

CARACTERIZAÇÃO DE MISTURAS ASFÁLTICAS POR MEIO DE MÓDULO COMPLEXO DETERMINADO A PARTIR DE EQUIPAMENTO PNEUMÁTICO.

Marcelo Silva Medeiros Júnior

Jorge Barbosa Soares

Laboratório de Mecânica dos Pavimentos – LMP

Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes – PETRAN

Universidade Federal do Ceará – UFC

RESUMO

O presente trabalho de dissertação visa desenvolver uma metodologia de ensaio para obtenção do parâmetro Módulo Complexo (E^*) de misturas asfálticas, utilizando o equipamento de cargas repetidas por acionamento pneumático existente em diversas universidades brasileiras. Para tanto serão propostas alterações em seu sistema de controle e acionamento visando adaptá-lo ao novo procedimento. Serão realizados ensaios no novo sistema e ensaios em máquinas hidráulicas de ensaios universais, a fim de se comparar os resultados.

ABSTRACT

The present Master's thesis research intends to develop a test methodology to obtain the Complex Modulus (E^*) of asphalt mixtures using a pneumatic repetitive load equipment. Such equipment is used in many Brazilian universities. Enhancements in the control system will be proposed for the new test procedure. Asphalt mixtures will be tested in the new system and in hydraulic universal testing machines in order to compare the results.

1. INTRODUÇÃO

Desde a década de sessenta o Módulo Complexo vem sendo pesquisado como uma alternativa ao parâmetro elástico utilizado atualmente na caracterização de misturas asfálticas (Módulo de Resiliência). PAPAIZIAN (1962) realizou um ensaio aplicando tensões senoidais a um corpo de prova e medindo as devidas deformações. Os testes foram conduzidos a temperaturas controladas e variadas frequências de carregamento, concluindo-se que os conceitos de viscoelasticidade poderiam ser aplicados no desenvolvimento e no estudo do desempenho dos pavimentos asfálticos (DANIEL *et al.* 1998).

Na década seguinte foram realizados experimentos com diversas formas de carregamento e os estudos indicaram que as maiores diferenças eram observadas no ângulo de fase (diferença entre a fase de tensão e a fase de deformação) BONNAURE *et al.* (1977) observaram ainda que os ensaios conduzidos sob forma de tração-compressão são mais representativos do comportamento em campo (WITCZACK e ROOT, 1974). O Módulo Complexo foi determinado através de ensaios de flexão de corpos de prova trapezoidais que eram fixos em uma extremidade e sujeitos a um carregamento senoidal na outra extremidade. As deformações eram medidas e o módulo calculado pelos resultados.

A importância de se considerar a viscoelasticidade das misturas, bem como a possibilidade de contabilizar os efeitos de diferentes temperaturas e frequências de carregamento, faz com que o Módulo Complexo (E^*) venha sendo estudado como substituto para o Módulo de Resiliência (MR). O ensaio de Módulo Complexo pode ser usado para determinar tanto as características elásticas quanto as propriedades viscoelásticas lineares do material (CHRISTENSEN, 1982).

O Módulo Complexo é obtido usualmente através de um carregamento senoidal aplicado axialmente em corpos de prova cilíndricos. Este procedimento é repetido para diferentes temperaturas e frequências de carregamento com o intuito de se construir uma curva mestra

que incorpore os efeitos das duas variáveis citadas; tempo e temperatura, haja vista que o Módulo Complexo é sensível à essas variáveis (FRANCKEN e PARTL, 1996).

2. METODOLOGIA

O presente trabalho visa desenvolver uma metodologia de ensaio para obtenção do parâmetro E^* utilizando o equipamento de cargas repetidas para misturas asfálticas existente no Laboratório de Mecânica dos Pavimentos da Universidade Federal do Ceará (LMP/UFC) e presente também em outras universidades brasileiras. Para tanto serão propostas alterações em seu sistema de controle e acionamento pneumático visando adaptá-lo ao novo procedimento. Para isso será desenvolvida um sistema de aquisição de dados e controle que será constituído de 4 canais de conversão analógico-digitais de 16 *bits* para a leitura dos sensores e 2 canais de conversão digital-analógicos para o controle das válvulas proporcionais e válvulas solenóides do equipamento.

As mudanças deverão possibilitar a configuração da frequência do carregamento bem como sua forma de onda, o que será conseguido através da implementação de um *software* de interface entre o computador e o sistema eletrônico. A capacidade de efetuar os carregamentos sob diferentes tipos de onda possibilitará uma grande flexibilidade no estudo e obtenção do parâmetro mecânico desejado.

Deverá ser feita a formulação matemática para o cálculo do Módulo Complexo a partir do estado de plano de deformações proveniente do carregamento diametral, para então comparar esses valores com valores obtidos pelo método convencional.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O correto entendimento do ensaio discutido neste trabalho requer o conhecimento de alguns conceitos de viscoelasticidade linear. Para o caso de carregamento senoidal unidimensional a tensão é representada pela seguinte equação:

$$\sigma = \sigma_0 \sin(\omega t) \quad (1)$$

Na equação 1, σ_0 é a amplitude da tensão e ω é a velocidade angular, a qual é relacionada com a frequência f por:

$$\omega = 2\pi f \quad (2)$$

A deformação harmônica pode então ser descrita da seguinte maneira:

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \sin(\omega t - \delta) \quad (3)$$

Onde ε_0 é a amplitude de deformação e δ é o ângulo de fase relacionado com o atraso da deformação em relação a tensão. O ângulo de fase é um indicador das propriedades viscosas do material. Para um material puramente elástico, $\delta = 0^\circ$ e para materiais puramente viscosos $\delta = 90^\circ$. A relação entre as amplitudes de tensão e deformação define o valor absoluto do Módulo Complexo. Este valor é conhecido como Módulo Dinâmico (FERRY, 1980).

$$|E^*| = \frac{\sigma_0}{\varepsilon_0} \quad (4)$$

Os componentes em fase com o carregamento são chamados de *Storage Modulus* (Módulo de Armazenamento), e tem relação com a resposta elástica do material:

$$E' = \frac{\sigma_0 \cos(\delta)}{\varepsilon_0} \quad (5)$$

E os componentes defasados definem o *Loss Modulus* (Módulo de Perda) e tem relação com a resposta viscosa do material:

$$E'' = \frac{\sigma_0 \sin(\delta)}{\varepsilon_0} \quad (6)$$

Uma simplificação do que foi mostrado anteriormente, pode ser conseguida se expressarmos as tensões e deformações em sua forma complexa:

$$\sigma^* = \sigma_0 e^{i\omega t} \quad (7)$$

E a deformação resultante:

$$\varepsilon^* = \varepsilon_0 e^{i(\omega t - \delta)} \quad (8)$$

Das equações 7 e 8 temos o Módulo Complexo:

$$E^* = \frac{\sigma^*}{\varepsilon^*} = \frac{\sigma_0}{\varepsilon_0} e^{i\delta} = E' + iE'' \quad (9)$$

3.1 Curvas mestra e fatores de deslocamento

A análise dos dados provenientes do ensaio de Módulo Complexo envolve a geração de curvas mestras. A curva mestra de uma mistura asfáltica permite que comparações sejam feitas sobre uma faixa de frequências e temperaturas, pois é construída utilizando-se o princípio da superposição tempo-temperatura (FERRY, 1980). Este princípio permite que os dados coletados a diferentes temperaturas sejam deslocados horizontalmente relativamente a uma temperatura de referência.

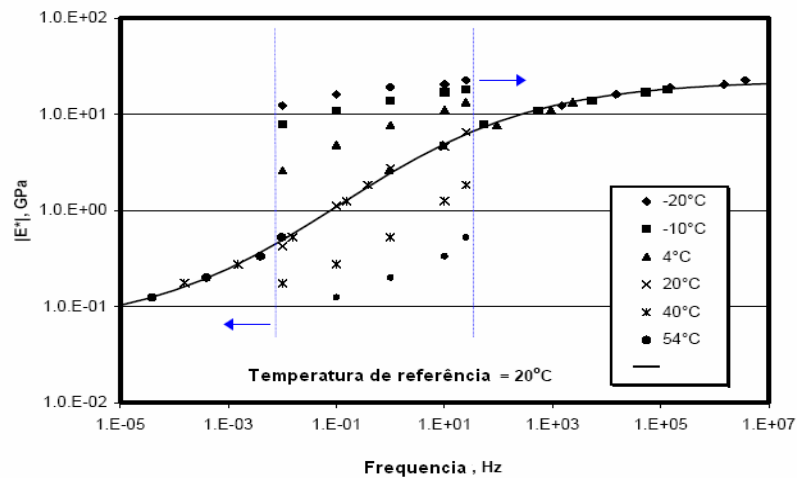


Figura 1: Curva mestra de Módulo Complexo.

4. RESULTADOS ESPERADOS

O foco principal deste trabalho é a adaptação um equipamento de ensaio de carga repetida, desenvolvido originalmente para ensaios de Módulo de Resiliência, tornando-o capaz de realizar também o ensaio de Módulo Complexo. Com isso espera-se que o novo equipamento seja capaz de obter o parâmetro citado a custos menores do que os da aquisição de equipamentos hidráulicos de ensaio universal. Espera-se também validar os resultados obtidos no equipamento através da comparação com resultados obtidos em outros laboratórios utilizando-se equipamentos comerciais que realizem tal ensaio.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AASHTO 2002 Design Guide Draft – 2.4 Modulus of Elasticity for Major Material Groups, NCHRP Project 1-37A.
- BONNAURE, F., GEST, G., GRAVOIS, A., e P. UGE (1977) A New Method of Predicting the Stiffness of Asphalt Paving Mixtures, *Proceedings, Association of Asphalt Paving Technologists*, Vol. 46, pp. 64-100.
- BLAINE, J., e R. BURLOT (1970), Non-Destructive Testing of Asphaltic Concrete Using the Light Goodman Vibrator: Study of the Influence of Temperature on the Viscoelastic Properties of the Material, *Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists*, VOL. 39.
- CHRISTENSEN, R. M (1982), *Theory of Viscoelasticity*, Dover Publications, Inc, New York
- DANIEL, J. S., KIM, Y. R., e H. J. LEE (1998) Effects of Aging on Viscoelastic Properties of Asphalt-Aggregate Mixtures,” *Transportation Research Record 1630*, pp. 21-27.
- DOS REIS, H. L. M., HABBOUB, A. K., e S. H. CARPENTER (1999) Nondestructive Evaluation of Complex Moduli in Asphalt Concrete with an Energy Approach, *Transportation Research Record 1681*, pp. 170-178.
- DRESCHER, A., NEWCOMB, D. e., E W. ZHANG, (1997) Interpretation of Indirect Tension Test Based on Viscoelasticity, *Transportation Research Record 1590*, pp. 45-52.
- FERRY, J.D (1980), *Viscoelastic Properties of Polymers*, John Wiley, New York.
- FRANCKEN, L., PARTL, M e TECHNICAL COMMITTEE ON BITUMEN AND ASPHALT TESTING (1996), „ Complex Modulus Testing of Asphaltic Concrete: RILEM Interlaboratory Test Program,” *Transportation Research Record 1545*, pp. 133-142.
- HOCHULI, A. S., SAYIR, M. B., POULIKAKOS, L. D., e M. N. PARTL (2001) Measuring the Complex Modulus of Asphalt Mixtures by Structural Wave Propagation, *Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists*, Vol. 70.
- KHANAL, P. P., e M. S. MAMLOUK (1995), Tensile Versus Compressive Moduli of Asphalt Concrete, *Transportation Research Record 1492*, pp. 144-150.
- LEE, H. J., E Y. R. KIM (1998), Viscoelastic Constitutive Model for Asphalt Concrete under Cyclic Loading, *Journal of Engineering Mechanics*, ASCE, Vol. 124, No. 1, pp. 32-40.
- PAPAZIAN, H. S (1962), The Response of Linear Viscoelastic Materials in the Frequency Domain with Emphasis on Asphaltic Concrete, *(1st) International Conference on the Structural Design of Asphalt Pavements*, pp. 454-463.
- PELLINEN, T. K., e M. W. WITCZAK (2002) Stress Dependent Master Curve Construction for Dynamic (Complex) Modulus,” *Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists*, Vol. 71.
- ROMERO, P., E R. M. ANDERSON, (2001) “Variability of Asphalt Mixtures Tests Using the Superpave Shear Tester Repeated Shear at Constant Height Test,” *Transportation Research Record 1767*, pp. 95-101.
- STROUP-GARDINER, M. e D. E. NEWCOMB (1997), Investigation of Hot Mix Asphalt Mixtures at MnROAD, Minnesota Department of Transportation Final Report 97-06.
- WILLIAMS, M. L., LANDEL, R. F., e FERRY, J. D (1955), The Temperature Dependence of Relaxation Mechanism in Amorphous Polymers and Other Glass-Liquids, *J. of Am. Chem. Soc.*, Vol. 77, p. 370
- WITCZAK, M. W., e R. E. ROOT (1974) Summary of Complex Modulus Laboratory Test Procedures and Results, *STP 561*, American Society for Testing and Materials, pp. 67-94.
- ZHANG, W., DRESCHER, A., e D. E. NEWCOMB (1997), Viscoelastic Behavior of Asphalt Concrete in Diametral Compression, *Journal of Transportation Engineering*, November/December, pp. 495-502.

Universidade Federal do Ceará
Centro de Tecnologia
Departamento de Engenharia de Transportes
Campus do Pici – Bloco 703 s/n
Laboratório de Mecânica dos Pavimentos
CEP 60.455-760
Email: marcelojr@det.ufc.br; jsoares@det.ufc.br;