permitem que os elementos anteriormente referidos possam ser executados tanto “a frio”, como “a quente”, o que tem dado lugar a uma grande variedade de materiais e aplicações, cujas especificações têm como função fornecer ao utilizador o devido apoio técnico para uma utilização correcta.

A CEPSA, enquanto empresa fornecedora de ligantes betuminosos, tem tido a preocupação de fabricar produtos de qualidade, investigando e desenvolvendo novos betumes, que têm permitido melhorar o desempenho dos materiais empregues em pavimentação.

# 2

## Concepção de pavimentos

O pavimento de uma estrada ou de um arruamento é constituído por um conjunto de camadas colocadas horizontalmente sobre o terreno, tendo como principal função, proporcionar uma superfície cómoda e segura para a circulação dos veículos, ao longo da sua vida útil, e distribuir as acções induzidas pelo tráfego, por forma a que estas possam ser suportadas pela fundação.

Na concepção e projecto de um pavimento de estrada, teremos que ter em conta, portanto, dois aspectos fundamentais. Por um lado, o seu comportamento estrutural, que é determinado pelos materiais e espessuras das camadas empregues na sua construção, e, por outro, as suas exigências funcionais, que determinam as condições de textura e acabamento das camadas superiores do pavimento para que a superfície final seja segura e confortável.

A ruína de um pavimento dá-se quando a qualidade da superfície se reduz, por forma a ultrapassar determinados limiares a partir dos quais a circulação dos veículos deixa de poder ser realizada em condições de segurança e conforto.

A degradação do pavimento inicia-se assim que este entra em serviço e os veículos começam a circular sobre a superfície. Esta degradação é ainda afectada pela acção dos agentes atmosféricos (chuva, gelo, vento, radiação solar, etc., que mesmo sem tráfego) podem degradar o pavimento, ou podem acentuar as degradações induzidas pelo tráfego.

Para proceder a uma correcta concepção e dimensionamento da estrutura dos pavimentos, há que ter em conta as características funcionais, que devem ser garantidas na fase de projecto, através da utilização adequada dos materiais disponíveis, com espessuras e acabamento das camadas adequados, que será necessário manter durante toda a sua vida de serviço, através de técnicas de conservação e reabilitação apropriadas. Ora, o comportamento estrutural do pavimento e a sua resistência ao processo de deterioração depende dos materiais que o constituem e dos respectivos mecanismos de degradação. Os métodos de dimensionamento de pavimentos têm como objectivo analisar os mecanismos de degradação e determinar os materiais e espessuras adequadas para evitar que a ruína ocorra antes do final do período de dimensionamento para o qual o pavimento é projectado.

A vida de serviço de um pavimento é usualmente superior ao período de dimensionamento considerado no projecto e, mediante a aplicação de sucessivas intervenções de conservação e reforço, em especial, estas últimas, vai-se alargando a vida útil do pavimento e reparando as suas eventuais degradações.

## 2.1 COMPORTAMENTO ESTRUTURAL. TIPOS DE PAVIMENTOS E MODOS DE DEGRADAÇÃO.

Os pavimentos de estradas podem ser constituídos por diversos materiais, podendo-se agrupar, segundo o seu comportamento estrutural em quatro categorias:

- Pavimentos flexíveis cujo principal elemento estrutural é uma camada de base em material granular.
- Pavimentos flexíveis cujo principal elemento estrutural é uma camada de base em misturas betuminosas (que em Espanha são designados por semi-flexíveis).
- Pavimentos semi-rígidos, cujo principal elemento estrutural é uma camada de base tratada com cimento.
- Pavimentos rígidos, cujo principal elemento estrutural é constituído por uma camada de betão de cimento, que desempenha simultaneamente a função de camada de desgaste.

### **Pavimento flexível com base em materiais granulares**

Estes pavimentos caracterizam-se por terem camadas de base e de sub-base em materiais granulares não ligados, sobre as quais assenta um tratamento superficial ou camadas de misturas betuminosas com espessura total inferior a 0,15 m.

Neste tipo de pavimentos, as camadas granulares constituem o principal elemento resistente da estrutura. A camada de desgaste tem como principal função impermeabilizar o pavimento, resistir ao desgaste produzido pelos rodados dos veículos e proporcionar uma superfície de circulação cómoda e segura.

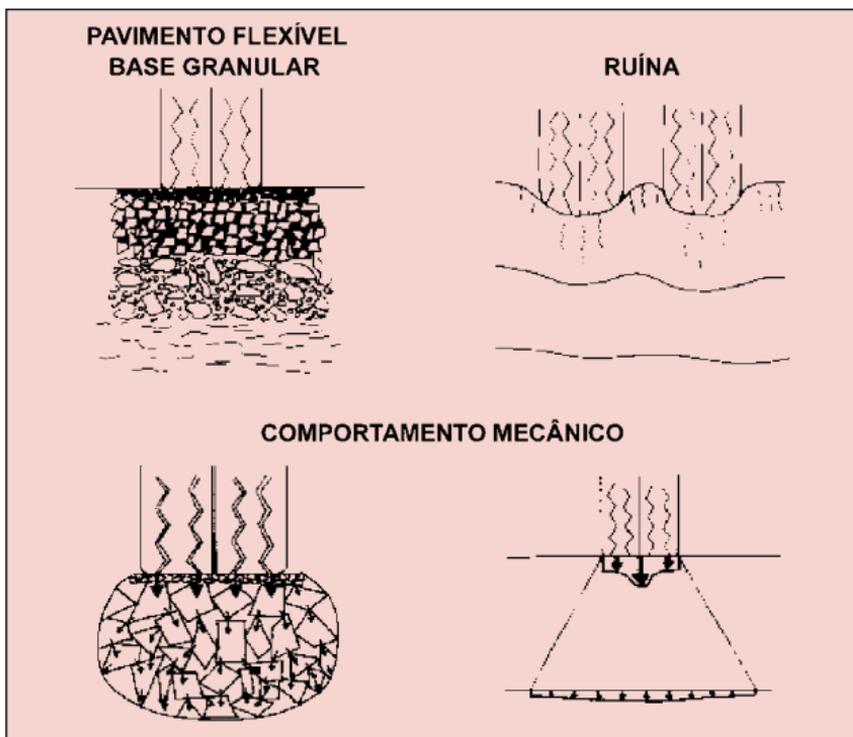
As camadas granulares devem resistir às acções induzidas pelo tráfego e redistribuí-las pela camada de fundação, por forma a que possam ser suportadas por esta. Estas camadas trabalham essencialmente por atrito interno entre as partículas do seu esqueleto mineral, pelo que a resistência ao desgaste por atrito dos agregados que as compõem são propriedades essenciais. Quando se empregam agregados pouco resistentes, ocorre a produção de finos em excesso, o que tem como consequência o aumento da deformabilidade das camadas.

Por outro lado, é conveniente que as camadas inferiores do pavimento sejam tão permeáveis quanto possível, para que possam proporcionar a saída da água infiltrada no pavimento.

Trata-se de pavimentos cujas camadas se caracterizam de baixo para cima, por uma capacidade de suporte crescente e uma permeabilidade decrescente.

Quando as camadas betuminosas que revestem as camadas de base têm espessuras reduzidas (tipicamente abaixo de 40 mm), o mecanismo de ruína predominante neste tipo de pavimentos é a deformação excessiva. Como consequência das sucessivas aplicações de cargas, o pavimento vai-se deformando, em especial na zona das rodeiras, até alcançar limites inaceitáveis.

Os pavimentos flexíveis com base em materiais granulares podem também atingir a ruína através do fendilhamento por fadiga das camadas betuminosas, em especial quando as espessuras destas são superiores a 40 mm e as camadas subjacentes de materiais granulares possuem alguma deformabilidade, o que dá origem a que as camadas do revestimento betuminoso trabalhem em flexão. Neste caso, a repetida aplicação de cargas poderá resultar em fendilhamento de malha fina (tipo “pele de crocodilo”) das camadas betuminosas, associado a fendas longitudinais e deformações, em especial na zona da rodeira exterior do pavimento.



*Pavimentos flexíveis (base granular).*

Para além das degradações anteriormente referidas, que correspondem à sua ruína estrutural, neste tipo de pavimentos também se observam outros tipos de degradações, originados essencialmente à superfície, que podem ter repercussões negativas sobre o nível de serviço prestado aos utilizadores. Deste tipo de degradações, destacam-se as seguintes:

- Perda de microtextura (polimento do agregado grosso).
- Perda de macrotextura (incrustação das gravilhas e exsudação do ligante betuminoso).
- Ninhos e peladas.
- Desagregação superficial (desprendimento de agregados).
- Deformações da camada de desgaste (rodeiras, ondulações da superfície, deslizamento da camada).
- Ninhos.
- Fendas de diversos tipos (juntas, fendas transversais, fendas parabólicas, fendas erráticas).

Estes tipos de degradações são devidos essencialmente à acção abrasiva do tráfego e à acção destrutiva de envelhecimento induzida pelos agentes atmosféricos, podendo também ter como causa o emprego de materiais inadequados ou deficiências de execução.

Por último, referem-se as deformações localizadas atribuídas a deficiências de drenagem ou à degradação ou contaminação das camadas inferiores.

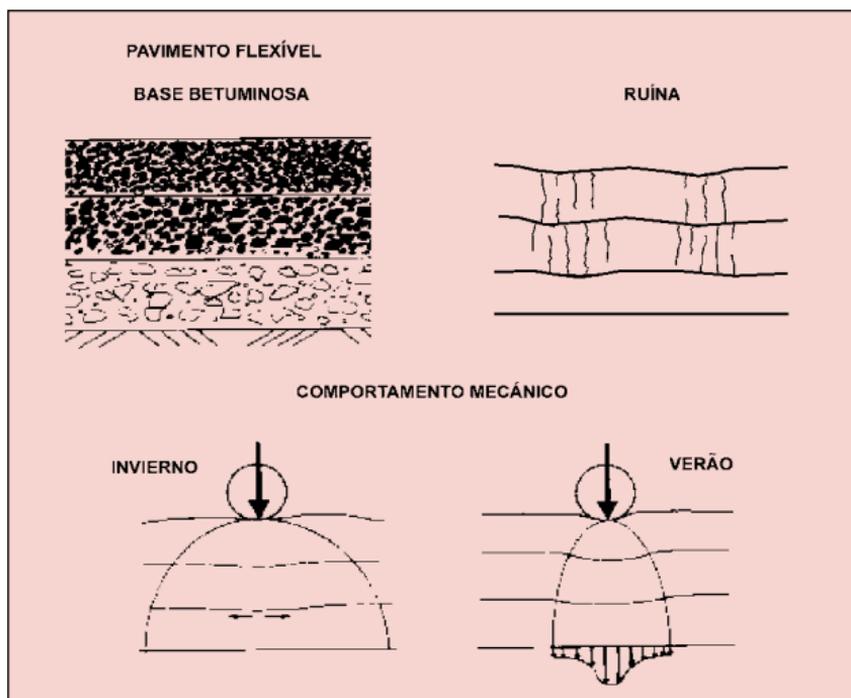
### **Pavimento flexível com base em materiais betuminosos**

Este tipo de pavimentos, empregues em auto-estradas e itinerários principais, em Portugal e também noutros países da Europa e da América do Norte, é constituído por camadas betuminosas com espessura igual ou superior a 150 mm, aplicadas sobre camadas granulares não ligadas.

Nos pavimentos flexíveis com base em materiais betuminosos, a camada de base trabalha em flexão diminuindo significativamente o nível das tensões transmitidas à fundação, quando a sua rigidez é relativamente elevada, podendo também comportar-se como uma camada mais flexível, transmitindo assim tensões mais elevadas à camada de fundação.

Na primeira situação, o mecanismo de ruína geralmente preponderante é o fendilhamento por fadiga das camadas betuminosas (pele de crocodilo), enquanto que na segunda situação pode ser preponderante a ruína por deformação excessiva à superfície, que resulta da contribuição das diversas camadas do pavimento e respectiva fundação.

Devido às características particulares das camadas betuminosas e à sua susceptibilidade térmica, na previsão do comportamento e no dimensionamento deste tipo de pavimentos há que considerar ambos os mecanismos de ruína, já que, na prática, ambos podem ocorrer conjuntamente.



*Pavimentos flexíveis (base betuminosa).*

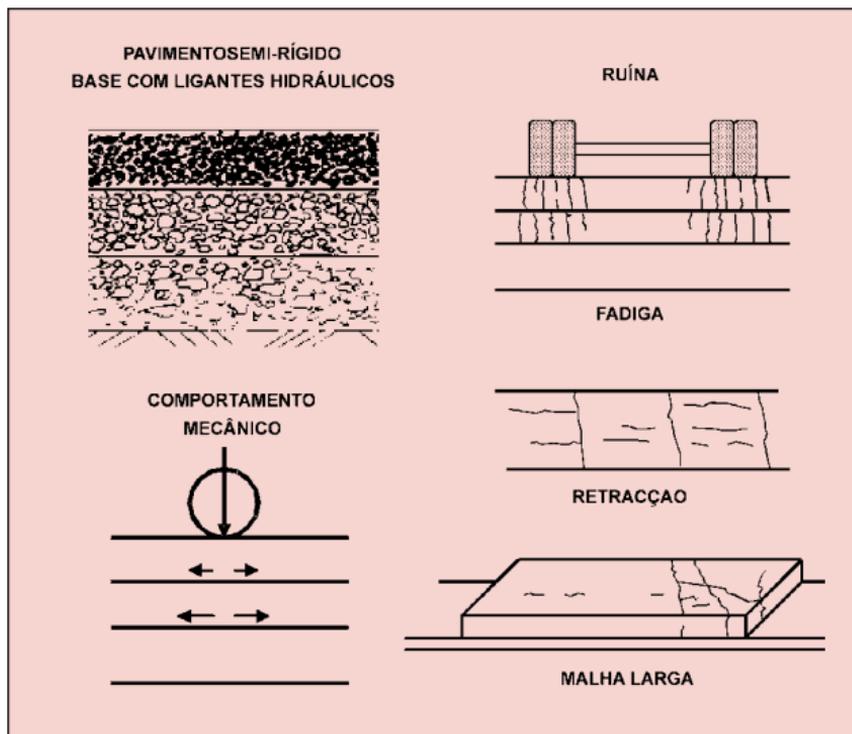
Outro mecanismo de degradação a considerar neste tipo de pavimentos é o fendilhamento por retracção térmica. Ainda que tal não se verifique de uma maneira geral em Portugal, em climas muito frios este mecanismo de ruína deve ser considerado, tendo em atenção a retracção térmica e a resistência à tracção da mistura betuminosa.

Neste tipo de pavimentos, pode ainda ocorrer fendilhamento em malha larga, frequentemente, associado a deficiências de formulação das misturas betuminosas ou à falta de ligação entre estas camadas e as camadas granulares subjacentes. Recentemente têm surgido situações de fendilhamento com origem à superfície do pavimento, que se julga estarem relacionadas com composição da mistura betuminosa e / ou com as acções dos agentes atmosféricos combinadas com as acções do tráfego.

No que se refere às degradações da superfície, estas são essencialmente do mesmo tipo das referidas anteriormente, sendo também originadas pelos mesmos parâmetros, tais como as acções do tráfego e dos agentes atmosféricos, a utilização de materiais inadequados ou as deficiências de construção.

## Pavimento semi-rígido (base tratada com ligantes hidráulicos)

O pavimento semi-rígido distingue-se dos dois tipos de pavimentos flexíveis anteriormente referidos, por ter uma maior rigidez das camadas que o constituem, em particular da camada de base. Esta camada é constituída por um material granular tratado com ligante hidráulico ou pozolânico. O pavimento é constituído por uma ou mais camadas de misturas betuminosas (camada de desgaste e camada intermédia) e a sub-base é habitualmente constituída por um material granular, estabilizado na maioria dos casos.



*Pavimentos semi-rígidos (base tratada com ligantes hidráulicos).*

Neste tipo de pavimentos é essencialmente a camada de base que, devido à sua elevada rigidez, absorve os esforços induzidos pela passagem dos veículos, reduzindo assim, de forma significativa, as tensões transmitidas à fundação. A ruína estrutural destes pavimentos é causada pelos esforços de tracção em flexão a que é submetida a camada de base, cuja repetição conduz ao seu fendilhamento por fadiga. Este mecanismo de ruína manifesta-se com o aparecimento à superfície de fendas que tendem a formar uma malha fina. Importa destacar que neste tipo de pavimentos, pequenas variações da espessura da camada de base implicam grandes variações na vida útil do pavimento.

Outro mecanismo de ruína que ocorre frequentemente neste tipo de pavimentos é a reflexão à superfície das fendas de retracção que ocorrem nas camadas tratadas com ligantes hidráulicos ou pozolânicos. A existência de tais fendas, ao propiciar a penetração de água no interior das camadas do pavimento, pode contribuir significativamente para a sua ruína estrutural prematura. A reflexão de fendas é induzida por dois tipos de acções: as acções térmicas, que provocam a abertura e fecho das fendas das camadas inferiores, induzindo tracções nas camadas superiores, não fendilhadas e; as acções induzidas pela passagem dos rodados dos veículos, que induzem esforços de corte e de tracção nas camadas betuminosas superiores nas proximidades das fendas.

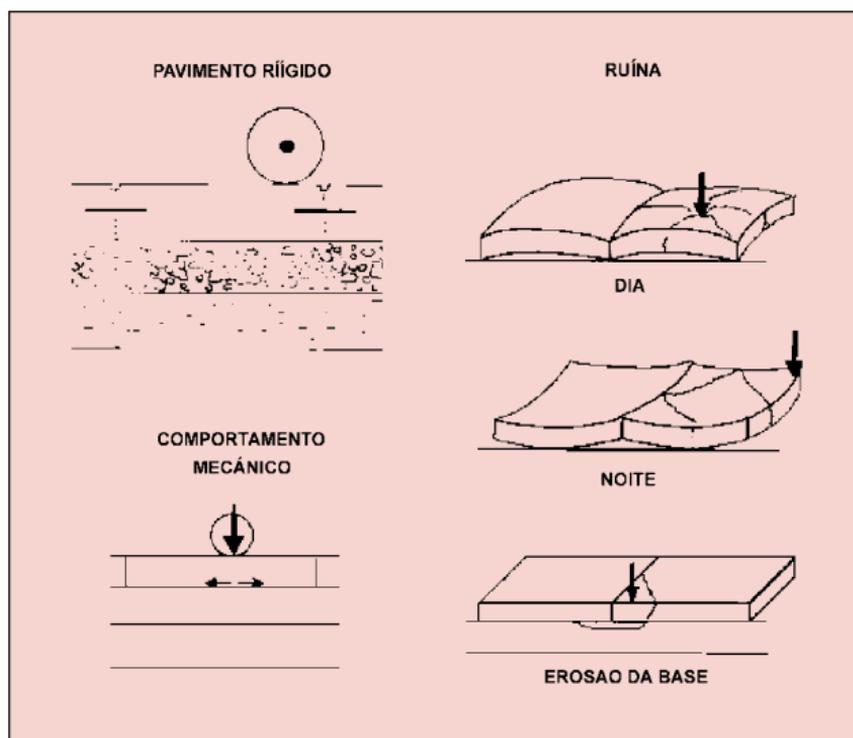
Nos pavimentos semi-rígidos pode ainda produzir-se fendilhamento em malha larga nas camadas betuminosas, com exsurgência de leitada. Este tipo de ruína está associado á falta de coesão do material tratado. Quando este material é de má qualidade, ou quando houve deficiências na sua aplicação em obra, pode não chegar a adquirir coesão suficiente, comportando-se como um material granular não tratado. Isto traduz-se no aumento das tensões a que são submetidas as camadas betuminosas, podendo fendilhar por fadiga.

A perda de aderência entre as camadas de mistura betuminosa e a base tratada pode também ser uma causa de degradação deste tipo de pavimentos, com o aparecimento de ninhos, fendas, desprendimento de materiais, etc. Este tipo de ruína pode estar associado ao sub-dimensionamento das camadas do pavimento, a deficiências da execução ou à permeabilidade das camadas superiores (por exemplo, se existirem fendas nestas camadas), que proporciona o acesso da água à interface entre as camadas betuminosas e as camadas tratadas.

Quanto às degradações de superfície, ocorrem nestes pavimentos os mesmos fenómenos que nos pavimentos flexíveis anteriormente referidos, havendo a assinalar ainda o aparecimento de fendas transversais na camada de desgaste, geralmente afastadas de 3 a 4 m, resultantes da propagação das fendas de retracção da camada tratada, a que já se fez referência anteriormente.

Neste tipo de pavimento a laje de betão desempenha simultaneamente as funções de camada de desgaste e de camada de base. A camada intermédia tem como principal função proporcionar à laje de betão uma superfície de apoio adequada e facilitar a sua construção. Existem diversos tipos de pavimentos rígidos, designadamente os seguintes:

- Os pavimentos de betão simples com lajes curtas, com dimensões de 3 a 5 m, com juntas com ou sem dispositivos de transferência de cargas (passadores).
- Os pavimentos de betão armado com lajes de maiores dimensões, com juntas com dispositivos de transferência de cargas.
- Os pavimentos de betão armado contínuo (BAC).
- Os pavimentos de betão pré-esforçado.



### *Pavimento rígido (betão de cimento)*

*Um pavimento rígido é constituído por uma laje de betão, que pode ser colocada directamente sobre a fundação ou sobre uma ou mais camadas de suporte (base / subbase) que pode(m) ser ou não aglutinadas com ligante. Embora teoricamente a laje possa ser aplicada directamente sobre a fundação, tal não é desejável, uma vez que o facto de a laje ter um apoio relativamente uniforme e resistente á erosão é essencial para garantir a durabilidade do pavimento.*

O mecanismo de degradação considerado para efeitos de dimensionamento deste tipo de pavimentos é o fendilhamento por fadiga da laje de betão. No entanto, não é este o tipo de degradação mais frequente nos pavimentos rígidos, mas sim as degradações de superfície, que afectam essencialmente as condições de circulação dos veículos. Estes defeitos estão associados ao estado das juntas, ao estado da superfície do betão e aos deslocamentos entre lajes adjacentes (escalonamento).

No que se refere às juntas, observa-se o destacamento do produto de selagem e o seu envelhecimento, que o torna frágil e degradável; pode ainda observar-se o lasqueamento da junta. Nas lajes de betão, podem ocorrer peladas, lasqueamentos ou perdas de agregado grosso, em consequência da acção abrasiva do tráfego e dos agentes atmosféricos, ou como resultado do emprego de materiais de qualidade inferior.

Podem ainda ocorrer fendas de retracção nas lajes de betão quando há atraso na serragem das juntas de retracção, bem como fendas de canto devido ao deficiente apoio das lajes ou à sua sobrecarga.

Por último, o escalonamento entre lajes é devido a uma degradação das suas condições de apoio, frequentemente originada por fenómenos de erosão e bombagem nas camadas subjacentes, provocando o basculamento das lajes.

Quando se utilizam pavimentos de betão armado contínuo, a generalidade dos defeitos anteriormente referidos é minimizada, a menos que se utilizem práticas construtivas inadequadas.

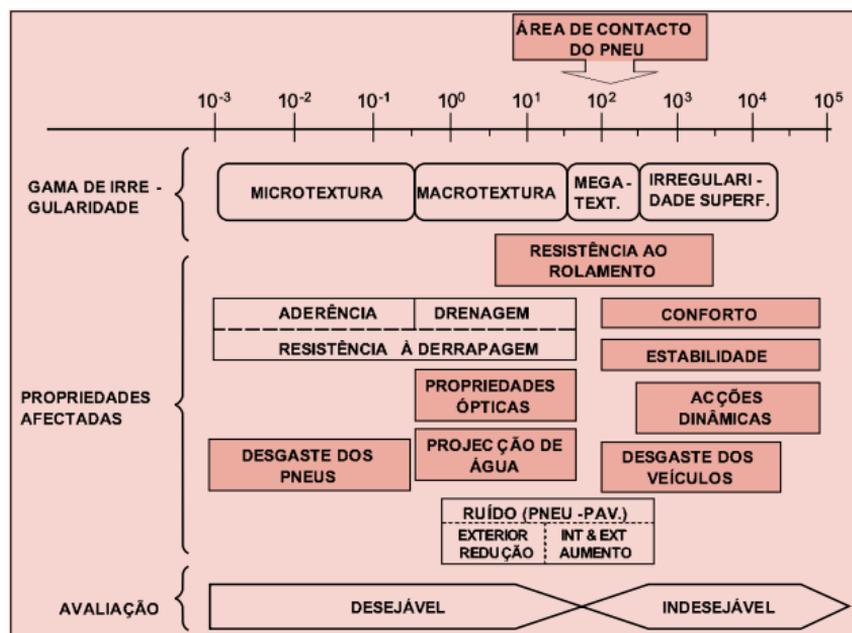
## **2.2 Características funcionais**

As características funcionais de um pavimento são condicionadas essencialmente pela sua superfície. O acabamento da superfície e os materiais que nela são aplicados influenciam significativamente aspectos importantes e preocupantes para os utilizadores, tais como:

- A aderência entre o pneu e o pavimento.
- A projecção de água em tempo de chuva.
- O desgaste dos pneus.
- O ruído no exterior e no interior do veículo.
- A comodidade e a estabilidade durante a circulação.
- As acções dinâmicas do tráfego.
- A resistência ao rolamento (economia de combustíveis).
- O desgaste dos veículos.
- As propriedades ópticas.

Estes aspectos funcionais do pavimento estão principalmente associados à sua textura e regularidade superficial. Na figura seguinte pode observar-se a incidência de cada um destes factores sobre a qualidade do pavimento. Relativamente à textura é usual distinguir entre a microtextura, que corresponde às irregularidades superficiais do pavimento inferiores a 0,5 mm, a macrotextura, correspondente às irregularidades entre 0,5 e 50 mm, e a megatextura, correspondentes a ordens de grandeza de 50 a 500 mm. A primeira define a aspereza da superfície, a segunda a sua rugosidade e a terceira, está associada a degradações superficiais como ninhos e peladas. Por sua vez, a irregularidade superficial está associada a ondulações de comprimento de onda superior a 0,5 m.

Como se pode observar na figura referida, a microtextura, ou seja, a aspereza do pavimento, é necessária para se conseguir uma boa aderência. A macrotextura é necessária para manter essa aderência a velocidades elevadas, ou com o pavimento molhado. A macrotextura contribui também para melhorar a visibilidade em condições de piso molhado, elimina ou reduz os fenómenos de reflexão da luz que têm lugar nos pavimentos lisos molhados, e melhora a percepção das marcas de sinalização horizontal.



*Efeito das propriedades da superfície sobre as características funcionais dos pavimentos.*

A megatextura e a falta de regularidade superficial são características indesejáveis, de qualquer ponto de vista. Incidem negativamente sobre o conforto e aumentam o ruído de rolamento, os gastos com a manutenção dos veículos e os gastos com a conservação do pavimento.

### 2.2.1. Especificações relativas a características funcionais

Nos Cadernos de Encargos (CE) tipo da EP actualmente em vigor (JAE, 1998), que adiante se designa simplesmente por CE EP são estabelecidas exigências relativas à regularidade da superfície para novas construções. São ainda fornecidas algumas recomendações relativas à regularidade das camadas subjacentes à de desgaste, cujo cumprimento contribui para que se obtenha uma boa regularidade à superfície. As referidas exigências são expressas em termos das percentagens de extensão de determinado troço para as quais se devem verificar valores do Índice de Irregularidade Internacional (IRI) inferiores a determinados limites, e transcrevem-se no quadro seguinte.<sup>(\*)</sup>

*Valores admissíveis de IRI (m/km), calculados por troços de 100 metros em pavimentos com camadas de desgaste betuminosas (JAE, 1998)*

Camada	Percentagem da extensão da obra		
	50%	80%	100%
Camada de desgaste	≤ 1,5	≤ 2,5	≤ 3,0
1ª camada sob a camada de desgaste	≤ 2,5	≤ 3,5	≤ 4,5
2ª camada e seguintes sob a camada de desgaste	≤ 3,5	≤ 5,0	≤ 6,5

*Valores admissíveis de IRI (m/km), calculados por troços de 100 metros em pavimentos rígidos (JAE, 1998)*

Camada	Percentagem da extensão da obra		
	50%	75%	90%
Camada de desgaste	≤ 2,0	≤ 2,5	≤ 3,0

No quadro seguinte indicam-se as exigências expressas no CE da EP para as características anti-derrapantes das camadas de desgaste, para os tipos de misturas betuminosas mais utilizados em Portugal.

<sup>(\*)</sup> Embora não seja referido no CE qual a extensão de cada lote a analisar, recomenda-se que a análise seja efectuada por lotes de 1000 m.

*Exigências relativas a características anti-derrapantes das camadas de desgaste (JAE, 1998)*

Tipo de mistura betuminosa	Profundidade de textura (mm)	Coeficiente de atrito	
	Método da mancha de areia	SCRIM (50km/h)	Pêndulo Britânico
Betão betuminoso	Aa > 0,6	0,40	0,55
Betão betuminoso drenante	Aa > 1,2		
Microbetão rugoso	Aa > 1,0		

# 3

## Dimensionamento de pavimentos

Os materiais a utilizar e as espessuras das camadas do pavimento de uma estrada devem ser fixados em função do tráfego que esta deverá suportar e das características do solo de fundação que lhe servirá de suporte. Para além disso, deve-se ter em conta as condições climáticas da zona em que se insere a estrada e as características dos materiais a empregar na sua construção. As variáveis de projecto a considerar são portanto:

- **O tráfego:** variável de projecto que deve compreender o volume de tráfego, a sua composição, o seu crescimento e o período de vida do projecto.
- **Condições de fundação:** capacidade de suporte da fundação sobre a qual assenta o pavimento. Depende da natureza e das propriedades dos solos empregues na construção da plataforma e das condições de drenagem.
- **Materiais:** Existe uma grande variedade de materiais e processos construtivos que podem ser empregues na construção do pavimento, devendo ter-se em conta os materiais disponíveis nas proximidades da obra.
- **Condições climáticas:** as condições ambientais a que está submetido o pavimento (precipitação e temperatura) têm uma grande influência no seu comportamento.

Os métodos de dimensionamento de pavimentos destinam-se a fixar os materiais a empregar e as espessuras das camadas dos pavimentos tendo em atenção as variáveis de projecto. Estes métodos podem-se classificar em dois grupos, consoante a forma como foram estabelecidos: os métodos empíricos, baseados exclusivamente na observação do comportamento de pavimentos de troços experimentais, e os métodos analíticos, que têm como base a modelação do comportamento dos pavimentos, relacionando os estados de tensão e de deformação induzidos pelo tráfego e pelas acções climáticas com o desenvolvimento de degradações estruturais.

A partir da aplicação de métodos analíticos, algumas Administrações Rodoviárias, designadamente a Portuguesa (actualmente Estradas de Portugal, EP) têm vindo a estabelecer procedimentos mais simplificados para a concepção dos pavimentos, recorrendo à elaboração de catálogos de secções de pavimentos, aos quais está subjacente a aplicação de determinado método de dimensionamento, e a experiência da própria Administração.

Em Portugal, foi desenvolvido em 1995 um Manual de Concepção de Pavimentos para Rede Rodoviária Nacional (JAE, 1995), que inclui um catálogo de secções de pavimento e que adiante se passa a designar simplesmente como Manual de Concepção de Pavimentos.

A utilização desse catálogo de secções de pavimento tem como vantagem a sistematização de soluções de referência para as estruturas de pavimentos, tendo em conta a experiência adquirida pela Administração. Não deve, no entanto, ser encarada como uma restrição à liberdade do projectista para propor a adopção de soluções não contempladas no catálogo, que porventura sejam consideradas mais adequadas face às variáveis de projecto. Observa-se que, o próprio Manual de Concepção de Pavimentos recomenda que na fase de projecto de execução se proceda ao dimensionamento dos pavimentos pela metodologia da análise estrutural.

### **3.1. Manual de Concepção de Pavimentos**

#### **3.1.1. Tráfego**

Para efeitos de verificação do dimensionamento de pavimentos rodoviários apenas se consideram as acções induzidas pelos veículos pesados, uma vez que são estas que induzem o fendilhamento e a deformação das camadas do pavimento. O dano induzido por cada veículo pesado depende da carga por eixo e da respectiva configuração.

Consideram-se como veículos pesados os veículos com peso bruto superior ou igual a 300 kN, incluindo autocarros e camiões com ou sem reboque ou semi-reboque.

Tendo em vista a verificação do dimensionamento dos pavimentos rodoviários, é usual exprimir os efeitos do tráfego pesado acumulado ao longo do período de dimensionamento em termos de número equivalente de eixos padrão, sendo adoptados, no Manual de Concepção de Pavimentos, eixos padrão de 80 kN para pavimentos flexíveis, e de 130 kN para pavimentos semi-rígidos e rígidos. Actualmente é habitual utilizar também o eixo padrão de 130 kN para a verificação do dimensionamento de pavimentos flexíveis por via analítica.

O período de dimensionamento considerado para a elaboração do catálogo de pavimentos é de 20 anos para pavimentos flexíveis e semi-rígidos e de 30 anos para pavimentos rígidos.

A consideração do tráfego no dimensionamento dos pavimentos é simplificada no Manual de Concepção de Pavimentos através da adopção de classes de tráfego pesado, que são definidas a partir do Tráfego Médio Diário Anual de veículos pesados (TMDAp) no ano de abertura ao tráfego, por sentido e na via mais solicitada, que se apresentam no quadro seguinte. Para cada classe de tráfego é assumida uma determinada taxa de crescimento anual e uma determinada composição do tráfego, que é traduzida através de um factor de agressividade que se utiliza para converter número de passagens de veículos pesados em número equivalente de passagens de eixos padrão.

Caracterização das classes de tráfego consideradas no Manual de Concepção de Pavimentos

Classe	TMDAp	Taxa de crescimento anual (%) <sup>a</sup>	Factores de agressividade		
			Pavimentos flexíveis		Pavimentos rígidos e semi-rígidos
			Eixo 80 kN <sup>b</sup>	Eixo 130 kN <sup>c</sup>	Eixo 130 kN <sup>b</sup>
T <sub>7</sub>	< 50		Estudo específico		
T <sub>6</sub>	50 - 150	3	2	0,3	0,5
T <sub>5</sub>	150 - 300		3	0,4	0,6
T <sub>4</sub>	300 - 500	4	4	0,6	0,7
T <sub>3</sub>	500 - 800		4,5	0,7	0,8
T <sub>2</sub>	800 - 1200	5	5	0,7	0,9
T <sub>1</sub>	1200 - 2000		5,5	0,8	1,0
T <sub>0</sub>	> 2000		Estudo específico		

(a) Taxa de crescimento recomendada nos casos em que não existem elementos adicionais relativos à previsão de crescimento

(b) Factor de agressividade ( $\alpha$ ) proposto no Manual de Concepção

(c) Factor de agressividade calculado a partir do valor proposto no Manual de Concepção para eixos de 80kN (80) através da expressão:

$$\alpha_{130} = \alpha_{80} \times \left( \frac{80}{130} \right)^4$$

No caso de não existirem elementos adicionais, a determinação do TMDAp por sentido, na via mais solicitada, é efectuada considerando 50% do tráfego em cada sentido. Quando exista mais de uma via por sentido, consideram-se as percentagens indicadas no quadro seguinte, para a via mais solicitada.

*Distribuição do tráfego por vias, quando existe mais de uma via por sentido (JAE, 1995)*

Nº de vias por sentido	% do tráfego por sentido na via mais solicitada
2	90
3 ou mais	80

### 3.1.2. Fundação do Pavimento.

Entende-se por fundação de um pavimento o conjunto das camadas onde este está apoiado, incluindo, para além da camada de leito do pavimento, os terrenos subjacentes.

#### 3.1.2.1. Classes de fundação

O Manual de Concepção de Pavimentos estabelece quatro classes de fundação de pavimentos, caracterizadas através do respectivo módulo de deformabilidade. Este Manual preconiza, para as vias mais solicitadas (classes de tráfego superiores), o cumprimento de exigências mínimas para a fundação dos respectivos pavimentos. No quadro seguinte transcreve-se a definição das classes de fundação apresentada no Manual. As condições de fundação dos pavimentos são influenciadas predominantemente pelas características dos solos da parte superior das terraplenagens (até cerca de 1 m) e do leito de pavimento.

*Definição das classes de fundação (JAE, 1995)*

Classe de fundação	Módulo da fundação, $E_f$ (MPa)		Classes de tráfego
	Gama	Valor de cálculo	
F <sub>1</sub>	30 < $E_f$ ≤ 50	30	T <sub>5</sub> T <sub>6</sub>
F <sub>2</sub>	50 < $E_f$ ≤ 80	60	T <sub>3</sub> T <sub>4</sub> T <sub>5</sub> T <sub>6</sub>
F <sub>3</sub>	80 < $E_f$ ≤ 150	100	T <sub>1</sub> T <sub>2</sub> T <sub>3</sub> T <sub>4</sub> T <sub>5</sub> T <sub>6</sub>
F <sub>4</sub>	$E_f$ > 150	150	T <sub>1</sub> T <sub>2</sub> T <sub>3</sub> T <sub>4</sub> T <sub>5</sub> T <sub>6</sub>

A classe de fundação de um pavimento será função dos solos encontrados na linha, dos materiais e processos construtivos utilizados para execução das terraplenagens e para a execução do leito de pavimento. Para efeitos de avaliação dos seus possíveis tipos de reutilização em obras de terraplenagem e de atribuição de classes de fundação, os solos usualmente encontrados estão agrupados em classes, cujo comportamento mecânico é expresso através do respectivo valor de CBR para as condições mais desfavoráveis previsíveis em obra e após entrada em serviço.

Classificação dos solos (JAE 1995)

Classe	CBR (%)	Tipo de solo (ASTM D2487)	Descrição
S <sub>0</sub>	< 3	OL	Siltos orgânicos e siltos argilosos orgânicos de baixa plasticidade
		OH	Argilas orgânicas de plasticidade média a elevada; siltos orgânicos
		CH	Argilas inorgânicas de plasticidade elevada; argilas gordas
		MH	Siltos inorgânicos; areias finas micáceas; siltos micáceos
S <sub>1</sub>	3 ≤ CBR < 5	OL	Siltos orgânicos e siltos argilosos orgânicos de baixa plasticidade
		OH	Argilas orgânicas de plasticidade média a elevada; siltos orgânicos
		CH	Argilas inorgânicas de plasticidade elevada; argilas gordas
		MH	Siltos inorgânicos; areias finas micáceas; siltos micáceos
S <sub>2</sub>	5 ≤ CBR < 10	CH	Argilas inorgânicas de plasticidade elevada; argilas gordas
		MH	Siltos inorgânicos; areias finas micáceas; siltos micáceos
		CL	Argilas inorgânicas de plasticidade baixa a média; argilas com seixo, argilas arenosas; argilas siltosas e argilas magras
		ML	Siltos inorgânicos e areias muito finas; areias finas, siltosas ou argilosas; siltos argilosos de baixa plasticidade
		SC	Areia argilosa; areia argilosa com cascalho
S <sub>3</sub>	10 ≤ CBR < 20	SC	Areia argilosa; areia argilosa com cascalho
		SM	Areia siltosa; areia siltosa com cascalho
		SP	Areias mal graduadas; areias mal graduadas com cascalho
S <sub>4</sub>	20 ≤ CBR < 40	SW	Areias bem graduadas; areias bem graduadas com cascalho
		GC	Cascalho argiloso; cascalho argiloso com areia
		GM-u	Cascalho siltoso; cascalho siltoso com areia
		GP	Cascalho mal graduado; cascalho mal graduado com areia
S <sub>5</sub>	≥ 40	GM-d	Cascalho siltoso; cascalho siltoso com areia
		GP	Cascalho mal graduado; cascalho mal graduado com areia
		GW	Cascalho bem graduado; cascalho bem graduado com areia

Para além das classes de solos anteriormente apresentadas, são ainda definidas duas classes de solos tratados in situ, definidas de acordo com os seguintes critérios:

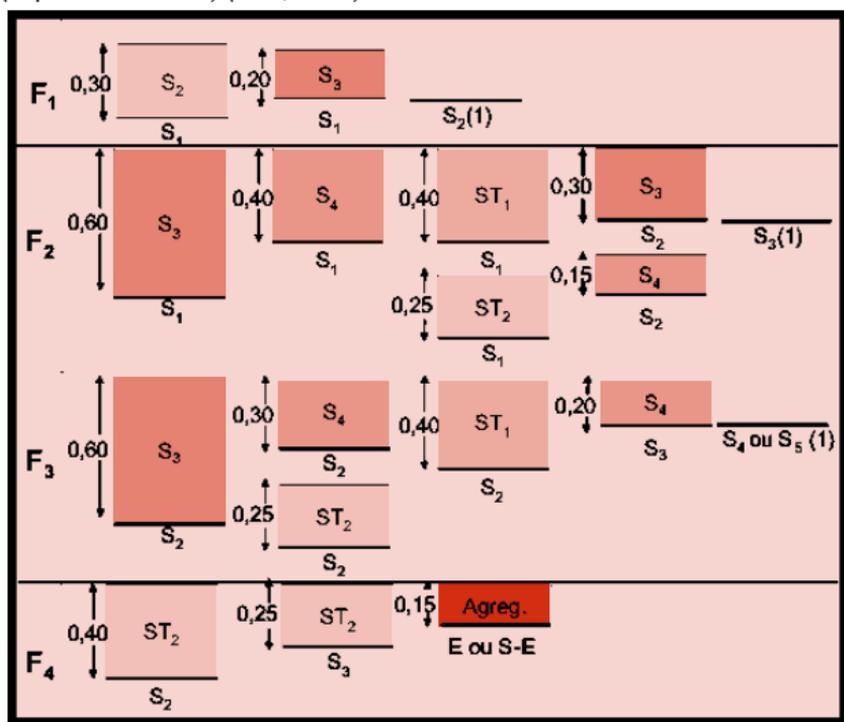
*Classificação de solos tratados in situ (JAE, 1995)*

Classe	Tipo de material	Características
ST 1	Solo tratado com cal	$CBR_{im} > 8\%$
ST 2	Solo tratado com cimento (eventualmente com cal)	$CBR_{im} > 15\%$ $Rcd (28 \text{ dias}) > 0,2 \text{ MPa}$

$CBR_{im}$  – CBR imediato determinado em laboratório, sem sobrecargas e sem embebição;  
 $Rcd (28 \text{ dias})$  – Resistência à tração em compressão diametral aos 28 dias.

No quadro seguinte, indicam-se os materiais a empregar na constituição do leito do pavimento e respectivas espessuras, por forma a obter as classes de fundação anteriormente definidas.

*Materiais a aplicar no leito do pavimento e clases de resistência resultantes (espessuras em m) (JAE, 1995)*

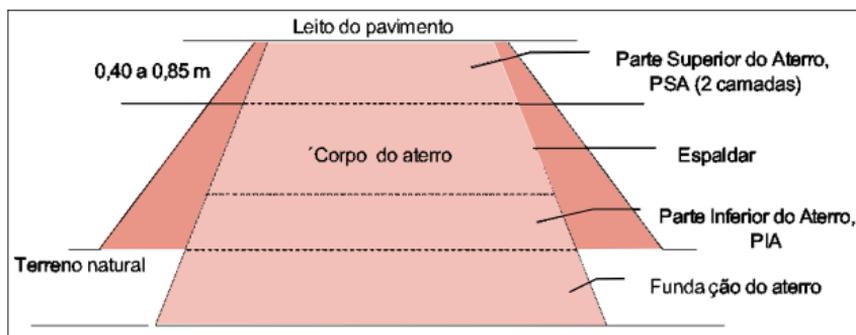


E – Enrocamento (aterro); SE – Solo-enrocamento (aterro)

(1) Em escavação, o solo deve ser escarificado e recompactado, por forma a garantir uma espessura final de 0,30 m bem compactada

### 3.1.2.2. Materiais para terraplenagens. Exigências

As exigências e tipos de materiais a aplicar na execução das terraplenagens podem variar consoante o local onde são aplicados, em especial no caso dos aterros. Em função da sua qualidade e eventual tipo de tratamento, os solos encontrados na linha podem ser aplicados em diversas partes da fundação dos pavimentos (ver figura seguinte). Na construção do corpo dos aterros podem ainda ser utilizados materiais pétreos (enrocamentos) ou misturas de solo-enrocamento.



### Solos

No quadro seguinte apresentam-se as regras gerais preconizadas no CE EP (JAE, 1998), para a utilização dos diversos tipos de solos anteriormente referidos em trabalhos de terraplenagem, leitos de pavimento e camadas de sub-base.

Recomendações relativas à reutilização de solos (JAE, 1998)

Classe	CBR (%)	Tipo de solo (ASTM D2487)	Reutilização em aterros			Leito	Sub-base
			PIA	Corpo	PSA		
S <sub>0</sub>	≤ 3	OL	N	N	N	N	N
		OH	N	P	N	N	N
		CH	N	P	N	N	N
		MH	N	P	N	N	N
S <sub>1</sub>	3 ≤ CBR < 5	OL	N	S	N	N	N
		OH	N	S	N	N	N
		CH	N	S	N	N	N
		MH	N	S	N	N	N
S <sub>2</sub>	5 ≤ CBR < 10	CH	N	S	N	N	N
		MH	N	S	N	N	N
		CL	S	S	P	N	N
		ML	S	S	P	N	N
		SC	S	S	P	P	N
S <sub>3</sub>	10 ≤ CBR < 20	SC	S	S	S	S	N
		SM-d	S	S	S	S	N
		SM-u	P	S	N	N	N
		SP	S	S	S	S	N
S <sub>4</sub>	20 ≤ CBR < 40	SW	S	S	S	S	P
		GC	S	S	S	S	P
		GM-u	P	S	P	P	P
		GP	S	S	S	S	P
S <sub>5</sub>	CBR ≥ 40	GM-d	S	S	S	S	S
		GP	S	S	S	S	S
		GW	S	S	S	S	S

S – Admissível; P – Possível; N – Não Admissível

## Enrocamentos

Os aterros de enrocamento são realizados com materiais pétreos de boa qualidade (rochas sãs), com partículas de dimensões superiores às correspondentes aos solos. Nos enrocamentos é importante controlar a forma das partículas, como meio de garantir a sua estabilidade granulométrica. Apresentam-se em seguida as principais características a exibir pelos materiais aplicados em enrocamentos, de acordo com o CE EP.

*Características dos materiais a aplicar em aterros de enrocamento (JAE, 1998)*

Granulometria	Continua	
	% pasada no peneiro de 25 mm	≤ 30 %
	% pasada no peneiro de 0,074 mm	≤ 12 %
	Dimensão máxima das partículas, D	≤ 2/3 da espessura da camada após compactação ≤ 30 %
Forma	% em massa de partículas alongadas ou lamelares	

O controlo da qualidade dos aterros de enrocamento é realizado com recurso a macro-ensaios com vista à determinação da granulometria e do índice de vazios. O método construtivo a adoptar é verificado através de um aterro experimental, sendo o valor do índice de vazios determinado nesse trecho experimental adoptado como valor de referência a obter em obra. A espessura de cada camada está limitada a 1,0 m, para os materiais provenientes do desmonte de rochas de dureza alta ou média e a 0,60, para os materiais provenientes de rochas brandas.

### Misturas solo-enrocamento

As misturas solo-enrocamento são constituídas por misturas de solos com rocha, frequentemente provenientes do desmonte de rochas brandas, tendo pois características granulométricas intermédias entre as dos solos e dos enrocamentos, de acordo com o indicado no quadro seguinte (JAE, 1998).

*Características dos materiais a aplicar em misturas de solo-enrocamento (JAE, 1998)*

Granulometria	Continua	
	% pasada no peneiro de 19 mm	30% a 70%
	% pasada no peneiro de 0,074 mm	12% a 40%
	Dimensão máxima das partículas, D	≤ 2/3 da espessura da camada após compactação ≤ 0,40 m

De acordo com o CE EP, os materiais tipo solo-enrocamento devem obedecer, na perspectiva da sua reutilização, às especificações exigidas para solos ou para enrocamentos, consoante a fracção analisada.

### **Solos estabilizados in situ**

Os solos estabilizados in situ obtêm-se a partir da mistura do solo com determinada percentagem de cal e / ou de cimento, que permite melhorar as suas características e contribuir para a execução de uma plataforma com capacidade de carga suficiente. Recorre-se à cal para diminuir a plasticidade do solo e ao cimento para aumentar a sua resistência à deformação.

O CE EP define três classes de solos tratados, definidos através das suas propriedades iniciais (antes do tratamento) e finais, de acordo com o seguinte quadro.

*Características dos solos tratados in situ (JAE 1998)*

Classe de solo	CBR <sub>im</sub> (inicial)	CBR <sub>im</sub> (final)
S <sub>0</sub>	< 3%	5%
S <sub>1</sub>	3% a 5%	5% a 15%
S <sub>2</sub>	5% a 8%	7% a 20%

### 3.1.3. Condições climáticas

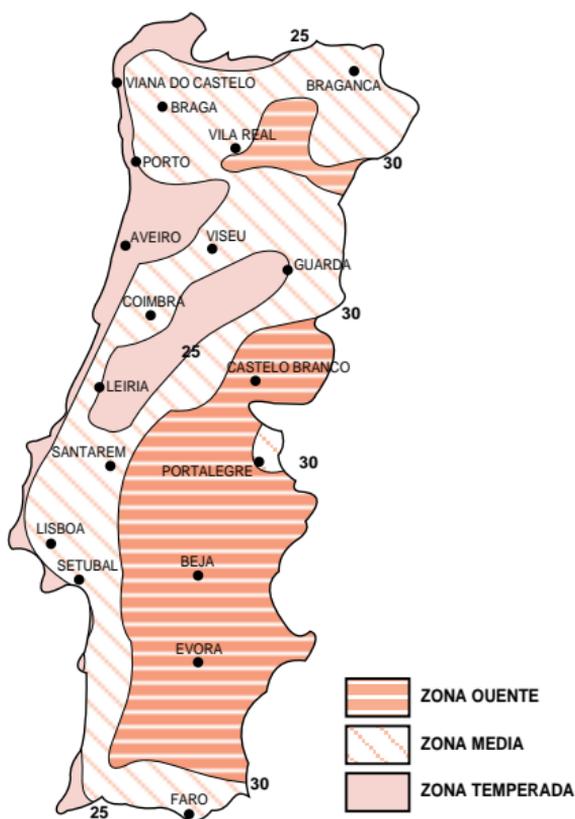
As condições climáticas são um factor importante a ter em conta no dimensionamento de pavimentos, afectando o comportamento dos materiais empregues em pavimentação, e constituindo uma acção a considerar no dimensionamento de pavimentos rígidos e semi-rígidos.

No que se refere ao efeito das condições climáticas no comportamento mecânico dos materiais, os factores considerados mais relevantes são o efeito das condições hídricas no comportamento das camadas de solos e de materiais granulares e o efeito da temperatura no comportamento das misturas betuminosas.

No Manual de Concepção de Pavimentos presume-se a existência de um adequado sistema de drenagem superficial e interna, que permita considerar um comportamento mecânico normal para as camadas de solos e materiais granulares.

Quanto ao efeito da temperatura no comportamento das camadas betuminosas, é considerado o efeito das temperaturas na resistência à deformação permanente das misturas betuminosas, através da divisão do território continental em três zonas, designadas por temperada, média e quente, com base das temperaturas máximas que ocorrem no período estival. A selecção do tipo de betume a empregar nas misturas betuminosas é efectuada em função do tipo de camada e da zona climática.

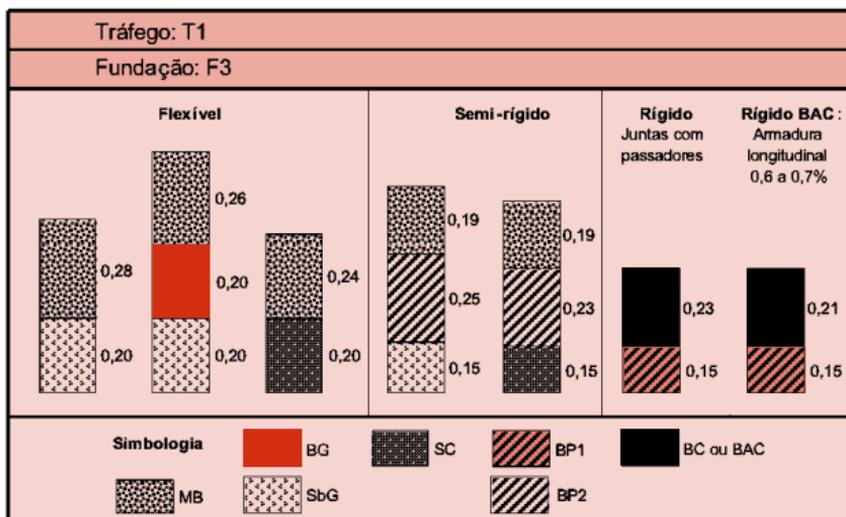
## Zonas climáticas estabelecidas em Portugal Continental (JAE, 1995)



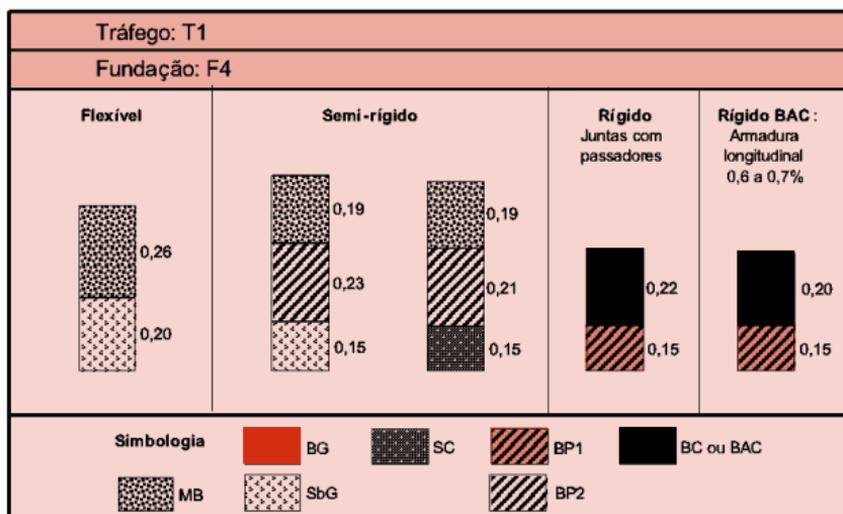
### 3.1.4. Catálogo de estruturas de pavimentos

O Manual de Concepção de Pavimentos (JAE 1995) apresenta, a título indicativo, um conjunto de estruturas tipo a adoptar na fase de estudo prévio para os pavimentos da Rede Rodoviária Nacional. As soluções apresentadas referem-se às condições mais desfavoráveis no âmbito das respectivas classes de tráfego e de fundação, recomendando-se que sejam ajustadas às condições reais na fase de projecto de execução.

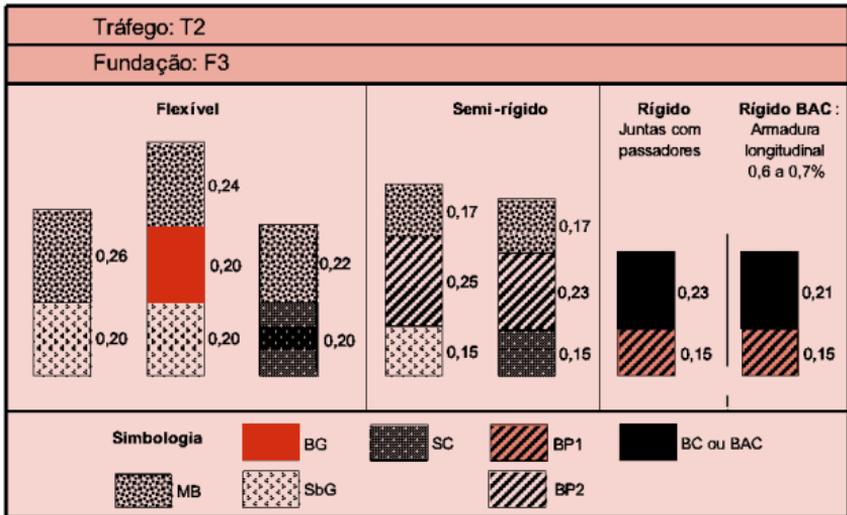
Nas figuras seguintes apresentam-se de forma esquemática as estruturas propostas para pavimentos flexíveis, semi-rígidos e rígidos. Do conjunto de estruturas apresentados no Manual de Concepção, incluem-se ainda as estruturas de pavimento semi-rígido "inverso", não apresentadas neste Manual de Pavimentação.



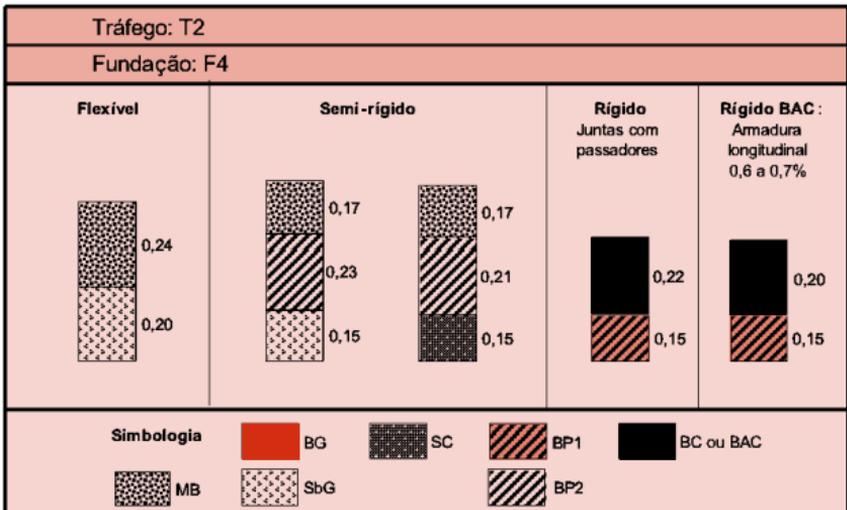
Estruturas de pavimento para a classe T1 (JAE, 1995)



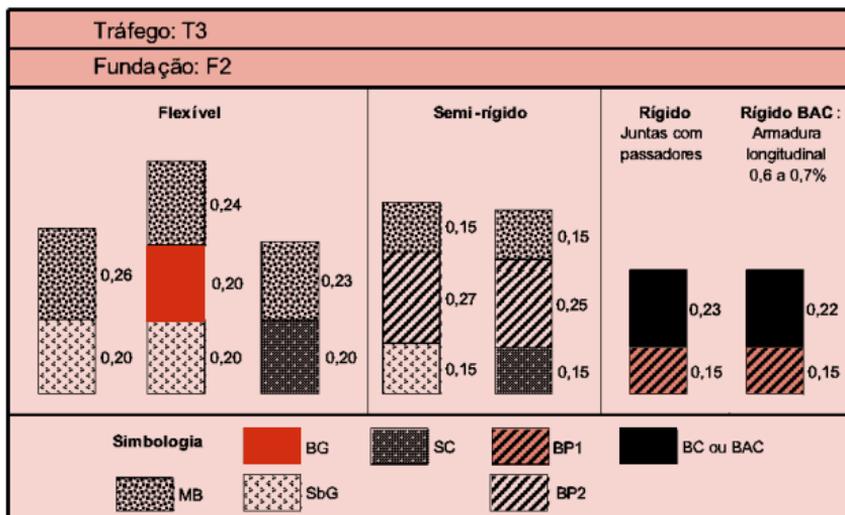
Estruturas de pavimento para a classe de tráfego T1 (cont) (JAE, 1995)



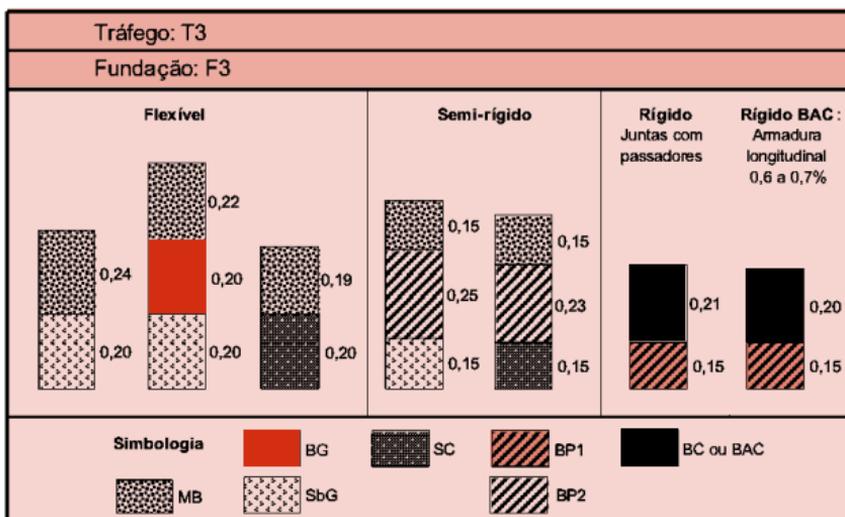
Estruturas de pavimento para a classe de T2 (JAE, 1995)



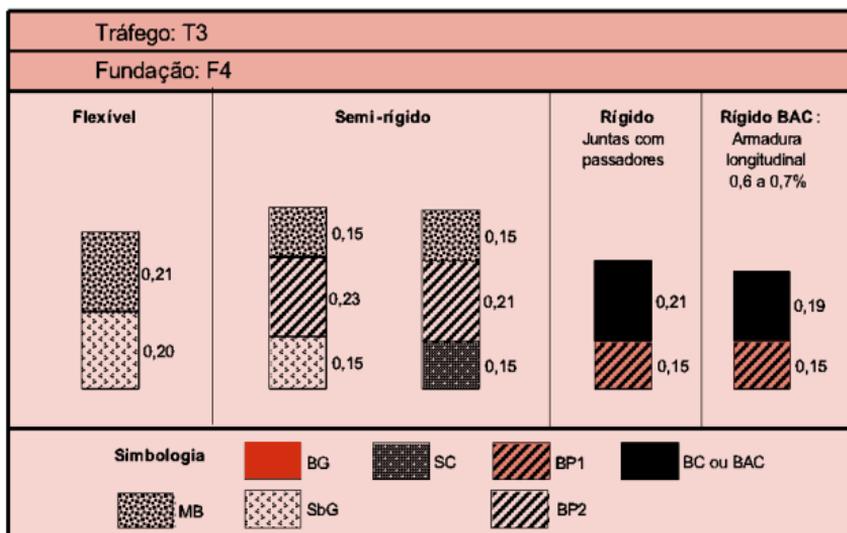
Estruturas de pavimento para a classe de tráfego T2 (cont) (JAE, 1995)



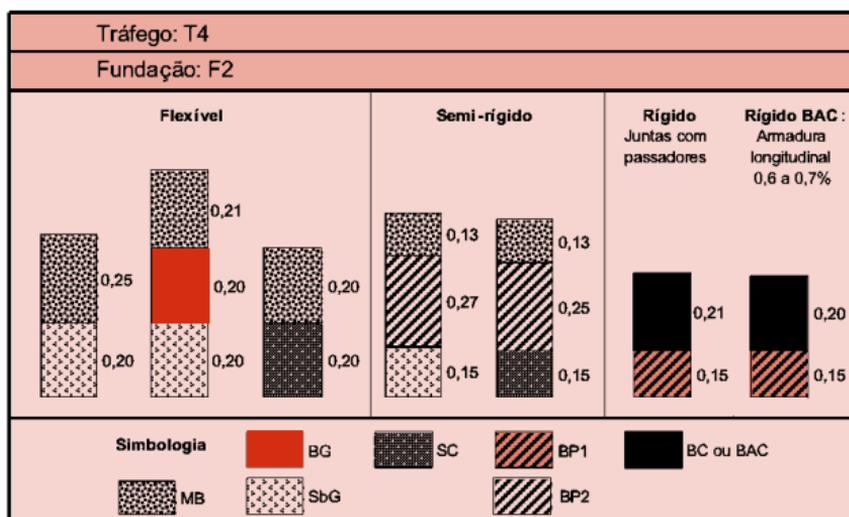
Estruturas de pavimento para a classe T3 (JAE, 1995)



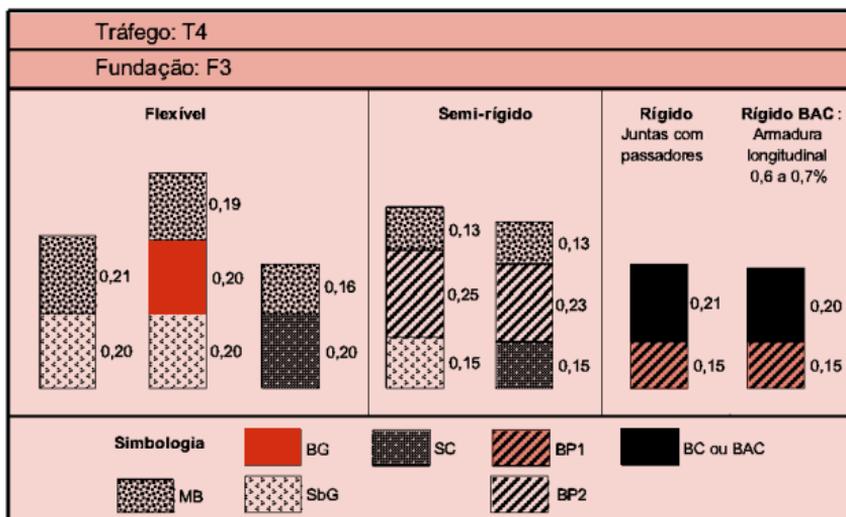
Estruturas de pavimento para a classe de tráfego T3 (cont.) (JAE, 1995)



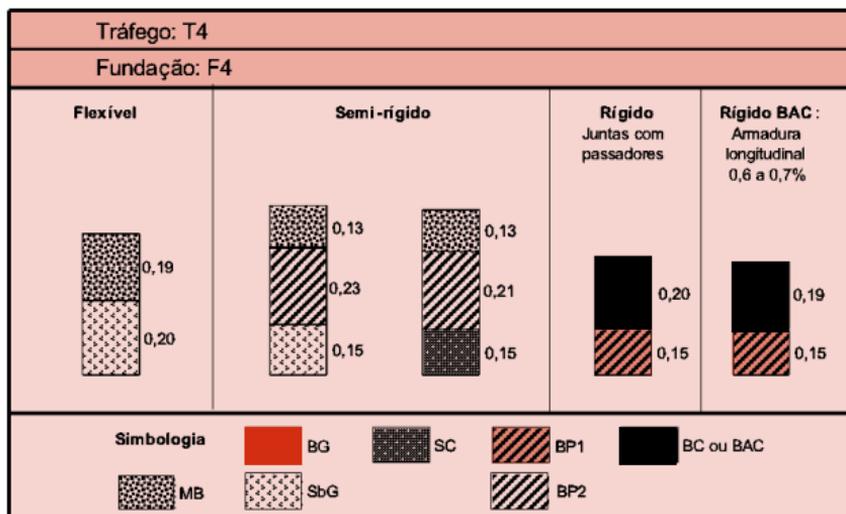
Estruturas de pavimento para a classe de tráfego T3 (cont.) (JAE, 1995)



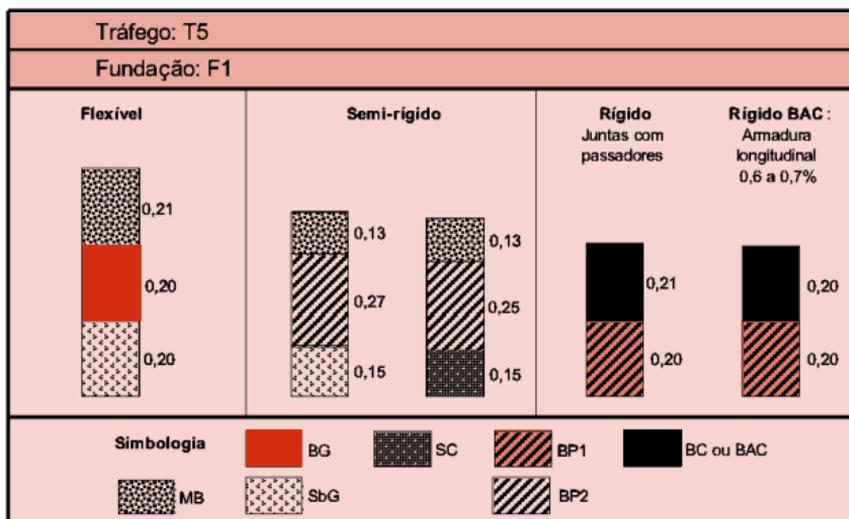
Estruturas de pavimento para a classe T4



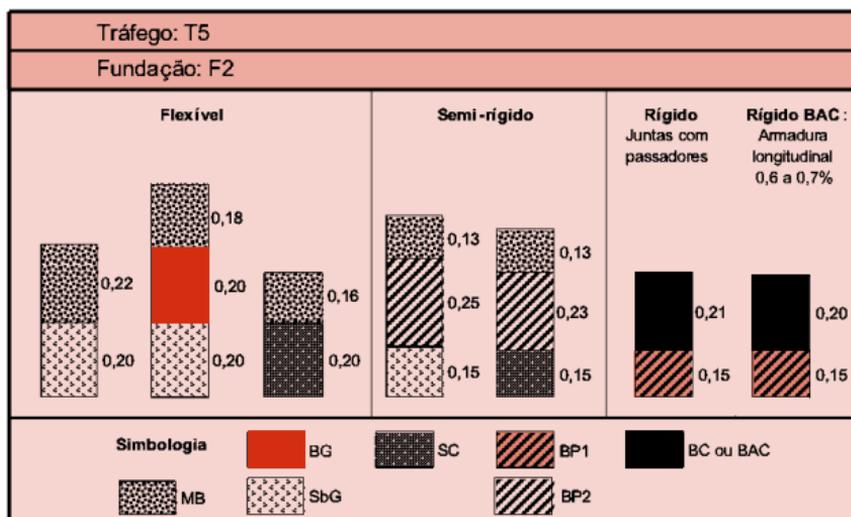
Estruturas de pavimento para a classe T4 (cont) (JAE, 1995)



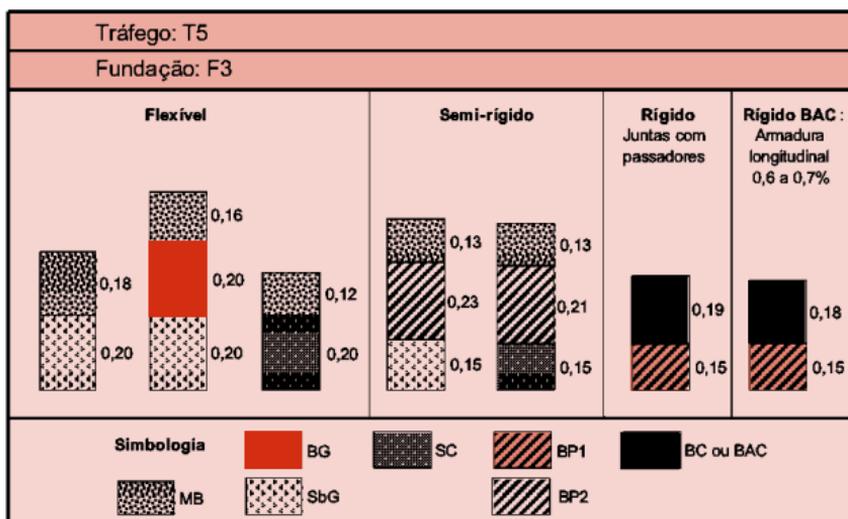
Estruturas de pavimento para a classe de tráfego T4 (cont) (JAE, 1995)



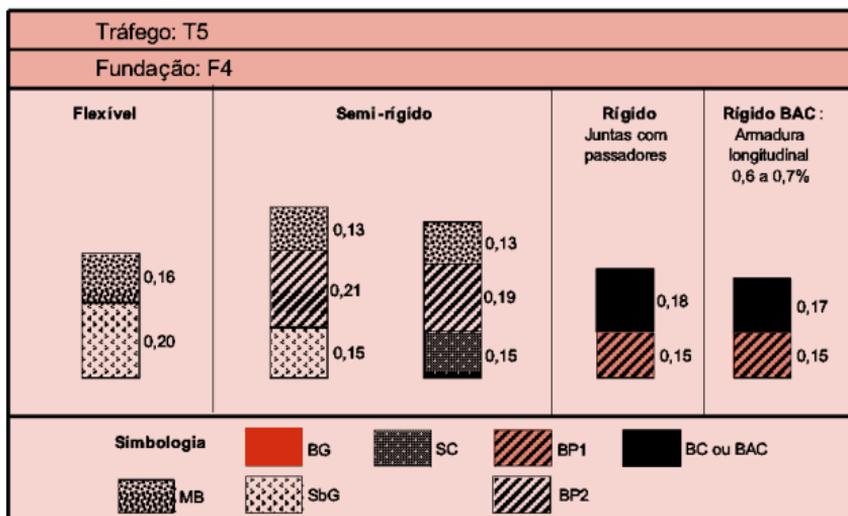
Estruturas de pavimento para a classe T5 (JAE, 1995)



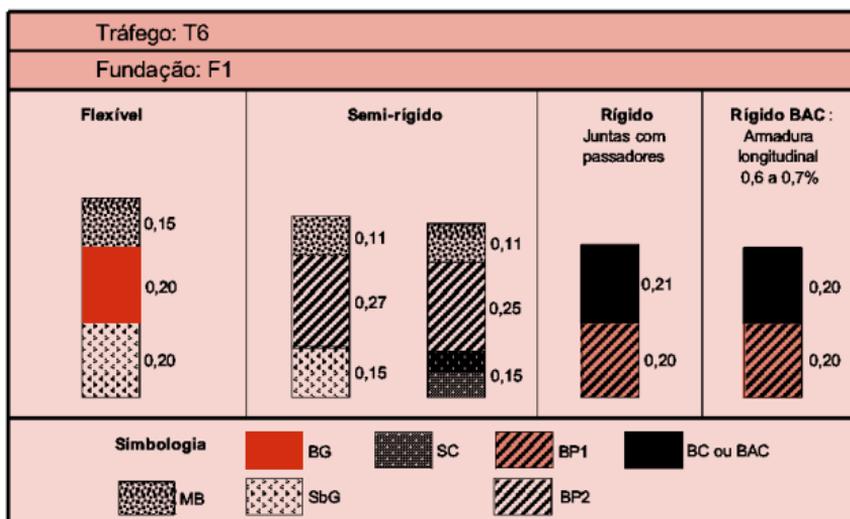
Estruturas de pavimento para a classe de tráfego T5 (cont) (JAE, 1995)



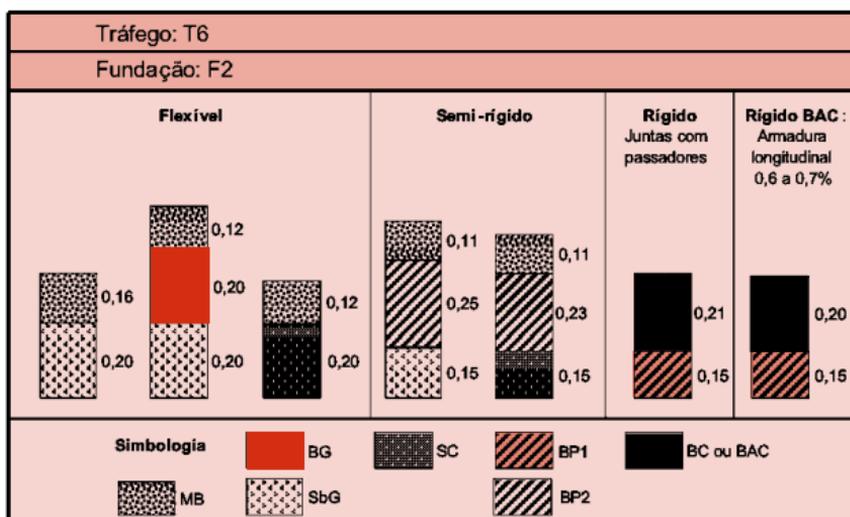
Estruturas de pavimento para a classe T5 (cont) (JAE, 1995)



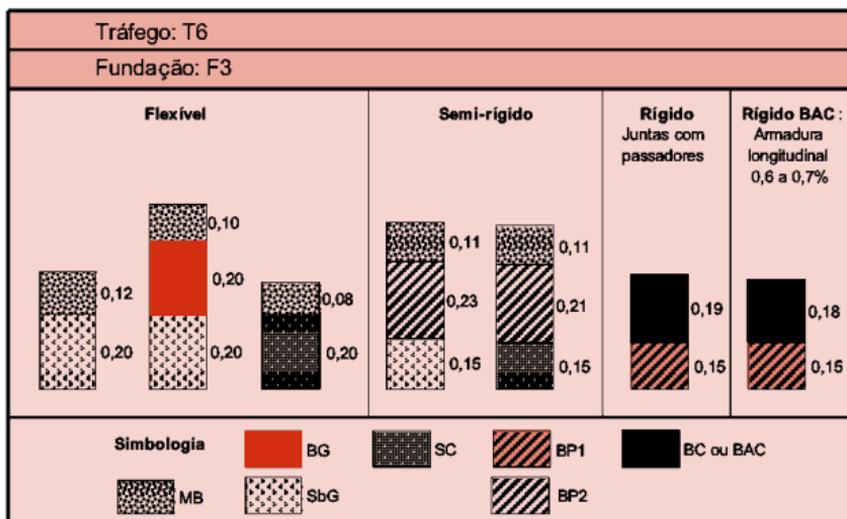
Estruturas de pavimento para a classe de tráfego T5 (cont) (JAE, 1995)



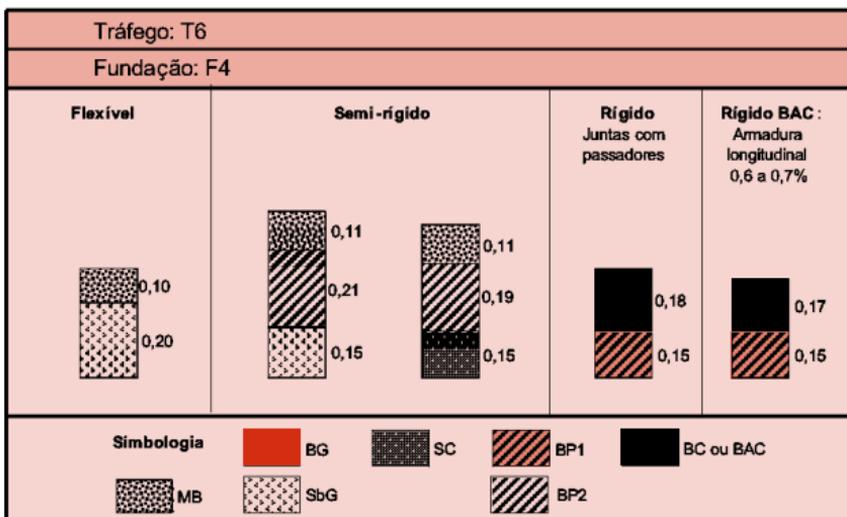
Estruturas de pavimento para a classe de tráfego T6 (JAE, 1995)



Estruturas de pavimento para a classe de tráfego T6 (cont) (JAE, 1995)



Estruturas de pavimento para a classe T6 (cont) (JAE, 1995)



Estruturas de pavimento para a classe de tráfego T6 (cont) (JAE, 1995)

## **Bermas**

Para pavimentos com bermas de largura inferior a 1,25 m recomenda-se que a constituição do pavimento da berma seja igual à da plena via. Para bermas de largura superior, pode-se adoptar um pavimento aligeirado para a berma, sendo recomendada a utilização de uma sobrelargura de pavimentação de 0,3 a 0,5 m, no caso dos pavimentos flexíveis, e de 0,6 a 1,0 m no caso dos pavimentos rígidos.

Para pavimentos com camada de desgaste em Betão Betuminoso Drenante, esta camada deverá ser estendida à totalidade da largura da plataforma, devendo também existir uma camada impermeável subjacente em betão betuminoso em toda a largura.

## **Características dos materiais e leis de fadiga**

Os materiais considerados para a definição das estruturas de pavimento tipo são materiais convencionais, obedecendo às características especificadas no CE EP (JAE 1998) e indicados no quadro seguinte.

É Materiais considerados para a definição do catálogo das estruturas do pavimento (JAE 1995, 1998).

Símbolo	Material	Principais características <sup>(b)</sup>	E (MPa)	$\nu$
MB <sup>(a)</sup>	Betão Betuminoso (desgaste)	Dim. máx. do agregado: 14 mm % de betume: 5,0 a 5,6%(c) Porosidade: 3 a 5% Espessura recomendável: 4 a 6 cm	4 000 <sup>(d)</sup>	0,35
	Macadame Betuminoso A (regularização ou base)	Dim. máx. do agregado: 25 mm % de betume: 4,3 a 5,0%(3) Porosidade: 4 a 6% Espessura recomendável: 6 a 12 cm		
	Macadame Betuminoso B (base)	Dim. máx do agregado: 37,5 mm % de betume mínima: 4,3% Porosidade: 4 a 8% Espessura recomendável: 9 a 15 cm		
BG	Agregado Britado de Granulometria Extensa recomposto em central (base)	Dim. máx. do agregado: 37,5mm Equivalente de areia mínimo: 50% Desgaste (Los Angeles) máximo: 40%:	2,5 x Ei	0,35
	Agregado Britado de Granulometria Extensa sem recomposição (base)	Dim. máx. do agregado: 37,5mm Equivalente de areia mínimo: 50% Desgaste (Los Angeles) máximo: 40%:	2 x Ei	0,35
SbG	Agregado Britado de Granulometria Extensa sem recomposição (sub-base)	Dim. máx. do agregado: 37,5mm Equivalente de areia mínimo: 45% Desgaste (Los Angeles) máximo: 45%:	2 x Ei	0,35
BC	Betão de Cimento	Resistência à tracção em flexão: 4,5 MPa	30 000	0,20
BP1	Betão Pobre de reduzida erodibilidade	Resistência à tracção em compressão diametral: $\geq 1,2$ MPa Teor em ligante: 140kg/m <sup>3</sup> de mistura	20 000	0,25
BP2	Betão Pobre (agregado recomposto em central)	Resistência à tracção em compressão diametral: $\geq 1,0$ MPa Teor em ligante: $\geq 100$ kg/m <sup>3</sup> de mistura	20 000	0,25
Sc	Solo-cimento fabricado em central	Resistência à tracção em compressão diametral: $\geq 0,3$ MPa	2 000	0,30

$E_i$  = Módulo de deformabilidade da camada subjacente

$E$  = Módulo de deformabilidade (indicativo)

$\nu$  = Coeficiente de Poisson

Relativamente aos aspectos apresentados no quadro anterior, salienta-se o seguinte:

- O catálogo de pavimentos fornece apenas a espessura total mínima de misturas betuminosas, sendo necessário escolher a combinação de materiais e respectivas espessuras de camadas mais adequadas a cada caso. Neste Quadro indicam-se apenas as misturas mais comuns, existindo outros tipos de misturas contemplados no CE EP.
- Estas características têm apenas um carácter indicativo. Nos Capítulos 4 e 5 indicam-se as principais especificações do CE EP para os materiais a aplicar em pavimentos flexíveis.
- A percentagem de betume deve ser determinada através de um estudo de formulação da mistura betuminosa, podendo situar-se fora deste intervalo.
- O módulo de deformabilidade da mistura betuminosa deve ser estimado a partir da composição da mistura, do tipo de betume, da velocidade do tráfego e das condições climáticas. O valor indicado foi o utilizado no cálculo das espessuras apresentadas no catálogo.

As leis de fadiga indicadas no Manual de Concepção de Pavimentos para os materiais ligados com betume ou ligantes hidráulicos apresentam-se em seguida.

*Leis de fadiga adoptadas no Manual de Concepção de Pavimentos (JAE, 1995)*

Material	Lei de fadiga	Parâmetros da lei de fadiga
Misturas betuminosas	$\epsilon = a \times N^b$	$a = 3 \times 10^{-3}$ a $3,5 \times 10^{-3}$ $b = -0,2$
Materiais com ligantes hidráulicos	$\frac{\sigma_t}{\sigma_r} = 1 + a \times \log N$	$a = -0,1$ a $-0,06$

$\epsilon$  – Extensão máxima de tracção na base das camadas betuminosas;

$\sigma_t$  – Tensão máxima de tracção na base das camadas com ligantes hidráulicos;

$\sigma_r$  – Resistência à tracção tracção em flexão das camadas com ligantes hidráulicos;

$N$  – Número admissível de aplicações de carga.

# 4

## **Materiais granulares e materiais tratados com cimento**

Os materiais granulares são empregues essencialmente na construção das camadas de base e de sub-base dos pavimentos. A função da sub-base granular é actuar como camada de transição entre a fundação e as camadas mais resistentes do pavimento, ou seja, a base e as camadas superficiais. Por esta razão, é usual utilizá-la em pavimentos com base granular ou betuminosa, como apoio destas camadas, sobretudo quando a fundação tem reduzida capacidade de suporte, ou seja, no caso das fundações de classe F1 ou F2. A camada de sub-base pode ainda ter funções de drenagem, para evacuar a água que eventualmente se tenha introduzido no pavimento, sendo neste caso exigido que o material empregue seja permeável.

Como materiais granulares, era habitual utilizar agregados naturais em camadas de sub-base e agregados britados e macadames hidráulicos em camadas de base. Actualmente, é pouco usual aplicar agregados naturais, não se utilizando também macadames, devido ao baixo rendimento da sua aplicação, dado ser uma técnica pouco mecanizada. Assim, para a execução de camadas granulares, utilizam-se geralmente agregados britados de granulometria extensa, embora o uso de agregados naturais em camadas de sub-base seja contemplado no Caderno de Encargos da EP (JAE 1998).

Quando se pretende que a sub-base tenha uma maior rigidez, por forma a proporcionar um apoio mais resistente e menos deformável para as camadas superiores do pavimento, em especial quando estas são constituídas por materiais tratados com cimento, pode-se recorrer à estabilização de solos com cimento – solocimento, este tipo de material é também utilizado frequentemente em camadas de leito de pavimento. Como camadas de base, podem ainda utilizar-se agregados britados de granulometria extensa tratados com cimento (AGEC).

## 4.1. Materiais granulares

Os materiais granulares a aplicar em camadas de sub-base ou de base dos pavimentos são agregados de granulometria extensa, de produção directa, ou recompostos em central.

No caso das camadas de sub-base, o CE EP (JAE 1998) admite a utilização de solos seleccionados ou de agregados não britados em camadas de sub-base. No entanto, a utilização deste tipo de materiais não é habitual, em particular no que se refere aos solos seleccionados, excepto quando se trate de pavimentos destinados a tráfego de baixa intensidade. Observa-se que, o processo de britagem dos agregados proporciona um elevado atrito interno entre as partículas e, conseqüentemente uma maior capacidade resistente da camada.

Ainda na categoria de materiais granulares, existem os materiais “drenantes”, que podem ser utilizados no enchimento de bermas, caracterizando-se por possuir uma elevada permeabilidade proporcionando um melhor comportamento ao pavimento quando este está exposto à acção da água. As especificações do actual CE EP<sup>(\*)</sup> para a granulometria dos materiais granulares a aplicar em camadas de sub-base e de base apresentam-se em seguida.

---

*(\*) As especificações do actual CE da EP estão ainda estabelecidas em função de propriedades determinadas com base em especificações LNEC, normas ASTM ou outras. Em Anexo apresenta-se a correspondência entre estas especificações e normas e as correspondentes normas Europeias.*

*Fusos granulométricos para camadas de materiais granulares (JAE 1998)*

Abertura dos peneiros	Porcentagem acumulada de material que passa			
	Enchimento de bermas	Sub-base	Sub-base ou enchimento de bermas	Camadas de base
	Material drenante	Agregado natural	ABGE	ABGE
75 mm	-	100	-	
63 mm	-	90 - 100	-	
37,5 mm	-	-	100	
31,5 mm	-	-	75 - 100	
25,0 mm	100	-	-	
19,0 mm	50 - 100	≥ 70	55 - 85	
9,5 mm	15 - 55	-	40 - 70	
6,3 mm	-	-	33 - 60	
4,75 mm	0 - 25	35 - 60	27 - 53	
2,00 mm	0 - 5	-	22 - 45	
0,425 mm	-	-	11 - 28	
0,180 mm	-	-	7 - 19	
0,075 mm	0 - 3	0 - 15	2 - 10	

*ABGE – Agregado Britado de Granulometria Extensa*

Para além das exigências relativas á granulometria, o CE EP estabelece as seguintes especificações para os materiais granulares a aplicar em camadas de base e de sub-base.

## Especificações para materiais granulares (JAE 1998)

Propriedade		Sub-base	Sub-base ou enchimento de bermas	Enchimento de bermas	Base
		Agregado natural	ABGE <sup>(a)</sup>	Material drenante	ABGE <sup>(a)</sup>
Propriedades geométricas	Nº de superfícies de fractura <sup>(b)</sup>	-	≥ 3	≥ 3	≥ 3
	Coefficiente de redução <sup>(b)</sup>	-	4D	4D	4D
	Índices de lamelação e alongamento	-	-	-	≤ 35%
Resistência à fragmentação	Los Angeles (gran. A)	≤ 35%	≤ 45%	≤ 45%	≤ 40%
Qualidade dos finos	Limite de Liquidez	≤ 25%	NP	NP	NP
	Índice de Plasticidade	≤ 6%	NP	NP	NP
	Equivalente de Areia ou	≥ 45%	≥ 45%	≥ 60%	≥ 50%
	Azul de Metileno (VAc) <sup>(c)</sup>	< 30	< 30	-	< 25

(a) Produção directa ou recomposto em central

(b) Aplicável apenas a seixo britado

$$(c) \quad VAc = VA \times \frac{\% \text{ pass\#}0,075\text{mm}}{\% \text{ pass\#}2,00\text{mm}}$$

A fórmula de trabalho fixada para os materiais granulares aplicados em camadas de sub-base ou de base deverá respeitar as tolerâncias que se indicam em seguida.

*Tolerâncias relativas à fórmula de trabalho aprovada para materiais granulares (JAE, 1998)*

<b>% de material que passa no peneiro</b>	<b>Tolerância de fabrico</b>
0,075 mm	± 2%
0,180 mm	± 3%
2,00 mm	± 4%
4,75 mm ou de dimensão superior	± 5%

Durante a construção, o controlo da execução das camadas de materiais granulares, incide sobre a compactação relativa das camadas e sobre as suas características geométricas (espessuras das camadas e regularidade).

*Controlo da execução das camadas de materiais granulares (JAE 1998)*

<b>Camadas de base</b>	Compactação	Índice de vazios de referência a obter em pelo menos 95% das determinações	Valor correspondente a 95% da baridade seca que se obteria pelo Proctor Modificado
	Características geométricas	Diferenças relativas aos perfis transversais e longitudinais estabelecidos	≤ 30 mm
		Irregularidade da superfície medida com régua de 3 m	≤ 20 mm
		Espessura da camada	≥ espessura de projecto
<b>Camadas de sub-base</b>	Compactação	Índice de vazios de referência a obter em todos os pontos	Valor correspondente a 98% da baridade seca que se obteria pelo Proctor Modificado
	Características geométricas	Diferenças relativas aos perfis transversais e longitudinais estabelecidos	≤ 15 mm
		Irregularidade da superfície medida com régua de 3 m	≤ 10 mm no sentido longitudinal; ≤ 15 mm no sentido transversal
		Espessura da camada	≥ espessura de projecto

## 4.2. Materiais tratados com ligantes hidráulicos

Os materiais tratados com ligantes hidráulicos aplicados em camadas de sub-base e de base de pavimentos são essencialmente o solo-cimento, o Agregado de Granulometria Extensa tratado com Cimento (que se designa abreviadamente por AGECE) e o betão pobre.

O solo-cimento é uma mistura homogénea de solos, cimento e água, fabricada em central, e posteriormente espalhada e compactada em obra. Este tipo de material é essencialmente utilizado em camadas de sub-base de pavimentos<sup>(\*)</sup>.

O AGECE e o betão pobre cilindrado são basicamente materiais semelhantes ao solo-cimento, fabricados geralmente com agregados britados possuindo menor proporção de partículas finas e com maiores exigências de qualidade relativamente aos agregados e às características de resistência da mistura.

No quadro seguinte indicam-se os fusos granulométricos especificados no CE EP (JAE 1998) para cada um dos materiais anteriormente referidos.

---

*(\*) O solo-cimento fabricado in situ não é habitualmente aplicado como camada de sub-base, mas sim como camada de leito de pavimento.*

*Fusos granulométricos para camadas de materiais tratados com cimento (JAE 1998)*

Abertura dos peneiros	Percentagem acumulada de material que passa		
	Camadas de sub-base	Camadas de base	
	Solo-cimento	AGEC	Betão Pobre cilindrado
75 mm	100 <sup>(a)</sup>	-	
37,5 mm	-	100	
31,5 mm	-	75 - 100	
25,0 mm	-	-	
19,0 mm	-	55 - 85	
9,5 mm	-	40 - 70	
6,3 mm	-	33 - 60	
4,75 mm	-	27 - 53	
2,00 mm	≥ 35%	22 - 45	
0,425 mm	-	11 - 28	
0,180 mm	-	7 - 19	
0,075 mm	≤ 35%	2 - 10	

*(a) A dimensão máxima das partículas deve ainda ser inferior ou igual a metade da espessura da camada.*

Para além do cumprimento dos fusos granulométricos anteriormente estabelecidos, os solos e agregados a empregar no fabrico de misturas com ligantes hidráulicos devem obedecer às exigências indicadas em seguida.

*Especificações para solos e agregados a empregar em materiais tratados com ligantes hidráulicos (JAE 1998)*

Propriedade		Sub-base	Base	
		Solo-cimento	AGEC	Betão Pobre cilindrado
Propriedades geométricas	Nº de superfícies de fractura(a)	-	≥ 3	≥ 3
	Coeficiente de redução(a)	-	4D	4D
	Índices de lamelação e alongamento	-	≤ 30%	≤ 30%
Resistência à fragmentação	Los Angeles (gran. A)	-	≤ 40%	≤ 40%
Qualidade dos finos	Limite de Liquidez	≤ 35%	-	-
	Índice de Plasticidade	≤ 15%	-	-
	Equivalente de Areia ou	-	≥ 40%	≥ 40%
	Azul de Metileno (VA)	-	< 1,0	< 1,0
Propriedades químicas	Teor em matéria orgânica	-	≤ 0,5%	≤ 0,5%
	Teor em sulfatos (SO <sub>3</sub> )	≤ 0,5%(b)	≤ 0,5%	≤ 0,5%

*(a) Aplicável apenas a seixo britado.*

*(b) Poderão utilizar-se materiais com teor em sulfatos entre 0,5% e 1%, desde que se utilize cimento Portland resistente ao gesso.*

A composição das misturas tratadas com ligantes hidráulicos é fixada através de um estudo de formulação, por forma a obter-se as características de resistência especificadas no projecto ou no CE EP (a que for mais exigente).

O CE EP estabelece, no entanto, teores mínimos em ligante para cada tipo de mistura. No Quadro seguinte resumem-se os valores exigidos para os teores em ligante e as características de resistência estabelecidas no CE EP. Observa-se que, no caso dos materiais tipo AGEC ou betão pobre, o ligante pode incorporar até 30% de cinzas volantes.

*Características exigidas para os materiais tratados com ligantes hidráulicos (JAE 1998)*

Propriedade		Sub-base	Base	
		Solo-cimento	AGEC	Betão pobre
Composição	Teor em ligante	≥ 3%	≥ 100 kg/m <sup>3</sup>	≥ 100 kg/m <sup>3</sup>
Resistência à tração em compressão diametral	7 dias	≥ 0,2 MPa	-	-
	28 dias	≥ 0,3 MPa	≥ 1 MPa	≥ 1 MPa

A fórmula de trabalho fixada para os materiais tratados com ligantes hidráulicos aplicados em camadas de sub-base ou de base deverá respeitar as tolerâncias granulométricas que se indicam em seguida.

*Tolerâncias relativas à fórmula de trabalho aprovada para materiais tratados com ligantes hidráulicos (JAE, 1998)*

Propriedade	Tolerância de fabrico	
	Solo-cimento	AGEC e betão pobre
% material passado no peneiro de 0,075 mm	-	± 1%
% material passado no peneiro de 0,180 mm	-	± 2%
% material passado no peneiro de 2,00 mm	-	± 4%
% material passado no peneiro de 4,75 mm ou de dimensão superior	-	± 5%
% de cimento	± 0,3%	± 0,3%

Durante a construção, o controlo da execução das camadas de materiais tratados com ligantes hidráulicos, incide sobre a compactação relativa das camadas e sobre as suas características geométricas (espessuras das camadas e regularidade).

*Controlo da execução das camadas de materiais tratados com ligantes hidráulicos (JAE 1998)*

Camadas de sub-base solo-cimento	Compactação	Compactação relativa, em pelo menos 95% dos pontos	$\geq 95\%$ da baridade seca máxima pelo Proctor Modificado
	Características geométricas	Diferenças relativas aos perfis transversais e longitudinais estabelecidos	$\leq 20$ mm
		Espessura da camada	-20 mm a +30mm em relação à espessura de projecto
Camadas de base AGECE ou betão pobre	Compactação	Compactação relativa, em todos pontos	$\geq 98\%$ da baridade seca máxima obtida por vibro-compressão
	Características geométricas	Diferenças relativas aos perfis transversais e longitudinais estabelecidos	$\leq 10$ mm no sentido longitudinal; $\leq 15$ mm no sentido transversal
		Espessura da camada	$\geq$ espessura de projecto

# 5

## Misturas betuminosas a quente

Em Portugal, o termo mistura betuminosa a quente aplica-se a grande parte das misturas betuminosas utilizadas em obras de pavimentação, desde as argamassas betuminosas, fabricadas apenas com agregados finos, filler e betume, até aos macadames betuminosos, nos quais os agregados grossos têm um papel preponderante no comportamento da mistura.

No CE EP, (JAE, 1998), bem como no Manual de Concepção de Pavimentos (JAE, 1995) utilizam-se diversos tipos de designações para as misturas betuminosas a quente, em função do tipo de aplicação - misturas betuminosas para camadas de base, de regularização ou de desgaste – do tipo de betume utilizado – por exemplo, Misturas de Alto Módulo - ou do tipo de granulometria dos agregados e baridade daí resultante – por exemplo, Betão Betuminoso Drenante, Mistura Betuminosa Densa ou Macadame Betuminoso.

Constata-se que, nas normas Europeias relativas a materiais de pavimentação recentemente publicadas, das quais se apresenta uma listagem em anexo, a grande maioria das misturas betuminosas a quente aplicadas actualmente em Portugal é englobada na designação Betão Betuminoso (“Asphalt Concrete”). Muito embora se considere que a terminologia a adoptar virá a ser alterada, em conformidade com as referidas normas Europeias, tendo em atenção de que as especificações actualmente em vigor ainda assentam essencialmente no Caderno de Encargos da ex-JAE (versão de 1998), neste Capítulo utilizam-se as designações consagradas nesse documento. Os principais tipos de misturas betuminosas contemplados no CE EP e respectivas aplicações apresentam-se em seguida.

## Principais tipos de misturas betuminosas a quente aplicadas em Portugal

Camada	Tipo de misturas		Observações
Base	MB (0/37,5)	Macadame Betuminoso, fuso B	Aplicada em espessuras entre 10 e 15 cm (a)
	MB (0/25)	Macadame Betuminoso, fuso A	Aplicada em espessuras entre 7 e 12 cm
	MAM	Mistura de Alto Módulo	Aplicada em espessuras entre 7 e 12 cm
Regularização	MB (0/25)	Macadame Betuminoso, fuso A	Aplicada em espessuras entre 6 e 12 cm
	MBD	Mistura Betuminosa Densa	Aplicada em espessuras entre 6 e 8 cm; recomendada apenas para tráfego T6 e T7
	MAM	Mistura de Alto Módulo	Aplicada em espessuras entre 7 e 12 cm
	AB	Argamassa Betuminosa	Aplicada em pequenas espessuras, eventualmente variáveis
	BBs	Betão Betuminoso subjacente ao desgaste	Aplicada em espessuras entre 4 e 6 cm
Desgaste <sup>(b)</sup>	BB	Betão Betuminoso em camada de desgaste	Aplicada em espessuras entre 4 e 6 cm
	BBR	Betão Betuminoso Rugoso	Aplicada em espessuras entre 3,5 e 5 cm
	MBBR	Micro Betão Betuminoso Rugoso	Aplicada em espessuras entre 2,5 e 3,5 cm
	BBD	Betão Betuminoso Drenante	Aplicada em espessuras de 4 cm

(a) Devido à elevada dimensão máxima do agregado, a utilização deste tipo de mistura pode conduzir a situações de segregação de materiais e conseqüente heterogeneidade da camada.

(b) No CE EP estão contemplados outros tipos de misturas betuminosas para camadas de desgaste, tais como Argamassa Betuminosa ou Mistura Betuminosa de Alto Módulo. Estas misturas não se referem neste Manual por não serem utilizadas, na prática, em Portugal. Por outro lado, são de utilização cada vez mais frequente em camadas de desgaste as Misturas Betuminosas Abertas (MBA) ou Rugosas (MBR) utilizando Betumes modificados com Borracha (BB), que não estão incluídas no CE EP.

## 5.1. Materiais

### 5.1.1. Agregados e fíleres

Por serem as partículas que constituem o esqueleto mineral das misturas betuminosas, os agregados devem ser resistentes à fragmentação e ao desgaste eventualmente produzido pelo tráfego. Por esta razão, estes agregados devem ser provenientes da britagem de rochas duras, não alteráveis, ter uma boa forma e ser resistentes à rotura e à degradação induzidas pelo efeito de abrasão e de fragmentação do tráfego, resistência esta que é avaliada através do ensaio de Los Angeles (resistência à fragmentação).

Para além disso, no caso de serem empregues em camadas de desgaste, as partículas dos agregados devem ter uma elevada resistência ao polimento, o que é avaliado através do respectivo coeficiente de polimento acelerado.

Os agregados finos devem ser não plásticos e devem ser provenientes da britagem de rochas de boa qualidade, com elevada resistência à fragmentação no ensaio de Los Angeles.

Como fíler deve ser utilizado fíler comercial e / ou fíler recuperado, proveniente da britagem dos agregados, por forma a dispor-se de partículas não hidrófilas, que se misturem bem com o betume, para obter um bom mástique. Para alcançar este objectivo, as partículas de fíler devem ser finas e não plásticas.

Nos quadros seguintes apresentam-se as principais exigências a satisfazer pelos agregados a empregar em misturas betuminosas, de acordo com o actual CE EP, bem como pelo fíler comercial a adicionar a estas misturas.

Especificações para agregados a empregar em misturas betuminosas a quente (JAE 1998) (\*)

Camada	Base			Regularização				Desgaste		
	MB 0/37,5	MAM	MB 0/25	MBD	MAM	AB	BBs	BB	BBR	BBD MBBR
Tipo de mistura	≥ 50	≥ 50	≥ 50	≥ 50	≥ 50	≥ 50	≥ 50	≥ 60	≥ 60	≥ 60
	≤ 0,8	≤ 0,8	≤ 0,8	≤ 0,8	0,8	≤ 0,8	0,8	≤ 0,8	≤ 0,8	≤ 0,8
Qualidade dos finos	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	≤ 30	≤ 30	≤ 30	≤ 30	30	≤ 30	30	≤ 25	≤ 15	≤ 15
Propriedades geométricas	≤ 30	≤ 30	≤ 30	≤ 30	30	≤ 30	30	≤ 25	≤ 15	≤ 15
	≤ 3	≤ 3	≤ 3	≤ 3	3	-	2	≤ 2	≤ 2	≤ 2
Propriedades físicas	≤ 40 (A)	≤ 40 (A)	≤ 40 (A)	≤ 35 (B)	35 (B)	≤ 35 (B)	35 (B)	≤ 20 <sup>c</sup> (B)	≤ 20 <sup>d</sup> (B)	≤ 20 <sup>d</sup> (B)
	-	-	-	-	-	-	-	≥ 0,50	≥ 0,50	≥ 0,50
Filler	-	-	-	-	e	-	e	f	f	g

(\*) As especificações do actual CE - EP estão ainda estabelecidas em função de propriedades determinadas com base em especificações LNEC, normas ASTM ou outras. Em Anexo apresenta-se a correspondência entre estas especificações e normas e as Normas Europeias.

Relativamente ao quadro anterior, observa-se o seguinte:

- (a) Mistura de agregados sem adição de fíler.
- (b) Caso se utilizem seixos britados, as partículas devem ter, pelo menos 3 faces de fractura e um coeficiente de redução 4D.
- (c) 30% em granitos.
- (d) 26% em granitos.
- (e) Caso o agregado seja granítico, deve utilizar-se, no mínimo 3% de fíler comercial ou 1,5%, se for utilizada cal hidráulica.
- (f) Caso o agregado seja granítico, deve utilizar-se, no mínimo 3% de fíler comercial ou 2%, se for utilizada cal hidráulica.
- (g) O mínimo passa a 1% se for utilizada cal hidráulica; se o agregado for granítico, não é permitida a utilização de qualquer quantidade de fíler recuperado.

*Especificações para fíler comercial a empregar em misturas betuminosas a quente (JAE 1998) (\*)*

Composição		Pó calcário, cimento ou cal hidráulica (apagada)
Granulometria	Abertura dos peneiros (mm)	Percentagem acumulada de material que passa
	0,425 mm (nº 40)	
	0,180 mm (nº 80)	95 - 100
	0,075 mm (nº 200)	75 - 100
IP (não aplicável a cimento ou cal hidráulica)		< 4

(\*) As especificações do actual CE - EP estabelecem apenas exigências em termos de granulometria e limpeza, determinadas com base em especificações LNEC, normas ASTM ou outras. No entanto, existem outras propriedades importantes relacionadas com o poder rigidificante do fíler, que estão contempladas nas novas Normas Europeias (EN). Em Anexo apresenta-se uma lista das referidas EN.

## 5.1.2. Ligantes betuminosos

### 5.1.2.1. Betumes de pavimentação

O ligante betuminoso é um componente essencial da mistura betuminosa, uma vez que liga os agregados e fornece coesão e estabilidade à mistura.

O ligante betuminoso possui qualidades e características que o diferenciam significativamente dos outros agentes coesivos utilizados em pavimentação, como por exemplo os ligantes hidráulicos. Enquanto que as misturas com ligantes hidráulicos possuem elevada rigidez e resistência, os ligantes betuminosos proporcionam ligações tenazes e flexíveis aos materiais com eles tratados. Este aspecto deve-se à resposta visco-elástica do betume, cujo comportamento varia com a velocidade de aplicação das cargas, o que lhe permite comportar-se como um material flexível, com baixo módulo de rigidez e muito deformável, que se adapta às deformações e assentamentos das camadas do pavimento e que absorve as tensões devidas à retracção térmica das camadas do pavimento e da fundação, sem se fendilhar, ao mesmo tempo que se comporta como um material estável e tenaz, com elevado módulo e resposta elástica, quando submetido às acções do tráfego.

Uma vez que o comportamento do betume varia com a temperatura, é necessário empregar, em cada caso e para cada mistura, ligantes betuminosos compatíveis com a gama de temperaturas a que estará sujeita a mistura betuminosa quando integrada no pavimento. Quando esta temperatura alcança valores próximos da temperatura de anel e bola do betume (ponto de amolecimento), a mistura pode perder a sua estabilidade. Em oposição, quando a temperatura do pavimento desce para valores inferiores ao ponto de fragilidade do betume, a mistura betuminosa torna-se frágil e fendilha facilmente.

Em Portugal, nas misturas betuminosas a quente fabricadas em central utilizam-se habitualmente 3 tipos de betume de pavimentação, cujas propriedades se adaptam às necessidades inerentes a cada tipo de mistura, às condições climáticas e aos tipos de pavimentos em que esta é aplicada: os betumes de classe de penetração 35/50 e 50/70, para misturas “tradicionais”, e os betumes de classe 10/20, para Misturas de Alto Módulo.

No quadro seguinte resumem-se as características estabelecidas na Especificação LNEC E 80 (LNEC, 1997) para betumes de pavimentação, que contemplam 8 classes de penetração, incluindo as três classes a que se fez referência anteriormente. Neste quadro pode-se observar que os principais parâmetros que caracterizam os diferentes tipos de betumes são basicamente a penetração a 25°C e o ponto de amolecimento, antes e depois do envelhecimento, bem como a viscosidade cinemática.

Os projectos de Norma Europeia existentes à data da publicação da E 80 passaram, entretanto a Normas Europeias (EN), que se identificam no Quadro. Futuramente, será obrigatória a aplicação das normas EN 12591 e EN 13924, que estabelece o quadro de propriedades a satisfazer pelos betumes de pavimentação.

## Especificações para betumes de pavimentação (LNEC, 1997)

Propriedades [condições de ensaio]	Métodos de ensaio		Tipos de betumes e exigências de conformidade									
	Min	Máx	10/20	20/30	35/50	50/70	70/100	100/150	160/220	250/300		
Penetração (0,1 mm) [25°C; 100g; 5s]	EN 1426 [ASTM D 5]	Min Máx	10 20	20 30	35 50	50 70	70 100	100 150	160 220	250 330		
	EN 1427 [ASTM D 36]	Min Máx	63 76	55 63	50 58	46 54	43 51	39 47	35 43	30 38		
Temperatura de amolecimento (°C)	EN 12595 [ASTM D 2170]	Min	1000	530	370	295	230	175	135	100		
	EN 12592 [ASTM D 2042, modificada]	Min	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0		
Solubilidade em tolueno ou xileno (%)	EN 22592 [ASTM D 92]	Min	250	240	240	230	230	230	220	220		
	RTFOT:	Máx	0,5	0,5	0,5	0,5	0,8	0,8	1,0	1,0		
Resistência ao endurecimento [RTFOT ou TFOT]	EN 12607-1 [ASTM D2872]	Min	60	55	53	50	46	43	37	35		
	ou TFOT: EN 12607-2 [ASTM D1754]	Min	65	57	52	48	45	41	37	32		
Aumento da temperatura de amolecimento (°C)	<sup>b</sup>	Máx	8	10	11	11	11	12	12	12		

(a) p.o. - penetração do betume original

(b) Obtido por diferença entre a temperatura de amolecimento antes e depois do envelhecimento

### 5.1.2.2. Betumes modificados

Os betumes asfálticos podem ser modificados através da adição de polímeros, borracha, asfaltos naturais, ou outros tipos de compostos, obtendo-se betumes com propriedades melhoradas, que proporcionam uma maior coesão e tenacidade à mistura betuminosa, uma melhor resistência à fadiga e uma melhor resistência às deformações permanentes.

Estes aditivos têm como finalidade diminuir a susceptibilidade térmica dos betumes, aumentar a sua viscosidade a altas temperaturas para evitar problemas com deformações plásticas, diminuir a sua fragilidade a baixas temperaturas, aumentar a sua coesão e flexibilidade e, em suma, permitir a sua aplicação com êxito numa gama de temperaturas maior que a correspondente aos betumes tradicionais.

De acordo com as melhorias produzidas e tendo em conta as suas possíveis aplicações, foi estabelecido um conjunto de betumes modificados, cujas características e aplicações se indicam em seguida.

#### **Betumes modificados com polímeros**

De entre os betumes modificados, os mais utilizados são os betumes modificados com polímero, quer a partir de plastómeros, que melhoram as propriedades do ligante a altas temperaturas de utilização, como a partir de elastómeros, que produzem melhorias a altas e a baixas temperaturas, conferindo para além disso, elasticidade e coesão ao betume.

A obtenção destes produtos pode realizar-se por mistura física, mediante a simples dispersão do polímero no ligante, ou através de reacção química do polímero com os componentes do betume, obtendo-se, neste caso, ligantes mais estáveis e com propriedades melhoradas. Os betumes modificados com polímeros comercializados pela CEPESA são modificados por reacção química, indicando-se em seguida as principais vantagens de cada produto:

Styrelf Newplast – são betumes modificados de baixa penetração, que proporcionam à mistura um módulo elevado e uma maior resistência à fadiga que os betumes duros convencionais. São adequados para misturas de alto módulo aplicadas em pavimentos destinados a tráfego muito pesado e com condicionantes especiais.

Styrelf 13/40 – betumes de penetração 35/50, com um elevado ponto de amolecimento e consistência a 60°C. São adequados para melhorar a estabilidade e a resistência às deformações plásticas das misturas convencionais. A sua utilização é especialmente recomendada em zonas muito quentes.

Styrelf 13/60, 14/60 e 15/60 – betumes com penetração 50/70, e com diversos graus de modificação. A sua elevada tenacidade e recuperação elástica, confere uma elevada coesão a misturas descontínuas e abertas, como por exemplo o betão betuminoso drenante, o betão betuminoso rugoso ou o micro-betão betuminoso rugoso. São igualmente apropriados para melhorar a resistência às deformações de todos os tipos de misturas.

Styrelf AAF e MAF – betumes de maior penetração, nos quais se modificou a elasticidade e tenacidade, relativamente aos betumes tradicionais. São empregues em misturas e em regas especiais ou como betume base, tal como alguns dos anteriores, para o fabrico de emulsões.

Todos os betumes modificados com polímeros comercializados pela CEPISA pertencem à gama Styrelf e são obtidos por reacção química entre o ligante e os polímeros do tipo elastómero.

Os betumes modificados com polímeros não estão contemplados na especificação LNEC E 80, estando, no entanto, estabelecidas no CE EP as principais características que estes devem apresentar, tendo em vista a sua aplicação em betão betuminoso drenante (BBD), ou em betão betuminoso e rugos (BBR) micro betão betuminoso rugoso (MBBR) características estas que se resumem no quadro seguinte. Adiante, estes betumes modificados serão designados abreviadamente por BM-BBD e BM-BBR. Nesta última designação estão incluídos quer os betumes a utilizar em MBBR, quer os betumes a utilizar em BBR. A Norma Europeia EN 14023, cuja aplicação virá a ser obrigatória, estabelece o quadro de propriedades a utilizar com vista à caracterização dos betumes modificados.

*Características especificadas no CE EP para betumes modificados a aplicar em misturas betuminosas para camadas de desgaste (JAE, 1998)*

Propriedade	Métodos de ensaio		Tipo de Betume Modificado	
			BM-BBD	BM-BBR
Penetração (0,1 mm) [25°C; 100g; 5s]	EN 1426 [ASTM D 5]	Mín Máx	55 70	55 100
Temperatura de amolecimento (°C)	EN 1427 [ASTM D 36]	Mín	55	60
Ponto de fragilidade de Frass (°C)	EN 12593	Máx	-10	-10
Intervalo de plasticidade (°C)	EN 1427 EN 12593	Mín	65	70
Viscosidade (cst) [135°C]	ASTM D 2170	Mín	850	850
Estabilidade ao armazenamento [diferença na temperatura de amolecimento] (°C)	EN 13399 EN 1427	Máx	5	5
Recuperação elástica (%) [25°C]	EN 13398	Mín	25	50

Tendo em atenção as características apresentadas no quadro anterior, e face às propriedades dos diversos betumes modificados com polímeros comercializados pela CEPSA, pode-se concluir que os betumes dos tipos Styrelf 13/60, 14/60 e 15/60 são adequados para betão betuminoso drenante, betão betuminoso rugoso e para micro-betão betuminoso rugoso.

### 5.1.2.3. Betumes modificados com borracha

O comportamento dos betumes também pode ser modificado mediante a adição in situ ou em fábrica de borracha moída obtida a partir da trituração de pneus fora de uso. Obtêm-se assim betumes modificados melhorados e betumes de alta viscosidade cujas propriedades podem ainda ser optimizadas mediante a adição de polímeros.

Os betumes modificados com borracha empregam-se em misturas betuminosas a quente, conduzindo a misturas com características reológicas e funcionais melhoradas, com maior resistência ao envelhecimento, às deformações permanentes e ao fendilhamento por fadiga, que permitem reduzir o ruído de rolamento. Em Portugal, as misturas com betume modificado com borracha têm sido aplicadas essencialmente em camadas de desgaste e, nalguns casos, em camadas subjacentes a estas.

Distinguem-se basicamente três famílias de betumes modificados com borracha (BB): os betumes de alta percentagem de borracha (superior a 18%, em relação à massa total de ligante), BBA, os de média percentagem de borracha (entre 8 e 15%), BBM, e os betumes designados como de baixa percentagem de borracha (inferior a 8%), BBB.

Encontra-se em preparação, por parte de um grupo de trabalho da Comissão Técnica “Ligantes Betuminosos” (CT 153), uma norma relativa aos betumes modificados com borracha, que contempla dois tipos de betumes de cada uma das famílias anteriormente referidas. As principais características de cada um destes tipos de betumes, resumem-se no quadro seguinte.

## Características dos betumes modificados com borracha

Propriedade	Método de ensaio	Betumes modificados com borracha (BB)					
		BBB 35/50	BBB 50/70	BBM 35/50	BBM 50/70	BBA 15/30	BBA 20/35
Penetração (0,1 mm) [25°C; 100g; 5s]	EN 1426	Min	50	35	50	15	20
		Máx	70	50	70	30	35
Temperatura de amolecimento (°C)	EN 1427	Min	53	65	58	68	65
Ponto de fragilidade de Frass (°C)	EN 12593	Máx	-5	-8	-8	-4(a)	-8(a)
Viscosidade cinemática (mm <sup>2</sup> /s) [135°C]	EN 12595	Min	370	295	-	-	-
Viscosidade (mPa.s)[175°C]	EN 13302	Min	-	310	150	2500	2500
		Máx	-	-	-	4500	4500
Resistência ao endurecimento [RTFOT; 163°C]	EN 12607-1	Máx	1,0	1,0	0,8	1,0	0,8
		Min	65	60	70	65	60
		Min	-4	-5	-4	-5	-
Estabilidade ao arma-zenamento	EN 13399	Máx	+8	+10	+8	+10	12
		Máx	5	5	5	5	-
Recuperação elástica (%) [A] 20cm; 25°C]	EN 13389	Máx	10	10	8	10	-
Recuperação elástica (%) [A] 10cm; 25°C]		Min	10	10	15	20	-
		Min	-	-	-	-	75

$\Delta m$  Variação de massa

% p.o. Variação de penetração: percentagem relativa à penetração original

$\Delta T_{ab}$  Variação na temperatura de anel e bola

Dpen Diferença no valor da penetração (0,1 mm)

$DT_{ab}$  Diferença no valor da temperatura de amolecimento (°C)

(a) Valor indicativo

#### 5.1.2.4. Outros betumes modificados

Para além dos betumes modificados referidos anteriormente, cuja aplicação já é relativamente corrente em Portugal, existe uma gama de produtos em desenvolvimento cujas características se apresentam neste Manual, como é o caso dos betume “multigrado” ou o dos betumes de baixa viscosidade para misturas temperadas.

#### Betumes Multigraduado

Os betumes multigraduados são betumes especiais fabricados pela CEPESA que apresentam características de temperatura de amolecimento e de resistência ao envelhecimento superiores aos betumes convencionais com a mesma penetração, o que os situa numa posição intermédia entre os betumes convencionais e os betumes modificados com polímeros, permitindo a sua aplicação em diversas zonas climáticas, com excelentes prestações.

#### Características dos betume Multigraduado

Propriedade	Unidade	Método de ensaio	Betume multigrado	
<b>Ensaio sobre o betume original</b>				
Penetração [25°C; 100g; 5s]	0,1 mm	EN 1426	35 – 50	
Índice de Penetração	-		>1,5	
Temperatura de amolecimento	°C	EN 1427	62 – 71	
Ponto de fragilidade Fraass	°C	EN 12593	< -12	
Estabilidade ao armazenamento	D T <sub>AB</sub>	°C	EN 13399; EN 1427	5
	D P <sub>en</sub>	0,1mm	EN 13399; EN 1426	8
Solubilidade	%	EN 12592	> 99,5	
Teor em água	%		< 0,2	
Ponto de inflamação em vaso aberto	°C		235	
Densidade relativa [25°C]	-		1,0	
<b>Propriedades após TFOT</b>		EN 12607-2		
Variação de massa	%	-	< 1,0	
Penetração retida	% p.o.	EN 1426	> 70	
Variação da temp. amolecimento	°C	EN 1427	-4 a +8	

## 5.2. Misturas betuminosas para camadas de base

### 5.2.1. Aspectos gerais

As misturas betuminosas para camadas de base têm essencialmente uma função estrutural, absorvendo as tensões induzidas pelas acções do tráfego e transmitindo-as de forma atenuada à fundação. Devem ser resistentes à fadiga, à propagação de fendas e à acção da água.

O CE EP inclui três tipos de misturas betuminosas para aplicação em camadas de base: os macadames betuminosos 0/25 (fuso A) e 0/37,5 (fuso B) e a Mistura de Alto Módulo.

Os fusos granulométricos especificados para cada um destes tipos de misturas apresentam-se em seguida.

*Misturas betuminosas a quente para camadas de base: fusos granulométricos (JAE 1998)*

Abertura dos peneiros	Percentagem acumulada de material que passa		
	Camadas de base		
	MB (0/37,5)	MB (0/25)	MAM
37,5 mm	100	-	-
25,0 mm	87 - 100	100	100
19,0 mm	68 - 92	95 - 100	90 - 100
12,5 mm	60 - 80	60 - 91	70 - 90
9,5 mm	50 - 70	51 - 71	60 - 80
4,75 mm	37 - 53	36 - 51	44 - 62
2,36 mm	-	-	30 - 44
2,00 mm	26 - 41	26 - 41	-
0,850 mm	17 - 32	17 - 32	16 - 30
0,425 mm	11 - 25	11 - 25	10 - 21
0,180 mm	5 - 17	5 - 17	7 - 14
0,075 mm	2 - 8	2 - 8	6 - 10

De acordo com as recomendações do Manual de Concepção de Pavimentos, para as classes de tráfego mais elevadas e para as zonas térmicas correspondentes a temperaturas mais elevadas, devem utilizar-se betumes mais duros nas camadas de base e regularização. No entanto, na altura da publicação do Manual de Concepção, os tipos de betume utilizados não eram os mesmos que os utilizados presentemente. No quadro seguinte apresentam-se recomendações relativas aos tipos de betumes a utilizar em camadas de base, tendo em atenção o princípio de que nas situações em condições mais desfavoráveis do ponto de vista do tráfego e / ou das acções climáticas, devem ser utilizados betumes mais duros e ainda, tendo em consideração a prática actual em Portugal.

Para além dos betumes indicados no quadro, podem ainda utilizar-se betumes modificados quando se pretende dispor de misturas com desempenho melhorado, de acordo com o exposto em 5.1.2.

*Misturas betuminosas para camadas de base: recomendações relativas aos betumes de pavimentação a utilizar*

Zona climática	Mistura	Classe de tráfego		
		T1 ou superior	T2	T3, T4, T5, T6
Quente	MB	35/50	35/50	35/50 50/70
	MAM	10/20	10/20	10/20
Média	MB	35/50	35/50 50/70	35/50 50/70
	MAM	10/20	10/20	10/20
Temperada	MB	35/50 50/70	35/50 50/70	35/50 50/70
	MAM	10/20	10/20	10/20

Com excepção do Macadame Betuminoso 0/37,5 (fuso B), as misturas betuminosas para camadas de base são formuladas com recurso ao método Marshall. No caso do Macadame Betuminoso 0/37,5, a formulação da mistura é realizada essencialmente com base na execução de trechos experimentais.

As misturas betuminosas devem ser estáveis e, ao mesmo tempo, flexíveis, pelo que não são recomendáveis, devido à sua propensão para se tornarem frágeis, as misturas com estabilidade (Marshall) muito alta e reduzida deformação.

No que se refere ao conteúdo de ligante e de filer, também devem ser respeitados os limites estabelecidos, sendo também recomendável que as proporções relativas destes dois elementos se mantenham dentro de certos limites. A proporção entre filer e betume pode variar em função de determinadas características do filer, como por exemplo o índice de vazios Rigden, o aumento da temperatura de anel e bola<sup>(\*)</sup>.

As características especificadas no CE EP para as misturas para camadas de base apresentam-se no quadro seguinte.

---

<sup>(\*)</sup> No conjunto de EN presentemente em vigor relativas a agregados e fileres, estão incluídas normas de ensaio para a determinação destas características que se listam em anexo.

*Misturas betuminosas a quente para camadas de base: características das misturas (JAE 1998)*

Propriedades		MB (0/37,5)		MB (0/25)	MAM
		(a)	(b)		
Características Marshall	Nº de pancadas	-	75	75	75
	Força de rotura (kN)	-	8 -15	8 -15	≥ 16
	Deformação máxima (mm)	-	4	4	4
	VMA mínimo (%)	-	13	13	13
	Porosidade (%)	4 – 8 <sup>(c)</sup>	4 - 6	4 – 6	2 – 6
Percentagem de betume mínima (%)		4,3	-	-	5,3
Relação filer / betume (%) <sup>(d)</sup>		1,1 -1,5	1,1 – 1,5	1,1 – 1,5	1,3 – 1,5
Resistência à acção da água	IRC mínimo (%)	-	70	70	70

(a) Casos em que a percentagem de material que passa no peneiro de 25 mm é inferior a 100%

(b) Casos em que a percentagem de material que passa no peneiro de 25 mm é 100%

(c) Valor obtido no trecho experimental

(d) Estas relações podem não ser adequadas quando se utilizam certos tipos de fileres como a cal, podendo dar lugar a misturas com excesso de filer. É pois conveniente realizar a dosificação dos diferentes tipos de fileres recorrendo a características volumétricas.

## Fabrico e aplicação em obra

Uma vez definida a composição da mistura betuminosa através do estudo laboratorial, deve ser efectuada a sua transposição para a central de fabrico da mistura. Durante o fabrico e aplicação devem ser observadas as tolerâncias apresentadas em seguida, relativamente aos valores de referência obtidos no estudo.

*Misturas betuminosas para camadas de base: tolerâncias de fabrico (JAE 1998)*

Desvios máximos em relação aos valores de referência		MB ou MAM (D > 16mm)
Percentagem de material que passa no peneiro de abertura	0,075 mm	± 2%
	0,180 mm	± 3%
	2,0 mm	± 4%
	4,75 mm ou superior	± 5%
Percentagem de betume		± 0,3%

Para se conseguir uma adequada regularidade e compactação a mistura deve ser espalhada e compactada a temperaturas adequadas. Esta temperatura deve ser controlada de acordo com as características da mistura e, para além disso, deve-se zelar para que durante a compactação não se produzam ondulações da superfície (temperaturas muito elevadas), nem fendilhamento (temperaturas muito baixas).

A selecção criteriosa de um ou vários tipos de equipamentos de compactação facilita a obtenção da compacidade e da regularidade exigidas. Os cilindros vibradores e cilindros de pneus permitem obter elevadas compacidades, tanto á superfície, como na base das camadas. Os cilindros de rasto liso realizam o acabamento final da mistura, melhorando a sua regularidade superficial.

As especificações do CE EP relativas á compactação e acabamento da superfície apresentam-se em seguida. Estas especificações aplicam-se nos casos em que a camada de base é a segunda camada subjacente à de desgaste ou inferior. Caso a camada de base seja a primeira camada subjacente à de desgaste, aplicam-se os valores estipulados na secção seguinte (camadas de regularização).

*Misturas betuminosas a quente para camadas de base: compactação e acabamento da superfície (JAE 1998)*

Propriedade		Segunda camada subjacente à de desgaste ou inferior	
		Especificação	% mínima de valores que cumprem
Espessura da camada (e)		$\geq e(\text{projecto})$	95% <sup>(a)</sup>
Compactação Relativa (%) <sup>(b)</sup>		$\geq 97$	95%
Irregularidade da superfície	Réguas de 3m, transversal (mm)	$\leq 10$	100%
	Réguas de 3 m, longitudinal (mm)	$\leq 8$	100%
	IRI (m/km) <sup>(c)</sup>	$\leq 3,5$	50%
		$\leq 5,0$	80%
$\leq 6,5$		100%	
Diferença de cota em relação ao perfil projectado (mm)		$\leq 15$	100%

(a) Admite-se uma tolerância máxima de  $\pm 20$  mm para os valores de espessuras que não cumprem

(b) Toma-se como referência a baridade Marshall ou a obtida no trecho experimental, nos casos em que o método Marshall não é aplicável

(c) Valores recomendados, com vista a obter uma boa regularidade final da camada de desgaste.

### 5.2.2. Aspectos particulares relativos a Misturas de Alto Módulo

A camada de base tem uma grande influência no comportamento estrutural do pavimento, sendo a ruína por fendilhamento à fadiga um dos mecanismos de degradação mais frequentes em pavimentos flexíveis. A resistência à fadiga e a rigidez das misturas aplicadas na camada de base têm uma grande influência naquele mecanismo. A utilização de ligantes modificados de baixa penetração (do tipo dos BM-1 referido em 5.1.2.2), que aumentem a rigidez e a resistência à fadiga da mistura betuminosa, permite reduzir significativamente a espessura da camada de base.

Para além das características apresentadas em 5.2.1, em alguns projectos é adoptado um requisito adicional para as Misturas de Alto Módulo (MAM) referente ao seu módulo dinâmico obtido em ensaios de carga repetida, sendo habitual exigir valores da ordem de 10 000 MPa para temperaturas de ensaio de 20°C.

As Misturas de Alto Módulo devem ser fabricadas com conteúdos de ligante relativamente elevados (da ordem de 5,5%, e sempre superiores a 5,3%, de acordo com o exposto na secção anterior), para evitar problemas de fragilidade. Quanto à porosidade, podem-se admitir valores inferiores ao limite mínimo admissível para as misturas tradicionais, uma vez que, devido à elevada viscosidade do betume, não é expectável que a mistura tenha problemas de estabilidade. No entanto, a sua resistência às deformações permanentes pode sempre ser avaliada em ensaios de pista em laboratório.

### **5.3. Misturas betuminosas para camadas de regularização**

#### **5.3.1. Aspectos gerais**

As misturas betuminosas para camadas de regularização, colocadas entre as camadas de base e de desgaste, devem contribuir para garantir uma boa regularidade superficial do pavimento e impermeabilizar as camadas inferiores. Devem pois ser pouco permeáveis e, simultaneamente, ter uma boa resistência às deformações permanentes.

O CE EP inclui cinco tipos de misturas betuminosas para aplicação em camadas de regularização: o macadame betuminoso 0/25 (fuso A), a Mistura Betuminosa Densa, a Mistura de Alto Módulo, a Argamassa Betuminosa e o Betão Betuminoso subjacente a camada de desgaste.

Os fusos granulométricos especificados para cada um destes tipos de misturas apresentam-se em seguida.

*Misturas betuminosas a quente para camadas de regularização: fusos granulométricos (JAE 1998)*

Abertura dos peneiros	Percentagem acumulada de material que passa				
	Camadas de regularização				
	MB (0/25)	MBD	MAM	AB	BBs
25,0 mm	100	100	-	-	-
19,0 mm	95 - 100	85 - 100	100	-	-
16,0 mm	-	-	90 - 100	-	100
12,5 mm	60 - 91	73 - 87	80 - 95	-	80 - 90
9,5 mm	51 - 71	-	62 - 82	100	66 - 82
4,75 mm	36 - 51	45 - 60	42 - 60	95 - 100	45 - 65
2,36 mm	-	-	30 - 44	-	-
2,00 mm	26 - 41	32 - 46	-	70 - 85	30 - 42
0,850 mm	17 - 32	-	16 - 30	-	-
0,425 mm	11 - 25	16 - 27	10 - 21	25 - 40	12 - 20
0,180 mm	5 - 17	9 - 18	7 - 14	12 - 20	8 - 15
0,075 mm	2 - 8	5 - 10	6 - 10	7 - 10	5 - 10

Podem-se aplicar recomendações idênticas às apresentadas para camadas de base relativamente aos betumes a empregar nas misturas betuminosas para camadas de regularização. No entanto, mesmo para tráfegos menos intensos (T3 ou inferior), poder-se-á ter necessidade de recorrer preferencialmente a betumes da classe 35/50, uma vez que a garantia de um bom comportamento à deformação permanente é essencial para as camadas de regularização, dado que estas se situam mais próximas da superfície. No caso da argamassa betuminosa, o CE EP prevê, quer a utilização de betumes tradicionais quer a utilização de betumes modificados. Para os restantes tipos de misturas, embora tal não seja explicitamente contemplado no CE EP, o uso de betumes modificados pode trazer melhorias significativas ao desempenho das misturas.

A metodologia de formulação das misturas betuminosas para camadas de regularização é semelhante à utilizada nas misturas para camadas de base, já anteriormente resumida. As características especificadas no CE EP para as misturas aplicadas em camadas de regularização apresentam-se no quadro da página seguinte.

*Misturas betuminosas a quente para camadas de regularização: características das misturas (JAE 1998)*

Propriedades		MB (0/25)	MBD	MAM	AB	BBs
Características Marshall	Nº de pancadas	75	75	75	50	75
	Força de rotura (kN)	8 - 15	8 - 15	≥ 16	≥ 6	8 - 15
	Deformação máxima (mm)	4	4	4	5	4
	VMA mínimo (%)	13	13	14	15	14
	Porosidade (%)	4 - 6	3 - 6	2 - 6	3 - 6	4 - 6
Percentagem de betume mínima (%)		-	-	5,3	-	-
Relação filer / betume (%) <sup>(a)</sup>		1,1 - 1,5	1,1 - 1,5	1,3 - 1,5	-	1,1 - 1,5
Resistência à ação da água	IRC mínimo (%)	70	75	75	-	75

*(a) Estas relações podem não ser adequadas quando se utilizam certos tipos de fileres como a cal, podendo dar lugar a misturas com excesso de filer. É pois conveniente realizar a dosificação dos diferentes tipos de fileres recorrendo a características volumétricas.*

Embora tal não seja referido no CE EP, em Portugal é frequente avaliar a resistência à deformação permanente das misturas betuminosas aplicadas em camada de regularização através de ensaios de simulação em pista de laboratório. Estes ensaios são realizados em complemento aos estudos de formulação pelo método Marshall, especialmente quando se está em presença de pavimentos destinados a tráfego muito pesado e / ou em condições climáticas muito desfavoráveis, utilizando-se o método de ensaio preconizado na norma NLT-173, e os critérios para a classificação adoptados em Espanha. Existe já uma norma europeia (EN 12697-22) relativa à realização de ensaios de pista. Presentemente, não existe em Portugal experiência suficiente com a aplicação dessa norma, para que se possam estabelecer critérios de classificação das misturas, com base nos parâmetros estabelecidos na mesma.

Salienta-se que é muito importante assegurar que a resistência à deformação permanente das misturas betuminosas empregues em camadas de regularização é adequada, sobretudo no caso da mistura betuminosa densa, da argamassa betuminosa ou do betão betuminoso subjacente ao desgaste que, pela sua maior quantidade de mástique (finos e ligante) e pela sua eventual reduzida porosidade, podem ter maior propensão para a deformação.

Nalgumas misturas para camada de regularização (MAM e BBs) é exigido o cumprimento de uma percentagem mínima de filer comercial, no caso de os agregados serem graníticos, conforme apresentado em 5.1.1. Relativamente à relação entre as quantidades de filer e de betume observa-se que os limites estabelecidos podem variar em função de determinadas características do filer, como por exemplo o índice de vazios Rigden, ou a aumento da temperatura de anel e bola.

### Fabrico e aplicação em obra

À semelhança das misturas para camadas de base, deve ser efectuada a transposição do estudo de composição para a central de fabrico da mistura. Durante o fabrico e aplicação devem ser observadas as tolerâncias apresentadas em seguida, relativamente aos valores de referência obtidos no estudo.

*Misturas betuminosas para camadas de regularização: tolerâncias de fabrico (JAE 1998)*

Desvios máximos em relação aos valores de referência		MB ou MBD (D > 16mm)	MAM, AB ou BBs (D ≤ 16mm)
Percentagem de material que passa no peneiro de abertura	0,075 mm	± 2%	± 1%
	0,180 mm	± 3%	± 2%
	2,0 mm	± 4%	± 3%
	4,75 mm ou superior	± 5%	± 4%
Percentagem de betume		± 0,3%	± 0,3%

As recomendações já apresentadas em 5.2 relativas à compactação e acabamento da superfície são também aplicáveis às misturas para camada de regularização, apresentando-se em seguida as especificações da EP para estas camadas.

*Misturas betuminosas a quente para camadas de regularização: compactação e acabamento da superfície (JAE 1998)*

Propriedade		Especificação	% mínima de valores que cumprem
Espessura da camada (e)		≥ e (projecto)	95% <sup>(a)</sup>
Compactação Relativa (%) <sup>(b)</sup>		≥ 97	95%
Irregularidade da superfície	Régua de 3m, transversal (mm)	≤ 8	100%
	Régua de 3 m, longitudinal (mm)	≤ 5	100%
	IRI (m/km) <sup>(c)</sup>	≤ 2,5	50%
		≤ 3,5	80%
≤ 4,5		100%	
Diferença de cota em relação ao perfil projectado (mm)		≤ 15	100%

(a) Admite-se uma tolerância máxima de  $\pm 10$  mm para os valores de espessuras que não cumprem

(b) Toma-se como referência a baridade Marshall

(c) Valores recomendados, com vista a obter uma boa regularidade final da camada de desgaste.

### 5.3.2. Aspectos particulares relativos a Misturas de Alto Módulo

As recomendações já apresentadas em 5.2.2 relativas à aplicação de Misturas de Alto Módulo em camadas de base aplicam-se também no que concerne à utilização deste tipo de misturas em camadas de regularização.

## 5.4. Misturas betuminosas para camadas de desgaste

### 5.4.1. Aspectos gerais

As misturas betuminosas aplicadas em camadas de desgaste desempenham funções, tanto estruturais como funcionais. No entanto, as características funcionais são preponderantes na formulação destas misturas, o que tem levado ao desenvolvimento de misturas betuminosas especiais para camadas de desgaste, tais como as misturas drenantes ou as misturas rugosas, de elevada textura e excelente comportamento em vias rápidas e em presença da água.

De entre os tipos de misturas para camadas de desgaste preconizados no CE EP, as que se aplicam na generalidade das obras em Portugal são o Betão Betuminoso, o Betão Betuminoso Drenante, o Betão Betuminoso Rugoso e o Micro-Betão Betuminoso Rugoso.

O Betão Betuminoso (BB) aplicado em camada de desgaste é uma mistura pouco permeável, resistente à acção abrasiva do tráfego, cuja macrotextura pode ser relativamente baixa, pelo que nem sempre é a mais adequada para vias com elevadas velocidades de circulação e em climas chuvosos.

O Betão Betuminoso Drenante (BBD) tem características especiais para aplicação em camada de desgaste, por forma a melhorar a segurança e comodidade da circulação. Este tipo de mistura é particularmente indicado para eliminar ou reduzir os problemas de hidroplanagem dos veículos que circulam sobre o pavimento com chuva e para reduzir o ruído de rolamento. Por outro lado, estas misturas apresentam uma menor resistência aos efeitos abrasivos do tráfego, e podem colmatar-se quando aplicadas em zonas onde não chove com frequência e se acumule sujidade.

As misturas rugosas, e em particular o Betão Betuminoso Rugoso e Micro-Betão Betuminoso Rugoso (MBBR), proporcionam uma excelente macrotextura, tendo no entanto uma maior percentagem de material fino que as misturas drenantes, pelo que têm uma maior resistência à acção abrasiva do tráfego que o BBD.

Os fusos granulométricos especificados no CE EP para cada uma das misturas anteriormente referidas apresentam-se em seguida.

*Misturas betuminosas a quente para camadas de desgaste: fusos granulométricos (JAE 1998)*

Abertura dos peneiros	Percentagem acumulada de material que passa			
	Camadas de desgaste			
	BB	BBR	BBD	MBBR
19,0 mm	-	100	100	-
16,0 mm	100	-	-	-
12,5 mm	80 - 88	70 - 90	80 - 100	100
9,5 mm	66 - 76	60 - 75	50 - 80	80 - 100
4,75 mm	43 - 55	32 - 42	15 - 30	30 - 42
2,00 mm	25 - 40	22 - 30	10 - 22	22 - 32
0,850 mm	-	-	6 - 13	15 - 26
0,425 mm	10 - 18	11 - 20	-	12 - 24
0,180 mm	7 - 13	-	-	9 - 18
0,075 mm	5 - 9	6 - 10	3 - 6	7 - 12

Actualmente, têm-se vindo a utilizar predominantemente betumes da classe 35/50 na execução betão betuminoso para camadas de desgaste, podendo-se também utilizar betumes 50/70, em particular para as classes de tráfego mais ligeiro e para zonas climáticas favoráveis.

Anota-se que a utilização de betumes mais duros na camada de desgaste tem como vantagem o aumento da resistência à deformação permanente, mas pode contribuir para uma maior fragilidade da mistura, com eventual redução da resistência ao fendilhamento com origem à superfície. A utilização de betumes modificados nas misturas para camadas de desgaste é uma alternativa que permite minimizar esses problemas. No caso do Betão Betuminoso Drenante do Betão Betuminoso Rugoso, ou do Micro-Betão Betuminoso Rugoso, o uso de betumes modificados com polímeros obedecendo às características apresentadas em 5.1.2.2 é obrigatória.

À semelhança das misturas para camadas de base e de desgaste, o Betão Betuminoso para camada de desgaste é formulado com recurso ao método Marshall. Quanto ao Betão Betuminoso Drenante ao Betão Betuminoso Rugoso, e ao Micro-Betão Betuminoso Rugoso, é utilizado o compactador Marshall para o fabrico de provetes destinados a determinar características de resistência, tais como a resistência à acção da água ou a perda por desgaste no ensaio Cântabro. As restantes características são determinadas com recurso à execução de trechos experimentais.

As características a exibir pelos vários tipos de misturas empregues em camadas de desgaste, de acordo com o CE EP (JAE 1998), apresentam-se no Quadro seguinte.

*Misturas betuminosas a quente para camadas de desgaste: características das misturas (JAE 1998)*

Propriedades		BB	BBR	BBD	MBBR
Características Marshall	Nº de pancadas	75	75	50	50
	Força de rotura (kN)	8 - 15	≥ 8	-	-
	Deformação máxima (mm)	4	4	-	-
	VMA mínimo (%)	14	14	-	-
	Porosidade (%)	4 - 6	3 - 5	-	-
Porosidade [trecho experimental] (%)		-	-	22 - 30	3 - 6
Percentagem de betume mínima (%)		-	5	4	5
Relação filer / betume (%) <sup>(a)</sup>		1,1 - 1,5	-	-	-
Resistência à acção da água	IRC mínimo (%)	75	80	80	80
Perda por desgaste no ensaio Cântabro, máxima (%)		-	-	25	-

*(a) Esta relação pode não ser adequada quando se utilizam certos tipos de fileres como a cal, podendo dar lugar a misturas com excesso de filer. É pois conveniente realizar a dosificação dos diferentes tipos de fileres recorrendo a características volumétricas.*

No que se refere ao conteúdo de ligante e de filer, devem ser respeitados os limites estabelecidos, sendo obrigatória a utilização de determinadas percentagens de filer comercial, de acordo com o apresentado em 5.1.1. É também recomendável que as proporções relativas de betume e de filer se mantenham dentro de certos limites, que podem variar em função de determinadas características do filer, como por exemplo o índice de vazios Rígidon, ou a aumento da temperatura de anel e bola.

## Fabrico e aplicação em obra

Uma vez definida a composição da mistura betuminosa através do estudo laboratorial, deve ser efectuada a sua transposição para a central de fabrico da mistura. Durante o fabrico e aplicação devem ser observadas as tolerâncias apresentadas em seguida, relativamente aos valores de referência obtidos no estudo.

*Misturas betuminosas para camadas de desgaste: tolerâncias de fabrico (JAE 1998)*

Desvios máximos em relação aos valores de referência		BB, BBR,BBD ou MBBR (D ≤ 16 mm)
Percentagem de material que passa no peneiro de abertura	0,075 mm	± 1%
	0,180 mm	± 2%
	2,0 mm	± 3%
	4,75 mm ou superior	± 4%
Percentagem de betume		± 0,3%

Para o espalhamento e compactação do betão betuminoso tradicional, devem-se seguir as recomendações já apresentadas em 5.2 a propósito das misturas aplicadas em camadas de base. As recomendações específicas para o Betão Betuminoso Drenante, Betão Betuminoso Rugoso e o Micro-Betão Betuminoso Rugoso apresentam-se nas secções seguintes.

As especificações do CE EP relativas á compactação e acabamento da superfície apresentam-se em seguida.

*Misturas betuminosas a quente para camadas de desgaste: requisitos gerais para a compactação e acabamento da superfície (JAE 1998)*

Propriedade		Especificação	% mínima de valores que cumprem
Espessura da camada (e)		≥ e (projecto)	95%(a)
Compactação Relativa (%) <sup>(b)</sup>		≥ 97	95%
Irregularidade da superfície	Régua de 3m, transversal (mm)	≤ 5	100%
	Régua de 3m, longitudinal (mm)	≤ 3	100%
	IRI (m/km)	≤ 1,5	50%
		≤ 2,5	80%
		≤ 3,0	100%
Diferença de cota em relação ao perfil projectado (mm)		≤ 15	100%

(a) Admite-se uma tolerância máxima de ± 5 mm para os valores de espessuras que não cumprem

(b) Não aplicável ao BBD e ao MBBR. Para o BB toma-se como referência a baridade Marshall.

*Misturas betuminosas a quente para camadas de desgaste. requisitos relacionados com as características anti-derrapantes (JAE 1998)*

Propriedade		BB	BBR	BBD	MBBR
Drenagem superficial	Profundidade de textura (mm)	> 0,6	> 1,0	> 1,2	> 1,0
	Permeabilidade [LCS]	-	-	10 – 30 s	-
Coeficiente de atrito	Em contínuo [SCRIM, 50 km/h]	> 0,4			
	Pontual [Pêndulo Britânico, 500 / 500 m]	0,55			

#### **5.4.2. Aspectos particulares relativos ao Betão Betuminoso Drenante**

As misturas drenantes só devem ser aplicadas em estradas inseridas em zonas onde não haja ocorrência de neve ou formação de gelo, que tenham um regime de pluviosidade razoavelmente constante, que facilite a sua limpeza, cujos acessos estejam pavimentados e destinados a tráfegos relativamente elevados. Estas misturas não se aplicam sobre tabuleiros de obras de arte que não estejam devidamente impermeabilizados e, em qualquer caso, devem prever-se sistemas específicos de captação e eliminação da água infiltrada através do pavimento.

Em Portugal, o Betão Betuminoso Drenante é geralmente aplicado numa espessura constante de 4 cm.

Para melhorar a eficácia das misturas drenantes e reduzir o problema da sua colmatação, podem utilizar-se também sistemas com dupla camada drenante, que consistem em aplicar primeiro uma camada com agregado mais grosso, de dimensão máxima entre 12 e 20 mm, que proporciona vazios de maior tamanho e mais difíceis de colmatar pelas poeiras, seguida de uma camada superficial de agregado mais fino, de dimensão máxima entre 8 e 10 mm, com o objectivo de proporcionar um maior conforto ao utente, reduzir o ruído e com capacidade para evacuar a água.

A formulação das misturas drenantes é efectuada através da porosidade, verificada em trecho experimental, da resistência conservada e da limitação da perda por desgaste no ensaio Cântabro, de acordo com os limites apresentados em 5.4.1. Devem ser ainda respeitadas as percentagens mínimas de ligante modificado, também apresentada em 5.4.1 e de filer comercial, apresentada em 5.1.1.

As misturas drenantes são facilmente compactáveis, recorrendo-se a cilindros de rasto liso estáticos, que permitem atingir uma excelente regularidade. Embora não seja necessária uma elevada energia de compactação a compactação deve ser realizada de forma adequada, caso contrário produziria-se uma rápida desagregação da mistura.

### **5.4.3. Aspectos particulares relativos ao Micro-Betão Betuminoso Rugoso**

Os betões betuminosos rugosos proporcionam camadas de desgaste com uma excelente macrotextura, melhorando a segurança da circulação com chuva e com pavimento molhado, reduzindo também o ruído. Este tipo de misturas é geralmente aplicado em estradas e auto-estradas destinadas a tráfegos relativamente elevados. Em Portugal, o Micro-Betão Betuminoso Rugoso é aplicado em espessuras de 2,5 a 3,5 cm. e o Betão Betuminoso Rugoso em espessuras um pouco superiores.

A formulação do Betão Betuminoso Rugoso é efectuada através da porosidade, verificada em trecho experimental, e da resistência conservada, de acordo com os limites apresentados em 5.4.1. Devem ser ainda respeitadas as percentagens mínimas de ligante modificado, também apresentada em 5.4.1 e de filler comercial, apresentada em 5.1.1.

Este tipo de misturas é relativamente fácil de compactar, não requerendo equipamentos de compactação muito pesados. A sua compactação realiza-se basicamente recorrendo a cilindros de rasto liso sem vibração mas, dada a sua pequena espessura, é difícil controlar a compactação obtida. Assim, e para assegurar uma boa compactação, é muito importante controlar o modo de execução, em particular a temperatura de compactação e o número de passagens.

# 6

## **Misturas betuminosas a frio**

As misturas betuminosas também podem ser fabricadas e colocadas em obra à temperatura ambiente, sem necessidade de aquecer o ligante betuminoso para diminuir a sua viscosidade e permitir o envolvimento dos agregados, se forem utilizadas emulsões betuminosas como ligante.

### **6.1. Emulsões betuminosas**

Uma emulsão betuminosa é uma dispersão do betume em água, na qual a fase contínua é a água e a descontínua é constituída por pequenas partículas (micelas) de betume.

Para facilitar a dispersão do betume em água e conseguir que esta seja estável, empregam-se substâncias designadas como emulsionantes, cujas moléculas possuem duas partes diferenciadas, uma parte com grande afinidade pelo betume e outra parte polar, com grande afinidade pela água. Esta dupla característica permite-lhes situar-se na interface betume-água, evitando deste modo a coalescência entre os glóbulos de betume e a emulsão. Consoante o tipo de emulsionante empregado, podem ser obtidas duas classes de emulsões: aniónicas e catiónicas. Os emulsionantes aniónicos são os emulsionantes cuja parte apolar está carregada negativamente, enquanto os catiónicos são aqueles que conferem ao glóbulo de betume uma carga positiva.

Quando as emulsões são postas em contacto com os agregados, os glóbulos de betume depositam-se na sua superfície. Neste processo, que se designa como “rotura da emulsão”, a carga dos glóbulos de betume da emulsão desempenha um papel essencial na adesividade aos agregados, consoante estes sejam ácidos ou básicos.

Em geral, as emulsões catiónicas costumam ter uma boa adesividade com qualquer tipo de agregado, o que não se verifica com as aniónicas, que são geralmente adequadas apenas para agregados básicos.

A percentagem de finos e de filer da mistura de agregados tem também uma influência preponderante no processo de rotura das emulsões. Este facto levou ao desenvolvimento de três tipos de emulsões: de rotura lenta, média e rápida. As primeiras são adequadas para o envolvimento de misturas com elevadas percentagens de finos (bases tratadas com emulsão, slurry seal e micro-aglomerados a frio e misturas recicladas a frio in situ), as segundas para misturas com reduzida percentagem de finos (misturas abertas) e, por último, as de rotura rápida, que proporcionam uma elevada coesão inicial (revestimentos superficiais).

Todos estes tipos de emulsões podem ser fabricadas a partir de betumes convencionais de diversas classes de penetração e a partir de betumes modificados, dando origem a diferentes tipos de emulsões, cujas características se apresentam em seguida. Existe já uma norma Europeia (EN) relativa a emulsões catiónicas (EN 13808).

*Características das emulsões betuminosas catiónicas (LNEC E354 – 1984)*

Tipo de emulsão			Rotura Rápida		Rotura Média		Rotura Rápida	
			ECR-1	ECR-2	ECM-2	ECM-2 h	ECL-1	ECL-1 h
Emulsão	Viscosidade Saybolt- Furol a 25°C	Min	20	-	-	-	20	20
		Máx	100	-	-	-	100	100
	Viscosidade Saybolt- Furol a 50°C	Min	-	20	20	20	-	-
		Máx	-	100	300	300	-	-
	Sedimentação (%)	Máx	5	5	5	5	5	5
	Peneiração (%)	Máx	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	-
	Desimulsibilidade (%)	Min	40	40	-	-	-	-
	Adesividade aos agregados							
	Agregado seco		-	-	boa	boa	-	-
	Idem, após pulverização		-	-	razoável	razoável	-	-
	Agregado húmido		-	-	razoável	razoável	-	-
	Idem, após pulverização		-	-	razoável	razoável	-	-
	Carga das particuladas		positiva	positiva	positiva	positiva	positiva	positiva
Destilado a 260°C (volume %)	Máx	3	3	12	12	-	-	
Resíduo de destilação (%)	Min	57	63	57	63	57	57	
Resíduo de destilação	Penetração (0,1 mm)	Min	100	100	100	40	100	40
		Máx	250	250	250	90	250	90
	Ductilidade (%)	Min	40	40	40	40	40	40
	Solubilidade no tricloroetileno (%)	Min	97,5	97,5	97,5	97,5	97,5	97,5

## Características das emulsões betuminosas aniónicas (LNEC E128 – 1984)

Tipo de emulsão			Rotura Rápida		Rotura Média		Rotura Rápida	
			EAR-1	EAR-2	EAM-2	EAM-2 h	EAL-1	EAL-1 h
Emulsão	Viscosidade Saybolt-Furol a 25°C	Mín	20	75	20	100	20	20
		Máx	100	400	100	-	100	100
	Sedimentação (%)	Máx	5	5	5	5	5	5
	Peneiração (%)	Máx	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	-
	Desimulsibilidade (%)	Mín	60	60	-	-	-	-
	Adesividade aos agregados							
	Agregado seco		-	-	boa	boa	-	-
	Idem, após pulverização		-	-	razoável	razoável	-	-
	Agregado húmido		-	-	razoável	razoável	-	-
	Idem, após pulverização		-	-	razoável	razoável	-	-
	Resíduo de destilação (%)	Mín	55	63	55	65	57	57
Resíduo de destilação	Penetração (0,1 mm)	Mín	100	100	100	40	100	40
		Máx	200	200	200	90	200	90
	Ductilidade (%)	Mín	40	40	40	40	40	40
	Solubilidade no tricoroetileno (%)	Mín	97,5	97,5	97,5	97,5	97,5	97,5

### 6.2. Agregado Britado de Granulometria Extensa Tratado com Emulsão (ABGETE)

O Agregado Britado de Granulometria Extensa Tratado com Emulsão (ABGETE) é uma mistura homogénea de agregados, emulsão betuminosa, água e, ocasionalmente, aditivos, cujo fabrico e colocação em obra são realizados à temperatura ambiente, e que pode ser utilizada em camadas de base ou de regularização dos pavimentos. Este tipo de mistura é também designado frequentemente por “Base Tratada com Emulsão”.

O ABGETE é uma mistura muito versátil devido às suas características uma vez que, não só tem uma elevada capacidade de suporte, própria dos materiais granulares tratados, mas também possui capacidade para evitar a reflexão de fendas, é “auto-reparável” e acomoda-se aos movimentos da camada que lhe serve de suporte, o que implica que é adequada para camadas de base e / ou regularização em pavimentos de construção nova, ou como camada de base anti-reflexão de fendas em obras de reforço, regularização, alargamento ou reparação.

## Características dos materiais

Os agregados a empregar no ABGETE podem ser naturais ou artificiais. De acordo com o CE EP estes agregados devem enquadrar-se no seguinte fuso.

*Agregado Britado de Granulometria Extensa Tratado com Emulsão: fuso granulométricos (JAE 1998)*

Abertura dos peneiros	ABGETE - Camadas de base ou regularização
	Percentagem acumulada de material que passa
25,0 mm	100
19,0 mm	90 - 100
12,5 mm	65 – 90
9,5 mm	55 – 75
4,75 mm	40 – 58
2,00 mm	25 – 40
0,850 mm	16 – 28
0,425 mm	12 – 22
0,180 mm	6 – 16
0,075 mm	4 – 10

As especificações do CE EP para os agregados a empregar no fabrico de ABGETE apresentam-se em seguida.

### Especificações para agregados a empregar em ABGETE (JAE 1998) (\*)

Tipo de mistura		ABGETE
Limpeza	Equiv. Areia (EA, %) <sup>a</sup>	≥ 40
	Azul de Metileno (VA)	≤ 1,0
Propriedades físicas	Absorção (%)	≤ 3
	R. fragmentação (LA, %)	≥ 40 (A)

(a) Podem admitir-se valores de Equivalente de Areia inferiores, desde que seja cumprido o limite apresentado para o Azul de Metileno.

As emulsões a empregar no fabrico das misturas tipo ABGETE são emulsões de rotura lenta, estipulando-se, no CE EP o emprego de emulsões ECL-1h ou EAL-1h, mas com penetração do betume residual entre 60 e 100 (0,1 mm).

#### Características da mistura

Uma vez definida a composição da mistura de agregados, por forma a enquadrar-se no fuso anteriormente apresentado, os estudos a realizar em laboratório para a formulação das misturas betuminosas a frio têm como objectivos determinar a quantidade de líquidos necessária para o envolvimento adequado dos agregados e para a compactação das misturas, determinar a percentagem de betume residual para proporcionar adequadas características de resistência à mistura.

A quantidade de líquidos necessária para a compactação da mistura é determinada com recurso ao ensaio de compactação Proctor modificado. A percentagem de betume residual é determinada com base na resistência à compressão simples da mistura antes e após imersão em água. Esta resistência é determinada após um período de cura acelerada da mistura, (geralmente 24 horas à temperatura ambiente e 3 dias em estufa a 60°C).

(\*) As especificações do actual CE - EP estão ainda estabelecidas em função de propriedades determinadas com base em especificações LNEC, normas ASTM ou outras. Em Anexo apresenta-se a correspondência entre estas especificações e normas e as Normas Europeias.

Observa-se que as disposições do CE EP apresentadas no quadro seguinte para as características de resistência das misturas tipo ABGETE são consideradas pouco “exigentes” face á experiência adquirida em obras recentes, pelo que se apresentam nesse quadro propostas de revisão dos valores da resistência.

#### *Misturas betuminosas a frio: características do ABGETE*

Propriedades		CE EP (JAE 1998)	Valores <sup>(b)</sup> recomendados
Ensaio de imersão-compressão <sup>(a)</sup>	Resistência a seco (kN)	≥ 5	≥ 10
	Resistência conservada (%)	≥ 60	≥ 80
Percentagem de betume residual mínima (%)		3	3

*(a) provetes com 100 mm de diâmetro, moldados com compressão estática de duplo efeito, curados em estufa a 60°C durante 3 dias*

*(b) Experiência obtida em obras recentes*

#### **Fabrico e aplicação em obra**

O fabrico das misturas betuminosas a frio é realizado com recurso a centrais mais simples que as utilizadas para as misturas betuminosas a quente, semelhantes às utilizadas no fabrico de materiais tratados com cimento. As tolerâncias de fabrico estabelecidas no CE EP apresentam-se em seguida.

#### *Misturas betuminosas frio tipo ABGETE: tolerâncias de fabrico (JAE 1998)*

Desvios máximos em relação aos valores de referência		ABGETE
Percentagem de material que passa no peneiro de abertura	0,075 mm	± 1%
	0,180 mm	± 2%
	2,0 mm	± 4%
	4,75 mm ou superior	± 5%
Percentagem de betume residual		± 0,5%

Uma vez seleccionada a fórmula de trabalho, é imprescindível a execução de um trecho experimental, que permita ajustar o processo construtivo e avaliar a progressão da cura das misturas. Na compactação do ABGETE devem ser empregues equipamentos com elevada energia de compactação.

Tendo em atenção a experiência recentemente adquirida em obras realizadas em Portugal, recomenda-se que a mistura a frio não seja coberta com a camada subsequente sem que o seu teor em água esteja estabilizado. Recomenda-se ainda que a baridade de referência para o controlo da compactação seja determinada no trecho experimental, uma vez que através da utilização de uma composição adequada e de equipamentos apropriados, se obtêm baridades bastante superiores à do Proctor que, de acordo com o CE EP deve ser tomada como referência.

As especificações do CE EP relativas á compactação e acabamento da superfície apresentam-se em seguida.

*Misturas betuminosas a frio tipo ABGETE: compactação e acabamento da superfície (JAE 1998)*

Propriedade		Especificação		% mínima de valores que cumprem
		Base	Regularização	
Compactação Relativa (%) <sup>(a)</sup>		≥ 98	≥ 98	95%
Irregularidade da superfície	Régua de 3m, transversal (mm)	≤ 20	≤ 15	100%
	Régua de 3 m, longitudinal (mm)	≤ 20	≤ 15	100%

(a) No CE EP preconiza-se a utilização da baridade máxima obtida no Proctor modificado como valor de referência para o controlo de compactação. Tem-se observado em obras recentes que, com os equipamentos actualmente disponíveis, são atingidas baridades significativamente superiores a esta, pelo que se recomenda a adopção da baridade máxima obtida no trecho experimental como baridade de referência.

## Características estruturais

Uma vez aplicadas, as misturas betuminosas a frio passam por um processo de cura, que pode durar cerca de dois meses, dependendo das condições atmosféricas, findo o qual as suas características estruturais atingem valores definitivos. Através de ensaios realizados in situ e em laboratório, tem-se verificado que nessa altura, as misturas tipo ABGETE atingem módulos de deformabilidade da ordem 3.000 MPa para as temperaturas de serviço habituais em Portugal.

### 6.3. Misturas abertas a frio

As misturas betuminosas abertas a frio são o resultado da combinação de agregados grossos (material que passa pelo peneiro de 2,36 mm inferior a 5%) com uma emulsão betuminosa e eventuais aditivos. A mistura resultante, que pode ser armazenada durante algum tempo antes de ser aplicada, é espalhada e compactada à temperatura ambiente.

As misturas betuminosas abertas a frio trabalham essencialmente por atrito interno entre as partículas, e podem ser utilizadas em camadas de base e de regularização em pavimentos destinados a tráfego ligeiro e em trabalhos de conservação corrente, nomeadamente em tapagem de covas.

Consoante o tipo de aplicação e a espessura da camada, o CE EP estabelece 3 fusos granulométricos para a mistura de agregados, que se indicam em seguida.

#### *Misturas Betuminosas Abertas a Frio: fuso granulométricos (JAE 1998)*

Abertura dos peneiros	Percentagem acumulada de material que passa (%)		
	Trabalhos de conservação corrente e espessuras inferiores a 40 mm	Espessuras entre 40 mm e 60 mm	Espessuras superiores a 60 mm
25,0 mm	-	-	100
19,0 mm	-	100	70 - 90
12,5 mm	100	60 - 80	50 - 70
9,5 mm	70 - 90	45 - 65	35 - 55
4,75 mm	15 - 40	10 - 35	5 - 30
2,36 mm	0 - 5	0 - 5	0 - 5
0,075 mm	0 - 2	0 - 2	0 - 2

## Características dos materiais

As especificações do CE EP para os agregados a empregar no fabrico de Misturas Abertas a Frio apresentam-se em seguida.

*Especificações para agregados a empregar em Misturas Betuminosas Abertas a Frio (JAE 1998) (\*)*

Tipo de mistura		Mistura aberta
Limpeza	Equiv. Areia (EA, %) <sup>a</sup>	≥ 40
	Azul de Metileno (VA)	≤ 1,0
Propriedades físicas	Absorção (%)	≤ 3
	R. fragmentação (LA, %)	≤ 35 (B)

(a) Podem admitir-se valores de Equivalente de Areia inferiores, desde que seja cumprido o limite apresentado para o Azul de Metileno.

As emulsões a empregar no fabrico das misturas betuminosas abertas a frio são emulsões de rotura média, tipo ECM-2 ou EAM-1, conforme indicado no CE EP.

## Características da mistura

Da percentagem de emulsão betuminosa a empregar na mistura aberta a frio é estabelecida em função da superfície específica dos agregados, devendo ser respeitados os seguintes limites estabelecidos no CE EP.

(\*) As especificações do(10) actual CE - EP estão ainda estabelecidas em função de propriedades determinadas com base em especificações LNEC, normas ASTM ou outras. Em Anexo apresenta-se a correspondência entre estas especificações e normas e as Normas Europeias.

*Misturas betuminosas abertas a frio: percentagem de betume residual (JAE 1998)*

Propriedades	Tipo de aplicação	Limites
Módulo de riqueza, K (%) <sup>a</sup>	Base	3 a 3,5
	Regularização	3,3 a 3,8
Percentagem de betume residual mínima (%)		3,5

(a) O módulo de riqueza é utilizado para determinar a percentagem de betume,  $P_b$ , a partir da fórmula:  $P_b = K \times \alpha \times \sqrt[3]{\Sigma}$ , sendo  $\alpha = \frac{2,65}{\rho_a}$  e  $\rho_a$  a massa volúmica do agregado em g/cm<sup>3</sup>.

Recomenda-se ainda que seja controlada a qualidade do envolvimento dos agregados, por parte da emulsão, bem como a adesividade betume – agregado.

A coesão da mistura após cura pode também ser controlada através do ensaio Cântabro, de acordo com o seguinte critério.

*Misturas betuminosas abertas a frio: avaliação da coesão da mistura (CEPSA PROAS)*

Propriedade		Limites
Perda por desgaste (%)	Ensaio Cântabro sobre provetes curados em estufa 2 dias a 75°C durante e 5 dias a 90°C <sup>a</sup>	< 25

(a) Procedimento desenvolvido pela CEPSA PROAS

## Fabrico e aplicação em obra

Tal como as misturas ABGETE, o fabrico das misturas betuminosas abertas a frio é realizado com recurso a centrais simples, semelhantes às utilizadas no fabrico de materiais tratados com cimento. As tolerâncias de fabrico estabelecidas no CE EP apresentam-se em seguida.

### *Misturas betuminosas abertas a frio: tolerâncias de fabrico (JAE 1998)*

Desvios máximos em relação aos valores de referência		Misturas abertas a frio
Percentagem de material que passa no peneiro de abertura	0,075 mm	± 2%
	2,36 mm	± 4%
	4,75 mm ou superior	± 5%
Percentagem de betume residual		± 0,5%

Uma vez seleccionada a fórmula de trabalho, é imprescindível a execução de um trecho experimental, que permita ajustar o processo construtivo e avaliar a progressão da cura das misturas.

Na compactação das misturas abertas a frio utilizam-se cilindros de rasto liso estáticos. Uma vez que não existe um procedimento de ensaio que possa ser aplicado facilmente para o controlo da compactação deste tipo de camadas, o procedimento de espalhamento e compactação (tipo de cilindros e número de passagens) deve ser cuidadosamente controlado.

Neste tipo de camadas é frequentemente necessário proceder á protecção da superfície através do espalhamento de uma gravilha 2/4 à taxa de 3 a 4 l/m<sup>2</sup>. Depois de espalhado o agregado de recobrimento deve-se passar o cilindro de pneus.

As exigências de acabamento preconizadas no CE EP apresentam-se em seguida.

### *Misturas betuminosas abertas a frio: acabamento da superfície (JAE 1998)*

Propriedade		Especificação		% mínima de valores que cumprem
		Base	Regularização	
Irregularidade da superfície	Régua de 3m, transversal (mm)	≤ 20	≤ 15	100%
	Régua de 3 m, longitudinal (mm)	≤ 20	≤ 15	100%

# 7

## **Regas e tratamentos superficiais**

## 7.1. Regas auxiliares

### 7.1.1. Regas de impregnação

A rega de impregnação consiste na aplicação de um ligante hidrocarbonado sobre uma camada granular, realizada previamente à aplicação de camadas betuminosas ou de tratamentos superficiais.

#### Materiais

O ligante empregue em regas de impregnação pode ser um betume fluidificado tipo MC-30 ou MC-70, obedecendo à especificação E 98 do LNEC, ou uma emulsão betuminosa especial para regas de impregnação do tipo catiónico ECI de baixa viscosidade, com as seguintes características indicadas no CE EP.

*Exigências para emulsões betuminosas para regas de impregnação (JAE 1998)*

Propriedade		Valores limite
Viscosidade Saybolt-Furol [25°C] (s)	Máx	50
Carga das partículas	-	Positiva
Teor em betume (%)	Mín	40
Teor em água (%)	Máx	50
Resíduo de peneiração (%)	Máx	0,1
Sedimentação aos 7 dias (%)	Máx	10
Teor em fluidificante (%)	Máx	15
Penetração do resíduo de destilação (%)	Mín	200
[25°C, 100g, 5s]	Máx	300

Nos últimos anos têm aparecido no mercado as chamadas “emulsões de impregnação de elevado poder de penetração”, que apresentam uma maior eficácia de impregnação que as emulsões ECI convencionais, tendo também um melhor comportamento que os betumes fluidificados.

Este tipo de emulsões constitui um dos avanços mais importantes na tecnologia de emulsões. Tratam-se de emulsões onde se consegue um menor tamanho das partículas, o que atrasa a sedimentação, apesar da sua baixa viscosidade. Para além disso, estas emulsões são livres de COV e, portanto, a sua utilização minimiza os efeitos nocivos para o meio ambiente.

## **Taxa de aplicação dos materiais**

A taxa de aplicação da emulsão, deve ser escolhida por forma a que a totalidade do betume residual possa ser absorvida pela camada de base num período de 24 horas, utilizando-se em regra taxas de aplicação correspondentes a 0,5 a 1 kg/m<sup>2</sup> de betume residual. De acordo com o CE EP a tolerância a observar para a taxa de emulsão é de  $\pm 0,5\%$ .

## **Aplicação em obra**

Antes de se proceder à aplicação da rega, devem ser eliminados o pó e os materiais soltos à superfície, utilizando escovas mecânicas ou jactos de ar. Em seguida efectua-se uma rega com água, evitando a saturação, e aplica-se a rega de forma uniforme.

Quando há necessidade de circularem veículos sobre a superfície ou quando o aglutinante não é totalmente absorvido pela base num período de 24 h após a rega, torna-se necessário espalhar um agregado fino (dimensão máxima de 4,75 mm) sobre a superfície para fixar o aglutinante. Para tal, utilizam-se meios mecânicos, devendo-se zelar para que o espalhamento do agregado seja realizado de modo uniforme.

### **7.1.2. Regas de colagem**

A rega de colagem consiste na aplicação de uma emulsão betuminosa sobre uma camada tratada com ligantes hidrocarbonados ou com ligantes hidráulicos, efectuada antes da colocação de uma camada betuminosa sobre a primeira. Exceptuam-se os casos em que a camada betuminosa é um revestimento superficial ou um microaglomerado a frio, em que não é aplicada rega de colagem.

## **Materiais**

O tipo de emulsão a empregar na rega de colagem é em geral ECR-1, não sendo usual, em Portugal utilizar emulsões aniónicas (EAR-1) neste tipo de aplicação. Em camadas de desgaste com espessura inferior a 40 mm e em pavimentos destinados a tráfego muito intenso, recomenda-se que sejam utilizadas emulsões betuminosas modificadas.

O CE EP preconiza a utilização de emulsões modificadas com as características indicadas em seguida, sempre que seja utilizado betume modificado na mistura betuminosa da camada superior.

*Exigências para emulsões betuminosas modificadas para regas de colagem (JAE 1998)*

Propriedade		Valores limite
Viscosidade Saybolt-Furol [50°C] (s)	Mín	20
Carga das partículas	-	Positiva
Teor em betume (%)	Mín	63
Teor em água (%)	Máx	37
Resíduo de peneiração (%)	Máx	0,1
Sedimentação aos 7 dias (%)	Máx	5
Penetração do resíduo de destilação (%) [25°C, 100g, 5s]	Mín	100
	Máx	200
Temperatura de amolecimento do resíduo de destilação (°C)	Mín	45
Recuperação elástica do resíduo de destilação (%) [25°C]	Mín	15

Um problema frequente na execução de regas de colagem é o facto de as emulsões aderirem às rodas dos veículos da obra, deixando a superfície parcialmente coberta. Para resolver este problema, a CEPSA desenvolveu uma gama de emulsões termo-aderentes designadas ADHERMUL e STYEMUL, cujas características se apresentam no quadro seguinte.

## Características das emulsões termo-aderentes (CEPSA)

Propriedade		Adhermul	Styremul Aderência
Viscosidade Saybolt-Furol [25°C] (s)	Máx.	50	50
Carga das partículas	-	-	-
Teor em betume (%)	Mín.	59	62
Teor em água (%)	Máx.	41	38
Teor em fluidificante por destilação (% em volume)	Máx.	1	0
Sedimentação aos 7 dias (%)	Máx.	5	5
Resíduo de peneiração (%)	Máx.	0,1	0,1
Penetração do resíduo de destilação (%) [25°C, 100g, 5s]	Mín.	13	20
	Máx.	50	60
Temperatura de amolecimento do resíduo de destilação (°C)	Mín.	55	60
Recuperação elástica do resíduo de destilação (%) [25°C]	Mín.		15
Ductilidade (cm) [25°C]	Mín.		30

### Taxa de aplicação

A taxa de aplicação de emulsões para regas de colagem não deve ser inferior a 0,2 kg/m<sup>2</sup> de ligante residual não devendo em geral exceder a 0,5 kg/m<sup>2</sup>. Quando a camada superior for uma camada de desgaste em mistura betuminosa descontínua (betão betuminoso rugoso ou micro-betão betuminoso rugoso) ou drenante, ou quando se trata de uma camada de mistura betuminosa a quente utilizada na reabilitação superficial de um pavimento em serviço, a taxa mínima de aplicação da emulsão deve ser aumentada.

### Aplicação em obra

Antes de proceder à aplicação da emulsão betuminosa, a superfície a tratar deve estar limpa e isenta de pó e de materiais soltos, utilizando-se para tal escovas mecânicas ou equipamentos de ar comprimido.

Se a superfície a tratar é um pavimento betuminoso em serviço, deve-se garantir a eliminação de qualquer excesso de emulsão betuminosa que ocorra após a execução de trabalhos de fresagem. Se a superfície tiver uma membrana de cura, decorrido o prazo de cura, esta membrana deve ser eliminada através de escovagem enérgica ou de ar comprimido.

A emulsão betuminosa deve-se aplicar de maneira uniforme, evitando a duplicação da taxa nas zonas das juntas transversais de trabalho. Para tal, coloca-se debaixo dos injectores, tiras de papel ou de outro material, nos locais em que se inicia e se interrompe a rega. Quando se torna necessário regar por franjas, deve-se procurar uma ligeira sobreposição da rega na união de franjas contíguas.

## 7.2. Revestimentos superficiais

O revestimento superficial é um tratamento que consiste na execução de uma ou mais aplicações de um ligante hidrocarbonado sobre a superfície a tratar, alternada com uma ou várias camadas de agregado com granulometria uniforme.

Em função da quantidade e da disposição das camadas que os constituem, existem diversos tipos de revestimento superficial:

### Revestimento superficial simples

Consiste numa rega com ligante, seguida de uma posterior aplicação de agregado.



### Revestimento superficial simples com duas aplicações de agregado

Consiste no espalhamento de agregado, seguida de rega com ligante e de uma segunda aplicação de agregado.



### Revestimento superficial duplo

Consiste em duas aplicações sucessivas de ligante e de agregado.



### Revestimento superficial duplo com três aplicações de agregado

Consiste no espalhamento de uma camada de agregado, seguido de duas aplicações sucessivas de ligante e de agregado.



### Revestimento superficial triplo

Consiste em três aplicações sucessivas de ligante e de agregado.



A escolha do tipo de revestimento superficial é efectuada tendo em conta as características da superfície sobre a qual este irá ser aplicado, o seu estado de conservação e o objectivo da aplicação do revestimento, de acordo com os seguintes critérios:

- **Revestimento superficial simples:** deve-se empregar exclusivamente em tratamentos de conservação destinados a restituir a resistência à derrapagem de superfícies com características homogéneas e boa regularidade superficial, sem ninhos ou peladas e constituídas por materiais betuminosos.
- **Revestimento superficial duplo:** emprega-se preferencialmente sobre superfícies tratadas com ligantes betuminosos ou com ligantes hidráulicos, novas ou apresentando um estado de conservação aceitável.
- **Revestimento superficial simples com duas aplicações de agregado ou revestimento superficial duplo com três aplicações de agregado:** empregam-se sobretudo em superfícies com ninhos ou heterogéneas, sendo especialmente adequados se a superfície a tratar apresenta exsudações por excesso de ligante que não possam ser eliminadas.
- **Revestimento superficial duplo com três aplicações de agregado ou revestimento superficial triplo:** emprega-se sobretudo em superfícies constituídas por materiais granulares.

De entre os diversos tipos de revestimento superficial apresentados anteriormente, apenas os três primeiros (simples, simples com duas aplicações de agregado ou duplo) são contemplados no actual CE EP, apresentando-se em seguida as principais características especificadas naquele documento.

## Características dos materiais

### Ligantes

Os ligantes recomendados no CE EP para a execução de revestimentos superficiais são o betume 160/220 ou, em alternativa, emulsões betuminosas ECR-3 ou emulsões betuminosas modificadas obedecendo às seguintes características

*Exigências para emulsões betuminosas a utilizar em revestimentos superficiais (JAE 1998)*

Propriedade		Valores limite	
		Emulsão ECR-3	Emulsão modificada
Viscosidade Saybolt-Furol [50°C] (s)	Mín.	40	50
Carga das partículas	-	positiva	positiva
Teor em betume (%)	Mín.	66	66
Teor em água (%)	Máx.	34	34
Resíduo de peneiração (%)	Máx.	0,1	0,1
Sedimentação aos 7 dias (%)	Máx.	5	5
Penetração do resíduo de destilação (%) [25°C, 100g, 5s]	Mín.	100	100
	Máx	200	200
Temperatura de amolecimento do resíduo de destilação (°C)	Mín		45
Recuperação elástica do resíduo de destilação (%) [25°C]	Mín		15

O emprego de emulsões modificadas é particularmente indicado para estradas com tráfego mais intenso, ou com traçado sinuoso ou inseridas em zonas com amplitudes térmicas importantes.

## **Agregados**

Os agregados a utilizar em revestimentos superficiais devem obedecer às seguintes características.

Especificações para agregados a empregar em revestimentos superficiais (JAE 1998) <sup>(\*)</sup>

Tipo de tratamento		Revestimentos superficiais	
Propriedades geométricas	Material britado (%)	100	
	Lamelação (%)	≤25	
	Alongamento (%)	≤25	
Propriedades físicas	Coeficiente de polimento acelerado		≥0,50
	R. fragmentação (LA, %)	Faixa de rodagem	≤20(B)
		Bermas	≤25(B)
Adesividade agregado / betume puro		Boa	

As dimensões dos agregados a utilizar nos revestimentos superficiais são função do tipo de revestimento, de acordo com o indicado em seguida.

*Agregados para revestimentos superficiais: dimensões das fracções e exigências granulométricas (JAE 1998)*

	Tipo de revestimento superficial				
	Simples	Simples com duas aplicações de agregado		Duplo	
		1ª aplicação	2ª aplicação	1ª aplicação	2ª aplicação
Dimensões nominais (mm)	4 / 6 6 / 10 10 / 14	6 / 10 10 / 14	2 / 4 4 / 6	6 / 10 10 / 14	2 / 4 4 / 6
% passada no peneiro de 0,850 mm	≤ 1%				
% passada no peneiro de 0,076 mm	≤ 0,5 %				

<sup>(\*)</sup> As especificações do actual CE - EP estão ainda estabelecidas em função de propriedades determinadas com base em especificações LNEC, normas ASTM ou outras. Em Anexo apresenta-se a correspondência entre estas especificações e normas e as Normas Europeias.

## Taxas de aplicação

As taxas de aplicação dos agregados e do ligante a empregar em revestimentos superficiais variam consoante o estado da superfície em que estes são aplicados, as condições climáticas, as dimensões dos agregados e o tipo de ligante. As taxas de aplicação fornecidas a título indicativo no CE EP apresentam-se em seguida.

*Taxas de aplicação dos materiais para revestimentos superficiais simples (JAE 1998)*

Dimensões do agregado (mm)	1ª aplicação		
	Agregado (l/m <sup>2</sup> )	Ligante residual (kg/m <sup>2</sup> )	
		Betume puro	Emulsão
4 / 6	6 a 7	1,0	0,9
6 / 10	8 a 9	1,3	1,2
10 / 14	11 a 13	1,6	1,5

*Taxas de aplicação dos materiais para revestimentos superficiais simples com duas aplicações de agregado (JAE 1998)*

Dimensões do agregado (mm)	1ª aplicação	2ª aplicação		
	Agregado (l/m <sup>2</sup> )	Agregado (l/m <sup>2</sup> )	Ligante residual (kg/m <sup>2</sup> )	
			Betume puro	Emulsão
6 / 10	6 a 7	-	1,3	1,2
2 / 4	-	3 a 4		
10 / 14	8 a 9	-	1,6	1,5
4 / 6	-	4 a 5		

## Taxas de aplicação dos materiais para revestimentos superficiais duplos (JAE 1998)

Dimensões do agregado (mm)	1ª aplicação			2ª aplicação		
	Agregado (l/m <sup>2</sup> )	Ligante residual (kg/m <sup>2</sup> )		Agregado (l/m <sup>2</sup> )	Ligante residual (kg/m <sup>2</sup> )	
		Betume puro	Emulsão		Betume puro	Emulsão
2 / 4	-	-	-	4 a 5	0,9	0,9
4 / 6	-	-	-	6 a 7	1,0	1,0
6 / 10	7 a 8	0,9	0,7	-	-	-
10 / 14	10 a 11	0,9	0,9	-	-	-

### Aplicação em obra

O ligante betuminoso deve ser aplicado com recurso a uma cisterna equipada com barra de espalhamento com pulverizadores e os agregados devem ser espalhados utilizando auto-gravilhadores que proporcionem uma distribuição adequada e homogênea dos materiais, com as taxas estabelecidas na fórmula de trabalho.

A compactação deve ser efectuada preferencialmente com recurso a cilindros de pneus. Antes da abertura ao tráfego devem-se eliminar as gravilhas soltas, utilizando vassouras mecânicas de escovas não metálicas. Estas vassouras devem ser munidas de um sistema de aspiração, quando os trabalhos se realizem em zonas urbanas.

### Exigências relativas à superfície final

Os revestimentos superficiais devem possuir aspecto e textura uniformes e estar isentos de defeitos localizados, tais como exsudações de betume e desprendimento de gravilhas.

### 7.3. Microaglomerados a frio e slurry seal

Os microaglomerados a frio e os slurry seal são misturas fabricadas à temperatura ambiente com emulsão betuminosa, agregados, água e, eventualmente, filler comercial e aditivos.

Estes materiais têm uma consistência relativamente fluida, o que permite um fácil espalhamento sobre a superfície do pavimento utilizando uma rampa. No entanto, ao endurecer, a sua coesão e dureza aumenta, proporcionando uma superfície resistente à ação abrasiva do tráfego. Os slurry seal convencionais (também designados por lamas asfálticas), fabricados com areias, foram evoluindo por forma a empregar agregados mais grossos na sua composição com o objectivo de aumentar a macrotextura e o coeficiente de atrito da superfície. Assim, este tipo de técnicas é muito adequado para impermeabilizar e tratar pavimentos envelhecidos ou para obter uma superfície de desgaste com boas características anti-derrapantes.

Estes materiais podem ser aplicados numa única camada (slurry seal ou microaglomerado simples) ou em duas camadas (slurry seal ou microaglomerado duplo). Em Portugal, e de acordo com a terminologia adoptada no CE EP, os slurry seal distinguem-se dos microaglomerados a frio pelo facto de, nestes últimos, ser obrigatória a utilização de emulsões modificadas com polímeros, sendo também, no caso dos microaglomerados duplos, utilizados agregados mais grosseiros que no caso dos slurry seals.

Os fusos granulométricos especificados no CE EP para microaglomerados e slurry seal e indicam-se em seguida.

*Microaglomerados a frio e slurry seal: fusos granulométricos (JAE 1998)*

Abertura dos peneiros	Microaglomerado a frio			Slurry seal		
	Simples	Duplo		Simples	Duplo	
		1ª aplicação	2ª aplicação		1ª aplicação	2ª aplicação
9,50 mm	-	-	100	-	-	-
6,30 mm	100	-	80 - 95	100	-	100
4,75 mm	85 - 95	100	70 - 90	85 - 95	100	85 - 95
2,36 mm	65 - 90	85 - 95	45 - 70	65 - 90	85 - 95	65 - 90
1,18 mm	45 - 70	60 - 85	28 - 50	45 - 70	60 - 85	45 - 70
0,600 mm	30 - 50	40 - 60	18 - 33	30 - 50	40 - 60	30 - 50
0,300 mm	18 - 35	25 - 45	15 - 25	18 - 35	25 - 45	18 - 35
0,180 mm	10 - 20	18 - 30	6 - 18	10 - 20	18 - 30	10 - 20
0,075 mm	7 - 15	12 - 20	5 - 10	7 - 15	12 - 20	7 - 15

## Características dos materiais

### Agregados

Os agregados a empregar em microaglomerados e slurry seal devem obedecer às seguintes especificações indicadas no CE EP.

*Especificações para agregados a empregar em microaglomerados e slurry seals (JAE 1998) (\*)*

Tipo de mistura		Microaglomerados simples; 1ª aplicação dos microaglomerados duplos; <i>Slurry seals</i>	2ª aplicação dos microaglomera- dos duplos
Limpeza	Equiv. Areia (EA, %) da mist. de agreg. sem filler	≥ 60	≥ 60
	Equiv. Areia (EA, %) da mist. de agreg. cem filler	≥ 40	≥ 40
	Azul de Metileno (VA)	≤ 0,8	≤ 0,8
Propriedades geométricas	Material britado (%)	100	100
	Lamelação (%)	-	≥ 25
	Alongamento (%)	-	≥ 25
Propriedades físicas	Coefficiente de polimento acerelado	≥ 0,50	≥ 0,50
	R. fragmentação (LA, %)	≤ 20 (B)	≤ 20 (B)

### Emulsões

As emulsões a empregar no fabrico dos slurry seals devem ser formuladas tendo em atenção as propriedades dos agregados. Para os microaglomerados a frio devem ser utilizadas obrigatoriamente emulsões modificadas com polímeros, obedecendo às seguintes características especificadas no CE EP.

(\*)As especificações do actual CE - EP estão ainda estabelecidas em função de propriedades determinadas com base em especificações LNEC, normas ASTM ou outras. Em Anexo apresenta-se a correspondência entre estas especificações e normas e as Normas Europeias.

*Exigências para emulsões betuminosas modificadas a utilizar em microaglomerados a frio (JAE 1998)*

Propriedade		Emulsão modificada
Viscosidade Saybolt-Furol [25°C] (s)	Máx.	50
Carga das partículas	-	positiva
Teor em betume (%)	Mín.	60
Teor em água (%)	Máx.	40
Resíduo de peneiração (%)	Máx.	0,1
Sedimentação aos 7 dias (%)	Máx.	10
Penetração do resíduo de destilação (%) [25°C, 100g, 5s]	Mín.	60
	Máx.	100
Temperatura de amolecimento do resíduo de destilação (°C)	Mín	55
Recuperação elástica do resíduo de destilação (%) [25°C]	Mín	15

### **Características das misturas**

A escolha do tipo de microaglomerado ou de slurry seal a utilizar dependerá essencialmente dos objectivos da sua aplicação, bem como de aspectos como o local onde é aplicado (bermas ou plena via), o tipo de estrada e o seu estado.

As características estabelecidas no CE EP para as misturas apresentam-se em seguida.

*Microaglomerados e slurry seals: Especificações para as misturas (JAE, 1998)*

Propriedade		Microaglomerados			Slurry seals		
		Simplex	Duplo 1ª aplic.	Duplo 2ª aplic.	Simplex	Duplo 1ª aplic.	Duplo 2ª aplic.
Perda no ensaio abrasivo com roda molhada (WTAT) (g/m <sup>2</sup> )	Máx.	600	600	600	800	800	800
Ligante residual (%)	Mín	7	8	6	7	8	7
Taxa média de aplicação (kg/m <sup>2</sup> )		8 a 11	5 a 8	11 a 14	8 a 11	5 a 8	8 a 11
Teor de água relativo à massa do agregado (%)		10 a 15	10 a 20	10 a 15	10 a 15	10 a 20	10 a 15
Características a observar nos casos em que é necessária uma rápida abertura ao tráfego							
Coesão agregado / ligante aos 30 min (MPa)	Mín	12	12	12	12	12	12
Resistência à torsão aos 60 min (MPa)	Mín	20	20	20	20	20	20

## Aplicação em obra

Os microaglomerados a frio o slurry seals fabricam-se em misturadoras móveis, que realizam simultaneamente a aplicação da mistura. A mistura passa do misturador para a grade de espalhamento, que se desloca sobre a superfície a tratar, e que deverá ser munida de um dispositivo que reparta uniformemente a mistura a frio.

Quando a mistura é aplicada por faixas longitudinais, deve-se estabelecer uma sobreposição de 10 cm entre faixas contíguas. No caso de tratamentos duplos, as zonas de sobreposição da primeira aplicação não devem coincidir com as da segunda. Em determinadas aplicações de microaglomerados e de slurry seals, poderá ser previsto o emprego de compactadores de pneus.

As tolerâncias de fabrico relativas à fórmula de trabalho aprovada estabelecidas no CE EP para este tipo de materiais apresentam-se em seguida.

*Microaglomerados a frio e slurry seals: tolerâncias de fabrico (JAE 1998)*

Desvios máximos em relação aos valores de referência		Microaglomerado a frio e <i>slurry seal</i>
Percentagem de material que passa no peneiro de abertura	0,075 mm	± 2%
	0,180 mm	± 3%
	0,300mm, 0,600 mm, 1,18 mm e 2,36 mm	± 4%
	4,75 mm ou superior	± 5%
Percentagem de betume residual		± 0,3%

A superfície final após cada aplicação deverá ainda apresentar os seguintes valores da profundidade de textura superficial:

*Microaglomerados a frio e slurry seals: acabamento da superfície (JAE 1998)*

Propriedade	Microaglomerados			<i>Slurry seals</i>		
	Simplex	Duplo 1ª apl.	Duplo 2ª apl.	Simplex	Duplo 1ª apl.	Duplo 2ª apl.
Profundidade de textura superficial (mm)	≥ 0,7	≥ 0,5	≥ 0,9	≥ 0,7	≥ 0,5	≥ 0,7

# 8

## Conservação e reabilitação de pavimentos betuminosos

Devido à acção do tráfego e dos agentes atmosféricos, os pavimentos betuminosos vão sofrendo uma degradação da sua capacidade de carga e do seu nível de serviço, ao longo do seu ciclo de vida. As operações de conservação e reabilitação têm como finalidade reparar pequenos defeitos estruturais e funcionais dos pavimentos, ou reabilitar e melhorar o seu estado quando as condições estruturais e funcionais deixam de ser adequadas ao nível de serviço e desempenho pretendidos.

A ruína ou degradação de um pavimento pode ser funcional e / ou estrutural, e as actividades de conservação e reabilitação a realizar devem ser estabelecidas em função do estado do pavimento e do nível de serviço e desempenho que se pretende atingir no final da intervenção. Estas actividades podem pois ser dirigidas à reparação de pequenas degradações e / ou à melhoria das características funcionais do pavimento (intervensões sem carácter estrutural) ou à melhoria da capacidade de carga e das características funcionais do pavimento (reforço).

## **8.1. Avaliação do estado do pavimento**

A avaliação do estado de um pavimento é realizada através da medição de determinados parâmetros e da observação de determinados sintomas ou indicadores que nos permitem caracterizar o seu estado estrutural e / ou o seu estado funcional.

### **8.1.1. Avaliação funcional**

A avaliação funcional de um pavimento consiste na determinação de indicadores relacionados com a sua adequabilidade para a circulação de veículos em segurança e com conforto.

**Segurança:** o pavimento deve proporcionar ao utilizador uma superfície de rolamento segura, na qual, em qualquer momento se consiga uma boa aderência pneu-pavimento. Este aspecto avalia-se a partir da medição das características de aderência e das características relacionadas com o estado da superfície que se relacionam directamente com a segurança.

**Parâmetros avaliados:** *(equipamentos e procedimentos de ensaio)*

- Coeficiente de atrito longitudinal ou transversal (GRIP TESTER, SCRIM, Pêndulo Britânico);
- Profundidade de textura (Método volumétrico da Mancha, equipamentos laser de elevada frequência);
- Ninhos, peladas e deficiências da textura que possam afectar a segurança da circulação (inspecção visual).

**Conforto:** a superfície do pavimento não deve apresentar irregularidades que induzam vibrações dos veículos e incómodos aos seus utilizadores.

**Parâmetros avaliados:** *(equipamentos e procedimentos de ensaio)*

- Medição directa: equipamentos tipo “resposta” que determinam as oscilações do chassis de um veículo expressas através de um ou mais índices, como por exemplo o IRI (APL, Wisconsin Road Meter);
- Medição do perfil: equipamentos que medem ou determinam o perfil da superfície, a partir do qual se podem determinar diversos índices de irregularidade, incluindo o IRI (Perfilómetros laser).
- Medição de desvios da superfície num determinado comprimento de onda limitado (régua de 3 m).
- Ninhos, peladas e deficiências da textura que possam afectar o conforto da circulação (inspecção visual).

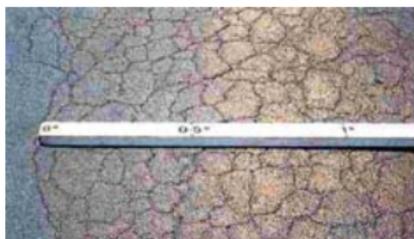
### **8.1.2. Avaliação estrutural**

As características estruturais (capacidade de carga) de um pavimento podem ser avaliadas através da sua resposta às acções (deflexões medidas em ensaios de carga não destrutivos) e das degradações visíveis à superfície (inspecção visual).

#### **8.1.2.1. Inspeção visual**

Existem diversos catálogos de degradações de pavimentos, que servem de suporte para a realização de inspeções visuais dos pavimentos, apresentando os tipos de degradações mais frequentes em cada tipo de pavimento, as suas possíveis causas, bem como a forma de os medir e classificar. Nas fotografias que se apresentam em seguida, ilustram-se alguns dos tipos de degradação mais comuns e referem-se as suas possíveis causas. Observa-se que nem todas as degradações estão associadas a problemas estruturais. É essencial distinguir entre degradações estruturais e não estruturais e relacionar o estado da superfície com os valores das deflexões medidas em ensaios de carga.

## Fendilhamento



### Pele de crocodilo

Causas possíveis:

- Fendilhamento por fadiga da camada de desgaste devido à acção do tráfego e ao envelhecimento.
- Deficiência de capacidade de carga ou de espessura do pavimento.
- Evolução de fendilhamento de malha larga.



### Malha larga

Causas possíveis:

- Deficiência da espessura ou fadiga das camadas.
- Deficiência da capacidade de carga do pavimento.
- Má qualidade de algumas das camadas do pavimento.



### Fenda longitudinal no eixo da faixa

Causas possíveis:

- Mau acabamento da junta de construção da camada superior.
- Reflexão de fenda longitudinal da camada de base.
- Diferenças de profundidade das zonas geladas devido ao efeito isolante da neve acumulada na zona da berma.



### Fenda longitudinal lateral

Causas possíveis:

- Fadiga devido às acções do tráfego (início do processo).
- Deficiências de acabamento de junta longitudinal (caso exista).
- Reflexão de fenda ou de junta de construção das camadas inferiores.
- Assentamentos diferenciais, nos casos em que se realizaram alargamentos.



### Fenda curva

Causas possíveis:

- Assentamento de aterros.

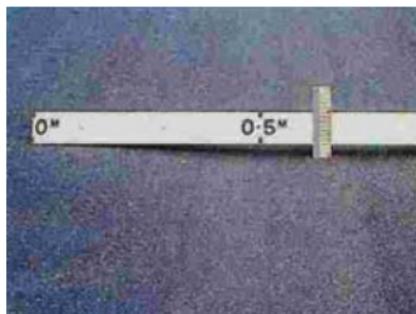


### Fenda transversal

Causas possíveis

- Retracção térmica da camada de desgaste.
- Retracção de camadas tratadas com ligantes hidráulicos.
- Má execução da junta transversal.

### Deformações



### Rodeiras

Causas possíveis:

- Misturas betuminosas com resistência à deformação permanente insuficiente (devido à utilização de ligantes demasiado moles, ou à má qualidade dos agregados ou do filler ou a deficiências de formulação), em combinação com tráfego pesado, lento e canalizado e temperaturas elevadas.
- Deficiência de compactação das camadas..
- Deficiência de capacidade de carga.



### Cordão longitudinal

Causas possíveis:

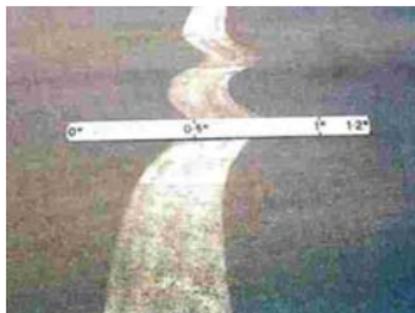
- Falta de ligação entre camadas betuminosas.
- Falta de contenção lateral da camada de desgaste.
- Misturas pouco estáveis.
- Forças tangenciais devidas á circulação de veículos pesados, geralmente em zonas inclinadas.



### **Pavimento ondulado**

Causas possíveis:

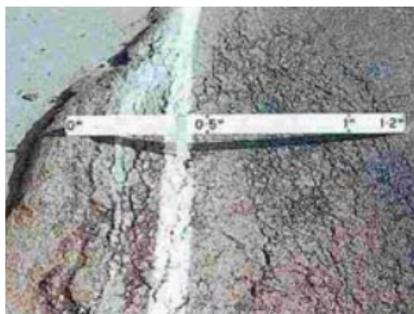
- Assentamentos diferenciais da fundação.
- Deficiente estabilidade das misturas betuminosas.
- Deficiências de qualidade ou de aplicação em obra da camada de desgaste.



### **Deslizamento**

Causas possíveis:

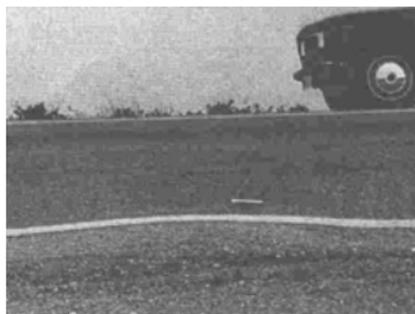
- Falta de ligação entre camadas betuminosas.
- Deficiente estabilidade das misturas betuminosas.
- Esforços tangenciais devidas a travagem e a aceleração dos veículos.



### **Deformação localizada**

Causas possíveis:

- Degradação das camadas inferiores num local específico.
- Deficiências locais de construção ou contaminação local.
- Rotura de canalização.
- Falta de drenagem devida a ausência ou rotura dos órgãos de drenagem.



### **Elevação da superfície**

Causas possíveis:

- Empolamento devido à acção do gelo.
- Deformações plásticas.
- Entumescimento de materiais devido à absorção de água.
- Defeitos em juntas de camadas tratadas com cimento.

## Desprendimentos e exsudações



**Exsudação de betume**

Causas possíveis:

- Excesso de ligante.
- Compactação excessiva (incluindo a compactação devida ao tráfego) de misturas ricas em mástique e ligante.
- Temperatura de compactação demasiado elevada.

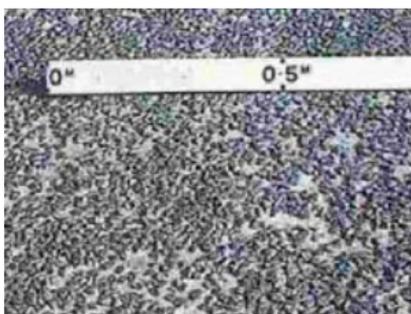
*NOTA: A superfície também se pode apresentar brilhante devido à perda de agregados superficiais, deixando o ligante exposto.*



**Polimento dos agregados**

Causas possíveis:

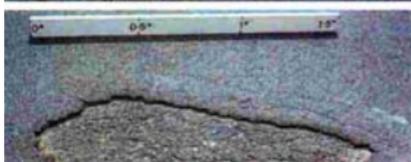
- Polimento dos agregados pela acção do tráfego.



**Desprendimento de agregados**

Causas possíveis:

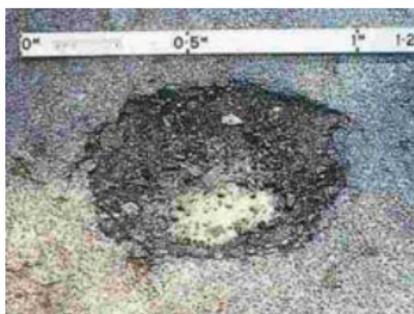
- Falta de adesividade entre agregados e ligante.
- Ligante envelhecido e muito duro.
- Deficiente dosagem de ligante.
- Falta de compactação da camada de desgaste.
- Abertura ao tráfego precoce (no caso de tratamentos superficiais).



**Pelada**

Causas possíveis:

- Má aderência à camada inferior.
- Insuficiente espessura ou estabilidade da camada de desgaste.



**Ninho**

Causas possíveis:

- Evolução de outras degradações (por exemplo fendilhamento), com desagregação e arranque de materiais produzido pelo tráfego.
- Imperfeições locais.



**Desagregação superficial**

Causas possíveis:

- Separação da película de ligante e dos agregados, devido à acção da água ou de produtos químicos ou a acções mecânicas.
- Envelhecimento do ligante.
- Deficiências construtivas (segregação, má formulação, sobreaquecimento da mistura, etc).
- Decomposição dos agregados.

### 8.1.2.2. Ensaios de carga não destrutivos

A resposta dos pavimentos às acções do tráfego pode ser avaliada através da medição de deflexões em ensaios de carga não destrutivos. As deflexões são as deformações verticais elásticas (reversíveis) da superfície do pavimento quando sobre ele actua uma determinada carga conhecida. De uma maneira geral, quanto maior é a deflexão, menor é a capacidade de carga do pavimento, e portanto, menor será o número de aplicações de carga que este pode suportar até chegar a ruína.

As deflexões medidas num determinado pavimento dependem, para além da carga aplicada, da temperatura das camadas betuminosas e das condições hídricas da fundação.

Em Portugal, para estudos a nível de projecto em pavimentos rodoviários, as deflexões são geralmente determinadas através de ensaios de carga com deflectómetro de impacto (Falling Weight Deflectometer, FWD) nos quais é aplicada uma força de impacto entre 50 e 70 kN, que se transmite ao pavimento através de uma placa de carga com 300 mm de diâmetro. As deflexões são medidas em 7 ou mais pontos da superfície, localizados entre 0 e 2,5 m do centro da área carregada, obtendo-se assim uma bacia de deflexão.

Nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos, os ensaios de carga são realizados ao longo de alinhamentos coincidentes com a rodeira exterior de cada via, distando entre si de 50 m a 200 m, consoante os objectivos do estudo e a extensão do troço em estudo.

Tendo em atenção a dependência das deflexões relativamente á temperatura de ensaio, durante a realização de ensaios de carga com deflectómetro de impacto é medida periodicamente a temperatura das camadas betuminosas.

Quando não é possível medir a temperatura no interior das camadas, é medida a temperatura à superfície, geralmente através de uma termómetro de infra-vermelhos montado no equipamento, podendo-se estimar a temperatura no interior das camadas betuminosas com base neste valor, no valor da temperatura do ar e na hora a que se realizou o ensaio. Em qualquer caso, não é aconselhável realizar ensaios de carga quando as temperaturas do pavimento são muito elevadas (acima de 30 – 35 °C).

Relativamente às condições hídricas da fundação, deve-se procurar realizar os ensaios na época do ano mais desfavorável (final da Primavera) ou, quando tal não é possível, ter em consideração o facto de os ensaios terem sido realizados em condições favoráveis, para efeitos de cálculo da capacidade de carga.

### 8.1.2.3. Zonamento

O zonamento tem como objectivo a definição de zonas de comportamento estrutural uniforme, tendo como base essencialmente as deflexões medidas em ensaios de carga e o estado superficial do pavimento, nas quais será aplicada a mesma medida de reabilitação. Para tal, avalia-se sob a forma de um gráfico a variação das deflexões medidas em função da distância, o que geralmente permite diferenciar as zonas de comportamentos distintos, e confrontam-se os resultados obtidos com os resultados da inspecção visual e com outros elementos de que se disponha sobre o pavimento (fases de construção, variações na constituição dos pavimentos ou no tráfego, etc.). Em regra, podem-se considerar como zonas de comportamento estrutural uniforme as zonas para as quais se obtém para a deflexão máxima,  $Df_1$ :

$$COV = \frac{DP[Df_1]}{Média[Df_1]} \leq 30\%$$

Sendo  $DP[Df_1]$  o desvio padrão do conjunto de deflexões  $Df_1$  medidas em cada zona Média $[Df_1]$  o correspondente valor médio.

Em casos especiais, de pavimentos em avançado estado de degradação, obtém-se uma grande variabilidade, pelo que poderá ser conveniente alargar o critério para a consideração de zonas homogêneas para:  $COV \leq 40\%$

Em cada zona homogênea, é definido um local representativo, que corresponde geralmente ao ponto de ensaio onde se mediu uma deformada (conjunto das deflexões) tão próxima quanto possível de uma “deformada característica” ( $Df_1^*$ ,  $Df_2^*$  ...  $Df_n^*$ ) correspondente ao valor do percentil 85%, assumindo que a distribuição é normal:

$$Df_i^* = Média[Df_i] + 1,04 \times DP[Df_i]$$

Em certas situações, poder-se-á pretender adoptar graus de confiança superiores, utilizando, por exemplo valores correspondentes ao percentil 90% ou 95%.

#### 8.1.2.4. Cálculo da capacidade de carga

O cálculo da capacidade de carga dos pavimentos de cada uma das zonas é efectuado com base nos resultados obtidos nos ensaios realizados nos locais representativos, sendo necessário conhecer a espessura e natureza das camadas que constituem o pavimento, geralmente obtida a partir de dados históricos, complementados com a realização de sondagens à rotação e poços, e, quando possível, ensaios com radar de prospecção.

São determinados os módulos de deformabilidade das camadas do pavimento de cada zona por um processo de retro-análise no qual se procura, por tentativas, qual o conjunto de módulos de deformabilidade das camadas que conduz a uma deformada calculada através de um programa de camadas elásticas, tão próxima quanto possível da deformada medida no local representativo.

Os módulos de deformabilidade assim determinados devem ser eventualmente corrigidos para ter em conta as condições climáticas. No caso dos módulos das camadas betuminosas, deve-se efectuar a sua correcção para valores correspondentes às temperaturas de cálculo estabelecidas para a zona onde se insere o pavimento. No caso das camadas de fundação, se se considerar que os ensaios de carga foram efectuados em condições hídricas favoráveis, pode-se optar por uma redução do módulo deduzido da retro-análise até 50%, em função da época do ano, da natureza do solo e das condições de drenagem.

Uma vez estabelecida a constituição do pavimento e os módulos das respectivas camadas, pode-se proceder ao cálculo da capacidade de carga do pavimento (número admissível de passagens de eixos padrão) pelo método da análise estrutural.

Os resultados obtidos devem ser sempre confrontados com o estado superficial do pavimento, e com as previsões de tráfego futuro, por forma a tomar uma das seguintes opções:

- Não há necessidade de intervenção;
- É necessário tomar medidas de conservação ou de reabilitação apenas de carácter funcional, sem aumento da capacidade de carga;
- É necessário tomar medidas de reabilitação com aumento da capacidade de carga (reforço).

## **8.2. Medidas de conservação ou reabilitação sem aumento da capacidade de carga**

As intervenções sem aumento da capacidade de carga podem ter como objectivo a reparação de alguns defeitos pontuais (por exemplo ninhos, peladas ou outros defeitos localizados) ou a selagem de fendas ou podem ser actuações mais generalizadas sobre a superfície do pavimento, realizadas com o objectivo de impermeabilizar a superfície, de atrasar o processo de envelhecimento da camada de desgaste ou de melhorar as características funcionais. Neste caso o tipo de técnicas a considerar serão os tratamentos superficiais (revestimentos superficiais, microaglomerados a frio ou slurry seals) ou a execução de camadas finas de misturas betuminosas a quente.

No quadro seguinte referem-se os tipos de intervenção mais adequados a diversos tipos de degradação passíveis de ocorrer.

Degradações	Fresagem / escarificação	Reparações pontuais	Selagem	Tratamentos superficiais	Camadas finas
Ondulações locais	XX	X			XX
Superfície ondulada	XX				XX
Depressões		XX	□	□	
Deformações	□	XX			
Ressaltos	X	□		□	XX
Pele de crocodilo		X	□	XX	XX
Fendas em malha larga		X	X	X	XX
Fendas longitudinais no eixo		□	XX	□	□
Fendas nas rodeiras		□	X	X	X
Fendas no bordo da via		□	X	X	□
Fendas em dente de serra		□	X	□	X
Fendas de retração		X	□	□	X
Fendas de reflexão		□	X	□	X
Fendas em curva		□		□	□
Desprendimento de agregados		□		X	XX
Desagregação		X	□	XX	XX
Exsudação	X			□	X
Ninhos		XX		□	X
Zonas de acumulação de água					X
Zonas com humidade		□	□	□	

- Técnica pouco corrente;
- x Técnica utilizada apenas em determinadas classes de estradas;
- xx Técnica de uso geral.

### 8.3. Medidas para aumento da capacidade de carga (reforço)

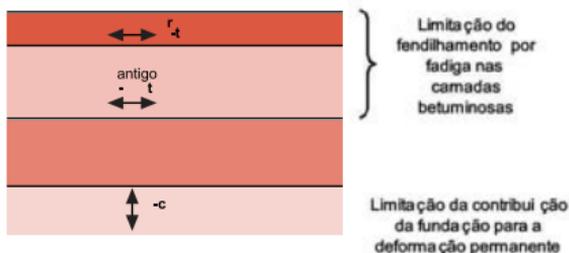
Uma das actuações mais frequentes na reabilitação de pavimentos com o objectivo de aumentar a sua capacidade de carga e adequá-los a uma determinada classe de tráfego é a aplicação de uma ou mais camadas betuminosas como reforço.

Outra possibilidade cada vez mais frequente na reabilitação de pavimentos é a fresagem e reparação de uma ou mais camadas do pavimento existente, e a sua substituição e reforço através da aplicação de novas camadas, de forma a adequar o pavimento a novas exigências de tráfego, e evitar que as degradações existentes no pavimento antigo se venham a reflectir, a curto prazo, na nova superfície.

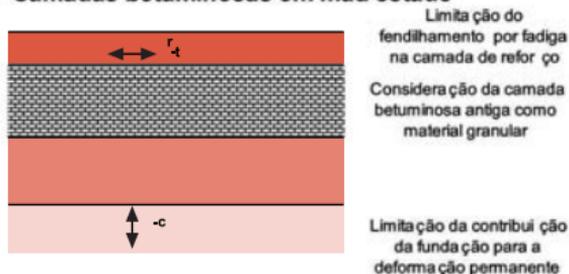
Em Portugal, o dimensionamento do reforço para qualquer destas situações deve ser efectuado com base na avaliação da capacidade de carga do pavimento de acordo com a metodologia apresentada em 8.1.2.

Os critérios de dimensionamento a utilizar serão semelhantes aos utilizados no dimensionamento de pavimentos novos, devendo-se verificar o critério de dimensionamento à fadiga na base das camadas betuminosas novas e das camadas de pavimento existente. No caso de estas se encontrarem muito degradadas, poderá ser mais aconselhável admitir que no pavimento novo elas passarão a ter um comportamento semelhante ao dos materiais granulares (isto é, com um módulo de deformabilidade mais baixo) e verificar o dimensionamento aplicando o critério de fadiga apenas à camada de reforço.

#### • Camadas betuminosas em estado razoável



#### • Camadas betuminosas em mau estado



## **8.4. Reciclagem de pavimentos e de misturas betuminosas**

A reciclagem de pavimentos e de misturas betuminosas é uma medida para alargar o ciclo de vida dos pavimentos betuminosos que se tem vindo a considerar com interesse económico e ambiental cada vez maior. Esta reciclagem pode realizar-se in situ, e neste caso está-se em presença de uma intervenção que geralmente se designa como reciclagem do pavimento, ou, o material fresado das camadas betuminosas do pavimento antigo é transportado para uma central de fabrico e incorporado no fabrico de uma nova mistura – mistura reciclada.

### **8.4.1. Reciclagem in situ**

A reciclagem in situ pode realizar-se mediante a aplicação de calor às camadas betuminosas, de forma a permitir a sua desagregação, a adição de novos materiais (rejuvenescedores, agregados, betume, etc) e a mistura e homogeneização a quente de todos os materiais, ou pode ser realizada mediante a fresagem a frio das camadas do pavimento e do seu tratamento com betumes especiais, emulsões ou espuma de betume.

#### **Reciclagem in situ a quente**

Existem diferentes modalidades de reciclagem in situ a quente: termo-reperfilamento (sem adição de novos materiais) e termo-regeneração (com adição de novos materiais). Para a execução deste tipo de reciclagem utilizam-se equipamentos que realizam a seguinte sequência de operações: aquecimento do pavimento, desagregação, eventual adição de materiais novos, mistura, espalhamento e pré-compactação. Em regra, estas técnicas apresentam inconvenientes ambientais devido à emissão de gases.

Outro tipo de reciclagem in situ com betumes especiais consiste na realização da fresagem a frio, passando então a mistura fresada para o tambor-secador-misturador de uma central móvel, onde se produz a mistura. Esta mistura é então espalhada com uma pavimentadora convencional.

As camadas recicladas por este processo deveriam considerar-se como camadas novas, já que no estudo do processo construtivo e da fórmula de trabalho se determina o tipo e percentagem de ligante novo a adicionar, assim como a adição de novos materiais que permitam obter uma mistura com características semelhantes às de uma mistura nova convencional.

## **Reciclagem in situ a frio**

Esta técnica, mais simples que a anterior, consiste em fresar a frio as camadas betuminosas do pavimento e aglomerá-las de novo através do emprego de emulsões ou de espumas de betume. Existem equipamentos especiais capazes de realizar com uma única passagem todo o processo de reciclagem: fresagem, humedecimento, envolvimento com ligante e espalhamento, o que facilita a aplicação desta técnica, aumentando a sua eficiência e economia. A espessura da camada reciclada pode variar de 6 a 12 cm ou mais.

Normalmente empregam-se emulsões de rotura lenta fabricadas, por vezes, a partir de ligantes modificados ou com rejuvenescedores, sendo muito importante conseguir um bom envolvimento e compactação do material reciclado. No CE EP não são estabelecidas exigências especiais relativas a materiais reciclados in situ a frio, pressupondo-se que serão aplicáveis as mesmas especificações que as adoptadas para as camadas de ABGETE, já apresentadas em 6.2.

À semelhança do verificado para o ABGETE, tem-se observado que as características de resistência mecânica obtidas para as misturas recicladas a frio são muito superiores aos valores mínimos especificados no CE EP, pelo que se recomenda a adopção de critérios mais exigentes, já referidos em 6.2. Finalmente observa-se que, por se tratar de um material reciclado, podem-se admitir tolerâncias de fabrico superiores às dos materiais novos, de modo a não tornar inviável a sua aplicação, tendo em atenção a variabilidade já existente no pavimento a reabilitar.

Uma vez executada a camada reciclada com emulsão, esta deve permanecer descoberta durante algum tempo (isto é, as camadas sobrejacentes não devem ser aplicadas de imediato), para facilitar a sua cura e secagem. Assim, a camada reciclada deve ter uma resistência mínima às acções abrasivas do tráfego durante o período de cura. A duração deste período de cura e secagem depende das condições climáticas, do tipo de pavimento e da emulsão empregada.

## **Reciclagem in situ semi-quente**

Esta técnica possui a vantagem, relativamente à reciclagem a frio, de facilitar o envolvimento do material fresado e a compactação da mistura, o que aumenta a sua resistência e coesão, eliminando o período de secagem e cura dos materiais tratados com emulsão.

Para a sua aplicação é necessária uma fresadora e uma unidade móvel de tambor-secador-misturador, que tem como função de aquecer o material fresado a uma temperatura de 80 a 100 °C e misturá-lo com a emulsão. Este material será aplicado em obra com uma espalhadora convencional, sendo compactado a uma temperatura de 50 a 80°C.

No controlo da aplicação em obra devem-se utilizar uma combinação dos procedimentos geralmente adoptados nas misturas betuminosas recicladas a frio e os adoptados no fabrico de misturas betuminosas recicladas em central.

#### **8.4.2. Reciclagem de misturas betuminosas em central**

Os materiais provenientes da fresagem de pavimentos envelhecidos podem ser transportados para uma central de fabrico de misturas betuminosas e incorporados no processo de fabrico de novas misturas. Nestas misturas recicladas deve empregar-se um betume mais mole do que o habitual, um betume modificado ou um betume contendo rejuvenescedores que, ao ser misturado com o betume envelhecido da mistura fresada regenere o seu comportamento, de forma a que o desempenho da mistura reciclada seja semelhante a uma mistura convencional com materiais novos.

A reciclagem em central pode ser realizada à temperatura ambiente, a quente ou semi-quente, sendo mais frequente a reciclagem a quente. A aplicação de misturas semi-quentes é recente, não havendo ainda, especificações relativas ao seu emprego.

#### **Reciclagem a quente de misturas em central**

O fabrico de misturas betuminosas recicladas a quente em central deve realizar-se aquecendo o material fresado sem queimar o betume, ou seja, sem o expor directamente à chama do queimador ou sem o pôr em contacto com agregados muito quentes, evitando que os gases produzidos sejam libertados para a atmosfera. Algumas centrais de fabrico de misturas betuminosas estão já preparadas para a incorporação do material fresado enquanto que outras necessitarão de algumas adaptações para que a incorporação do material fresado se possa fazer sem que ocorram os problemas anteriormente referidos.

Os materiais a reciclar a quente em central devem ser homogéneos, e encontrar-se relativamente secos, recomendando-se ainda que obedeam às condições estabelecidas na Especificação LNEC E472 – 2007. As misturas betuminosas recicladas devem possuir características semelhantes às especificadas para misturas novas, podendo-se no entanto admitir tolerâncias de fabrico um pouco mais alargadas, por forma a ter em consideração a variabilidade dos materiais reciclados.

### **Reciclagem semi-quente em central**

A reciclagem semi-quente em central é uma técnica actualmente ainda em desenvolvimento, que consiste em aquecer o material fresado de uma camada betuminosa no tambor da central até 80 a 90 °C para, em seguida, envolver este com uma emulsão betuminosa. Consegue-se desta forma um bom envolvimento, eliminando os problemas de sobre-aquecimento inerentes à reciclagem a quente, bem como uma melhor compactação que a obtida na reciclagem a frio, tendo em atenção a maior temperatura da mistura. O módulo dinâmico em compressão das misturas obtidas varia habitualmente entre 4000 e 6000 MPa, devendo a sua resistência conservada ser sempre superior a 75%.

### **8.5. Tratamentos anti-reflexão de fendas**

Quando é necessário aplicar uma camada de reforço sobre um pavimento fendilhado, existe o risco de as fendas existentes no pavimento antigo se virem a propagar rapidamente através da nova camada de reforço, até chegará superfície. A velocidade de propagação das fendas será tanto maior quanto menor for a espessura da camada de reforço e quanto maior for a amplitude dos movimentos relativos (horizontais e verticais) dos bordos das fendas.

Tendo em vista retardar ou eliminar a reflexão de fendas, pode-se optar por uma das seguintes actuações:

- a) Intervir sobre o pavimento antigo de forma a reduzir ou eliminar os movimentos das fendas;
- b) Aumentar a espessura das camadas de reforço e utilizar misturas que, não sendo deformáveis, sejam mais flexíveis e resistentes ao fendilhamento;
- c) Utilizar sistemas anti-reflexão de fendas. Os sistemas anti-reflexão de fendas têm como objectivo dissipar, reduzir e retardar a reflexão de fendas, empregando:

## **Argamassas betuminosas**

São sistemas muito eficazes no retardamento da propagação de fendas, sendo constituídos por uma mistura de agregado fino 0 / 4 mm, com alta percentagem de fíler (superior a 12%) e elevado conteúdo de betume (superior a 9%), preferencialmente betume modificado, tipo STYRELF AAF-2 (BM-4). A espessura destas camadas é de 2 cm.

## **Membranas betuminosas**

São camadas de betume modificado tipo STYRELF MAF (BM-5), com taxas da ordem de 3 kg/m<sup>2</sup>. São sistemas que impermeabilizam muito bem a superfície, não sendo, no entanto tão eficazes como as argamassas ou os geotexteis impregnados.

## **Geotextil impregnado**

Este é um sistema anti-reflexão de fendas muito eficaz, constituído por um geotextil de polipropileno não tecido, capaz de ser impregnado com um ligante betuminoso, preferencialmente de emulsão betuminosa modificada tipo STYEMUL-GT, criando assim in situ uma membrana impermeável.

Este é o sistema com o qual as fendas se iniciam mais tarde, tendo uma eficácia semelhante às das argamassas.

A taxa de emulsão deve ser seleccionada através de trechos experimentais, oscilando entre 1,1 e 1,3 kg/m<sup>2</sup> e o geotextil terá cerca de 140 g/m<sup>2</sup>.

Relativamente às misturas especiais para mitigar a reflexão de fendas, empregam-se:

Misturas betuminosas com elevado conteúdo de betume de elevada viscosidade.

São misturas betuminosas aplicadas directamente sobre a superfície fendilhada, quer esta seja de betão ou seja de mistura betuminosa, após a aplicação de uma rega de colagem com emulsão termo-aderente modificada tipo STYEMUL ADERÊNCIA.

Estas misturas têm uma granulometria descontínua, tendo uma elevada percentagem de betume (> 6,5%) muito modificado e com elevada viscosidade, possuindo um elevado ponto de amolecimento de anel e bola (> 80°C) e uma grande recuperação elástica (> 80%).

# 9

## Anexos

## Referências

- EN 12591 - Bitumen and bituminous binders - specification for paving grade bitumens
- EN 13808 - Framework specifying cationic bituminous emulsions
- EN 13924 - Bitumen and bituminous binders - specification for hard paving grade bitumens
- EN 14023 - Bitumen and bituminous binders - framework specification for polymer modified bitumens
- JAE (1998) – Caderno de Encargos Tipo de Obras de Pavimentação, Capítulos 14.01 e 15.01 (Terraplenagens), e 14.03 e 15.03 (Pavimentação). Junta Autónoma de Estradas, 1998.
- JAE (1995) – Manual de Concepção de Pavimentos para a Rede Rodoviária Nacional, Junta Autónoma de Estradas, Julho de 1995.
- LNEC – E 80 (1997) – Betumes e Ligantes Betuminosos de Pavimentação. Classificação, Propriedades e Exigências de Conformidade, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1997.
- LNEC – E 128 (1984) – Emulsões Betuminosas Aniónicas de Pavimentação. Características e Recepção, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1984.
- LNEC – E 354 (1984) – Emulsões Betuminosas Catiónicas de Pavimentação. Características e Recepção, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1984.
- LNEC - E472 (2007) - Guia para a Reciclagem de Misturas Betuminosas a quente em Central, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2007.

## 9.1 GLOSSÁRIO DE TERMOS

**AGREGADO BEM GRADUADO:** Agregados com granulometria contínua, compreendendo agregados grossos e finos.

**AGREGADO BRITADO DE GRANULOMETRIA EXTENSA TRATADO COM CIMENTO (AGEC):** Mistura homogênea de agregados de granulometria extensa, cimento, água e, opcionalmente aditivos, realizada em central, que após compactação adequada constitui uma camada de pavimento com funções estruturais.

**AGREGADO BRITADO DE GRANULOMETRIA EXTENSA TRATADO COM EMULSÃO BETUMINOSA (ABGETE):** Mistura homogênea de agregados de granulometria extensa, emulsão betuminosa, água e, opcionalmente aditivos, fabricada e aplicada em obra à temperatura ambiente, que se utiliza em camadas de base de pavimentos.

**AGREGADO DE GRANULOMETRIA ABERTA:** Mistura de agregados que não contem fíler mineral ou contém uma pequena quantidade de fíler, na qual os vazios da mistura compactada são relativamente grandes.

**AGREGADO DE GRANULOMETRIA FECHADA:** Mistura de agregados com granulometria uniformemente distribuída, desde a sua dimensão máxima até ao fíler. Contêm quantidade suficiente de finos para reduzir os vazios na mistura compactada a dimensões muito reduzidas, que se aproximam da dimensão dos vazios no fíler.

**AGREGADO FINO:** Parte da mistura de agregados retida no peneiro de 2 mm.

**AGREGADO GROSSO:** Parte da mistura de agregados passada no peneiro de 2 mm.

**ASFALTO NATURAL:** Asfalto que ocorre na natureza, produzido a partir do petróleo por um processo natural de evaporação das fracções voláteis, permanecendo as fracções asfálticas. As jazidas mais importantes de asfalto natural encontram-se nos lagos Trinidad e Bermúdez. O asfalto proveniente destes locais designa-se frequentemente por asfalto de lago.

**AUSCULTAÇÃO DE UM PAVIMENTO:** Avaliação das características estruturais ou superficiais de um pavimento utilizando equipamentos específicos.

**BERMA:** Faixa longitudinal adjacente à faixa de rodagem geralmente revestida, mas não destinada à circulação de veículos, excepto em casos excepcionais.

**BETÃO BETUMINOSO:** Mistura betuminosa a quente de elevada qualidade e perfeitamente controlada, constituída por betume asfáltico e agregados de boa qualidade bem graduados, que se compacta perfeitamente até obter um material uniforme e com a baridade pretendida.

**BETÃO POBRE VIBRADO:** Mistura homogénea de agregados, cimento e aditivos, empregada em camadas de base de pavimentos rígidos, que se aplica em obra com uma consistência tal que requer o emprego de vibradores internos para a sua compactação.

**BETUME ASFÁLTICO:** Ligante hidrocarbonado, sólido ou viscoso, preparado a partir de hidrocarbonetos naturais por destilação, oxidação ou “cracking”, que contem uma pequena proporção de voláteis, possui propriedades aglomerantes características e é essencialmente solúvel em sulfureto de carbono.

**BETUME BORRACHA:** Ligante hidrocarbonado resultante da interacção de uma determinada percentagem de borracha moída reciclada a partir de pneus usados e, nalguns casos outros aditivos, com betume asfáltico

**BETUME FILERIZADO:** Asfalto que contém materiais minerais finamente moídos, que passam no peneiro de 0,063 mm.

**BETUME MODIFICADO DE ALTA VISCOSIDADE:** Ligante hidrocarbonado resultante da interacção física e / ou química de elevadas quantidades de polímeros com betume asfáltico, que apresenta uma coesão, ponto de amolecimento e recuperação elástica muito elevados, e temperaturas de trabalho moderadas, conferindo às misturas betuminosas elevado desempenho.

**BETUME MODIFICADO COM POLÍMEROS:** Ligante hidrocarbonado resultante da interacção física e / ou química de polímeros com betume asfáltico.

**BETUME MULTIGRADO:** Ligante hidrocarbonado com características de ponto de amolecimento e de resistência ao envelhecimento superiores às dos betumes convencionais de igual penetração.

**BETUME OXIDADO OU SOPRADO:** Asfalto através de cuja massa, se faz passar ar a elevada temperatura, para lhe conferir características necessárias para certas utilizações especiais, tais como fabrico de materiais para impermeabilização de terraços, revestimento de tubo, injeção sob pavimentos de betão de cimento, membranas envolventes e aplicações hidráulicas.

**CAMADA DE BASE:** Camada do pavimento situada sob o revestimento, cuja função é essencialmente estrutural.

**CAMADA DE DESGASTE:** Camada superior do pavimento, sobre a qual o tráfego circula directamente.

**CAMADA DE REGULARIZAÇÃO:** Camada em mistura betuminosa situada sob a camada de desgaste nos pavimentos flexíveis ou semi-rígidos. Esta camada pode não existir.

**CLASSES DE FUNDAÇÃO:** Tipos de fundação dos pavimentos estabelecidos em função da sua capacidade resistente, para efeitos de dimensionamento estrutural de pavimentos.

**CLASSES DE TRÁFEGO PESADO:** Intervalos estabelecidos para o Tráfego Médio Diário de veículos pesados (TMDp), para efeitos de dimensionamento estrutural de pavimentos.

**COEFICIENTE DE POISSON:** Relação entre as deformações longitudinais e transversais num ensaio de tracção ou de compressão uniaxial.

**CONCENTRAÇÃO CRÍTICA:** Dispersão das partículas de fíler no betume, no estado “mais solto” possível, mas sem contacto entre as partículas, preenchendo todo o volume de ligante.

**CUTBACK:** Betume asfáltico fluidificado através de mistura com solventes derivados do petróleo. Quando estes produtos são expostos aos agentes atmosféricos, os solventes evaporam-se permanecendo apenas o betume asfáltico.

**DEFORMADA CARACTERÍSTICA:** Conjunto de deflexões que correspondem ao percentil 85% das deflexões medidas numa determinada zona. Podem ser utilizados outros graus de confiança.

**DEFORMAÇÃO:** Deformação relativa de um corpo em relação a uma configuração inicial de comprimento, superfície ou volume.

**DEFORMAÇÃO DE CORTE:** Deformação do material em que uma camada se desloca paralelamente à camada adjacente.

**DEGRADAÇÃO:** Alteração produzida na superfície de um pavimento, detectável visualmente e produzida por um defeito de construção ou pela acção do tráfego, da água ou dos agentes atmosféricos.

**DEFORMAÇÃO UNIAXIAL:** Variação relativa da distância entre dois pontos.

**DESLOCAMENTO:** Variação da posição em relação ao ponto de equilíbrio.

**DESMONTE:** Parte da terraplenagem situada abaixo do terreno natural.

**DIAGNÓSTICO:** Identificação das causas possíveis de uma degradação.

**EIXO SIMPLES:** Cada um dos eixos de um veículo que formam um único apoio do chassis.

**EIXO TANDEM:** Conjunto de dois eixos de um veículo que constituem um único apoio do chassis.

**EMULSÃO BETUMINOSA:** Dispersão de pequenas partículas de um ligante hidrocarbonado numa solução de água e num agente emulsionante, de carácter aniónico ou catiónico, o que determina a designação da emulsão.

**EMULSÃO BETUMINOSA MODIFICADA COM POLÍMEROS:** Dispersão de pequenas partículas de um ligante hidrocarbonado e de um polímero numa solução de água e num agente emulsionante, de carácter aniónico ou catiónico, o que determina a designação da emulsão.

**ESTABILIZAÇÃO IN SITU:** Tratamento in situ de solos para melhorar de forma duradoura algumas das suas propriedades, mediante a adição e mistura homogénea de um aglomerante.

**ESTRUTURA DE UM PAVIMENTO:** Conjunto de camadas de materiais seleccionados situados sobre a fundação.

**FAIXA DE RODAGEM:** Parte da estrada destinada à circulação de veículos. É composta por uma ou mais vias.

**FENDA:** Descontinuidade ou linha de rotura na superfície de um pavimento.

**FENDA DE ORIGEM ESTRUTURAL:** Fenda que surge em consequência da ruína estrutural de uma das camadas do pavimento.

**FENDA DE ORIGEM NÃO ESTRUTURAL:** Fenda originada por uma causa não relacionada com a ruína estrutural do pavimento, por exemplo retracção hidráulica ou térmica.

**FÍLER:** Material essencialmente constituído por partículas que passam no peneiro de 0,063 mm.

**FÍLER COMERCIAL:** Fíler adicionado á mistura de agregados, geralmente constituído por cimento, cal hidráulica ou material calcário.

**FÍLER RECUPERADO:** Fíler incluído na mistura de agregados e recuperado do sistema de despoejamento da central de fabrico betuminosa.

**FRESAGEM:** Levantamento dos materiais que constituem o pavimento à temperatura ambiente, até uma certa profundidade, utilizando equipamento autopropulsionado que dispõe de um rotor equipado com elementos pontiagudos, cuja função é desagregar o material existente.

**FUNDAÇÃO:** Superfície sobre a qual assenta o pavimento. Inclui a camada de leito de pavimento.

**IMPREGNAÇÃO BETUMINOSA:** Aplicação sobre uma superfície absorvente de um material betuminoso líquido de baixa viscosidade, como preparação para algum tratamento ou construção posteriores. O objectivo da impregnação é saturar a superfície existente com betume, preenchendo os seus vazios, revestir e unir entre si o pó e as partículas de agregado soltas e endurecer a superfície, favorecendo a aderência entre esta e o tratamento ou construção posteriores.

**INSPECÇÃO VISUAL:** Reconhecimento do estado da superfície da estrada destinado a identificar as possíveis degradações do pavimento e os elementos envolventes que podem influenciar o estado do pavimento.

**INTERVENÇÃO PREVENTIVA:** Conjunto de operações que se realizam para prolongar a vida útil de um pavimento que ainda não se apresenta em estado de ruína estrutural.

**JUNTA:** descontinuidade prevista por razões estruturais ou construtivas, entre duas zonas adjacentes de uma camada de pavimento.

**SLURRY SEAL:** Mistura fabricada à temperatura ambiente, com emulsão betuminosa de rotura lenta convencional, agregados finos, fíler, água e aditivos, cuja consistência é adequada para a colocação em obra, podendo ser aplicada em uma ou mais camadas.

**LEI DE FADIGA:** Expressão matemática que permite estimar o número de aplicações de carga que um material pode suportar até à ruína, em função de um determinado parâmetro característico do seu comportamento estrutural.

**LEITO DO PAVIMENTO:** Camada aplicada sobre a parte superior das terraplenagens que tem como principal função garantir um suporte uniforme para as camadas da estrutura do pavimento. Esta camada, juntamente com as camadas de solo subjacente, constitui a fundação do pavimento.

**MACADAME BETUMINOSO:** Mistura betuminosa fabricada a quente em central, aplicada em camadas de base e de regularização de pavimentos, fabricada com agregados relativamente grossos (dimensão máxima de 25 mm ou de 37,5 mm), de granulometria contínua. A designação “macadame betuminoso” aplica-se também a uma camada fabricada por penetração do ligante betuminoso num material granular de granulometria aberta, técnica esta que actualmente se encontra em desuso.

**MASTIQUE BETUMINOSO:** Mistura de betume e agregado fino que pode ser aplicado a quente ou a frio, geralmente utilizado para selagem de juntas e de fendas em pavimentos e noutras estruturas.

**MICROAGLOMERADO A FRIO:** Mistura fabricada à temperatura ambiente, com emulsão betuminosa de rotura lenta modificada, agregados finos, fíler, água e aditivos, cuja consistência é adequada para a colocação em obra, podendo ser aplicada em uma ou mais camadas.

**MICRO-FRESAGEM:** Técnica de fresagem que afecta uma zona muito superficial, realizada com o objectivo de melhorar a textura superficial do pavimento ou de contribuir para a regularização de uma superfície superficial. Esta técnica também é designada por escarificação.

**MISTURA BETUMINOSA ABERTA A FRIO:** Mistura de emulsão betuminosa, agregados com baixa percentagem de finos e eventuais aditivos, fabricada por forma a que todas as partículas de agregado fiquem revestidas com uma película de ligante.

**MISTURA BETUMINOSA DE ALTO MÓDULO:** Mistura betuminosa a quente fabricada com betumes duros (geralmente da classe de penetração 10/20) que proporcionam a obtenção de módulos de rigidez elevados (da ordem de 10 000 MPa ou superiores, à temperatura de 20°C).

**MISTURA BETUMINOSA A QUENTE:** Mistura de um ligante hidrocarbonado, agregados, fíler e aditivos, fabricada de modo a que todas as partículas de agregado sejam cobertas com uma película de ligante. O seu processo de fabrico implica o aquecimento do ligante e dos agregados, e a sua aplicação em obra é realizada a temperaturas significativamente superiores à temperatura ambiente.

**MISTURA BETUMINOSA DESCONTÍNUA A QUENTE:** Mistura betuminosa a quente aplicada em camadas de desgaste, cuja mistura de agregados apresenta uma descontinuidade granulométrica acentuada nos peneiros inferiores do agregado grosso.

**MÓDULO DE ELASTICIDADE:** Define-se como o quociente entre a tensão aplicada e a deformação, num material perfeitamente elástico linear.

**MÓDULO DE RIGIDEZ (MÓDULO DE RIGIDEZ OU RIGIDEZ):** Relação entre a tensão aplicada e a deformação daí resultante. Utiliza-se apenas no contexto das misturas betuminosas, materiais para os quais esta relação depende da temperatura e da velocidade de aplicação das cargas.

**MÓDULO SECANTE:** Relação entre a tensão aplicada num instante  $t$  e a deformação verificada nesse instante.

**MÓDULO TANGENTE:** Derivada da tensão em relação á deformação.

**NÚMERO EQUIVALENTE DE EIXOS PADRÃO:** Número de passagens de um eixo padrão que produz no pavimento o mesmo nível de degradações que um conjunto de eixos correspondentes ao tráfego pesado real que circule sobre este.

**PAVIMENTO:** Conjunto de camadas executadas com materiais seleccionados e, em muitos casos, tratados com ligantes, construídas sobre a fundação, destinadas a suportar as acções do tráfego, proporcionando uma superfície cómoda e segura para a sua circulação.

**PAVIMENTO FLEXÍVEL COM BASE EM MATERIAIS BETUMINOSOS:** Pavimento constituído por camadas betuminosas de espessura total igual ou superior a 15 cm, sobre camadas granulares não tratadas.

**PAVIMENTO FLEXÍVEL COM BASE EM MATERIAIS GRANULARES:** Pavimento constituído por camadas de materiais granulares não tratados e por um revestimento betuminoso com espessura inferior a 15 cm (pode ser um tratamento superficial).

**PAVIMENTO RÍGIDO:** Pavimento constituído por lajes de betão de cimento assentes sobre camadas de materiais tratados com ligantes hidráulicos ou com ligantes hidricarbonados ou materiais granulares não tratados.

**PAVIMENTO SEMI-RÍGIDO:** Pavimento constituído por um revestimento betuminoso sobre uma ou mais camadas de materiais tratados com ligantes hidráulicos com espessura superior a 18 cm, que constituem o principal elemento estrutural do pavimento.

**PERÍODO DE DIMENSIONAMENTO:** Período durante o qual se espera que as degradações induzidas pelo tráfego não atinjam determinados estados limite de gradação.

**PINTURA BETUMINOSA:** Produto betuminoso líquido que, por vezes contém pequenas quantidades de outros materiais, como negro de fumo, pó de alumínio e pigmentos naturais.

**REABILITAÇÃO ESTRUTURAL:** Restauração ou aumento da capacidade de carga de um pavimento adequando-o às condições de tráfego previstas para a sua vida útil.

**REABILITAÇÃO SUPERFICIAL:** Restauração ou melhoria das características superficiais de um pavimento.

**RECICLAGEM:** Medida de reabilitação de um pavimento que consiste na remoção, geralmente através de fresagem de materiais de um pavimento em serviço, na a sua mistura com novos materiais e na sua aplicação no mesmo local ou num local diferente.

**RECICLAGEM EM CENTRAL:** Técnica de reciclagem na qual os materiais reciclados são transportados para uma central de fabrico de misturas betuminosas e misturados com novos materiais (geralmente a quente) para o fabrico de uma nova mistura.

**RECICLAGEM IN SITU:** Técnica de reciclagem na qual os materiais retirados do pavimento em serviço são de novo aplicados no mesmo local, sem serem transportados para fora da estrada.

**RECONSTRUÇÃO PARCIAL DO PAVIMENTO:** Eliminação parcial e reposição do pavimento existente.

**RECONSTRUÇÃO TOTAL DO PAVIMENTO:** Substituição completa do pavimento existente por uma nova construção na totalidade de um troço ou numa zona da estrada.

**RECTIFICAÇÃO DO TRAÇADO:** Modificação localizada do traçado de uma estrada, por exemplo através do aumento do raio de curvatura, de alteração do perfil transversal, do aumento da zona de transição entre traineis, etc.

**REFORÇO:** Colocação de uma ou mais camadas sobre um pavimento existente para aumentar a sua capacidade de carga, adequando-o às condições de tráfego previstas para a sua vida útil.

**REGA DE COLAGEM:** Aplicação de uma emulsão betuminosa sobre uma camada tratada com ligantes hidrocarbonados ou com ligantes hidráulicos, tendo em vista conseguir a sua união com uma camada betuminosa a aplicar posteriormente.

**REGA DE CURA:** Aplicação de uma película contínua e uniforme de emulsão betuminosa sobre uma camada tratada com ligantes hidráulicos, tendo em vista impedir a evaporação prematura da água.

**REGA DE IMPREGNAÇÃO:** Aplicação de um ligante hidrocarbonado sobre uma camada não betuminosa, sobre a qual irá ser aplicada uma camada betuminosa, tendo como principal objectivo proporcionar uma maior coesão à superfície, antes da aplicação da camada betuminosa.

**REGULARIZAÇÃO SUPERFICIAL:** Actuação localizada ou generalizada que tem como objectivo eliminar, em todo ou em parte, as irregularidades de um pavimento.

**REVESTIMENTO SUPERFICIAL:** Aplicação de camada(s) de ligante betuminoso (geralmente emulsão) e de gravilha alternadamente. A primeira camada pode ser de gravilha.

**ROCHA ASFÁLTICA:** Rocha porosa que foi impregnada com asfalto natural ao longo da sua vida geológica.

**RUÍNA ESTRUTURAL:** Estado de um pavimento que apresenta degradações estruturais generalizadas.

**SANEAMENTO DO PAVIMENTO:** Eliminação numa zona localizada de uma ou mais camadas degradadas do pavimento até à profundidade necessária, substituindo-as por outras de materiais adequados, que podem ser retirados do pavimento existente.

**SELAGEM DE FENDAS:** Actuação de conservação localizada nas fendas do pavimento, destinada a impedir a passagem da água através destas e a limitar, na medida do possível os movimentos dos seus bordos.

**SLURRY SEAL:** Lama asfáltica fabricada com emulsão betuminosa convencional.

**SOLO-CIMENTO:** Mistura homogénea de materiais granulares (agregados, solos granulares ou resíduos inertes), cimento, água e eventuais aditivos, realizada em central que, uma vez convenientemente compactada é utilizada como componente estrutural do pavimento.

**SUBBASE:** Camada inferior do pavimento, que complementa a função resistente das restantes camadas. Pode ser constituída por uma ou duas camadas ou não existir, particularmente nos pavimentos com fundação de classe elevada.

**SUBBASE DRENANTE:** Subbase que proporciona a evacuação das águas procedentes das camadas subjacentes.

**TAPAGEM DE COVAS:** Operação específica de conservação cujo objectivo é a eliminação de ninhos.

**TENSÃO:** Força por unidade de superfície.

**TENSÃO NORMAL:** Componente da tensão na direcção perpendicular à superfície em que actua.

**TENSÃO TANGENCIAL:** Componente da tensão no plano da superfície em que actua.

**TERRAPLENO:** Parte da fundação situada sobre o terreno natural, excluindo o leito do pavimento.

**TORQUE:** Grandeza que descreve a intensidade da acção que induz uma deformação rotacional ou o movimento de um corpo em torno de um ponto ou eixo.

**TRATAMENTO SUPERFICIAL:** Técnica cujo objectivo é dotar o pavimento de determinadas características superficiais ou o de constituir uma medida de conservação preventiva, que não implica um aumento significativo da capacidade de carga do pavimento, e tem pequena contribuição para a melhoria da sua regularidade superficial.

**VEÍCULO PESADO:** Consideram-se como veículos pesados os veículos cujo peso bruto é superior a 300 KN, compreendendo autocarros de passageiros e camiões com ou sem reboque ou semi-reboque.

**VIA:** Faixa longitudinal inserida na faixa de rodagem, delimitada ou não através de sinalização horizontal, com largura suficiente para permitir a circulação de veículos ligeiros ou pesados.

**VIA DE PROJECTO:** Via pela qual circula um maior número de veículos pesados.

**VIA DE SERVIÇO:** Caminho sensivelmente paralelo a uma estrada relativamente à qual tem um carácter secundário, ligado a esta apenas por alguns pontos e que dá serventia a propriedades ou edifícios contíguos. Pode ter sentido único ou duplo.

**VIDA RESIDUAL:** Período de tempo remanescente de vida útil de um pavimento ou de uma camada de pavimento.

**VIDA ÚTIL:** Período de tempo durante o qual o pavimento (ou a camada do pavimento considerada) se mantém sem degradações estruturais generalizadas.

**ZONA HOMOGÉNEA:** Segmento da estrada que tem uma constituição do pavimento uniforme (espessura e natureza das camadas), realizada na mesma fase construtiva, e sobre a qual circula tráfego pesado da mesma categoria.

**ZONA DE COMPORTAMENTO UNIFORME:** Zona homogénea ao longo da qual o pavimento se encontra no mesmo estado, do ponto de vista estrutural ou superficial, de acordo com os resultados de campanhas de inspeção visual e de auscultação.

**ZONAMENTO:** Análise dos elementos existentes sobre o comportamento de um pavimento, tendo em vista estabelecer zonas distintas do ponto de vista da solução de reabilitação a adoptar.

## **Normas Europeias Relativas a Agregados e Fíleres**

Especificações de Produto:

- NP EN 13043 – Agregados para misturas betuminosas e tratamentos superficiais para estradas, aeroportos e outras áreas de circulação
- NP EN 13242 – Agregados para materiais não ligados ou tratados com ligantes hidráulicos utilizados em trabalhos de engenharia civil e na construção rodoviária

*Métodos de ensaio para agregados grossos, agregados finos e agregados de granulometria extensa*

Tipo	Propriedades CE EP	Propriedades NP EN 13043 NP EN 13242	Normas de ensaio (EN)
Propriedades geométricas	Granulometria	Granulometria	NP EN 933-1 NP EN 933-2
	Índice de lamelação	Índice de achatamento	NP EN 933-3
	Índice de alongamento	Índice de forma	NP EN 933-4
	Nº de superfícies de fractura	Percentagem de partículas esmagadas e partidas	NP EN 933-5
	Qualidade dos finos	Equivalente de Areia	Equivalente de Areia
Azul de Metileno		Azul de Metileno	NP EN 933-9
		Resistência ao desgaste por atrito (Micro-Deval)	NP EN 1097-1
Propriedades físicas	Desgaste Los Angeles	Resistência à fragmentação (Los Angeles)	NP EN 1097-2
	Coeficiente de polimento acelerado	Coeficiente de polimento acelerado	NP EN 1097-8
	Massa volúmica das partículas e absorção de água	Massa volúmica das partículas e absorção de água	NP EN 1097-6

## Métodos de ensaio para fíleres

<b>Tipo</b>	<b>Propriedades CE EP</b>	<b>Propriedades NP EN 13043</b>	<b>Normas de ensaio (EN)</b>
Propriedades geométricas	Granulometria	Granulometria	NP EN 933-10
Finos nocivos	Azul de Metileno	Azul de Metileno	NP EN 933-9
Propriedades físicas	Massa volúmica das partículas	Massa volúmica das partículas	NP EN 1097-7
		Vazios do filer seco compactado (Rigden)	NP EN 1097-4