

# Estudo da influência da composição do traço de misturas asfálticas no comportamento viscoelástico no domínio tempo através de curvas empíricas de módulo dinâmico



CAMARGO, Thiago Lunardi<sup>1</sup>; THEISEN, Klaus Machado<sup>2</sup>



<sup>1</sup>Aluno do curso de Engenharia Civil -Universidade Federal de Pelotas, Centro de Engenharias

<sup>2</sup>Professor do curso de Engenharia Civil -Universidade Federal de Pelotas, Centro de Engenharias

## Introdução

O comportamento de misturas asfálticas observado em laboratório e/ou em campo tem grande influência no desempenho de pavimentos flexíveis em termos de resposta estruturais e durabilidade das rodovias, sendo de relevante importância para boas condições de tráfego. De modo a garantir um comportamento adequado aos objetivos de projeto. Deve-se trabalhar no traço das misturas, cujos materiais que compõem tal traço têm grande influência no comportamento do material em questão. A literatura apresenta uma série de misturas asfálticas dos mais diversos traços, no qual é possível ter boa ideia da influência dos teores de ligante, agregados e índice de vazios nas misturas, porém tais análises são baseadas fundamentalmente no módulo de resiliência e/ou variáveis que não considerem o comportamento das misturas asfálticas quando o tempo é levado em consideração, desprezando assim o seu comportamento viscoelástico e não possibilitando um entendimento mais realista do comportamento do material.

## Objetivo:

Fazer um estudo paramétrico da influência das percentagens das frações de agregados, teor de ligante, índice de vazios e outras variáveis importantes no traço, em propriedades viscoelásticas de misturas asfálticas.

## Metodologia:

• Relação empírica do traço com módulo dinâmico: Witczak e Fonseca (1996) propuseram um modelo empírico para previsão do MD para misturas asfálticas, baseado em grande quantidade de dados de curvas mestras (1429 pontos de medição para 149 misturas asfálticas).

$$\log(|E^*|) = \Pi_1 + \frac{\Pi_2}{1 + e^{\Pi_3}}$$

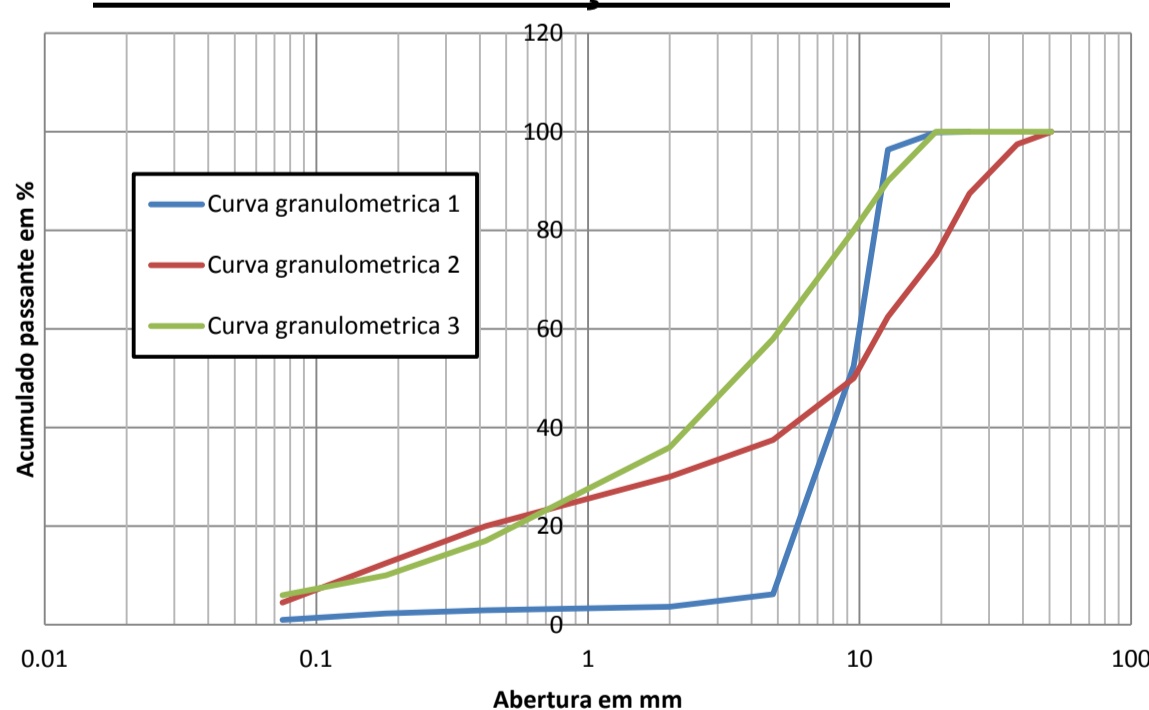
$$\Pi_1 = -1,249937 + 0,02932P_{200} - 0,001767(P_{200})^2 + 0,002841P_4 - 0,058097V_a - 0,802208 \frac{V_{beff}}{V_{beff} + V_a}$$

$$\Pi_2 = 3,871977 - 0,0021P_4 + 0,003958P_{3/8} - 0,000017 \left(\frac{P_3}{8}\right)^2 + 0,00547P_{3/4}$$

$$\Pi_3 = -0,603313 - 0,313351 \log(fr) - 0,393532 \log(\eta)$$

|E\*| = módulo dinâmico(10<sup>5</sup> psi); P<sub>200</sub>= % em peso passante na peneira 200; P<sub>4</sub>, P<sub>3/8</sub>, P<sub>3/4</sub> = %em peso retido nas peneiras n<sup>o</sup> 4, 3/8 e 3/4; V<sub>a</sub>= % em volume de vazios; V<sub>beff</sub> = teor efetivo em volume de ligante; f<sub>r</sub>= frequência de carregamento (Hz); η = viscosidade do ligante (10<sup>6</sup> poise).

## Elementos de traço avaliados:



V <sub>a</sub> 1(%)	2.5
V <sub>a</sub> 2(%)	4
V <sub>a</sub> 3(%)	5.5
V <sub>beff</sub> 1(%)	3
V <sub>beff</sub> 2(%)	5
V <sub>beff</sub> 3(%)	7

❖ A viscosidade foi mantida com constante no valor de 7 Pa.s

## Modelo simplificado para obtenção das constantes da curva de relaxação:

$$|E^*(\omega)|^2 = \left( E_{\infty} + \sum_{j=1}^n \frac{\omega^2 \rho_j^2 E_j}{1 + \omega^2 \rho_j^2} \right)^2 + \left( \sum_{j=1}^n \frac{\omega \rho_j E_j}{1 + \omega^2 \rho_j^2} \right)^2$$

Relação módulo dinâmico (domínio frequência) com curva de relaxação (domínio tempo).

$$|E^*(\omega)| = E_{\infty} + \sum_{j=1}^n \frac{\omega^2 \rho_j^2 E_j}{1 + \omega^2 \rho_j^2}$$

Relação simplificada, que desconsidera a parcela imaginária do módulo complexo.

As constantes E e ρ foram obtidas utilizando o método dos mínimos quadrados adaptado a relação simplificada

Curva de relaxação considerada:

$$E(t) = E_{\infty} + \sum_{j=1}^{12} E_j e^{-\frac{t}{\rho_j}}$$

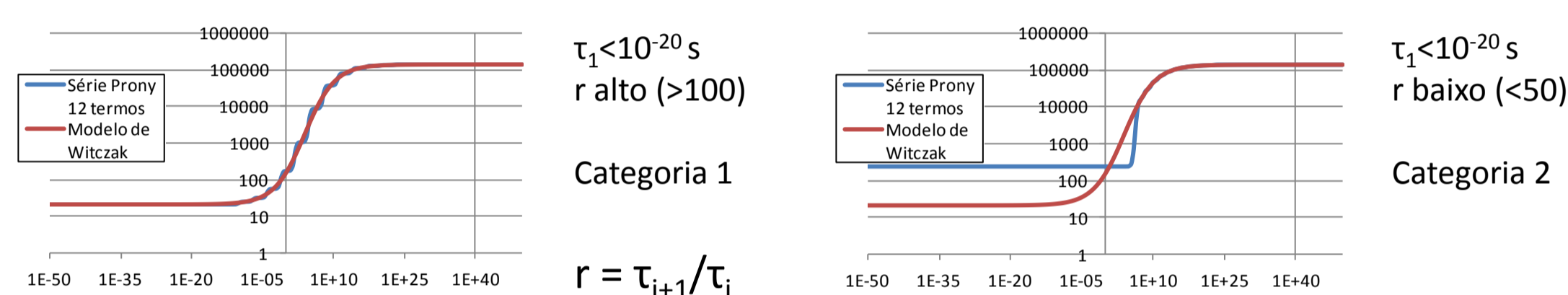
## Resultados

• Resultados do modelo simplificado em comparação com curvas de relaxação conhecidas:

i	Gibson et al (2003)				Souza (2005)			
	Valores reais		Método Simplificado		Valores reais		Método Simplificado	
inf	Ei(MPa)	pi(s)	Ei(MPa)	pi(s)	Ei(kPa)	pi(s)	Ei(kPa)	pi(s)
1	2160	1.5E-07	1880.393	1.14E-07	2179000	0.00087	2620262	0.001006
2	3848	2.81E-06	3897.908	2.46E-06	2675000	0.0057	2472404	0.008137
3	5727	5.27E-05	5807.797	5.3E-05	3125000	0.062	2930017	0.065787
4	6531	0.000987	6666.446	0.001145	992900	0.46	987892.1	0.531895
5	5286	0.01849	5382.589	0.024713	447700	4.5	386966.1	4.300447
6	2956	0.3465	2990.433	0.533541	15200	41	43490.11	34.76976
7	1232	6.493	1211.223	11.51894	9284	240	1008.2	281.1187
8	458.8	121.7	421.9185	248.6894	1748	1900	3995.377	2272.887
9	179.6	2280	153.9031	5369.108	553.5	24000	59.12464	18376.63
10	74.2	42720	59.67717	115916.9	0	0	0	0
11	32.1	800500	25.71877	2502602	0	0	0	0
12	14.3	15000000	6.39887	54030206	0	0	0	0
0	28911.8	-	28917.14	-	9446793	-	9446525	-

As constantes obtidas com a utilização do método simplificado são próximas aos valores reais das misturas testadas. Isso significa que o método simplificado é razoável para menores tempos de carregamento, os quais seriam iguais a velocidades mais altas.

• Os resultados dos ajustes foram divididos em duas categorias:



As figuras acima mostram que o valor de n para curvas de fluência encontradas na literatura não é suficiente para se ajustar ao modelo de Witczak. A categoria adotada para o estudo foi a categoria 2, pois é a categoria que se adapta ao método proposto de solução.

• Resultados dos elementos do traço nos parâmetros constitutivos para E(t):

Curva granulométrica	ρ <sub>1</sub> (s)	r
1	3,36.10 <sup>-23</sup>	36,68839
2	1,24.10 <sup>-23</sup>	36,14540
3	3,33.10 <sup>-23</sup>	36,68839

Notou-se apenas influência das curvas granulométricas com relação aos outros parâmetros estudados sobre os valores de ρ<sub>1</sub>(s) e r. Os valores de tais variáveis resultaram semelhantes quando variados o volume de vazios e o teor efetivo em volume de ligante para uma mesma curva granulométrica.

## Conclusões e discussões:

- O modelo de séries de Prony escolhido e tradicionalmente adotado para descrever curvas de relaxação de misturas asfálticas não se mostrou eficiente para mostrar a influência dos elementos do traço, exceto a influência da curva granulométrica.
- Existe uma necessidade de refinamento da série de Prony a ser empregada no modelo de Witczak (utilização de um maior número de termos). Segundo o relatório de pesquisa FHWA-ICT-07-005(2007), o modelo de Witczak foi elaborado com ensaios cuja frequência variou de 0,1 a 25Hz, o que pode não ter sido suficiente para obter uma forma de curva mestra "teórica" (foi necessário variar ω de 10<sup>-50</sup> até 10<sup>50</sup>rad/s para tal). Isso causou uma curva com um grande intervalo de tempos de carregamento, não cobertos pela série de Prony utilizada.
- Com pesquisas futuras, sugere-se a adoção de novos modelos ou o refino da série de Prony para detecção da influência dos elementos do traço nas propriedades viscoelásticas das misturas asfálticas.