

EFEITO DOS PERÍODOS DE REPOUSO NO ENSAIO DE FADIGA EM MISTURAS ASFÁLTICAS E EM LIGANTES

Letícia Sousa de Oliveira

Lucas Feitosa de Albuquerque Lima Babadopulos

Jorge Barbosa Soares

Universidade Federal do Ceará – UFC

Programa de Pós-graduação em Engenharia de Transportes – PETRAN

RESUMO

O trabalho visa contribuir para o estudo do fenômeno de trincamento por fadiga nos revestimentos asfálticos por meio da avaliação da influência dos períodos de repouso (*rest periods* – RPs) nas escalas do ligante e da respectiva mistura asfáltica completa. Os materiais nas escalas em estudo serão submetidos aos ensaios de fadiga com os mesmos RPs. Será utilizado o ensaio de fadiga uniaxial por tração-compressão direta nas misturas asfálticas e o ensaio *Linear Amplitude Sweep* – LAS no ligante, que será realizado no *Dynamic Shear Rheometer* – DSR. Espera-se obter a relação entre os efeitos dos RPs nas escalas investigadas e a consideração dos fenômenos reversíveis ao realizar os ensaios de fadiga, além de obter as eventuais diferenças existentes em uma mesma escala no comportamento quanto a fadiga com e sem RPs.

1. INTRODUÇÃO

Em decorrência das repetições das cargas de veículos pesados, o dano por fadiga se acumula em pavimentos asfálticos. Classicamente, os ensaios laboratoriais de fadiga consistem na aplicação de ciclos de carga de maneira contínua, sem a consideração de variações de descanso entre os mesmos (Di Benedetto *et al.*, 2004). O descanso pode ter efeito sobre a evolução da rigidez do material ao longo do ensaio devido a diferentes fenômenos, como: auto-aquecimento, tixotropia, não linearidade e dano (Babadopulos, 2017). A literatura também parece apontar que há efeito no número de ciclos para ruptura (Ayar *et al.*, 2018). Em campo, a aplicação das cargas não é contínua, de maneira que os fenômenos reversíveis que ocorrem no ensaio com carregamento contínuo (auto-aquecimento e tixotropia) não ocorrem em campo. Sendo assim, a correspondência entre campo e laboratório é enfraquecida.

As misturas asfálticas são constituídas de agregados (partículas elásticas) e ligante (material viscoelástico). Em virtude da presença do ligante, a mistura completa apresenta características termo-sensíveis viscoelásticas. Segundo Baaj *et al.* (2017), o ligante asfáltico pode ser considerado um material que se auto regenera, ou seja, possui a capacidade de restaurar parte de sua rigidez e resistência durante períodos de descanso e temperaturas elevadas. Na literatura a auto regeneração do material é denominada *healing*, podendo levar a uma extensão na vida útil do ligante e, por consequência, da mistura asfáltica correspondente.

Portanto, para permitir uma previsão adequada da vida útil de um pavimento asfáltico em relação ao dano por fadiga, é importante que se considere, em laboratório ou em simulações computacionais, situações próximas da realidade de campo. Entre elas está a consideração dos períodos de repouso (*rest periods* - RPs) entre os carregamentos durante a realização de ensaios de laboratório.

1.1. Problema de Pesquisa

Um dos maiores problemas da engenharia rodoviária é estimar de forma satisfatória a vida útil dos pavimentos, seja por meio de ensaios laboratoriais que busquem simular a situação de campo, seja pela busca de propriedades fundamentais que possam ser usadas em modelos computacionais que considerem da forma mais aproximada possível a complexidade do

fenômeno em campo. Pois, o fenômeno torna-se complexo devido às alterações nas condições climáticas e os carregamentos mecânicos apresentarem características variáveis e intermitentes. Nos ensaios laboratoriais de vida de fadiga, em geral, os carregamentos são cíclicos e contínuos, além de não considerarem variação da temperatura. Além do mais frequentemente o ligante é considerado o elemento que mais afeta o comportamento de fadiga da mistura asfáltica (FHWA, 2002).

1.2. Objetivos

O objetivo geral da pesquisa é investigar a relação entre os efeitos de RPs de ensaios de fadiga nas escalas de mistura asfáltica completa e do ligante. Os seguintes objetivos específicos podem ser listados para se buscar o objetivo geral:

- Verificar se há períodos (e.g. nos ciclos iniciais de ensaio) em que há predominância de efeitos reversíveis nas escalas de mistura asfáltica completa e do ligante e, se for o caso, quando estes se iniciam;
- Verificar a relação entre as escalas de ligante e mistura asfáltica completa com e sem a consideração de RPs;
- Avaliar mudanças que ocorrem na curva C vs S quando se considera diferentes tempos de descanso entre os carregamentos;
- Verificar a influência das mudanças no ensaio na curva C vs S obtida para a previsão de desempenho (e.g. cálculo de dano médio em revestimentos de pavimentos);
- Identificar e avaliar as diferenças de previsão de comportamento a partir dos resultados dos ensaios com e sem RPs.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A vida de fadiga de um material asfáltico pode ser definida como o número de aplicações de carga necessário para que o material atinja a ruptura, considerando carregamento de nível inferior ao necessário para ruptura em um ciclo. Em laboratório, diferentes tipos de ensaios são utilizados para a determinação da vida de fadiga, havendo uma grande diferença na realização destes e também entre os seus resultados.

No ensaio de fadiga uniaxial de tração-compressão direta, pode-se considerar a existência de um estado homogêneo de deformação, pois na seção transversal todos os pontos do material são teoricamente solicitados da mesma forma para um material homogêneo (Di Benedetto *et al.*, 2004). Observa-se que um material é considerado homogêneo para fins de análise mecânica quando as maiores heterogeneidades são de tamanho cerca de cinco vezes inferior à menor dimensão do volume material analisado. O estado homogêneo no ensaio facilita a interpretação dos resultados e evita erros ligados às hipóteses simplificadoras necessárias para análise de ensaios não homogêneos para converter forças e deslocamentos em tensões e deformações. Por exemplo, o fato de o material se danificar durante o ensaio de fadiga produz heterogeneidade de rigidez no volume material, de maneira que as hipóteses utilizadas na análise de ensaios não-homogêneos são invalidadas.

Para modelar o fenômeno do dano no ensaio de fadiga, pode-se utilizar de abordagens como a mecânica do dano contínuo (MDC) que tem como objetivo contabilizar a degradação interna que ocorre no material, levando fenômenos micromecânicos em conta através de variáveis homogeneizadas no volume material. Uma abordagem de MDC utilizada comumente para caracterização de misturas asfálticas é o chamado *Viscoelastic Continuum Damage (VECD) model*. Para caracterizar o comportamento das misturas nos ensaios de tração-compressão

direta usando o referido modelo, os resultados de ensaio têm como parâmetros a pseudo-rigidez (C) e o dano (S), representados na curva C vs S (ver Figura 1), que é considerada uma propriedade fundamental do material, útil na previsão da evolução da rigidez ao longo de ensaios de fadiga (Nascimento, 2015). Para a previsão da falha, o critério considerado é baseado em densidade de pseudo-energia de deformação (Sabouri e Kim, 2014).

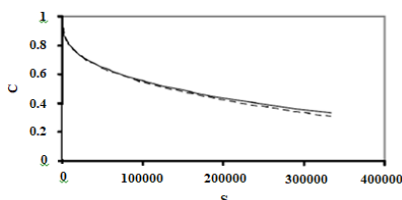


Figura 1: Exemplo de curvas C vs S , considerando ou não o efeito da temperatura medida na superfície dos CPs, adaptado de Lundström e Ekblad (2006)

2.1. Períodos de repouso no ensaio de fadiga

Os materiais asfálticos em pavimentos estão sujeitos a RPs entre as solicitações de carga de eixos dos veículos e entre a passagem dos veículos. Daniel e Kim (2001) consideram que durante os RPs ocorre uma recuperação, uma auto regeneração (*healing*). O *healing* é considerado como um processo que neutraliza o crescimento de trincas de fadiga durante RPs e temperaturas elevadas, levando a uma extensão significativa na vida de fadiga. Deve-se observar, porém, que é complexa a diferenciação entre esse fenômeno e fenômenos reversíveis que ocorrem ao longo de ensaios cíclicos (Babadopulos, 2017).

Durante os ensaios cíclicos de fadiga ocorrem diferentes fenômenos físicos, que podem ser divididos em fenômenos reversíveis (como a não linearidade, o auto aquecimento e a tixotropia) e o fenômeno propriamente irreversível, que é o dano à fadiga. Rigorosamente, deveria ser considerado *healing* apenas o que ocorre nos fenômenos reversíveis (Di Benedetto *et al.*, 2011; Babadopulos, 2017).

De acordo com Babadopulos (2017), nos ensaios de fadiga em que este é realizado com descanso, o material estará sujeito a um histórico de carregamento diferente. Em decorrência de diferença entre os históricos de carregamento, a mistura não se encontrará à mesma temperatura durante a realização do ensaio, provocando distorções nos resultados entre CPs de uma mesma mistura. Em decorrência de o ligante ser suscetível a temperatura e haver uma grande dependência de outras propriedades quanto às mudanças na temperatura, pode haver resultados distintos entre os ensaios com descanso e sem a consideração do descanso.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para facilitar o entendimento da abordagem da pesquisa, um fluxograma é apresentado na Figura 2. Serão utilizadas três misturas, com três tipos de ligante, sendo dois ligantes puros e outro modificado. Nos ligantes será realizado o ensaio *Linear Amplitude Sweep* – LAS utilizando o reômetro de cisalhamento dinâmico (*Dynamic Shear Rheometer* – DSR) e nas misturas asfálticas será usado o ensaio uniaxial de tração-compressão direta. A fim de acompanhar o aparecimento das trincas durante a realização do ensaio nas misturas asfálticas serão utilizadas imagem de câmera digital instalada ao equipamento para se tentar detectar o local e o processo de surgimento das fissuras. Para tal, os CPs serão pintados com tinta branca para tentar facilitar a visualização das fissuras nas imagens. Além do ensaio de vida de fadiga, serão executados métodos de caracterização como resistência a tração e módulo complexo.

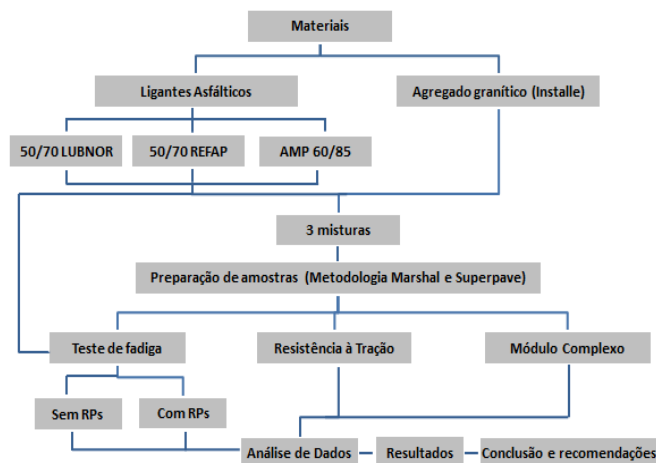


Figura 2: Fluxograma da pesquisa

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

É importante a verificação do efeito de RPs nos ensaios de fadiga, pois o dano ocorrido nas misturas asfálticas e nos ligantes pode ser superestimado durante o carregamento devido à existência de outros fenômenos durante o carregamento cíclico. Além disso, a busca por relações de comportamento entre as diferentes escalas tem potencial para gerar conhecimento sobre o comportamento mecânico fundamental desses materiais e facilitar a interpretação de resultados de ensaios. O presente trabalho pretende contribuir com a investigação dessas relações e do comportamento de fadiga e recuperação de materiais asfálticos.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

- Ayar, P.; F. Moreno-Navarro; M. Sol- Sánchez e M. C. Rubio-Gámez (2018) Exploring the recovery of fatigue damage in bituminous mixtures: the role of rest periods. *Journal Materials and Structures*, v. 51, n. 25, p. 1-10.
- Baaj, H.; P. Milhailenko; H. Almutairi e H. Di Benedetto (2017) Recovery of asphalt mixture stiffness during fatigue loading rest periods. *Construction and Building Materials*, n. 158, p. 591-600.
- Babadopulos, L. F. A. L. (2017) *Phenomena occurring during cyclic loading and fatigue tests on bituminous materials: Identification and quantification*. Tese de Doutorado – Universidade de Lyon, Lyon.
- Daniel, J. S. e Y. R. Kim (2001) Laboratory evaluation of fatigue damage and healing of asphalt mixtures. *Journal of Materials in Civil Engineering*, v. 13, n. 6, p. 434-440.
- Di Benedetto H.; Q. T. Nguyen e C. Sauzéat (2011) Nonlinearity, heating, fatigue and thixotropy during cyclic loading of asphalt mixtures. *Road Materials and Pavement Design*, v. 12, n. 1, p. 129-158.
- Di Benedetto, H.; C. De La Roche; H. Baaj; A. Pronk e R. Lundström (2004) Fatigue of Bituminous Mixtures. *Materials and Structures*, v. 37, p. 202-216.
- Federal Highway Administration – FHWA (2002) Superpave binder specification. FHWA. Washington, 115 p.
- Lundström, R. e J. Ekblad (2006) Fatigue characterization of asphalt concrete using Schapery's Work Potential Model. *Annual Transactions of the Nordic Rheology Society*, v. 14.
- Nascimento, L. A. H., (2015) *Implementation and Validation of the Viscoelastic Continuum damage Theory for Asphalt Mixture and Pavement Analysis in Brazil*. Graduate Faculty of North Carolina State University. Raleigh, North Carolina.
- Sabouri, M. e Kim, Y. R. (2014) Development of a failure criterion for asphalt mixtures under different modes of fatigue loading. *TRB Annual Meeting*. Washington, D.C., United States.

Letícia Sousa de Oliveira (leticia@det.ufc.br)

Lucas Feitosa de Albuquerque Lima Babadopulos (lucababa@det.ufc.br)

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

Departamento de Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará.

Campus do Pici - Bloco 703 - 60440-900, Fortaleza CE.