

## CONSIDERAÇÃO DO DESEMPENHO DA SEGURANÇA VIÁRIA NA CONCEPÇÃO DE REVESTIMENTOS ASFÁLTICOS A PARTIR DA MICROSSIMULAÇÃO DE TRÁFEGO E DO PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS

**Renan Santos Maia**

**Verônica Teixeira Franco Castelo Branco**

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

### RESUMO

Acidentes de trânsito, atualmente considerados um problema de saúde pública, são causados por um complexo conjunto de fatores, muitos dos quais competem à engenharia de transportes. Quanto à pavimentação, sabe-se que o Desempenho da Segurança Viária (DSV) está diretamente associado ao atrito desenvolvido na interface pneu-pavimento, entretanto essa característica é, muitas vezes, tratada sem o devido rigor, especialmente no meio urbano. Assim, este trabalho busca contribuir para tornar o DSV um parâmetro a ser considerado de forma mais proativa na fase de projeto e ao longo de toda a vida útil dos revestimentos asfálticos. Para tanto, o método a ser aplicado parte da conjugação entre informações relativas às condições de superfície do pavimento (previstas em laboratório ou medidas em campo) e à ocorrência de conflitos veiculares, uma característica associada à operação do tráfego. Primeiramente, avalia-se a desaceleração máxima oferecida pela superfície, governada por seu coeficiente de atrito ( $\mu$ ), a ser obtido com estratégias de caracterização de materiais a partir da aplicação de ferramentas de Processamento Digital de Imagens (PDI). A desaceleração disponível pode ser, então, comparada à desaceleração necessária para evitar colisões, parâmetro a ser obtido a partir do uso de ferramentas computacionais para a captação e o registro de conflitos veiculares, por meio da análise das trajetórias de veículos em simulação microscópica de tráfego. Dessa forma, espera-se avaliar o impacto das diferentes estratégias de projeto, construção e manutenção de revestimentos asfálticos, bem como das características do tráfego urbano, na prevenção da ocorrência de acidentes de trânsito.

### 1. INTRODUÇÃO

Para a Organização Mundial de Saúde (OMS), os acidentes de trânsito são reconhecidos como um problema de saúde pública. Para a população com idade entre 5 e 29 anos, essa já é a principal causa de morte em todo o mundo. Dentre as causas de acidentes de trânsito, o comportamento dos condutores é um fator crucial, porém de difícil modelagem. Cabe à engenharia de transportes, portanto, propor formas de mitigar as já graves implicações de fatores comportamentais, estabelecendo, de forma proativa, decisões pautadas na segurança de tráfego, em detrimento de uma abordagem reativa ao fenômeno da ocorrência de acidentes.

No que compete à infraestrutura, o Desempenho da Segurança Viária (DSV) está diretamente associado ao atrito desenvolvido na interface pneu-pavimento. Apesar disso, a consideração dessa propriedade no projeto e na construção de revestimentos asfálticos é, em geral, ignorada. Dessa forma, adaptações são realizadas nas vias, de forma reativa, apenas após a ocorrência de acidentes. Além disso, informações importantes, como a ocorrência e a severidade de conflitos veiculares, que podem ser obtidos a partir de simulações de tráfego, são geralmente desconsideradas nas fases de projeto, construção e manutenção/restauração de pavimentos.

Assim, este trabalho busca contribuir para tornar o DSV um parâmetro a ser considerado de forma mais proativa na fase de projeto e ao longo de toda a vida útil dos revestimentos asfálticos. Esse processo parte da (i) consolidação de métodos práticos de modelagem do fenômeno do atrito pneu-pavimento, a partir da aplicação de técnicas de Processamento Digital de Imagens (PDI), bem como da (ii) utilização de ferramentas de simulação microscópica de

tráfego, como forma de avaliar a ocorrência de conflitos veiculares e o impacto das variadas condições de atrito pneu-pavimento no DSV.

## **2. BREVE REVISÃO DA LITERATURA**

### **2.1. Modelagem do atrito pneu-pavimento**

Segundo Wambold *et al.* (1995), o coeficiente de atrito ( $\mu$ ) de um pavimento, em diferentes velocidades, pode ser representado por meio do *International Friction Index* (IFI), a partir de medições de macro e microtextura, sendo a última, normalmente, avaliada de forma indireta, a partir de ensaios de fricção. Uma forma de abordar o fenômeno do atrito pneu-pavimento consiste na aplicação de modelos de previsão dessa propriedade a partir das características dos materiais utilizados na pavimentação asfáltica. Chowdhury *et al.* (2017) conduziram um estudo, a partir de dados de campo e laboratório, que estabeleceu um modelo de previsão de resistência à derrapagem, por meio do parâmetro IFI, em função da distribuição granulométrica, das propriedades de forma e da resistência dos agregados ao polimento.

O surgimento do PDI potencializou o desenvolvimento científico em diversos campos, inclusive na avaliação das condições de superfície de pavimentos. Na literatura, tem-se abordagens que visam a estabelecer relações entre parâmetros de superfície obtidos com o uso do PDI e os que são obtidos a partir de técnicas já consolidadas, resultando na combinação de dados para a previsão do atrito pneu-pavimento. Pode-se destacar entre tais técnicas o equipamento *Aggregate Image Measurement System* (AIMS) (Araujo *et al.*, 2019) e a modelagem tridimensional de superfícies a partir da estereofotogrametria de próximo alcance (*close-range photogrammetry*) (Kogbara *et al.*, 2016; Kogbara *et al.*, 2018).

### **2.2. Conflitos veiculares microssimulados**

Conceitualmente, um conflito veicular ocorre quando dois ou mais usuários do sistema viário se aproximam no tempo e no espaço, de forma que existe um elevado risco de colisão caso os seus movimentos permaneçam inalterados. Nas décadas de 80 e 90, surgiram ferramentas de simulação que permitem a detecção de conflitos veiculares, proporcionando uma abordagem proativa do DSV, a partir da geração de indicadores *proxy* de segurança de tráfego, detalhados por FHWA (2003). Cunto e Loureiro (2011) revisitaram conceitos de diferentes indicadores e avaliaram a pertinência dos mesmos dentro da utilização de modelos de microssimulação, dentre eles a taxa de desaceleração para evitar a colisão (DRAC – *Deceleration Rate to Avoid the Crash*) e o índice de potencial de colisão (CPI – *Crash Potential Index*).

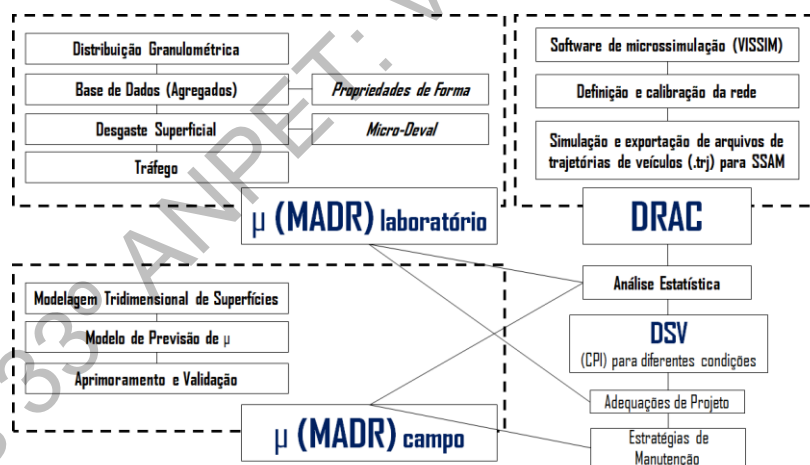
No estudo conduzido por Costa (2017), realizou-se uma avaliação do impacto do atrito pneu-pavimento no DSV em ambiente urbano, a partir do uso do *software* VISSIM e do *Surrogate Safety Assessment Model* (SSAM3), *software* de captação e registro de conflitos veiculares por meio da análise das trajetórias dos veículos em microssimulação. Para uma via arterial da cidade de Fortaleza-CE, foram calibrados parâmetros de simulação e medidas de macro e microtextura foram realizadas, analisadas estatisticamente ao longo do trecho em estudo e convertidas para valores de coeficiente de atrito ( $\mu$ ) - em diferentes velocidades. Esses valores foram incorporados em um modelo de frenagem máxima disponível, por meio do indicador MADR (*Maximum Available Deceleration Rate*), que pode ser comparado ao DRAC.

## **3. MÉTODO**

A consideração do atrito pneu-pavimento na análise do DSV parte da obtenção de propriedades da superfície do revestimento asfáltico, inseridas dentro do contexto do tráfego a ser simulado.

Quanto à superfície do revestimento, o  $\mu$  é um dos fatores necessários à aplicação de modelos de cálculo do MADR. Na abordagem proativa, espera-se que a caracterização de materiais em laboratório forneça uma previsão do  $\mu$  a ser obtido em campo, a partir da aplicação e validação de modelos como o proposto por Chowdhury *et al.* (2017). Tal modelo pressupõe o uso do PDI para a avaliação das propriedades de forma de agregados, *inputs* do modelo de previsão. O PDI, a partir da modelagem tridimensional de superfícies, ainda pode ser uma técnica importante para a obtenção do atrito existente em superfícies já em serviço, para as quais se queira avaliar o DSV. Modelos como o proposto por Kogbara *et al.* (2018) podem ser utilizados para associar parâmetros de superfície com o atrito obtido a partir do uso de equipamentos de uso menos comum no meio urbano brasileiro, como o *GripTester*. A compatibilização dos resultados dos métodos apresentados para um parâmetro como o IFI é capaz de fornecer uma estimativa prática do MADR de um revestimento asfáltico, seja nas suas fases de projeto ou após a construção.

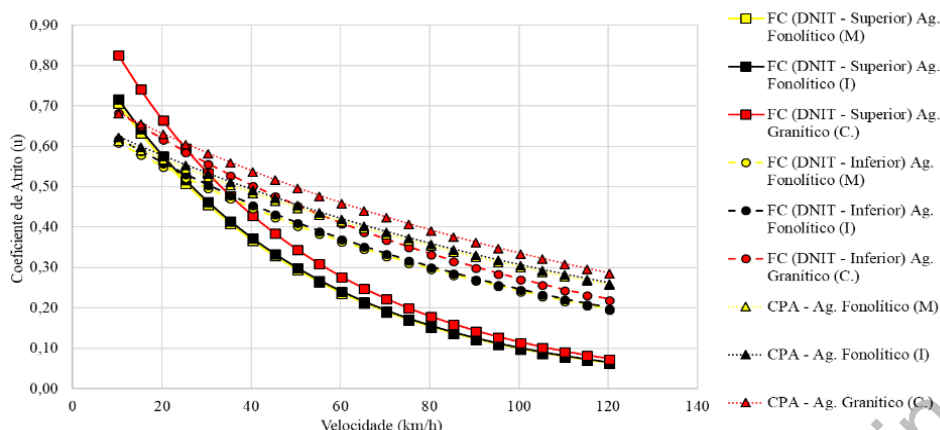
Para a obtenção de parâmetros que estimem a severidade de conflitos veiculares, o MADR deve ser comparado com o DRAC, obtido da análise das trajetórias dos veículos em microssimulação, com o uso de pacotes computacionais como o VISSIM. Tais trajetórias podem ser avaliadas por meio do SSAM, a partir do qual conflitos veiculares são identificados e o indicador da frenagem necessária é obtido. Da análise do DSV, contribui-se para: (i) determinar os materiais com as características apropriadas para composição de revestimentos asfálticos, ainda na fase de projeto/laboratório e (ii) verificar se o atrito oferecido pela superfície, após determinado período de desgaste, compromete o DSV, o que tornaria necessária a adoção de estratégias de reabilitação do revestimento. A Figura 1 apresenta, de forma resumida, as etapas metodológicas propostas para a realização deste trabalho.



**Figura 1:** Método de avaliação do DSV a partir da obtenção e comparação de MADR e DRAC

#### 4. RESULTADOS PRÉVIOS E CONTRIBUIÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA

Dentre os resultados prévios, a Figura 2 apresenta o  $\mu$  previsto a partir do modelo proposto por Chowdhury *et al.* (2017) para misturas asfálticas de 3 granulometrias distintas: (i) limite inferior da Faixa C (DNIT) para Concreto Asfáltico (CA); (ii) limite superior da Faixa C (DNIT) para CA e (iii) mistura enquadrada na Faixa II (DNIT) para Camada Porosa de Atrito (CPA). De um banco de dados de propriedades de forma, os seguintes agregados foram considerados: (i) agregado fonolítico oriundo de britador de mandíbulas (M); (ii) agregado fonolítico oriundo de britador de impacto (I) e (iii) agregado granítico oriundo de britador cônico (C). Quanto aos resultados de  $\mu$ , para velocidades superiores a 40 km/h, observa-se que a adoção de uma solução como a CPA pode favorecer o DSV, assim como a escolha de agregados graníticos.



**Figura 2:** Variação de  $\mu$  para diferentes velocidades e combinações de materiais

O procedimento exposto é a base para a obtenção do parâmetro  $MADR_{\text{laboratório}}$  de forma proativa na fase de projeto da mistura asfáltica. Também faz parte do escopo de resultados a serem apresentados a obtenção de valores de  $\mu$  ( $MADR_{\text{campo}}$ ) para diferentes velocidades a partir da modelagem tridimensional de superfícies. Esses resultados devem ser, posteriormente, integrados aos resultados de DRAC e associados à análise de DSV a partir do SSAM3. Dessa forma, espera-se avaliar o impacto das diferentes estratégias de projeto, construção e manutenção de revestimentos asfálticos, bem como das características do tráfego urbano, na prevenção da ocorrência de acidentes de trânsito.

#### Agradecimentos

Os autores agradecem às agências CAPES e CNPq pelas bolsas concedidas.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Araujo, V.M.C.; Maia, R.S.; Castelo Branco, V.T.F.; Maia, A.O.; Rodrigues, C.B. (2019) Avaliação das Relações entre Propriedades de Forma de Agregados, Compactação, Parâmetros do Esqueleto Mineral e Textura de Revestimentos Asfálticos Aeroportuários a partir do Processamento Digital de Imagens (PDI). *Revista Transportes*. Aceito para publicação em março de 2019.
- Chowdhury, A.; Kassem, E.; Aldagari, S.; Masad, E. (2017) *Validation of Asphalt Mixture Pavement Skid Prediction Model and Development of Skid Prediction Model for Surface Treatments*. Austin-TX, EUA.
- Costa, S.L. (2017) *Influência da Aderência Pneu-Pavimento nos Conflitos Veiculares Microssimulados*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza-CE.
- Cunto, F.J.C.; Loureiro, C.F.G. (2011) O Uso da Microssimulação na Avaliação do Desempenho da Segurança Viária. *Revista Transportes*, v.19, n.3, p. 5–11. DOI: <https://doi.org/10.14295/transportes.v19i3.527>
- FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION (FHWA) (2003) *Surrogate Safety Measures from Traffic Simulation Models – Final Report Report No. FHWA-RD-03-050*.
- Kogbara, R.B.; Masad, E.A.; Kassem, E.; Scarpas, A.; Anupam, K. (2016) A State-of-the-Art Review of Parameters Influencing Measurement and Modeling of Skid Resistance of Asphalt Pavements. *Construction and Building Materials*, v.114, p.602-617. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2016.04.002.
- Kogbara, R.B.; Masad, E.A.; Woodward D.; Millar, P. (2018) Relating Surface Texture Parameters from Close Range Photogrammetry to Grip-Tester Pavement Friction Measurements. *Construction and Building Materials*, v.166, p.227-240. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2018.01.102.
- Wambold, J.C.; Antle, C.E.; Henry, J.J.; Rado, Z. (1995) *International PIARC Experiment to Compare and Harmonize Texture and Skid Resistance Measurements*. PIARC World Road Association, Paris, França.

Renan Santos Maia (renanmaia@det.ufc.br)

Verônica Teixeira Franco Castelo Branco (veronica@det.ufc.br)

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes (PETRAN), Departamento de Engenharia de Transportes (DET), Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará (UFC), Campus do Pici, s/n – Bloco 703 – CEP: 60440-554 – Fortaleza, Ceará, Brasil.