



ESTUDO DE CURVAS DE FLUÊNCIA PARA MODELOS DE VISCOELASTICIDADE NÃO LINEAR

Rodolfo Mees da Rosa¹, Prof. Dr. Pablo Andreas Munoz Rojas²

¹ Acadêmico do Curso de Engenharia Mecânica – CCT - bolsista PROBIC/UDESC

² Orientador, Departamento de Engenharia Mecânica - CCT – pablo.munoz@udesc.br.

Palavras-chave: polímeros. Viscoelasticidade. Curvas de Fluência.

O desenvolvimento de novos polímeros, bem como suas aplicações práticas cada vez maiores, nas últimas décadas tornou esses materiais extremamente importantes em engenharia. Uma das principais características dos polímeros é a viscoelasticidade, isto é, suas propriedades dependem do tempo, podendo ser a de um sólido elástico ou de um fluido viscoso.

Pode-se dividir o fenômeno de viscoelasticidade em linear e não-linear. No primeiro caso, a resposta do material depende apenas do tempo, a resposta do material em diferentes níveis de tensão é proporcional, isto é, difere apenas por uma constante de proporcionalidade. Já no segundo caso, além do tempo, o material depende também do nível de tensão a que está sujeito.

Um dos principais experimentos utilizados para caracterizar os polímeros é o ensaio de fluência, no qual define-se uma nova quantidade, a função *creep compliance*, J , que definirá a resposta mecânica do material. A deformação, $\epsilon(t)$, em função do tempo no ensaio de fluência para um material viscoelástico linear é expressa por

$$\epsilon(t) = \sigma_c J(t) \quad (1)$$

onde σ_c é a tensão constante. Utilizando o modelo reológico generalizado de Kelvin, podemos expressar a função *creep compliance* em termos da série de Prony

$$J(t) = J_e + J_v(t) = \frac{1}{E_0} + \sum_{i=1}^N \frac{1}{E_i} \left[1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau_i}\right) \right] \quad (2)$$

onde E_0 e E_i são os módulos de elasticidade, τ_i é o i -ésimo tempo de relaxação, J_e é a componente elástica instantânea, J_v é a componente viscoelástica dependente do tempo e N é o número de blocos reológicos.

Para a viscoelasticidade não-linear:

$$\epsilon(t) = \sigma_c J(\sigma, t) \quad (3)$$

$$J(\sigma, t) = J_e(\sigma) + J_v(\sigma, t) = \frac{1}{E_0(\sigma)} + \sum_{i=1}^N \frac{1}{E_i(\sigma)} \left[1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau_i(\sigma)}\right) \right] \quad (4)$$

O princípio da superposição Tempo-Temperatura-Tensão é usado para construir curvas de fluência de longo prazo em uma dada temperatura e tensão de referência a partir de dados de curto prazo. Essas curvas em diversos níveis de tensão podem ser relacionadas através da translação para a direita ou para a esquerda por um *shift factor*, ϕ_σ , e então construir uma *master curve* para esse parâmetros de referência que se estende por um período maior de tempo. É importante ressaltar que para a aplicação deste princípio, é necessário que o material seja termoreologicamente simples e também piezoreologicamente simples.

Além disso, o princípio também pode ser utilizado de outra forma, como exemplificado por Muñoz-Rojas et al (2011). A partir de uma curva mestre de longo prazo em uma tensão de

referência, podemos obter uma curva de curto prazo em outro nível de tensão pelo conceito de tempo reduzido, ξ :

$$J(t, \sigma) = J(t/\phi_\sigma, \sigma_0) = \hat{J}(\xi, \sigma_0) \quad (5)$$

Liu (2007) propôs um método simplificado em relação aos tradicionais para o modelo de viscoelasticidade não-linear. Com os dados de ensaios de fluência em diferentes níveis de tensão, pode-se obter uma função *creep compliance* em um nível de tensão arbitrário pela Eq. (3). Os parâmetros mecânicos do material nesse nível são obtidos pela interpolação linear baseada nos valores de propriedades para uma tensão imediatamente acima e outra imediatamente abaixo. Baseado nesse método, Muñoz-Rojas et al (2011) propõem um aprimoramento dos resultados, com uma mudança na interpolação.

Com base nos dados de um ensaio de fluência com amostras de polietileno de alta densidade (HDPE, sigla em inglês) do trabalho de Muñoz-Rojas et al (2011), foi aplicado os três métodos descritos para obtenção de uma curva de fluência em uma tensão de 8 MPa: o método de Liu (2007), o método pelo princípio da equivalência Tempo-Temperatura-Tensão (abreviado para TSE) e o método descrito por Muñoz-Rojas et al (2011). Obteve-se as seguintes curvas:

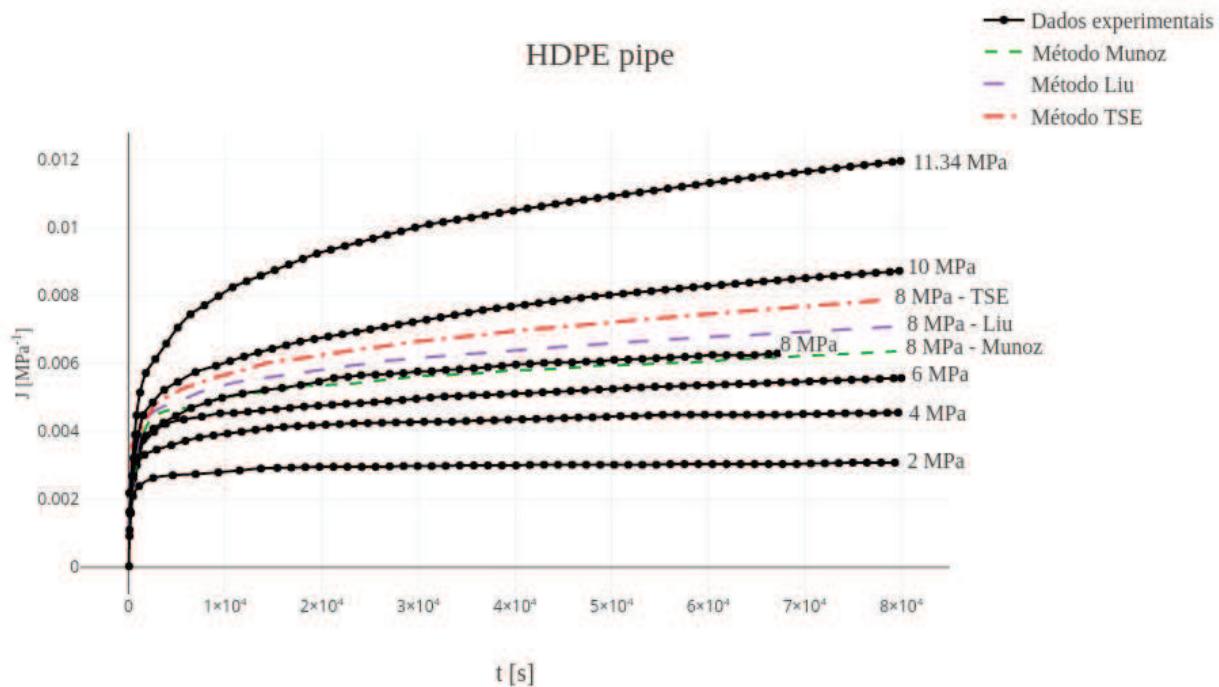


Fig 1 Comparação das curvas de fluência para uma tensão de 8 MPa.

LIU, Hongtao. **Material Modelling for Structural Analysis of Polyethylene**. 2007. 105 f. Tese (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, University Of Waterloo, Waterloo, 2007.

LUO, W.B., YANG, T.Q., AN, Q.L.. Time-Temperature-Stress Equivalence and its application to nonlinear viscoelastic materials. *Acta Mechanica Solida Sinica*, 14(3):195-199, 2001.

MUÑOZ-ROJAS, P. A., Modeling Nonlinear Viscoelastic Behavior of High Density Polyethylene (HDPE): Application of Stress-Time-Equivalence versus Interpolation of Rheological Properties. *Solid Mechanics in Brazil*, 381-400, 2011.