



## MISTURAS BETUMINOSAS NA PAVIMENTAÇÃO RODOVIÁRIA

Constituintes, Aplicações e Controlo da Qualidade

### ENQUADRAMENTO

As misturas betuminosas constituem um dos materiais mais utilizados na construção, conservação e reabilitação de pavimentos rodoviários. A sua utilização permite criar superfícies de circulação seguras, confortáveis e duráveis, capazes de suportar as solicitações provocadas pelo tráfego e pelas condições ambientais.

Os pavimentos que integram camadas de misturas betuminosas são frequentemente classificados como pavimentos flexíveis ou semi-rígidos, dependendo da constituição e do comportamento estrutural das restantes camadas. Nos pavimentos flexíveis, a estrutura apresenta capacidade de deformação elástica sob a ação do tráfego, sendo o seu desempenho global condicionado pelo comportamento conjunto das diferentes camadas que a constituem. As camadas inferiores asseguram a capacidade estrutural do pavimento, distribuindo as cargas transmitidas pelos veículos para o terreno de fundação, enquanto as camadas superiores garantem as características funcionais da estrada, como a aderência, a regularidade superficial, a drenagem da água, o conforto de circulação e a redução do ruído.

Neste contexto, as misturas betuminosas assumem um papel determinante, sendo utilizadas em camadas de base, ligação, regularização e desgaste, desempenhando simultaneamente funções estruturais e funcionais.

Além da sua importância técnica, a evolução dos materiais, dos ligantes e dos processos de fabrico tem permitido desenvolver pavimentos cada vez mais resistentes, duráveis e sustentáveis, contribuindo para a redução dos custos de manutenção e do impacto ambiental das infraestruturas rodoviárias.

## O QUE SÃO MISTURAS BETUMINOSAS?

Uma mistura betuminosa é um material obtido pela combinação de agregados minerais, filler e um ligante betuminoso (betume), cuidadosamente doseados e misturados numa central de fabrico, normalmente a quente. Após a mistura, o material é transportado para a obra, espalhado por pavimentadoras e compactado até atingir a densidade prevista em projeto. O comportamento da mistura depende da correta seleção dos seus constituintes, da formulação adotada e da qualidade da execução.

**Agregados** – Os agregados representam cerca de 90 a 95 % da massa total da mistura, constituindo o seu elemento estrutural. Devem apresentar como características principais: elevada resistência à fragmentação; elevada resistência ao desgaste; forma adequada das partículas; granulometria controlada; reduzida absorção de água; elevada resistência ao polimento nas camadas de desgaste. A qualidade dos agregados influencia diretamente a estabilidade da mistura, a resistência às deformações permanentes e a durabilidade do pavimento.

**Filler** – O filler corresponde à fração mineral muito fina. A sua principal função consiste em preencher os vazios existentes entre os agregados e, quando misturado com o betume, formar o denominado mástique betuminoso. Este mástique aumenta a coesão da mistura, a estabilidade, a impermeabilidade e a resistência ao envelhecimento.

**Ligante Betuminoso** – O ligante betuminoso envolve os agregados e assegura a ligação entre todas as partículas da mistura. Ao contrário dos ligantes hidráulicos, o betume apresenta comportamento viscoelástico, permitindo acomodar deformações sem perda significativa de resistência. Em Portugal utilizam-se principalmente o betume 35/50, o betume 50/70 e os betumes modificados com polímeros. A numeração de classificação dos betumes corresponde ao resultado do ensaio de penetração segundo a EN1426, que de forma sucinta, representa o intervalo de penetração de uma agulha em décimos de milímetros (35/50 significa que nas condições do ensaio a agulha penetra entre 3,5mm a 5,0mm). Os betumes modificados apresentam maior resistência às rodadeiras, à fadiga, às temperaturas elevadas, ao envelhecimento e à fissuração térmica. São frequentemente utilizados em autoestradas, aeroportos e vias sujeitas a tráfego intenso.

**Classificação das misturas betuminosas** – As misturas betuminosas têm como referencial na União Europeia o conjunto de normas EN 13108, normas harmonizadas o que impõe às misturas betuminosas a marcação CE. Esta norma designa vários tipos de misturas betuminosas, com variabilidade na sua estrutura, e cujos principais são:

-Asphalt Concrete/ Betão Betuminoso (AC) (EN 13108-1) – a mistura mais utilizada em Portugal, e possui uma granulometria contínua e pode ser utilizada como: base; ligação; regularização; desgaste. A este tipo de mistura está ainda associada uma designação complementar consoante a camada funcional de que faz parte:

- AC base – base course/ camada de base;
- AC bin – binder course/ camada de ligação;
- AC reg – regulating course/ camada de regularização;
- AC surf – surface course/ camada de desgaste.

-Porous Asphalt/ Betão Betuminoso Drenante (PA) (EN 13108-7) – caracteriza-se por possuir elevada percentagem de vazios que permitem a drenagem da água, reduz a aquaplanagem, diminuição dos salpicos, melhoria da visibilidade durante a chuva e redução do ruído. Esta mistura é utilizada apenas como camada de desgaste e usualmente é omitido o sufixo.

-Stone Mastic Asphalt/ Mistura Betuminosa Rugosa (SMA) (EN 13108-5) – uma mistura descontínua com elevado teor de agregados grossos. Possui excelente resistência às rodadeiras, ao desgaste e à fadiga, pelo que é indicada para vias de elevado tráfego.

Na prática corrente do setor, distinguem-se ainda outras designações descritivas das misturas betuminosas. As misturas semi-densas, com estrutura intermédia entre o betão betuminoso e as misturas drenantes, são comuns em estradas municipais e vias urbanas. As misturas descontínuas, categoria em que se insere o SMA, visam melhorar características superficiais como a aderência e a redução de ruído. Já as misturas frias, produzidas sem aquecimento significativo, aplicam-se sobretudo em pequenas reparações, conservação e intervenções provisórias.

Importa referir que no mercado em Portugal ainda surge a identificação das misturas com nomenclatura anterior à norma, aparecendo por vezes designações como BB (Betão Betuminoso), MBD (Mistura Betuminosa Densa), MB (Macadame Betuminoso), ou outras similares. Podem coexistir as nomenclaturas, sendo sempre obrigatória a especificação conforme a EN13108.

A especificação completa da mistura segue, portanto, a EN13108 e considera o tipo de mistura, a dimensão máxima nominal do agregado, a camada de aplicação e o tipo de ligante, conforme apresentado no exemplo abaixo.

**AC**

**14**

**SURF**

**35/50**

Betão betuminoso

14mm de dimensão máxima  
nominal do agregado

Camada superficial

Betume classe 35/50

A pavimentação rodoviária tem evoluído significativamente no domínio da sustentabilidade. Uma das principais estratégias consiste na reutilização de material fresado proveniente de pavimentos existentes, designado por RAP (Reclaimed Asphalt Pavement). A incorporação de RAP permite reduzir o consumo de agregados naturais, diminuir a utilização de betume virgem, reduzir resíduos, diminuir emissões de CO<sub>2</sub> e promover a economia circular. Paralelamente, o desenvolvimento de misturas mornas, ligantes modificados e tecnologias de reciclagem tem permitido melhorar o desempenho ambiental da construção rodoviária.

## AS MISTURA BETUMINOSAS NAS ESTRUTURAS DOS PAVIMENTOS

Definidos os principais tipos de misturas betuminosas e os critérios que as distinguem, importa compreender de que forma estas se integram na estrutura do pavimento rodoviário. Cada uma das camadas tem uma função distinta e por isso, a especificação da mistura betuminosa deve também ela ter as especificidades que melhor contribuem para a sua função. A especificação dos pavimentos não se rege por uma norma específica, usualmente devem ser cumpridos os cadernos de encargos ou projetos, que por sua vez têm como referência os manuais ou documentos técnicos amplamente reconhecidos.

### Camada de Base/ base course

A camada de base constitui o elemento estrutural mais profundo da estrutura betuminosa do pavimento, tendo principalmente uma função de distribuição e absorção das tensões geradas pelo tráfego antes de estas atingirem a fundação. Por esta razão, a mistura betuminosa aplicada nesta camada, é geralmente composta por agregados de maior dimensão máxima (frequentemente AC 20 ou AC 32), permitindo maior espessura de aplicação e uma estrutura mais robusta face às solicitações de compressão e corte, sendo menos exigentes os requisitos relativos à textura superficial ou à aderência, uma vez que esta camada não fica exposta ao tráfego direto.

### Camada de ligação/ binder course

A camada de regularização tem como função corrigir irregularidades geométricas da camada subjacente, nivelando a superfície antes da aplicação da camada seguinte, assumindo, por isso, uma espessura variável ao longo do desenvolvimento da via, ao contrário das restantes camadas, que possuem espessura constante. É precisamente esta variabilidade de espessura que distingue, na prática, a camada de regularização da camada de ligação. Quando a mistura é aplicada com espessura constante ao longo de toda a via, a designação e função aproximam-se da camada de ligação (bin), quando a espessura varia ponto a ponto para corrigir desníveis e defeitos de perfil da camada anterior, usualmente é designada de camada de regularização (reg). Em muitos casos práticos, trata-se de facto da mesma mistura betuminosa, distinguindo-se apenas pela função executiva que desempenham na obra. Ao selecionar a mistura para esta camada, deve por isso privilegiar-se a trabalhabilidade e a facilidade de compactação em espessuras não uniformes, aspetos que condicionam a homogeneidade estrutural do pavimento nas zonas de maior correção.

### Camada de regularização/ regulating course

A camada de regularização tem como função corrigir irregularidades geométricas da camada subjacente, nivelando a superfície antes da aplicação da camada seguinte, assumindo, por isso, uma espessura variável ao longo do desenvolvimento da via, ao contrário das restantes camadas, que possuem espessura constante. É precisamente esta variabilidade de espessura que distingue, na prática, a camada de regularização da camada de ligação. Quando a mistura é aplicada com espessura constante ao longo de toda a via, a designação e função aproximam-se da camada de ligação (bin), quando a espessura varia ponto a ponto para corrigir desníveis e defeitos de perfil da camada anterior, usualmente é designada de camada de regularização (reg). Em muitos casos práticos, trata-se de facto da mesma mistura betuminosa, distinguindo-se apenas pela função executiva que desempenham na obra. Ao seleccionar a mistura para esta camada, deve por isso privilegiar-se a trabalhabilidade e a facilidade de compactação em espessuras não uniformes, aspetos que condicionam a homogeneidade estrutural do pavimento nas zonas de maior correção.

### Camada de desgaste/ surface course

A camada de desgaste é a camada superior do pavimento, em contacto direto com o tráfego e com os agentes climáticos, pelo que reúne o maior número de exigências funcionais simultâneas: aderência, regularidade, conforto, impermeabilidade, resistência ao desgaste, drenagem superficial e redução do ruído. É também nesta camada que se concentra a maior diversidade de tipos de mistura, cuja seleção, deve ponderar cuidadosamente o nível de tráfego previsto, as condições climáticas do local (risco de precipitação intensa, exposição solar, amplitude térmica) e os requisitos de segurança rodoviária aplicáveis, sendo esta a camada onde as especificações de textura superficial e macrotextura (definidas em normas complementares, como a EN 13036) assumem maior relevância prática.

### Interface entre camadas

Existem dois tipos de interfaces entre camadas de um pavimento betuminoso: Entre a base granular e a mistura betuminosa, e entre misturas betuminosas. A primeira corresponde à transição entre a base granular, usualmente tout-venant, e a primeira camada do pavimento betuminoso. A segunda corresponde à ligação entre camadas de misturas betuminosas. Para uma adequada transição entre camadas, deve ser considerado um produto adicional, um ligante betuminoso por pulverização, usualmente uma emulsão.

- Base granular ↔ mistura betuminosa: Rega de Impregnação/ Prime Coat. Utilizada para impregnar um material granular conferindo-se coesão superficial. Tipicamente selecionada uma emulsão de rotura lenta, para permitir a penetração antes da separação água ligante, com uma dosagem usual entre 0,8 e 1,5 kg/m<sup>2</sup> de ligante residual, consoante a porosidade da camada granular.
- Mistura betuminosa ↔ mistura betuminosa: Rega de Colagem/ Tack Coat. Utilizada para melhorar a aderência entre duas camadas não porosas, conferindo-lhe um comportamento monolítico. Tipicamente selecionada uma emulsão de rotura rápida, por não existir porosidade, permitindo a camada seguinte sem demora, com uma dosagem usual entre 0,3 e 0,6 kg/m<sup>2</sup> de ligante residual. O excesso poderia migrar para a camada superior e causar problemas de escorregamento ou exsudação.

Este tipo de produtos é regulado pela EN 13808, norma harmonizada. Tal como as misturas betuminosas ainda é comum a discriminação indicar designações antigas, ou especificações do LNEC, contudo, é a norma EN 13808 que deve ser respeitada, impondo um código de quatro indicadores: polaridade, teor de ligante (%), tipo de ligante e classe de rotura, conforme apresentado no exemplo abaixo.

**C**

C: Catiónica  
(utilizada na pavimentação)

**60**

Classe de teor de ligante,  
correspondente a  
aproximadamente 60%

**B**

B: betume rodoviário  
BP: betume modificado com  
polímeros  
BF: betume com fluxante

**3**

Classe de índice de rotura  
(Menor índice indica rotura  
mais rápida)

## SELEÇÃO DOS MATERIAIS

O processo de consulta ao mercado deve ser inequívoco, sob pena de receber diferentes especificações de diferentes fornecedores, ou omissões quanto à constituição dos produtos. Ainda antes da seleção do fornecedor, e sempre antes da receção do material, deve ser recolhida toda a documentação que permita reduzir a probabilidade de desvirtuação do sistema de pavimento rodoviário betuminoso. Considerando, a título de exemplo, o pavimento constituído pelos materiais abaixo, apresenta-se a documentação mínima a reunir para validar o fornecimento:

|                                                                             |                                                                        |
|-----------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| <b>Rega de impregnação com emulsão C65B5 à taxa de 1,5 kg/m<sup>2</sup></b> | Declaração de Desempenho<br>Ficha de Dados de Segurança                |
| <b>Camada de ligação com mistura AC 20 bin 35/50 com 7cm de espessura</b>   | Declaração de Desempenho<br>Exemplar da guia receção (com marcação CE) |
| <b>Rega de colagem com emulsão C60B2 à taxa de 0,8 kg/m<sup>2</sup></b>     | Declaração de Desempenho<br>Ficha de Dados de Segurança                |
| <b>Camada de desgaste com mistura AC 14 surf 50/70 com 4cm de espessura</b> | Declaração de Desempenho<br>Exemplar da guia receção (com marcação CE) |
| <b>Produtor/Central (AC 20 bin 50/70 e AC 20 bin 35/50)</b>                 | Certificado de Controlo de Produção em Fábrica                         |

Será pertinente receber por parte do fabricante o estudo de composição do betuminoso, permitindo analisar a constituição das misturas e sua adequabilidade à utilização pretendida. Em alternativa, poderão ser entregues os Relatórios de Ensaios de Tipo Inicial (ITI), que sustentam as declarações de desempenho. A apresentação desta documentação não configura uma imposição normativa, contudo pode ser salvaguardada na contratualização e permitirá analisar com detalhe a constituição dos pavimentos.

## CONTROLO DE QUALIDADE

O controlo da qualidade de um pavimento betuminoso inicia-se antes da pavimentação, através da validação dos materiais, da verificação das condições da camada de suporte e do planeamento das operações de aplicação. Durante a execução devem ser controladas, entre outras, as condições da base, as regas de impregnação e colagem, as características da mistura fornecida, as temperaturas, o espalhamento, a compactação, a espessura e as condições finais da camada executada.

Não existe um único documento normativo que reúna todos os critérios de execução e controlo aplicáveis a qualquer pavimento. Estes deverão ser estabelecidos no Projeto, Caderno de Encargos e Plano de Inspeção e Ensaio da empreitada, recorrendo às normas e especificações técnicas aplicáveis. No Anexo I apresenta-se, de forma sucinta, um Plano de Inspeção e Ensaio com os principais parâmetros a verificar e as consequências mais frequentes associadas ao seu incumprimento.

## PATOLOGIAS COMUNS

Apesar da elevada durabilidade dos pavimentos betuminosos, deficiências ao nível do projeto, materiais, drenagem ou execução, conjugadas com as solicitações do tráfego e as condições ambientais, podem originar diferentes mecanismos de degradação. Entre as patologias mais frequentes encontram-se a fissuração, as rodeiras e outras deformações permanentes, a desagregação superficial, a exsudação, as peladas, os ninhos, a segregação e a perda de aderência entre camadas.

A inspeção visual constitui o primeiro nível de avaliação, permitindo identificar o tipo, localização, extensão e severidade das degradações. Quando necessário, o diagnóstico poderá ser complementado através de ensaios de aderência, textura e regularidade, carotagens, caracterização da mistura ou ensaios de avaliação estrutural.

A presença de água e as condições de drenagem devem ser particularmente consideradas, uma vez que a infiltração pode acelerar a perda de aderência, reduzir a capacidade de suporte das camadas inferiores e contribuir para a evolução de diversas patologias. No Anexo II apresenta-se um catálogo simplificado das patologias mais frequentes e respetivas causas prováveis.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

As misturas betuminosas constituem um dos principais materiais utilizados na construção e conservação das infraestruturas rodoviárias, desempenhando um papel fundamental na segurança, conforto e durabilidade dos pavimentos. O desempenho de um pavimento depende da adequada seleção dos materiais, da formulação da mistura, do rigor do fabrico, do correto transporte, da qualidade da aplicação em obra e da realização de uma compactação eficaz. O controlo da qualidade, através da especificação adequada na compra, verificações em obra e apoio de ensaios laboratoriais, é indispensável para garantir o cumprimento das exigências técnicas e assegurar o comportamento estrutural e funcional do pavimento ao longo da sua vida útil.

A crescente incorporação de materiais reciclados, o desenvolvimento de misturas mornas e de ligantes modificados e a aposta em soluções mais sustentáveis demonstram a contínua evolução do setor da pavimentação rodoviária, conciliando elevados níveis de desempenho com uma utilização mais eficiente dos recursos naturais e uma redução do impacto ambiental.

**Samuel Carreira**  
*Diretor Técnico AOC*

**Leandro Gonçalves**  
*Diretor Técnico Constcheck*



Especializada em ensaios técnicos e análises avançadas para o setor da construção, recorre a tecnologia de ponta e a uma equipa experiente para apoiar engenheiros, arquitetos, construtores e entidades de fiscalização, garantindo que cada projeto cumpre os mais elevados padrões de qualidade, segurança e eficiência.

Realiza ensaios e análises técnicas, in situ e laboratoriais, em diversas áreas de atuação, nomeadamente solos, agregados, materiais betuminosos, betão, geotecnia, estruturas de construção, bem como qualidade do ar e ruído. Presta ainda apoio técnico ao setor da construção através de serviços de consultoria personalizada.

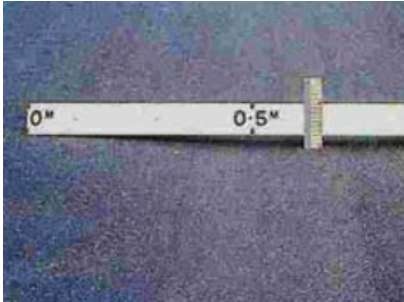
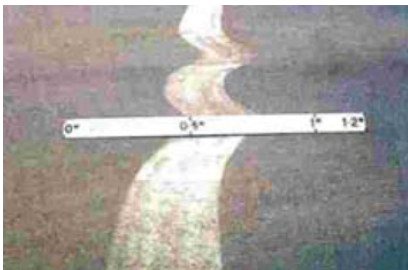
## ANEXO I – PLANO DE INSPEÇÃO E ENSAIO

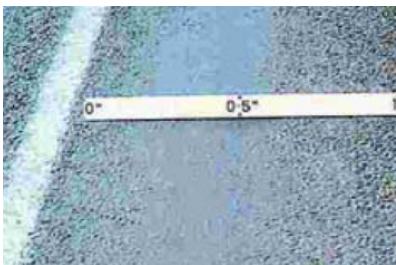
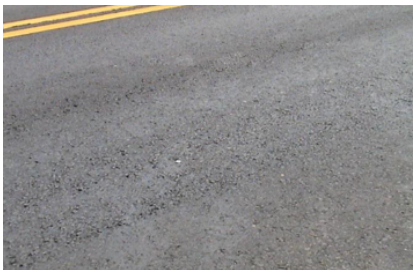
| IDENTIFICAÇÃO                                   | MÉTODOS E LIMITES ADMISSÍVEIS<br>(BOAS PRÁTICAS)                                                                                                                                              | CONSEQUÊNCIA DO INCUMPRIMENTO                                                                                                                                                                                                                    |
|-------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Base. Espessura da camada.                      | Inspeção visual + controlo topográfico:<br>≥95% da espessura de projeto. Entre 85% e 95% da espessura de projeto é admissível em camadas intermédias sem água, compensando na camada seguinte | Espessura insuficiente reduz a capacidade estrutural da fundação promovendo deformações permanentes e fadiga precoce                                                                                                                             |
| Base. Teor de água e compactação.               | Recolha amostra prévia para Ensaio de compactação proctor (EN 13286-2) e ensaio in situ com Gamadensímetro:<br>Teor de água próximo do ótimo;<br>Grau de compactação >95% do Proctor.         | Assentamentos, deformações permanentes e perda de capacidade de suporte, promovendo fadiga precoce                                                                                                                                               |
| Base. Planimetria                               | Inspeção visual + controlo topográfico:<br>Δ<15mm à cota de projeto                                                                                                                           | Custos adicionais de regularização com camadas betuminosas; acumulações de água com consequente degradação precoce das camadas betuminosas                                                                                                       |
| Base. Limpeza                                   | Inspeção Visual:<br>Inexistência de contaminações e material solto                                                                                                                            | Compromete a aderência entre as camadas promovendo o escorregamento, bolhas ou descolamentos                                                                                                                                                     |
| Base. Drenagem                                  | Inspeção Visual:<br>Inexistência acumulações de água                                                                                                                                          | Compromete a composição originando desagregações e eventualmente a redução da capacidade de carga localizada, desenvolvendo-se deformações permanentes e fissuração                                                                              |
| Condições meteorológicas.<br>Temperatura mínima | Inspeção Métrica (termómetro):<br>Θ>10 °C                                                                                                                                                     | Arrefecimento demasiado rápido reduz a janela de compactação, promovendo um aumento dos vazios e uma menor coesão e durabilidade, favorecendo a desagregação, fissuração e infiltração de água.                                                  |
| Condições meteorológicas.<br>Chuva              | Inspeção Visual:<br>não admissível chuva                                                                                                                                                      | Prejudica a adequada aderência entre camadas, impõe um arrefecimento rápido da mistura, prejudicando a compactação e promovendo um aumento dos vazios e menor coesão. Pode originar escorregamentos, ninhos, peladas, desagregação e fissuração. |

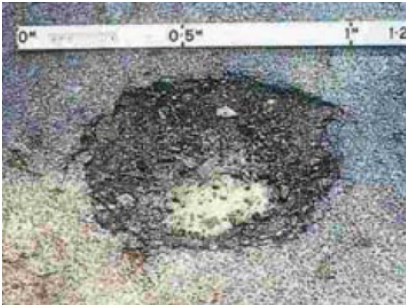
| IDENTIFICAÇÃO                            | MÉTODOS E LIMITES ADMISSÍVEIS<br>(BOAS PRÁTICAS)                                                                                                              | CONSEQUÊNCIA DO INCUMPRIMENTO                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Receção Mistura. Guia                    | Inspeção Visual:<br>Especificação conforme a encomenda                                                                                                        | Impossibilidade de rastrear/verificar a conformidade da mistura e de associar o material ao estudo aprovado                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Receção. Temperatura da mistura          | Inspeção Métrica (termómetro):<br>140 °C <Θ>180 °C<br>(analisar ficha técnica dos materiais)                                                                  | Sobre-aquecimento pode provocar envelhecimento do ligante e alteração das propriedades da mistura. Em serviço pode traduzir-se em perda de flexibilidade, fissuração e desagregação.<br>Uma temperatura demasiado baixa reduz a trabalhabilidade e impede uma compactação adequada, promovendo um aumento dos vazios e uma menor coesão e durabilidade, favorecendo a desagregação, fissuração e infiltração de água. |
| Receção Mistura. Homogeneidade           | Inspeção visual:<br>Inexistência de grumos e agregados completamente revestidos pelo ligante                                                                  | A heterogeneidade pode implicar zonas com envolvimento inadequado do ligante afetando a uniformidade e promovendo a segregação, desagregação superficial ou perda localizada de resistência.                                                                                                                                                                                                                          |
| Receção Mistura. Granulometria           | Ensaio com recolha de amostra (EN 12697-2):<br>Curva granulométrica próxima da teórica (estudo de composição)<br>Variações entre 2 a 8%, consoante o peneiro  | Mistura demasiado fina: Exsudação, baixa resistência ao escorregamento, deformações plásticas e fissuração por fadiga.<br>Mistura demasiado grossa: Desagregação, penetração de água, fissuração precoce, durabilidade geral reduzida.                                                                                                                                                                                |
| Receção Mistura. Teor de ligante         | Ensaio com recolha de amostra (EN 12697-1):<br>Teor de ligante igual ao estudo $\pm 0,3\%$                                                                    | Excesso de ligante: Exsudação, rodeiras, perda de macrotextura e baixa resistência ao escorregamento.<br>Deficiência de ligante: Desagregação superficial, fissuração precoce por fadiga, permeabilidade elevada e fissuração por rotura localizada.                                                                                                                                                                  |
| Receção Mistura. Baridade máxima teórica | Ensaio com recolha de amostra (EN 12697-5):<br>(valor de referência para cálculo da porosidade)<br>Baridade máxima teórica aproximada ao estudo de composição | Muitos vazios: Oxidação acelerada do betume, fissuração precoce por fadiga, desagregação e danos pela penetração de água.<br>Poucos vazios: Exsudação, rodeiras, perda de textura superficial e instabilidade a temperaturas elevadas.                                                                                                                                                                                |

| IDENTIFICAÇÃO                    | MÉTODOS E LIMITES ADMISSÍVEIS<br>(BOAS PRÁTICAS)                                                                                                                                                                                                                                                     | CONSEQUÊNCIA DO INCUMPRIMENTO                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Execução. Rega de impregnação    | Inspeção Visual e Inspeção Métrica (controlo por tabuleiro metálico ou folha de papel):<br>Não admissível a inexistência;<br>Taxa entre 0,8 e 1,5 kg/m <sup>2</sup> ±15 %                                                                                                                            | A inexistência ou aplicação a taxa insuficiente aumenta o potencial de desligamento do pavimento com a base, promovendo a fissuração precoce por fadiga e deformações.<br>A aplicação a uma taxa excessiva promove a exsudação, a delaminação localizada e potencia o escorregamento do pavimento. |
| Execução. Rega de colagem        | Inspeção Visual e Inspeção Métrica (controlo por tabuleiro metálico ou folha de papel):<br>Não admissível a inexistência<br>Taxa entre 0,3 e 0,6 kg/m <sup>2</sup> ±15 % (controlo por tabuleiro metálico ou folha de papel)<br>Circulação interdita e rotura/cura adequada antes da camada seguinte | A inexistência ou aplicação a taxa insuficiente aumenta o potencial de desligamento entre camadas, promovendo peladas ou ninhos.<br>A aplicação a uma taxa excessiva promove a exsudação, a delaminação localizada e potencia o deslizamento.                                                      |
| Execução. Compactação/Porosidade | Ensaio (cálculo conforme EN 12697-8):<br>Camada de desgaste: 3-7%<br>Camada intermédia: 3-8%<br>Camada de base: 4-8%                                                                                                                                                                                 | Baixa compactação, porosidade elevada: promove a oxidação acelerada do betume, fissuração precoce por fadiga, desagregação e danos pela penetração de água.                                                                                                                                        |
| Execução. Espessura das camadas  | Inspeção métrica com recolha de tarolos:<br>Espessura média ≥ Espessura prevista com pelo menos 95% dos tarolos dentro das tolerâncias:<br>Camada de desgaste: (-)0,4 cm<br>Camada intermédia: (-)0,7 cm<br>Camada de base: (-)2,0 cm                                                                | Subespessura corresponde a uma redução estrutural com impacto na durabilidade.                                                                                                                                                                                                                     |
| Execução. Espessura total        | Inspeção visual:<br>Não admissível separação ou desprendimento entre camadas.                                                                                                                                                                                                                        | Subespessura corresponde a uma redução estrutural com impacto na durabilidade.                                                                                                                                                                                                                     |
| Execução. Juntas                 | Inspeção visual:<br>Não admissível separação ou desprendimento entre camadas.                                                                                                                                                                                                                        | Entrada de água, fissuração, deslizamento e peladas                                                                                                                                                                                                                                                |
| Execução. Planimetria            | Inspeção visual + controlo topográfico a cada 25 metros:<br>Levantamento métrico ( $\Delta \leq 15$ mm à cota de projeto)<br>(Régua de 3 metros: Camada de desgaste $\leq 4$ mm; Camadas subadjacentes: $\leq 8$ mm)                                                                                 | Segregação, irregularidades prejudicam conforto na utilização e drenagem superficial, podendo criar acumulação de água e desagregação a médio prazo.                                                                                                                                               |

## ANEXO II - CATÁLOGO DE PATOLOGIAS

| FOTO EXEMPLO                                                                                                                         | DESCRIÇÃO                                                                                                                                                                                                                                                     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p>Fonte: CEPISA (2019)</p>                        | <p><b>Rodeiras</b> - Deformação longitudinal na zona de passagem dos rodados.</p> <p><u>Causas prováveis:</u> mistura pouco resistente à deformação, compactação inadequada, temperaturas elevadas, tráfego pesado ou insuficiente capacidade estrutural.</p> |
|  <p>Fonte: FLEK (2017)</p>                         | <p><b>Fissuração por fadiga</b> - pele de crocodilo - Rede de fissuras interligadas.</p> <p><u>Causas prováveis:</u> repetição das cargas, espessura insuficiente ou perda de capacidade de suporte das camadas inferiores.</p>                               |
|  <p>Fonte: CEPISA (2019)</p>                      | <p><b>Fendas longitudinais</b> - Fissuras aproximadamente paralelas ao eixo da via.</p> <p><u>Causas prováveis:</u> juntas deficientes, má compactação, assentamentos diferenciais ou reflexão de fissuras.</p>                                               |
|  <p>Fonte: OLIVEIRA; MIRANDA; PINHEIRO (2024)</p> | <p><b>Fendas transversais / térmicas</b> - Fissuras aproximadamente perpendiculares ao eixo.</p> <p><u>Causas prováveis:</u> retração térmica, reflexão de fissuras/juntas inferiores ou deficiente execução das juntas.</p>                                  |
|  <p>Fonte: CEPISA (2019)</p>                      | <p><b>Deslizamento</b> - Deslocamento da camada superficial relativamente à inferior.</p> <p><u>Causas prováveis:</u> rega de colagem deficiente, baixa estabilidade da mistura ou elevados esforços de travagem/aceleração.</p>                              |

| FOTO EXEMPLO                                                                                                             | DESCRIÇÃO                                                                                                                                                                                                           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p>Fonte: ALCANTARA (2016)</p>         | <p><b>Desagregação superficial</b> - Perda progressiva de agregados.</p> <p><u>Causas prováveis:</u> envelhecimento ou deficiência de ligante, má adesividade, presença de água ou compactação insuficiente.</p>    |
|  <p>Fonte: CEPISA (2019)</p>            | <p><b>Polimento dos agregados</b> - Perda de microtextura dos agregados pela ação do tráfego.</p> <p><u>Causas prováveis:</u> agregados com resistência ao polimento insuficiente e ação continuada do tráfego.</p> |
|  <p>Fonte: CEPISA (2019)</p>          | <p><b>Peladas</b> - Perda localizada da camada superficial.</p> <p><u>Causas prováveis:</u> deficiente ligação entre camadas, baixa estabilidade ou ação intensa do tráfego.</p>                                    |
|  <p>Fonte: CEPISA (2019)</p>          | <p><b>Exsudação</b> - Presença de ligante à superfície, conferindo aspecto escuro e brilhante.</p> <p><u>Causas prováveis:</u> excesso de ligante/mástique ou reduzido volume de vazios.</p>                        |
|  <p>Fonte: Kvasnick et al. (2010)</p> | <p><b>Segregação</b> - Distribuição não homogênea dos agregados.</p> <p><u>Causas prováveis:</u> segregação durante produção, transporte, descarga ou espalhamento.</p>                                             |

| FOTO EXEMPLO                                                                                                    | DESCRIÇÃO                                                                                                                                                                                                                                                  |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p>Fonte: CEPISA (2019)</p>   | <p><b>Ninhos</b> - Cavidades localizadas resultantes da perda de material.</p> <p><u>Causas prováveis:</u> evolução da desagregação ou segregação, compactação deficiente, água e tráfego.</p>                                                             |
|  <p>Fonte: WSDOT (2008)</p>    | <p><b>Perda de aderência entre camadas</b> - Separação ou funcionamento independente das camadas.</p> <p><u>Causas prováveis:</u> ausência, deficiência ou excesso de rega de colagem, superfície contaminada, presença de água ou execução inadequada</p> |
|  <p>Fonte: CEPISA (2019)</p> | <p><b>Elevação / deformação localizada</b> - Levantamento localizado da superfície.</p> <p><u>Causas prováveis:</u> presença de água, materiais expansivos, deformações das camadas inferiores ou assentamentos diferenciais.</p>                          |

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALCANTARA (2016) ALCANTARA, Marco Antônio de Morais. *Patologias de pavimentos urbanos*. Aedificium Civitatis, 20 nov. 2016. Disponível em: <https://aedificiumcivitatis.blogspot.com/2016/11/patologias-de-pavimentos-urbanos.html>. Acesso em: 27 ago. 2026.

CEPSA (2019). CEPSA PORTUGUESA PETRÓLEOS. *Manual de pavimentação*. 4. ed. Lisboa, 2019.

FLEK (2017) FLEK, C. M. *Diagnóstico de patologias encontradas na rodovia BR-050 entre Araguari e Uberlândia*. Universidade FUMEC. *Revista Construindo*, Belo Horizonte, v. 9, ed. esp. de Patologia, p. 48-61, jul.-dez. 2017.

KVASNIK et al. (2010) KVASNIK, Andrea; PROWELL, Brian; HURLEY, Graham; DE FORTIER SMIT, André; KIM, Jaeseung. *Alabama warm mix asphalt field study: final report*. Auburn, AL: National Center for Asphalt Technology (NCAT), 2010. NCAT Report 10-XX. Disponível em: <https://rosap.nrl.bts.gov/view/dot/18012>. Acesso em: 27 ago. 2026.

MUENCH; MOOMAW / WSDOT (2008) MUENCH, Stephen T.; MOOMAW, Tim. *De-bonding of hot mix asphalt pavements in Washington State: an initial investigation*. Washington, D.C.: Washington State Department of Transportation (WSDOT); Transportation Northwest (TransNow), 2008. WA-RD 712.1. Disponível em: <https://www.wsdot.wa.gov/research/reports/fullreports/712.1.pdf>. Acesso em: 27 ago. 2026.

WSDOT (2008)

MUENCH, Stephen T.; MOOMAW, Tim. *De-bonding of hot mix asphalt pavements in Washington State: an initial investigation*. Washington, D.C.: Washington State Department of Transportation (WSDOT); Transportation Northwest (TransNow), 2008. WA-RD 712.1. Disponível em: <https://www.wsdot.wa.gov/research/reports/fullreports/712.1.pdf>. Acesso em: 27 ago. 2026.

OLIVEIRA; MIRANDA; PINHEIRO (2024) OLIVEIRA, Jovaldo Costa; MIRANDA, Walzenira Parente; PINHEIRO, Érika Cristina Nogueira Marques. *Avaliação das patologias encontradas na via urbana Avenida Camapuã localizada na zona norte da cidade de Manaus/AM: estudo de caso*. *Revista FT*, v. 28, n. 139, out. 2024. DOI: 10.69849/revistافت/ni10202410202152. Disponível em: <https://revistافت.com.br/avaliacao-das-patologias-encontradas-na-via-urbana-avenida-camapua-localizada-na-zona-norte-da-cidade-de-manaus-am-estudo-de-caso/>. Acesso em: 27 ago. 2026.