

PAVIMENTOS RESILIENTES: INCORPORAÇÃO DE MISTURAS BETUMINOSAS RECUPERADAS E BETUME HÍBRIDO COM BORRACHA

Henrique M. Borges Miranda (autor correspondente)

ISEL – Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Instituto Politécnico de Lisboa, Portugal, henrique.miranda@isel.pt

Daniela Domingues

BRISA, Maia, Portugal, rosa.domingues@brisa.pt

Maria João Rato

BRISA, São Domingos de Rana, Portugal, maria.rato@brisa.pt

Teresa Carvalho

MOEVE, Lisboa, Portugal, teresa.carvalho@moeveglobal.com

Tema: Alterações climáticas e resiliência das infraestruturas rodoviárias e/ou ferroviárias

PALAVRAS-CHAVE: Pavimento, Mistura betuminosa recuperada, Betume híbrido com borracha, Pneus em fim de vida, Sustentabilidade, Descarbonização

RESUMO EXECUTIVO

A crescente preocupação com a sustentabilidade, aliada ao foco na descarbonização da indústria da pavimentação até 2050 requer, numa primeira fase, uma alteração do paradigma no *mindset* da indústria de pavimentação para uma utilização primária de soluções de pavimentação alternativas já consolidadas numa larga investigação e aplicação ao longo de várias décadas, em detrimento das soluções tradicionais. Numa segunda fase, a decorrer simultaneamente com a primeira fase, investigar, desenvolver, aplicar e monitorizar, à escala real, novas soluções potencialmente alternativas, mas que se encontram num estágio de maturidade incipiente (i.e. bio-betumes). Entre as diferentes soluções alternativas utilizadas mundialmente com um alto nível de maturidade é possível referir a adição de borracha proveniente de pneus em fim de vida, desenvolvida na década de 60 do século XX com a adição por via seca (no fabrico de misturas betuminosas com borracha numa percentagem de 1% a 4% relativamente à massa total de agregados) e por via húmida (no fabrico de betumes modificados com alta percentagem de borracha numa percentagem de 15% a 25% relativamente à massa total de ligante betuminoso). Posteriormente, observa-se o desenvolvimento de soluções com adição por via húmida sem agitação (no fabrico em refinaria de betumes modificados com baixa e média percentagem de borracha numa percentagem de 5% a 15% relativamente à massa total de ligante betuminoso) e por via semi-húmida através da utilização de borracha pré-tratada, a qual é posteriormente adicionada como aditivo na mistura betuminosa como por via seca numa percentagem de 15% a 25% relativamente à massa total de ligante betuminoso. Apesar dos distintos processos passíveis de serem utilizados, mundialmente a adição de borracha no fabrico de misturas betuminosas é habitualmente realizada por via húmida, suportada na melhoria do comportamento das misturas betuminosas, nomeadamente, à sensibilidade à água, na resistência à deformação permanente, ao fendilhamento por fadiga, e ao envelhecimento, decorrente de uma alta modificação do betume. No entanto, a utilização de betumes modificados com alta percentagem de borracha por via húmida, nunca se consolidou relativamente às soluções tradicionais (betumes de pavimentação, betumes modificados com polímeros), representando atualmente uma pequena percentagem das misturas betuminosas aplicadas mundialmente. As principais limitações à sua utilização incluem, nomeadamente: o custo inicial (decorrente de uma temperatura de fabrico mais alta, $\geq 180^{\circ}\text{C}$, e maior quantidade de betume requerida nas misturas betuminosas, 8% a 10%) e a complexidade do processo de produção (fabrico e armazenamento do betume modificado com alta percentagem de borracha e fabrico, transporte e aplicação das misturas betuminosas), além das restrições quanto ao tipo de mistura betuminosa que pode ser utilizada (rugosa ou drenante), e à utilização conjunta com misturas betuminosas recuperadas (RA), dada a heterogeneidade do ligante betuminoso. Complementarmente, o aumento da temperatura de fabrico contribui para um aumento do consumo energético e de emissões de gases com efeito de estufa.

Visando contribuir para ultrapassar as limitações existentes, e simultaneamente, incrementar a reutilização/reciclagem de materiais e reduzir o consumo de materiais virgens (agregados e betume), o presente estudo segue uma nova abordagem, baseada na utilização de misturas betuminosas com um betume híbrido com alta percentagem de borracha, obtido através de um novo processo de digestão rápida da borracha (*Rapid Digestion Process*, RDP), com e sem a incorporação de misturas betuminosas recuperadas para aplicação como camada de desgaste em autoestrada.

O processo de digestão rápida da borracha distingue-se dos restantes processos por permitir atualmente o fabrico em refinaria de betumes estáveis ao armazenamento de longo prazo, com uma percentagem de até 50% de borracha relativamente à massa total do ligante betuminoso (aproximadamente o dobro da quantidade passível de ser utilizada pelos restantes processos), sendo passível de incorporar polímeros e outros aditivos e ser classificado como um betume modificado com polímeros de acordo com a norma harmonizada EN 14023. O programa experimental contemplou a avaliação de três misturas betuminosas rugosas, AC14 surf (BBr): uma mistura de referência sem incorporação de RA com betume modificado com polímeros (PMB 45/80-75) e; duas misturas com betume híbrido com 20% de borracha e polímeros (PMB 40/100-80) com e sem a incorporação de RA (0% e 30%), tendo-se avaliado o seu comportamento mecânico (Marshall, sensibilidade à água, deformação permanente, módulo de deformabilidade e resistência à fadiga) e funcional (macrotextura). Os resultados deste estudo demonstram que o betume híbrido com alta percentagem de borracha permitiu a produção de misturas betuminosas de alto desempenho, sem necessidade de rejuvenescedores ou promotores de adesividade, mesmo com elevada incorporação de RA, assim como as seguintes conclusões principais:

Influência do betume híbrido no processo de fabrico das misturas betuminosas

- (i) O betume híbrido foi compatível com os protocolos convencionais de fabrico de misturas betuminosas com betumes de pavimentação ou modificados com polímeros, sem exigências adicionais.
- (ii) Permitiu a incorporação de 30% de RA sem necessidade de rejuvenescedores, mesmo quando proveniente de pavimentos muito envelhecidos.
- (iii) Em misturas com agregados graníticos, não requereu a utilização de promotores de adesividade, ao contrário dos betumes modificados com polímeros.

Influência do betume híbrido no comportamento mecânico das misturas betuminosas

- (i) Apresentou um comportamento Marshall similar às misturas de referência, com estabilidade e deformação ligeiramente inferiores, sem comprometer a flexibilidade quando incorporado RA.
- (ii) Demonstrou uma resistência à ação da água comparável às misturas de referência, mesmo sem rejuvenescedores ou promotores de adesividade.
- (iii) Melhorou a resistência à deformação permanente em relação às misturas de referência.
- (iv) Módulo de deformabilidade semelhante às misturas de referência com aumento do módulo de deformabilidade com a incorporação de RA.
- (v) Melhorou a resistência ao fendilhamento por fadiga, independentemente da percentagem de RA, mesmo sem rejuvenescedores ou promotores de adesividade.

Influência do betume híbrido no comportamento funcional das misturas betuminosas

- (i) Garantiu uma macrotextura homogénea e similar à das misturas de referência, devido à homogeneidade do betume híbrido e RA utilizada.

Impacto e Perspetivas Futuras

O betume híbrido demonstrou ser uma alternativa aos betumes tradicionais, viabilizando o fabrico de misturas betuminosas de alto desempenho com elevada incorporação de RA e de borracha reciclada, reduzindo a incorporação de materiais virgens (agregados e betume), promovendo a economia circular, impulsionando a inovação na pavimentação sustentável. Estudos futuros devem avaliar a viabilidade de incorporação de maiores percentagens de RA (> 30%) em misturas betuminosas fabricadas a quente ou temperadas.