

ANÁLISE DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DE MISTURAS ASFÁLTICAS RECICLADAS A QUENTE POR MEIO DE ENSAIOS AVANÇADOS DE LABORATÓRIO

Thiago Marques da Frota
Juceline Batista dos Santos Bastos
Jorge Barbosa Soares
Universidade Federal do Ceará
Departamento de Engenharia de Transportes
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes - PETRAN

RESUMO

A dissertação de mestrado em andamento tem como objetivo principal contribuir para o melhor entendimento de misturas recicladas a quente contendo RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*) por meio da previsão da evolução de danos. Para tanto, será avaliado o comportamento de misturas asfálticas com diferentes níveis de RAP em laboratório a partir dos ensaios de dano por umidade induzida, resistência à tração, módulo de resiliência, módulo dinâmico, *Stress Sweep Rutting* (SSR) e ensaio de fadiga por Tração-compressão Uniaxial Direta (TD). Dos 3 últimos ensaios serão obtidos parâmetros para a realização de simulações de dano num sistema de camadas. A partir da base de dados gerada, espera-se trazer um melhor entendimento do comportamento e da evolução do dano nessas misturas em campo em termos de deformação permanente e trincamento por fadiga.

1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A pavimentação consome uma grande quantidade de recursos naturais, muitos deles não renováveis. Além disso, há resíduos que advêm no fim do ciclo de vida útil dessas obras, sendo o material fresado do revestimento o principal, em inglês RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*). Segundo Geneseeux (2015), a técnica de reciclagem de misturas asfálticas é chave do ponto de vista econômico e ambiental, de modo a permitir principalmente a redução do uso de novos materiais e a gestão de resíduos sólidos na indústria da pavimentação.

Segundo Hansen e Copeland (2019), em 2018 nos Estados Unidos, o uso de RAP em misturas asfálticas quentes ou mornas atingiu 82,2 milhões de toneladas, com uma média de teor de 21,1%. No entanto, no Brasil, essa é ainda uma prática subutilizada. A técnica de reciclagem de mistura a quente possui limitações referentes, por exemplo, à quantidade de RAP usado na mistura. Essas limitações são condicionadas pela alta heterogeneidade do RAP, o aumento da rigidez do ligante (novo e antigo) provocado pelo sobreaquecimento dos agregados durante o processo de mistura, gerando misturas mais rígidas e menos resistentes a fadiga, assim como, problemas de adesividade.

Nesse sentido, a incorporação de RAP na mistura asfáltica também deve ser pensada de modo a garantir uma qualidade igual ou superior das misturas convencionais, resistindo aos defeitos que mais acometem os pavimentos asfálticos brasileiros. Destacam-se em nosso país a fadiga do material, associada ao trincamento do revestimento ou de camadas cimentadas, e a deformação permanente, que pode ser atribuída ao revestimento, às camadas subjacentes, ao subleito ou ainda à combinação de defeitos em diversas camadas.

O uso de RAP possui um histórico na literatura nacional (Vasconcelos, 2002; Oliveira, 2013; Rocha Segundo, 2014; Bastos, 2016; Suzuki, 2019). Assim como em misturas convencionais, nesses estudos foram utilizados ensaios tecnológicos e que, segundo Medina e Motta (2015), avaliam as propriedades mecânicas das misturas e que procuram simular as condições reais de sollicitação em campo. Estes autores também ressaltam que a simulação do real

comportamento do material do revestimento é de difícil realização devido ao comportamento viscoelástico do ligante.

Deste modo, como exemplo, mesmo a atual utilização dos ensaios de módulo de resiliência e fadiga por compressão diametral (CD) proposta no método de dimensionamento mecanístico-empírico apoiado pelo DNIT (Motta *et al.*, 2018), não incorpora parâmetros viscoelásticos nas análises. Além disso, segundo Babadopulos *et al.* (2015), o ensaio de CD apresenta efeitos de danificação no material, não proporcionados apenas por fadiga (mas também por fluência excessiva), premissa fundamental das teorias de evolução do dano mais aceitas.

Para a presente pesquisa, além dos ensaios propostos pelo método de dimensionamento em construção, serão realizados ensaios de caracterização mais avançados. O *Stress Sweep Rutting* (SSR) e o ensaio de fadiga por Tração-compressão Uniaxial Direta (TD) avaliam o dano de deformação permanente e de fadiga, respectivamente. Além disso, serão realizadas simulações de dano por meio do programa CAP3D-D (Santiago, 2017), um desdobramento do programa de elementos finitos CAP3D (Holanda *et al.*, 2006), de modo a trazer um melhor entendimento do comportamento e da evolução dos danos dessas misturas em campo.

Nesse contexto, o objetivo geral da dissertação de mestrado é contribuir para um melhor entendimento da evolução de danos em campo com a utilização de misturas asfálticas recicladas a quente, levando em considerações resultados laboratoriais avançados que consideram aspectos da Mecânica dos Pavimentos associados ao uso de programas de dimensionamento.

2. METODOLOGIA E RESULTADOS ESPERADOS

Este projeto tem o desafio adotar as boas práticas para preparação de misturas contendo RAP a nível laboratorial. Será utilizado o manual de métodos de dosagem de misturas do *Asphalt Institute* (2014), para os critérios de caracterização de amostras de RAP, assim como especificidades tanto na dosagem quanto na preparação de corpos de prova (CPs) com diferentes percentagens de RAP, o que possibilita a padronização de procedimentos.

O trabalho experimental será iniciado com a coleta de amostra de RAP fornecido por um construtor local de pavimentos. A caracterização do RAP será realizada em laboratório, com a determinação do teor de ligante asfáltico e da granulometria antes e após a extração do ligante. A extração e a determinação de percentagem de ligante do RAP acompanharão DNER-ME 053/94, seguida pela separação e recuperação do ligante do solvente submetido ao método Abson normatizado pela ASTM D1856 – 09/15. Devido a uma possível contaminação da amostra e conseqüentemente gerar variações nas análises de propriedade, o ligante recuperado será submetido à verificação pelo método de Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR).

A caracterização das propriedades físicas e reológicas do ligante recuperado do RAP deverá seguir os procedimentos da AASHTO M320/17 para determinação do grau de desempenho (PG). Na sequência será executado o ensaio de fluência e recuperação sob tensão múltipla (MSCR), conforme norma DNIT-ME 423 (2020), para avaliar o potencial dos ligantes asfálticos em resistir à deformação permanente. Além disso, também será realizado o ensaio de *Linear Amplitude Sweep* (LAS), normatizado pela AASHTO TP 101-12/18, com o objetivo de estimar a resistência do ligante à fadiga.

Na etapa seguinte, a dosagem da mistura asfáltica de referência e das misturas asfálticas contendo incrementos graduais de fresado (10, 25, 50 e 70%) será guiada pelo *Asphalt Institute* (2014). Os CPs confeccionados seguirão os ensaios propostos pelo atual método de dimensionamento nacional em construção – MeDiNa (Motta *et al.*, 2018), assim como os ensaios de caracterização avançados de misturas asfálticas. Todos esses ensaios seguirão as normas da Tabela 1. A Figura 1 apresenta as etapas metodológicas desta pesquisa.

Tabela 1: Normas para o ensaio de misturas

Ensaio	Norma
Dano por umidade induzida	DNIT-ME 180 (2018)
Resistência a tração	DNIT-ME 136 (2018)
Módulo de resiliência	DNIT-ME 135 (2018)
Módulo dinâmico	DNIT-ME 416 (2019)
<i>Stress Sweep Rutting</i> (SSR)	AASHTO TP 134-19
Tração-compressão Uniaxial Direta (TD)	AASHTO TP 107-18



Figura 1: Fluxograma esquemático da metodologia proposta.

Espera-se com a caracterização avançada de misturas asfálticas recicladas a quente a obtenção de parâmetros viscoelásticos que permitam modelagens computacionais do comportamento dessas misturas em campo. O ensaio de TD possibilita a obtenção de curvas características e critérios de falha fundamentais que são *inputs* para conversão da previsão de área trincada em termos percentuais da área total da superfície do pavimento (%AT) em campo para qualquer período de análise. Da mesma forma, o ensaio SSR resulta na calibração de modelo viscoplástico, sendo *input* para simulação de evolução de afundamento de trilha de roda (ATR) ao longo do tempo. A avaliação de diferentes materiais é fundamental para a construção de uma nova metodologia de dimensionamento de pavimentos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASPHALT INSTITUTE. Asphalt Mix Design Methods. Manual Series n. 02 (MS-2). 7th Edition. 2014.
- AASHTO M320. American Association of State Highway and Transportation Officials. Standard Specification for Performance-Graded Asphalt Binder. Provisional standard, Washington, 2017.
- AASHTO TP 101. American Association of State Highway and Transportation Officials. Standard Method of Test for Estimating Fatigue Resistance of Asphalt Binders Using the Linear Amplitude Sweep. Provisional standard, Washington, 2018.
- AASHTO TP 107. American Association of State Highway and Transportation Officials. Determining the Damage Characteristic Curve of Asphalt Mixtures from Direct Tension Cyclic Fatigue Tests. Provisional

- standard, Washington, 2018.
- AASHTO TP 134. American Association of State Highway and Transportation Officials. Stress Sweep Rutting (SSR) Test Using Asphalt Mixture Performance Tester (AMPT). Provisional standard, Washington, 2019.
- ASTM D1856 – 09. Recovery of Asphalt from solution by Abson method. American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA, 2015.
- BABADOPULOS, L. F. A. L.; SOARES, J. B. e CASTELO BRANCO, V. T. F. Interpreting fatigue tests in hot mix asphalt (HMA) using concepts from viscoelasticity and damage mechanics. *Revista Transportes* v. 23, n2, p. 85-94. ISSN: 2237-1346, 2015.
- BASTOS, J. B. S. Considerações sobre a deformação permanente de pavimentos asfálticos no dimensionamento mecanístico-empírico. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza: UFC, 2016.
- DNER-ME 053/94: Misturas betuminosas – Percentagem de betume - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1994.
- DNIT 135/2018 – ME. Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes. Pavimentação - Misturas asfálticas – Determinação do módulo de resiliência – Método de ensaio. Rio de Janeiro, RJ, 2018
- DNIT 136/2018 – ME. Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes. Pavimentação - Misturas asfálticas – Determinação da resistência à tração por compressão diametral – Método de ensaio. Rio de Janeiro, RJ, 2018.
- DNIT 180/2018 – ME. Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes. Pavimentação - Misturas asfálticas – Determinação do dano por umidade induzida– Método de ensaio. Rio de Janeiro, RJ, 2018.
- DNIT 416/2019 – ME. Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes. Pavimentação asfáltica – Misturas asfálticas – Determinação do módulo dinâmico. Rio de Janeiro, RJ, 2019.
- DNIT 423/2020 – ME. Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes. Pavimentação asfáltica – Ligantes asfálticos – Fluência e recuperação de ligante asfáltico determinados sob tensões múltiplas (MSCR). Rio de Janeiro, RJ, 2020.
- GENNESSEAUX, M. M. L.. Avaliação da durabilidade de misturas asfálticas a quente e mornas contendo material asfáltico fresado. 2015. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.
- HANSEN, K. R.; COPELAND, A. (2019) Asphalt pavement industry survey on recycled materials and warm-mix asphalt usage 2018, 9th Annual Asphalt Pavement Industry Survey Information Series 138, National Asphalt Pavement Association, Lanham, MD. https://www.asphalt pavement.org/PDFs/IS138/IS138-2018_RAP-RAS-WMA_Survey_Final.pdf
- HOLANDA, A. S.; PARENTE JR, E.; ARAÚJO, T. D. P.; MELO, L. T. B.; EVANGELISTA JR, F. e SOARES, J. B. Finite Element Modeling of flexible pavements. In XXVII Iberian Latin-American Congress on Computational Methods in Engineering (CILAMCE), Belém, PA, 2006.
- MEDINA, J.; MOTTA, L.M.G. Mecânica dos pavimentos. 3ª Ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2015.
- MOTTA, L. M. G.; LEITE, L. F. M.; FRANCO, F. A. C. P.; SILVA, C. F. S. C.; MEDINA, J. Execução de estudos e pesquisa para elaboração de método mecanístico - empírico de dimensionamento de pavimentos asfálticos. Convênio UFRJ/DNIT, 2018.
- OLIVEIRA, J. A. Avaliação do Desempenho de Misturas Asfálticas Recicladas Mornas em Laboratório e em Campo. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes, Fortaleza, 2013.
- ROCHA SEGUNDO, I. G. Avaliação de misturas asfálticas recicladas a quente com incorporação de elevado percentual de fresado. Monografia (Graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia de Transportes, Curso de Engenharia Civil, Fortaleza, 2014.
- SANTIAGO, L. S. Contribuições para o desenvolvimento de um método mecanístico-empírico de dimensionamento de pavimentos asfálticos. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017.
- SUZUKI, K. Y. Avaliação de misturas asfálticas recicladas a quente com diferentes teores de material fresado. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Transportes, 2019.
- VASCONCELOS, K. L. Projeto de mistura de concreto betuminoso reciclado a quente com diferentes teores de material fresado. Monografia (Graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia de Transportes, Curso de Engenharia Civil, Fortaleza, 2002.

Thiago Marques da Frota (thiagomfrota@gmail.com)

Juceline Batista dos Santos Bastos (jucelinebatista@det.ufc.br)

Jorge Barbosa Soares (jsoares@det.ufc.br).

Departamento de Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará.

Campus do Pici, s/n – Bloco 703 – CEP. 60440-554 – Fortaleza, CE, Brasil.