

# AVALIAÇÃO MECANÍSTICO-EMPÍRICA DA IMPRIMAÇÃO BETUMINOSA DE RODOVIAS

Fernando Dácio de Almeida<sup>(1)</sup>  
Suelly Helena de Araújo Barroso<sup>(2)</sup>

Universidade Federal do Ceará (UFC)/Departamento de Engenharia de Transportes (DET)  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes (PETRAN)

## RESUMO

Este projeto visa contribuir para o conhecimento da interface base granular-revestimento asfáltico do ponto de vista da aderência entre estas camadas, tendo em vista a escassez de informações do comportamento dessa ligação. A Tese de Doutorado focará na investigação de diferentes materiais que compõem a camada de base e diferentes ligantes para imprimação, assim como revestimentos do tipo Concreto Asfáltico Usinado à Quente (CAUQ) e/ou Tratamento Superficial por Penetração (TSP). Dessa forma, será possível verificar a contribuição da imprimação na aderência de diferentes soluções, tanto de revestimentos, quanto de bases granulares, além de revestimentos esbeltos, onde se acredita haver uma maior influência da imprimação no comportamento do pavimento. Para tanto, será utilizada a metodologia proposta por Torquato e Silva (2017) que desenvolveu um modelo mecânico, descrevendo a interface e extraíndo parâmetros para essa modelagem. Esta pesquisa buscará ampliar essa investigação a partir da utilização de diversos revestimentos, bases granulares e materiais para imprimação, além da validação da metodologia proposta. Unido à modelagem serão analisados trechos experimentais e/ou obras em andamento no estado do Ceará, para coleta de dados de aderência, coesão e penetração da imprimação, a fim de validar os resultados laboratoriais.

## 1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS E REVISÃO DE LITERATURA RESUMIDA

No Brasil, cerca de 80% (SNV-DNIT, 2016) da malha rodoviária é composta de Rodovias de Baixo Volume de Tráfego (RBVT), e por elas são escoadas uma parte considerável da produção agrícola do país, entretanto, por muitas vezes, não oferecerem condições de trafegabilidade favoráveis, mesmo possuindo uma grande relevância social e econômica. Sabe-se que a melhoria nesse tipo de rodovia esbarra na aprovação do Estudo de Viabilidade Técnica, Econômica e Ambiental (EVTEA) em função do baixo volume de tráfego registrado (oferta e demanda).

Das soluções empregadas em RBVTs é comum o uso de revestimentos delgados que, mesmo sem exercer função estrutural, devem propiciar conforto ao rolamento para o usuário, além de impermeabilizar a superfície, fornecer coesão e aderência ao revestimento e resistir aos esforços horizontais de frenagem e aceleração. Tendo em vista a responsabilidade estrutural das camadas de base desses pavimentos, é importante que a imprimação cumpra adequadamente sua finalidade, mantendo a base com uma forte ligação com o revestimento.

Em laboratório, avalia-se a espessura da penetração do ligante asfáltico na base como indicativo da qualidade da imprimação (Dantas, 1959; Villibor *et al.*, 1989; Duque Neto, 2004). Esses autores estabeleceram uma faixa de penetração onde, se acredita que a imprimação funcionará adequadamente, variando de 4,0 a 13,0 mm. Onde, verificou-se que se a penetração do ligante for reduzida, poderá ocorrer exsudação no revestimento pelo excesso deste na base, ocasionando uma redução do contato pneu-pavimento, comprometendo a segurança viária. Por outro lado, se a penetração do ligante for excessiva pode ocorrer o desprendimento do revestimento devido à falta de aderência entre este e a base, demonstrando assim que é necessário que exista uma quantidade de ligante na base suficiente para criar uma interface aderente e coesa entre esta e o revestimento.

Boussinesq (1885) considerou a estrutura como meio semi-infinito elástico linear, homogêneo, isotrópico, submetido a um carregamento circular e estático. Uma das principais deficiências dessa consideração é assumir o pavimento como uma estrutura de uma única

camada. Burmister (1943) expandiu essa solução para uma estrutura de duas e subsequentemente de três camadas, seguindo as mesmas hipóteses simplificadoras de seu antecessor, à exceção do número de camadas analisadas.

A solução de Burmister se vale ainda da hipótese de que as camadas do pavimento são perfeitamente coladas entre si. Segundo esta solução, revestimento e base, por exemplo, não deslizam quando da aplicação de um carregamento. Assumir esta hipótese como verdadeira é equivalente a assumir que a película formada pela imprimação constitui uma cola rígida e irrompível, o que sabidamente não é verdade quando se trata dos tipos de materiais que compõem a interface em questão (Torquato e Silva, 2017).

A partir disso, Torquato e Silva (2017) propôs uma modelagem mecânica da interface para fins de utilização na análise estrutural. Contudo, nessa pesquisa não foi possível expandir o número de materiais investigados. Isso se tornou imperativo para poder validar essa modelagem. Assim, é insuficiente a consideração da aderência por meio de simulações computacionais sem a validação experimental, seja por meio de dados advindos de instrumentação de pista ou de ensaios laboratoriais de diferentes soluções de pavimentos. Conjectura-se ainda que umidade de compactação, taxa de ligante, preparo da superfície da base, granulometria, permeabilidade interferem na qualidade da imprimação, comprometendo a aderência na interface base granular-revestimento asfáltico.

Dessa forma, faz-se necessário um estudo que leve em consideração as características dos solos locais existentes, tipos de revestimentos e espessuras, bem como a investigação de diferentes ligantes para imprimação. Adicionalmente, tendo em vista a importância do Brasil no contexto tecnológico de pavimentação, é desejável que a caracterização mecanística da imprimação seja simples, que se possam extrair suas propriedades (capacidade de garantir aderência e resistência ao cisalhamento) em ensaios de fácil execução. Essa condição é fundamental para que a prática da consideração adequada das condições de interface seja disseminada e possibilite a sua inclusão no novo método de dimensionamento mecanístico-empírico em desenvolvimento no Brasil.

Outra questão é a busca de materiais alternativos ao Asfalto Diluído de Petróleo (ADP) do tipo CM-30 em serviços de imprimação, pois, sabe-se que ele é potencialmente perigoso para os trabalhadores que o manipulam, devido à liberação de Compostos Orgânicos Voláteis (VOCs) durante sua aplicação e processo de cura. Esse produto é constituído de uma mistura de CAP (Cimento Asfáltico de Petróleo) e querosene, sendo capaz de contaminar o solo e reservas de água devido ao seu escoamento. Dessa forma, e dada à importância do emprego da imprimação betuminosa na pavimentação, é imperativo a busca por materiais alternativos e menos poluentes para emprego na interface base granular-revestimento asfáltico, visando o aumento da qualidade da imprimação dos pavimentos e a segurança da saúde da população, já que não se pode excluir o risco cancerígeno dos materiais utilizados nesses serviços.

Neste contexto, a presente Tese de Doutorado tem o objetivo geral de contribuir para o desenvolvimento do novo método brasileiro de dimensionamento de pavimentos asfálticos (Rede Temática) por meio da investigação do comportamento da interface entre bases imprimadas e revestimentos, de forma a estabelecer parâmetros em laboratório que contribuam para mitigar os defeitos relativos à falha da imprimação asfáltica em rodovias.

Observa-se que em muitos estudos (Dantas, 1959; Mantilla e Buttom, 1994; Rabêlo, 2006) a penetração do ligante na base é o único parâmetro para avaliação do serviço de imprimação. Sabe-se que a interface entre as camadas deve evitar movimentos relativos à transferência da

ensão de cisalhamento horizontal entre as diferentes camadas (Canastrari *et al.*, 2005). Ainda, segundo esses autores, a fraca aderência ou a ausência de qualquer tipo de ligação permite a movimentação lateral, podendo produzir falhas precoces no pavimento, que afetam de diferentes formas o desempenho do sistema de múltiplas camadas estruturais.

Contudo, acredita-se que a imprimação tenha enorme influência no comportamento estrutural e na ligação interfacial do sistema base granular-revestimento asfáltico nos revestimentos esbeltos, onde é exigida da base uma maior resistência frente às solicitações imprimidas pelo tráfego, devido às finas espessuras de revestimento, intrínseco desse tipo de solução. Apesar disso, mais investigações em diferentes tipos de estruturas de pavimentos asfálticos são necessárias para verificação dessa hipótese.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1. Solos e Materiais Betuminosos

Para compreender melhor a interação solo-ligante asfáltico, serão caracterizados, classificados e ensaiados mecanicamente 04 solos indicados para RBVTs do estado do Ceará (Tabela 1); para imprimação serão investigados: 01 ligante alternativo, 03 ligantes comerciais e 01 ligante comercial de referência do tipo ADP CM-30.

Tabela 1 - Ensaio e normas a serem usados

Ensaio	Normas
Solos – Análise Granulométrica por Sedimentação	DNER-ME 051 (1994)
Solos – Determinação da Densidade Real	DNER-ME 093 (1994)
Solos – Determinação do Limite de Liquidez	DNER-ME 122 (1994)
Solos – Determinação do Limite de Plasticidade	DNER-ME 082 (1994)
Solos – Compactação no Cilindro Proctor	DNER-ME 162 (1994)
Solos – CBR e Expansão	DNER-ME 049 (1994)
Solos – Módulo de Resiliência	DNIT-ME 134 (2010)

Com os ligantes alternativos serão realizados alguns ensaios de caracterização básica para compará-los com o ligante de referência, quais sejam: os ensaios de viscosidade Saybolt-Furol (ASTM E102, 2009) e Ponto de Fulgor (ASTM D92, 2005). Serão realizados ainda ensaios com a finalidade de quantificar os VOCs emitidos por esses ligantes, como a Cromatografia Gasosa com Espectrometria de Massa (CG/MS), Termogravimetria (TG), e Espectroscopia de infravermelho (FTIR) (Godoi, 2011).

### 2.2. Ensaio de Penetração da Imprimação Betuminosa

A penetração do ligante betuminoso será apenas um dos parâmetros que deverão ser considerados para qualificar o serviço de imprimação. Por esse motivo se adotará como satisfatório, penetrações que fiquem entre 4,0 e 13,0 mm. Para a avaliação prévia dos ligantes utilizáveis para imprimação na base adotada nesta pesquisa, será utilizado o método simplificado de laboratório, chamado Método da Cápsula (Almeida *et al.*, 2015), que tem o objetivo de avaliar a penetração da imprimação com menor uso de materiais.

### 2.3. Coesão e Aderência da Base Imprimada

A fim de medir a coesão superficial da base imprimada será realizado o ensaio de cisalhamento por torção, proposto por Almeida *et al.* (2017), que fez uso de um coesímetro. Entende-se que por meio desse ensaio será possível medir o acréscimo da coesão superficial fornecida pela aplicação do ligante betuminoso e perceber a variação desses valores para cada tipo de ligante utilizado. Será possível avaliar os dados isolados de coesão por meio do valor máximo de torque correlacionando-os com a penetração verificando a evolução da resistência

ao cisalhamento da base imprimada até seu rompimento, medindo-se a variação da resistência pela deformação angular e assim tentar modelar esse fenômeno.

Para avaliar a aderência da camada imprimada com o revestimento e a fim de estudar essa interface em diferentes taxas de aplicação, Será realizado o ensaio de aderência, conhecido como DIPEA (Pereira, 2002), adaptado por Almeida *et al.* (2016). Com esse método será possível mensurar a resistência ao cisalhamento da camada de solo imprimada, verificando um ganho de resistência proveniente da aplicação do ligante asfáltico na base, bem como, a variação dos valores de resistência para cada tipo de ligante testado.

#### **2.4. Interface da Base Granular-Revestimento Asfáltico**

Para determinar a resistência da ligação entre as camadas de base e revestimento será realizado o ensaio de cisalhamento da interface proposto por Torquato e Silva (2017), a fim de se extrair dados de módulo de reação transversal e de ruptura do modelo Morh-Coulomb, para posterior modelagem da interface através do programa desenvolvido por esse autor.

### **4. RESULTADOS ESPERADOS**

Espera-se com o desenvolvimento desta pesquisa:

- entender melhor o comportamento da interface da base granular-revestimento asfáltico, gerando dados que servirão como apoio para a modelagem computacional;
- contribuir para o refinamento do método mecanístico-empírico de pavimentos colaborando dos pavimentos frente às solicitações do tráfego, sobretudo em pavimentos esbeltos;
- estabelecer relações entre os parâmetros de coesão superficial, aderência e interface, a fim de simplificar a utilização dessas verificações em campo para diferentes bases granulares e ligantes para aplicação na imprimação betuminosa.

#### **AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem ao apoio financeiro da pesquisa fornecido pela Petrobras através da Rede Temática de Asfaltos, bem como todas as empresas que fornecerão os ligantes.

#### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Almeida, F. D.; Barroso, S. H. A. *Desenvolvimento de um método expedito para avaliação da imprimação betuminosa de rodovias*. Congresso Ibero Latinoamericano del Asfalto, Bariloche, Argentina, 2015.
- Almeida, F. D.; Torquato e Silva, S. A.; Barroso, S. H. A.; Soares, J. B. *Aplicação do ensaio de arrancamento por torção para avaliação da aderência de bases imprimadas*. 30º ANPET 2016, Brasil, 2016.
- Almeida, F. D.; Barroso, S. H. A. *Avaliação da coesão da imprimação betuminosa de rodovias*. Congresso Ibero Latinoamericano del Asfalto, Medellin, Colômbia, 2017
- Boussinesq, J. V., *Application des pontentiels à l'étude de l'Equilibre et du Movement des Solides Elastiques*. Paris: Gualtier-Vilars, 1885.
- Burmister, D. *The theory of stresses, displacement systems, applications to the design of airport runways*, 1943.
- Canestrari, F.; Ferrotti, G.; Partl, M. N.; Santagata, F. A. *Advanced testing and characterization of interlayer shear resistance*. Transport Research Record 1929, pp. 68-78, 2005.
- Duque Neto, F. S. *Proposição de metodologia para escolha de solo e dosagem de Antipó com emulsão de xisto*. Dissertação de M. Sc. Programa de Engenharia Civil, COOPE/UFRJ, Rio de Janeiro – RJ, 2004.
- Godoi, L. *Estudo do comportamento dos ligantes asfálticos utilizados na imprimação asfáltica relacionados à emissão de VOC's*. Dissertação de Mestrado. UFPR/PIPE. Curitiba - PR, 2011.
- Mantilla, C. A.; Buttom J. W. *Prime coat method sand material store place cutback asphalt*. Research Report TTI 0-1334, Texas Transportation Institute Texas A&M University, 1994.
- Rabêlo, A. N. *Contribuição ao estudo da imprimação betuminosa das bases rodoviárias do estado do Ceará*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza - CE, 2006.
- Villibor, D. F.; Nogami, J. S.; Fabbri, G. T. P. *Imprimadura asfáltica em bases de Solo Arenoso Fino Laterítico*. Anais da XV Reunião Anual de Pavimentação. Florianópolis - SC, 1989.
- Torquato e Silva, S. A. *Modelagem mecanístico-empírica da interface revestimento asfáltico/base granular*, Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza - CE, 2017.