

## ANÁLISE DE DESEMPENHO DO USO DE BIO-EMULSÃO E AGREGADO RECICLADO EM TRATAMENTOS SUPERFICIAIS DUPLOS

Ataslina de Paula da Silva  
Suelly Helena de Araújo Barroso  
Antônia Flávia Justino Uchoa

Universidade Federal do Ceará  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes

### RESUMO

Os Tratamentos Superficiais por Penetração são revestimentos frequentemente utilizados em rodovias de baixo volume de tráfego no Brasil. As dosagens variam conforme a experiência do meio técnico, não compreendendo parâmetros de desempenho úteis à inclusão de fontes alternativas em novos projetos. O objetivo desta pesquisa é o de incorporar bio-emulsão asfáltica e agregado reciclado em Tratamentos Superficiais Duplos, avaliando a adesividade e critérios de desempenho aos defeitos da exsudação e perda de agregados. Será considerada a melhoria na dosagem de TSDs com base em investigações da orientação das partículas, percentual de recobrimento e pelo ensaio *Bitumen Bond Strength*. A análise da exsudação será feita pelo *Loaded Wheel Test* e por meio do Processamento Digital de Imagens. A perda de agregados será avaliada pelo *Wet Track Abrasion Test* e *Sweep Test*. Espera-se contribuir com o melhoramento da dosagem de TSDs enquanto a incorporação de novos materiais.

### 1. CONTEXTUALIZAÇÃO E OBJETIVOS DA PESQUISA

Os Tratamentos Superficiais por Penetração (TSPs) são revestimentos delgados obtidos pelo espalhamento de agregados sobre película de emulsão asfáltica. Os Tratamentos Superficiais Duplos (TSDs) são compostos por duas camadas dessa combinação, sendo tradicionalmente empregados no Brasil como primeiro revestimento em Rodovias de Baixo Volume de Tráfego (RBVTs).

Observa-se que há certo empirismo nos projetos de TSPs, em que as atuais especificações não abrangem critérios de desempenho acerca dos defeitos da exsudação e perda de agregados, identificados como os principais defeitos desse tipo de revestimento (Loiola, 2009; Lee, 2009; Im e Kim, 2016; Adams, 2014; Silva, 2018). A qualidade da dosagem dos TSPs frente a esses defeitos vem sendo abordada através de procedimentos de laboratório com simuladores de tráfego, como pontuado em Kim *et al.* (2014), Silva (2018) e Adams *et al.* (2019).

Tais defeitos podem estar relacionados à adesividade entre os materiais (You *et al.*, 2019). A acurácia quanto ao parâmetro da adesividade viabiliza a experimentação de métodos mais assertivos relacionados à dosagem. Avanços nesse âmbito podem contribuir para a inserção de novos materiais, como emulsões asfálticas de produtos vegetais e agregados alternativos, ampliando a busca por sustentabilidade na pavimentação. Gondim (2017) e Lucas Júnior (2018) enfatizaram a influência da composição química do ligante e mineralogia do agregado no estudo das ligações adesivas. Já as propriedades físicas das partículas foram contempladas por Lee e Kim (2009), Silva (2018) e Buss *et al.* (2018) com o *Performance-Based Uniformity Coefficient* (PUC), bem como por Guirguis *et al.* (2018) e Kumbarger *et al.* (2019) pelo critério do *Embedment Depth* (ED).

Diferentes tipos de agregados alternativos têm sido investigados. Loiola (2009) analisou a inserção de agregados siderúrgicos, obtendo-se desempenho satisfatório. Comportamento semelhante foi avaliado por Gheni (2017) com o uso da borracha moída de pneus inservíveis. Já Tarefder *et al.* (2016) e Mesquita Júnior *et al.* (2018) aplicaram fresados na matriz pétreo de tratamentos. Cabral (2011) empenhou-se na aplicação de argila calcinada em TSP, muito

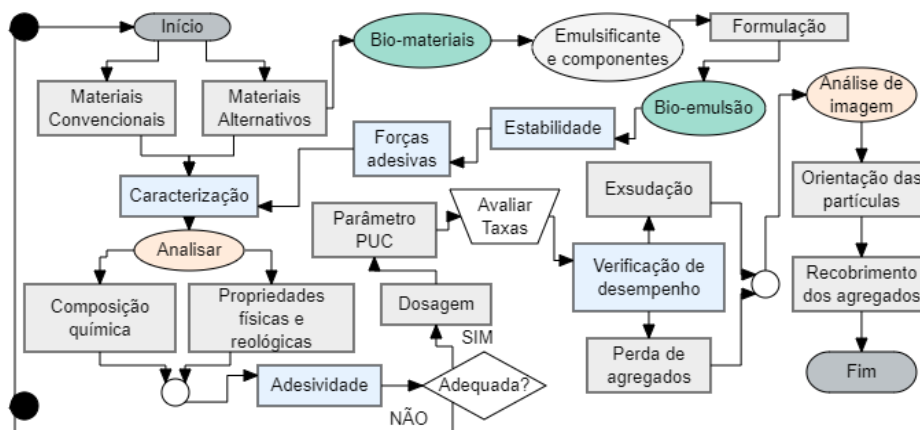
indicada por departamentos de transportes na manutenção de rodovias norte-americanas.

Em emulsões asfálticas, novos emulsificantes podem ser formulados com uso de materiais de base biológica. Santos *et al.* (2016) demonstraram a relevância da implantação de processos alternativos de fabricação com fontes renováveis e biodegradáveis. Nesse contexto, Yang *et al.* (2020) aplicaram materiais de base oleica na síntese de surfactantes, produzindo as bio-emulsões. Os bio-tensoativos com aplicação na indústria petroquímica são produtos funcionalizados em estruturas hidrofílicas e hidrofóbicas, permitindo explorar propriedades entre a interface da matriz dispersante do ligante sobre o agregado. A formulação de bio-emulsões asfálticas pode considerar a inserção de propriedades importantes para melhoria da adesividade, priorizando a incorporação de moléculas de amina e estruturas funcionais presentes nas emulsões utilizadas em obras de pavimentação.

Com base nos itens tratados na contextualização do tema proposto, definiu-se o objetivo geral desta pesquisa como sendo a incorporação de bio-emulsão e agregado alternativo em TSDs, avaliando-se a adesividade e parâmetros de desempenho de dosagem. Os objetivos específicos são: (i) caracterizar bio-materiais alternativos para composição de uma bio-emulsão asfáltica com aplicação em tratamentos superficiais; (ii) produzir bio-emulsão para testes considerando parâmetros comerciais; (iii) analisar os defeitos da exsudação e perda de agregados em TSDs comparando materiais convencionais (emulsão comercial e agregado granítico) a alternativos (bio-emulsão e agregado reciclado); (iv) investigar o recobrimento dos agregados e orientação das partículas pela composição do ligante e interação mecânica entre os materiais e (v) aplicar técnicas de análise de imagem para fornecer melhorias ao processo de avaliação da exsudação em laboratório.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa será executada de acordo com o fluxograma mostrado na Figura 1.



**Figura 1:** Fluxograma com a metodologia da pesquisa.

### 2.1. Seleção de Materiais

A seleção dos materiais convencionais ocorrerá pela aquisição de uma emulsão comercial do tipo RR-2C e um agregado granítico, comercializado por pedreiras para obras em TSP. Já os materiais alternativos serão provenientes de fontes naturais e renováveis (como o caso da bio-emulsão) e por fontes de reaproveitamento (por meio da escolha de um agregado reciclado).

Espera-se, a caráter preliminar, que a seleção do agregado alternativo ocorra após avaliado o desempenho da bio-emulsão em laboratório.

Dando ênfase inicial à bio-emulsão asfáltica, serão desenvolvidas as etapas de formulação e demais procedimentos laboratoriais com uso de emulsificante de fonte renovável e bio-componente *Citrus* Terpeno de origem vegetal. Do emulsificante, será obtido um material de carga elétrica positiva para fins de comparativo à emulsão comercial RR-2C. Serão exploradas as atribuições primárias da propriedade de surfactante, complementando-se pela concepção da função de agente adesivo funcionalizado com adição de grupamento amina. Já o *Citrus* Terpeno (produto de um monômero natural como substância de partida para síntese de um aduto), será incorporado ao ligante pelo seu esqueleto carbônico de isopreno, a fim de potencializar a resistência ao dano por umidade nos TSPs com uma resina epoxy – de onde serão observadas as propriedades térmicas e hidrofóbicas da combinação.

## 2.2. Etapa Laboratorial

O processo de caracterização ocorrerá inicialmente sobre os materiais convencionais (emulsão RR-2C e agregado granítico). Será traçada uma análise reológica da emulsão por varreduras de frequências e temperaturas, aplicando-se investigações pelo *Multiple Stress Creep Recovery* e evolução do comportamento pelo envelhecimento oxidativo do material. Será determinada a composição química do agregado por análises no microscópio de varredura eletrônica e ensaios de fluorescência de raios-x, bem como os parâmetros físicos de uniformidade, forma e textura, realizando-se análises no *Aggregate Imaging Measurement System* (AIMS). Ainda para os agregados, o coeficiente PUC será investigado sobre as curvas granulométricas das respectivas múltiplas camadas do TSD.

Os respectivos ensaios realizados para os materiais convencionais serão aplicados aos alternativos (bio-emulsão e agregado reciclado). O bio-emulsificante sintetizado será caracterizado em sua estrutura química por espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) e ressonância magnética nuclear <sup>13</sup>C RMN e <sup>1</sup>H RMN. A estabilidade da bio-emulsão será verificada pelo ensaio do Potencial Zeta.

As investigações ambientais e econômicas serão incorporadas à abordagem da pesquisa aqui proposta. A adesividade será analisada pelo ensaio *Bitumen Bond Strength* (BBS) (Adams, 2014), onde será considerada a validação sobre os componentes da bio-emulsão, retirando-se propriedades para correlações. Corpos de prova nas temperaturas de 45°C, 50°C e 55°C serão dosados conforme Silva (2018), investigando-se as taxas de projeto sob a ótica do *Percent Embedment* (PE), Volume de Vazios (Vv) e orientação das partículas por modelos computacionais (Kumbarger *et al.*, 2019).

A dosagem dos TSPs será então executada de modo a compreender combinações entre os materiais convencionais e alternativos. Os ensaios de desempenho incluirão: (a) perda de agregados com uso das metodologias adaptadas dos ensaios de *Wet Track Abrasion Test* (WTAT) e *Sweep Test* e (b) análise da exsudação no *Loaded Wheel Test* (LWT) adaptado com o uso do Processamento Digital de Imagens (PDI).

## 3. RESULTADOS PRELIMINARES ESPERADOS

Espera-se contribuir com o método de dosagem vigente ao avaliar análises prévias de compatibilidade agregado-emulsão, bem como demais avanços tecnológicos perante a

seleção de materiais para TSPs. Espera-se também conhecer as questões de triagem, logística, armazenamento e aplicação envolvidos na inserção de materiais alternativos, buscando facilitar o processo de incorporação das novas fontes aqui investigadas.

A formulação da bio-emulsão poderá contribuir para o desenvolvimento de um produto sustentável. Espera-se que os componentes biodegradáveis da nova emulsão reduzam os impactos ambientais causados pela lixiviação das emulsões comerciais, atuando no fortalecimento das interações com os agregados e ampliando a durabilidade dos tratamentos superficiais.

#### Agradecimentos

Os autores agradecem à Funcap e Petrobrás pelo financiamento da pesquisa.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adams, J.; C. Castorena e Y. R. Kim (2019). Construction quality acceptance performance-related specifications for chip seals. *Journal of Traffic and Transportation Engineering*, v. 6, p. 337 – 348.
- Adams, J. M. (2014) *Development of a Performance-Based Mix Design and Performance-Related Specification for Chip Seal Surface Treatments*. Dissertação (doutorado). Civil Engineering, North Carolina State University. Raleigh.
- Cabral, G. L. L. (2011) *Utilização do Agregado Artificial de Argila Calcinada em Obras de Pavimentação e Aperfeiçoamento da Tecnologia*. Tese (doutorado). Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro.
- Gheni, A.; I. A. Omar; A. Mohanad e A. E. Mohamed (2017) Texture and Design of Green Chip Seal Pavement Using Recycled Crumb Rubber Aggregate. *Journal of Cleaner Production*, v. 166, p.1084-1101.
- Gondim, L. M. (2017) *Investigação sobre a Formulação de um Bio-ligante à base da seiva de Euphorbia Tirucalli para Emprego em Pavimentação*. Tese (doutorado). Departamento de Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará. Fortaleza.
- Im, J. H. e Y. R. Kim (2016) Performance Evaluation of Chip Seals for High Volume Roads Using Polymer-Modified Emulsions: Laboratory and Field Study in North Carolina. *Journal of Testing and Evaluation*, v. 44, p. 484-497.
- Kim, Y. R.; J. Adams; J. H. Im e J. Lee (2014) Performance Evaluation of Chip Seals. *Transportation Research Board - Workshop*, p. 38-67.
- Kumbarger, Y. S.; I. Boz e M. E. Kutay (2019) Investigating the effect of binder and aggregate application rates on performance of chip seals via digital image processing and sweep tests. *Construction and Building Materials*, v. 222, p. 213-221.
- Lee, J. J. (2009) *Quantifying the Benefits of Improved Rolling of Chip Seals*. Dissertação (doutorado). Civil Engineering, North Carolina State University. Raleigh.
- Lee, J. S. e Y. R. Kim (2009) Performance-Based Uniformity Coefficient of Chip Seals. *Transportation Research Record*, v. 2180, p. 53-60.
- Loiola, P. R. R. (2009) *Estudo de Agregados e Ligantes Alternativos para o Emprego em Tratamentos Superficiais em Rodovias*. Dissertação (mestrado). Departamento de Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará. Fortaleza.
- Lucas Júnior, J. L. O. (2018) *Influência da Adesividade Agregado-Ligante no Trincamento por Fadiga de Misturas Asfálticas*. Dissertação (mestrado). Departamento de Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará. Fortaleza.
- Mesquita Júnior, G. S.; R. C. Silva; S. H. A. Barroso e Y. R. Kim (2018) Evaluation of the integration of alternative materials in laboratorial tests of chip seals. *Annals of ISAP Conference*.
- Santos, D. K. F.; R. D. Rufino; J. M. Luna; V. A. Santos e L. A. Sarubbo (2016) Biosurfactants: Multifunctional Biomolecules of the 21 st Century. *International Journal of Molecular Sciences*, v. 17, p. 401-432.
- Silva, R. C. (2018) *Avaliação da Dosagem dos Tratamentos Superficiais por Penetração de Rodovias Baseada na Exsudação e na Perda de Agregados*. Dissertação (mestrado). Departamento de Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará. Fortaleza.
- Tarefder, R. A.; A. Mohiuddin e I. H. Mohammad (2016) Pavement maintenance procedures with and without milling materials. *International Journal of Pavement Research and Technology*, v. 9, p. 20-29.
- Yang, B.; Y. Zhang; H. Ceylan e S. Kim (2020) Evaluation of bio-based fog seal for low-volume road preservation. *International Journal of Pavement Research and Technology*, v. 13, p. 303-312.