

O ENSAIO DE *CREEP* DINÂMICO NA PREVISÃO DE DEFORMAÇÃO PERMANENTE DE MISTURAS ASFÁLTICAS

João Virgílio Merighi*
Carlos Yukio Suzuki**

Resumo

Este trabalho apresenta considerações experimentais sobre a previsão de comportamento visco-elasto-plástico de misturas asfálticas produzidas dentro das faixas II e III preconizadas pela norma ESP – 11/92 da Prefeitura do Município de São Paulo¹ quando aplicadas em revestimentos de pavimentos. O estudo foi conduzido considerando-se os ensaios de *creep* realizados com carregamento cíclico em corpos-de-prova não confinados e posterior comparação com o afundamento em trilha-de-rodas, utilizando-se o simulador de tráfego do tipo LCPC (*Wheel-tracking rutting tester*).

Os ensaios de *creep* dinâmico foram executados em corpos-de-prova moldados através do procedimento Marshall, sendo ambos os testes realizados às temperaturas de 25, 40, 50 e também a 60°C, somente para o simulador de tráfego. As pressões utilizadas foram de 0,55 e 0,64MPa.

O presente trabalho compara os resultados de deformação permanente obtidos nos ensaios de *creep* dinâmico com aqueles obtidos no ensaio com o simulador de tráfego. Além disso, apresentam-se equações de correlação entre a deformação permanente e os parâmetros de temperatura e pressão de contato compreendidos dentro dos intervalos de valores de ensaio.

* Escola de Engenharia da Universidade Presbiteriana Mackenzie. Departamento de Engenharia Civil. E-mail: jvmerighi@mackenzie.com.br.

** Departamento de Engenharia de Transportes da Universidade de São Paulo. E-mail: engenharia@planservi.com.br.

Abstract

This work presents experimental considerations about the prevision of visco-elasto-plastic behavior of hot mix asphalt produced inside of the strips II and III adoptee for the norm ESP – 11/92 of the São Paulo¹ when applied in pavements. The study was driven being considered it creep rehearsals not accomplished with recurrent shipment in body-of-test confined and posterior comparison with the Wheel-tracking rutting tester or simulator of traffic. The rehearsals of dynamic creep were executed in body-of-test molded through the procedure Marshall, being both tests accomplished to the temperatures of 25, 40, 50 and also for 60°C only for the simulator of traffic. The used pressures were of 0,55 and 0,64MPa.

The present work compares the results of permanent deformation obtained in the rehearsal of dynamic creep with those obtained in the rehearsal with the simulator of traffic. Besides, too are presented correlation's equations among the permanent deformation and the temperature parameters and contact pressure understood inside of the intervals of rehearsal values.

1 INTRODUÇÃO

A formação do afundamento na trilha-de-roda é um dos defeitos mais comuns nos revestimentos asfálticos, nos corredores urbanos de ônibus. Sua origem pode estar associada à deformação plástica que ocorre nas camadas subjacentes ao revestimento asfáltico ou causada pela deformação permanente desenvolvida na mistura asfáltica. A deformação permanente no revestimento asfáltico ocorre devido às suas características visco-elásticas, e sua origem está associada à variação de volume de vazios causada pela ação do tráfego, bem como devido ao comportamento plástico do material quando submetido a determinado estado de tensão.

O estudo das características reológicas das misturas asfálticas é fundamental para o desenvolvimento de modelos que permitam elaborar a previsão de desempenho quando elas estão sujeitas a tráfego pesado.

Esse tema tem proporcionado, nos últimos trinta anos, três grandes linhas de pesquisas: a busca do conhecimento físico do fenômeno, o ensaio que possa prever o comportamento das misturas asfálticas quanto à formação de trilha-de-roda e, finalmente, o traço de mistura asfáltica que possa ser mais resistente à formação desse defeito.

Objetivando a busca da conscientização do problema, bem como de soluções compatíveis com o grau de desenvolvimento do país, este trabalho apresenta o estudo da deformação permanente em misturas asfálticas, referentes às faixas granulométricas II e III constantes das normas da Prefeitura do Município de São Paulo (PMSP) e utilizadas em corredores de ônibus urbano. Para atender a esse objetivo, procurou-se desenvolver um método fundamentado no ensaio de *creep* dinâmico para introduzir, ainda que de forma simplificada, um ensaio que pudesse ser economicamente viável para os laboratórios de controle tecnológico, que atuam no Brasil, e que fornecesse um valor coerente com a prática da engenharia, permitindo ao projetista dispor de uma ferramenta útil e fácil de ser utilizada na avaliação do desempenho de misturas asfálticas.

Os resultados obtidos no ensaio de *creep* dinâmico são comparados com o ensaio realizado no simulador de tráfego do tipo LCPC (*Wheel-tracking rutting tester*).

2 UMA RÁPIDA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Generalidades

O que é a deformação permanente na trilha-de-roda? De acordo com Yoder & Witczak (1975),² esse defeito pode ser definido como uma distorção na superfície do pavimento causada pela consolidação de uma ou mais camadas do pavimento. A norma

americana ASTM D 5340 (1997)³ define esse defeito como uma depressão superficial na trilha-de-roda, podendo ocorrer o levantamento das bordas ao longo da trilha, e complementa que um aumento excessivo da deformação permanente pode provocar a ruptura da estrutura do pavimento. A Figura 1 apresenta a formação do afundamento na trilha-de-roda na faixa da direita da Avenida dos Bandeirantes, no sentido Jabaquara-Marginal Pinheiros, em São Paulo.

A norma brasileira do DNER, através do documento TER 001/78 – Defeitos nos Pavimentos Flexíveis e Semi-Rígidos,⁴ define como afundamento a deformação permanente caracterizada por depressão da superfície do pavimento, acompanhada ou não de solevamento.

Inicialmente, de acordo com Huber & Decker (1995),⁵ até a década de 1920, os projetos de misturas asfálticas eram baseados em propriedades empíricas que, quando bem controladas na execução, tinham grande probabilidade de apresentar bom desempenho.⁵ O conceito de volume de vazios e a relação vazios do agregado mineral das misturas asfálticas já eram utilizados no início deste século. Durante a Primeira Grande Guerra, foi introduzido o método *Hubbard Field* para projeto de misturas asfálticas, com os conceitos dos Vazios do Agregado Mineral (VAM) e da estabilidade denominada *Field Stability Test*.



Figura 1 Afundamento na trilha-de-roda na Avenida dos Bandeirantes, em São Paulo

TABELA 1

Resumo dos principais pontos abordados, de interesse a esta pesquisa, pelos autores citados na revisão bibliográfica

Autor	Ano	Alguns pontos de interesse a esta pesquisa
		EXPERIÊNCIA FRANCESA
Brown ⁷	1977	Cálculo da deformação permanente a partir de ensaio triaxial dinâmico. A frequência não é importante para o cálculo da deformação permanente.
Aussedat ⁸	1977	Ensaio de fluência dinâmica. Deformação calculada em função das tensões normal e de confinamento, e frequência. Previsão de desempenho.
Grimaux & Hiernaux ⁹	1977	Apresentação do simulador de tráfego e suas potencialidades.
Brosseaud et al. ¹⁰	1993	Comportamento de misturas asfálticas quanto à deformação permanente com o equipamento simulador de tráfego.
Corté et al. ¹¹	1994	Influência da configuração do eixo de roda na formação de trilha-de-roda (pista em Nantes). Roda simples e roda dupla.
Corté et al. ¹²	1997	Influência do tipo de eixo na formação de triha-de-roda (pista em Nantes). Estudo do comportamento à deformação permanente de novos materiais para revestimento asfáltico.
		EXPERIÊNCIA HÚNGARA
Nemesdy et al. ¹³	1990	Deformação permanente com simulador de tráfego tipo <i>wheel tracking</i> associado com resultados do ensaio <i>creep</i> dinâmico.
		EXPERIÊNCIA NA CHECOSLOVÁQUIA
Sekena & Gschwendt ¹⁴	1990	Deformação permanente através do simulador de tráfego tipo <i>wheel tracking</i> associado com resultados do ensaio <i>creep</i> dinâmico.
		EXPERIÊNCIA NORTE-AMERICANA
Monismith ¹⁵	1976	Considerou a estrutura do pavimento composta de camadas elásticas e a partir do ensaio de <i>creep</i> dinâmico estimava a deformação permanente.
Monismith et al. ¹⁶	1990	Apresentou estudo de comparação entre diversos métodos de previsão da deformação permanente.
Saraf et al. ¹⁷	1976	Equações empíricas da deformação permanente em função do tráfego e correlação estatística de deformação medida na pista.
Thompson & Nauman ¹⁸	1993	Estudo empírico de equações de correlação de deformação permanente a partir de dados de afundamento na trilha-de-roda e tráfego, levantados em pistas monitoradas.
Van de Loo ¹⁹	1976	Pavimento constituído de camadas elásticas e comportamento visco-elasto-plástico do revestimento. Deformação permanente a partir do ensaio de <i>creep</i> . Base para o método da Shell.
Fwa & Tan ²⁰	1995	Esforços em um corpo-de-prova submetido à compressão no ensaio Marshall e no ensaio de tração por compressão diametral. Análise mecanística a partir do MEF para previsão de desempenho quanto à deformação permanente.
Mallick et al. ²¹	1995	Ensaio <i>creep</i> dinâmico realizado com pressão de confinamento. Equação de correlação laboratório/campo.
Chua & Roo ²²	1995	Conclusão de que não há consenso sobre o tipo de ensaio de laboratório para modelo de desempenho de misturas asfálticas.
Williams & Prowell ²³	1999	Enfatizam a utilização de equipamento simulador de tráfego para previsão de desempenho de misturas asfálticas.
Aschenbrener ²⁴	1994	Correlaciona a deformação permanente obtida através do ensaio de <i>creep</i> dinâmico com trilha-de-roda no campo.
Huber et al. ²⁵	1999	Escreve o estado da arte sobre o tema deformação permanente.
Weissman ²⁶	1999	Simulação mecanística de uma carga de roda sobre o pavimento e sua influência na deformação permanente.
Williams & Prowell ²⁷	1999	Utilização do equipamento simulador de tráfego para previsão de desempenho das misturas asfálticas.
Bernucci et al. ²⁸	1997	Potencialidades do equipamento simulador de tráfego para previsão de desempenho das misturas asfálticas.
Merighi et al. ²⁹	1995	Verificação da repetibilidade dos resultados obtidos a partir de ensaios realizados no simulador de tráfego.

Na década de 1930, surgiu o método de Marshall e, nos anos 40, o de Hveem. Ambos os métodos de projeto de misturas asfálticas são fundamentados em propriedades volumétricas e em mecânicas empíricas do tipo fluência e estabilidade.

Segundo Hudson (1998),⁶ durante a década de 1960 ocorreu a fase de concepção dos ensaios de laboratório. Foram desenvolvidos ensaios para medir o módulo de elasticidade das misturas asfálticas por diferentes métodos. A rigidez foi obtida a partir de ensaios com corpos-de-prova moldados sob a forma de viga ou cilíndricos. Neste caso, podiam ser ensaiados na vertical ou diametralmente, com ou sem carga repetida. Cada procedimento chegava a uma propriedade de engenharia, mas não havia consenso de resultados, pois cada parâmetro obtido dependia da geometria do corpo-de-prova e da forma de aplicação da carga.

A Tabela 1 apresenta o resumo dos principais pontos abordados pelos autores dos artigos constantes de uma rápida revisão bibliográfica sobre o tema deformação permanente em misturas asfálticas

A partir da bibliografia apresentada, pode-se concluir que existem três tendências de modelos para previsão de desempenho de misturas asfálticas quanto à formação de deformação permanente: modelos a partir de ensaios de comportamento reológico tipo *creep* dinâmico, modelos desenvolvidos a partir de resultados obtidos com equipamentos simuladores de tráfego e correlações entre o tráfego e o afundamento na trilha-de-roda.

Prepondera a utilização dos dois primeiros, uma vez que as correlações de campo são limitadas às condições de similaridade da comparação. Quanto aos outros dois tipos, não há uma tendência definida pela comunidade técnica.

3 DEFORMAÇÃO PERMANENTE DE MISTURAS ASFÁLTICAS

O estudo da deformação permanente das misturas asfálticas foi conduzido através do simulador de tráfego tipo *tracking test* e do ensaio de *creep* dinâmico.

3.1 Equipamento *tracking test*

O Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, da França, desenvolveu um equipamento para auxiliar no estudo do comportamento mecânico das misturas asfálticas, denominado *l'ornièreur type LPC* ou, como é conhecido na literatura

brasileira, simulador de tráfego. Esse equipamento tem por objetivo estudar o comportamento das misturas asfálticas, quando submetidas a um número elevado de ciclos de uma roda passando sobre um trecho definido de uma placa com material a ser ensaiado previamente. Ele é constituído basicamente de uma mesa de compactação para a produção da placa de mistura asfáltica (Figura 2), do simulador de tráfego propriamente dito (Figura 3) e do conjunto para preparo do material a ser ensaiado.



Figura 2 Equipamento compactador para a produção das placas de misturas asfálticas



Figura 3 Equipamento para ensaio de simulação de tráfego

A compactação dos corpos-de-prova em laboratório foi realizada no equipamento compactador em que a mistura asfáltica foi lançada em placas retangulares com dimensões de 180mm por 500mm e altura de 5 ou 10mm. Após serem compactados, os corpos-de-prova foram submetidos à ação da roda do simulador de tráfego, conforme esquema apresentado na Figura 4, à frequência de 1Hz e nas seguintes condições: temperatura 25, 30, 50 e 60°C; pressão pneu/placa de 0,55 e 0,64MPa; espessura da placa de 5 e 10mm nas faixas granulométricas II e III.

As medidas da deformação permanente foram feitas para cada 30, 100, 1.000, 3.000, 10.000, 30.000 ciclos. O afundamento foi determinado pela média de 15 pontos de leitura.

Os seguintes parâmetros puderam ser estudados: temperatura, pressão de contato pneu/placa, espessura da placa e faixa granulométrica. Os resultados da deformação permanente encontram-se na Tabela 5, no item 4.

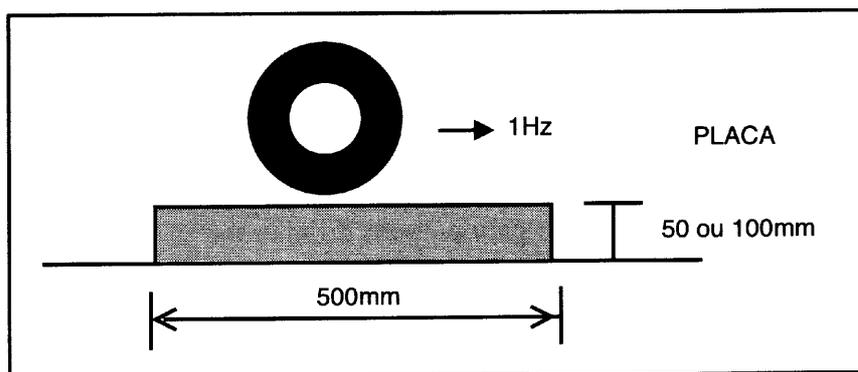


Figura 4 Esquema do ensaio de deformação permanente do simulador de tráfego

3.2 Creep dinâmico

Com a finalidade de verificar o comportamento reológico das misturas asfálticas e as potencialidades desse ensaio para previsão de deformação permanente, foi desenvolvido no LTP-POLI-USP, para esta pesquisa, o equipamento para o ensaio de *creep* com aplicação de carregamento cíclico em corpos-de-prova, como pode ser visto na Figura 5 e, de forma esquemática, na Figura 6, no final deste artigo.

Considerando que no Brasil não existe norma técnica desse ensaio para materiais asfálticos, foi tomada como referência para a realização dos testes a norma ASTM D-4123-98, recomendada para ensaio de resiliência. O artigo escrito por Mallik (1995),²¹ sobre ensaio de *creep* dinâmico, também serviu para orientar a execução dos testes.

A carga adotada foi tal que pudesse impor ao corpo-de-prova as condições de tensão de compressão equivalente a 0,55MPa (5,6kg/cm²) e 0,64 MPa (6,5kg/cm²), enquanto as temperaturas de ensaio foram de 25, 40 e 50°C.

Considerando que o ensaio de *creep* dinâmico pode ser realizado fazendo-se adaptações em uma prensa para ensaio Marshall, com acionamento do pistão através de controle eletromecânico ou até mesmo manual, procurou-se trabalhar com tempos possíveis de ser controlados tanto por servomecanismos comuns quanto manualmente. Nessa premissa, o máximo de tempo que o equipamento do laboratório LTP-POLI-USP permitia trabalhar era de 10 segundos.

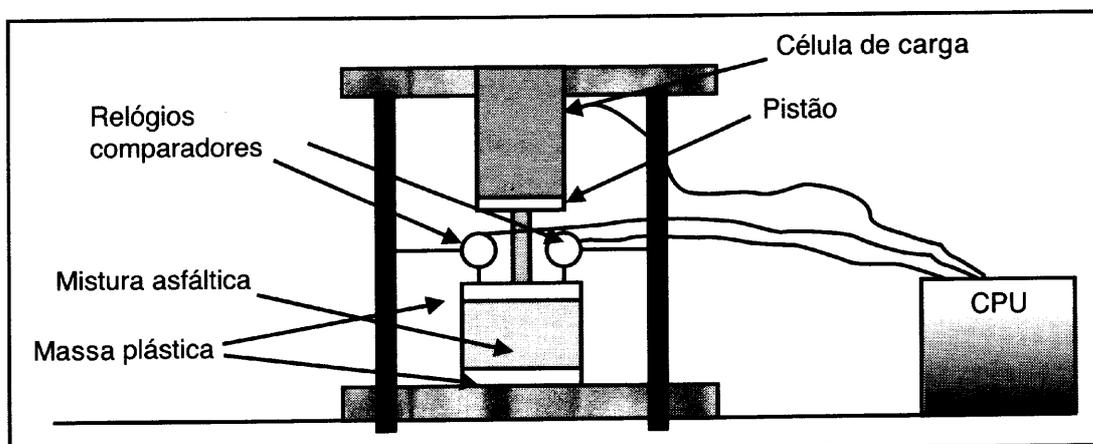


Figura 5 Esquema geral do equipamento para ensaio de *creep* (LTP-POLI-USP)

O equipamento utilizado consistia de uma estrutura metálica para suportar a célula de carga e o pistão que era acionado por um servomecanismo pneumático. A célula de carga adotada, de capacidade nominal de 5.000N, foi instrumentada de tal forma que os valores lidos eram armazenados na memória de um computador. Para fazer a leitura dos deslocamentos do corpo-de-prova, foram utilizados dois relógios comparadores eletrônicos de sensibilidade 0,001mm, que também emitiam sinal elétrico para o computador.

Mallick (1995)²¹ recomenda que o ensaio seja realizado com tempo de carregamento de 0,1s e sem carga de 0,9s. No entanto, o equipamento que foi montado no LTP-POLI-USP apresentava restrições, e o tempo mínimo para a estabilização da carga era de 0,5s. Devido a essas dificuldades, ajustou-se o ciclo para o tempo máximo permitido, ou seja, 20s.

Para facilitar o ajuste do corpo-de-prova na prensa e garantir a aplicação de carregamento axial, foi realizado um capeamento em ambas as faces com massa plástica, de secagem em 24 horas. O aquecimento do corpo-de-prova era conseguido deixando-o em banho-maria durante 2 horas e em seguida era levado para a prensa onde era mantido aquecido. O ensaio foi realizado da seguinte maneira:

- O corpo-de-prova utilizado foi moldado de acordo com a dosagem Marshall com 75 golpes por face, pois a pesquisa foi desenvolvida para tráfego pesado.
- Foi realizada uma seqüência de 30 ciclos com aproximadamente 2/3 da carga de ensaio, para que houvesse a estabilização do corpo-de-prova.
- Em seguida, foi ajustado o pistão sobre a célula de carga, e esta conectada a uma placa ligada a um PC para aplicação do carregamento no corpo-de-prova.
- O corpo-de-prova foi submetido a 50 ciclos de carga.

4 ENSAIOS, RESULTADOS E ANÁLISE DOS DADOS

Inicialmente foi realizada a dosagem Marshall para as faixas granulométricas II e III. As Tabelas 2 e 3 apresentam, respectivamente, o traço utilizado em cada faixa e os resultados da dosagem comparados com os valores preconizados pela especificação da PMSP.

A Tabela 4 apresenta os resultados dos ensaios de tração por compressão diame-tral, executados de acordo com a norma DNER xxx, nas temperaturas de 25, 40, 50 e 60°C para as faixas granulométricas II e III.

TABELA 2

Traço da mistura asfáltica – CBUQ – faixas granulométricas II e III – PMSP

Material	Faixa II		Faixa III	
	Composição dos agregados (%)	Composição da mistura (%)	Composição dos agregados (%)	Composição da mistura (%)
Brita 2"	15,0	14,35	15,0	14,35
Brita 1"	15,0	14,35	15,0	14,35
Brita 1/2"	15,0	14,35	15,0	14,35
Pedrisco	15,0	14,35	15,0	14,35
Pó de pedra	40,0	38,3	40,0	38,3
CAP 20	-	4,30	-	4,30

TABELA 3

Comparação entre os valores característicos das misturas asfálticas

Características do ensaio	Faixa II – valores		Faixa III – valores	
	Especificação	Obtidos	Especificação	Obtidos
Volume de vazios (%)	4-7	4,6	3-5	3,6
Relação betume/vazios (%)	65-72	69,0	75-82	77,5
Estabilidade (kgf)	750-1500	1270	750-1500	1140
Fluência	1/100"	8-16	8-16	13,5
	1/100cm	-	32,51	34,25
Massa específica aparente (kg/m ³)	-	2,424	-	2,407
Massa específica teórica (kg/m ³)	-	2,529	-	2,491
Massa específica real média (kg/m ³)	-	2,708	-	2,703
Teor ótimo de betume (%)	4,0-5,5	4,3	4,5-6,5	5,2
Relação estabilidade/fluência	-	39,06	-	33,24

Energia de compactação: 75 golpes por face

TABELA 4

Resistência média à tração por compressão diametral em função da temperatura

Faixa PMSP	Temperatura (°C)	Resistência média à tração σ_R (MPa)
II	25	2,040
	40	0,717
	50	0,405
	60	0,272
III	25	1,322
	40	0,373
	50	0,269
	60	0,214

TABELA 5

Resumo dos resultados dos ensaios de deformação específica permanente no simulador de tráfego

Condições de execução do ensaio no simulador de tráfego tipo LPC								
N	H5F2P5.6T25	H5F2P6.5T25	H5F3P5.6T25	H5F3P6.5T25	H10F2P5.6T25	H10F2P6.5T25	H10F3P5.6T25	H10F3P6.5T25
0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
100	0,040	0,143	0,289	0,180	0,020	0,024	0,069	0,049
300	0,077	0,195	0,360	0,223	0,037	0,045	0,120	0,102
1.000	0,116	0,293	0,475	0,520	0,071	0,088	0,188	0,213
3.000	0,186	0,420	0,563	0,642	0,116	0,134	0,363	0,442
10.000	0,273	0,654	0,733	0,926	0,243	0,319	0,533	0,917
30.000	0,418	0,942	0,983	1,329	0,418	0,633	0,783	1,256
N	H5F2P5.6T40	H5F2P6.5T40	H5F3P5.6T40	H5F3P6.5T40	H10F2P5.6T40	H10F2P6.5T40	H10F3P5.6T40	H10F3P6.5T40
0	-	-	-	-	-	-	-	-
100	0,128	0,653	0,548	0,730	0,141	0,028	0,375	0,564
300	0,260	1,033	0,953	1,006	0,265	0,058	0,472	0,712
1.000	0,457	1,453	1,434	1,717	0,433	0,103	0,782	1,154
3.000	0,872	2,286	2,204	2,507	0,621	0,174	1,203	1,657
10.000	1,502	3,197	3,336	3,551	0,968	0,421	1,818	2,274
30.000	2,120	4,322	4,939	4,998	1,425	0,851	2,942	3,239
N	H5F2P5.6T50	H5F2P6.5T50	H5F3P5.6T50	H5F3P6.5T50	H10F2P5.6T50	H10F2P6.5T50	H10F3P5.6T50	H10F3P6.5T50
0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
100	0,145	0,740	0,740	1,912	0,205	0,085	0,510	1,521
300	0,260	1,153	1,153	2,553	0,295	0,115	0,740	2,291
1.000	0,541	1,600	1,600	3,186	0,561	0,183	0,971	2,730
3.000	0,960	2,521	2,521	3,971	0,725	0,280	1,520	3,429
10.000	1,563	3,412	3,412	4,851	1,105	0,605	2,351	4,081
30.000	2,496	4,907	4,907	5,802	1,637	1,031	3,476	5,311
N	H5F2P5.6T60	H5F2P6.5T60	H5F3P5.6T60	H5F3P6.5T60	H10F2P5.6T60	H10F2P6.5T60	H10F3P5.6T60	H10F3P6.5T60
0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
100	0,561	1,481	1,227	2,170	0,061	0,262	0,920	1,645
300	0,891	2,379	1,627	3,072	0,092	0,505	1,342	2,175
1.000	1,495	3,337	2,542	4,055	0,223	0,957	2,061	3,580
3.000	1,918	4,954	3,993	6,411	0,413	1,601	3,231	6,184
10.000	3,539	6,995	6,302	9,124	0,823	3,565	4,872	8,103
30.000	5,418	9,149	9,916	12,644	1,555	4,660		

Legenda: cada ensaio médio foi denominado pelas letras H_F_P_T_ onde:

- N** = número de repetições
- P** = pressão de contato pneu/placa em MPa
- σ_{TD} = tensão de tração por compressão diametral em MPa
- H** = espessura da placa em cm
- T** = temperatura em °C

Exemplo (primeira coluna): H5F2P5.6T25 corresponde à espessura de 5cm, faixa II, pressão de 5,6kg/cm² (0,55MPa) e temperatura de 25°C.

Foi realizada a correlação estatística entre os valores da deformação permanente, para pressões (P) de 0,55 e 0,64MPa, nas faixas granulométricas II e III e nas temperaturas (T) 25, 40 e 50°C,

e também os valores de tensão de tração por compressão diametral (σ_{TD}), constantes na Tabela 6. A equação encontrada foi:

$$\varepsilon \text{ (mm)} = 1,16 N^{0,38} P^{3,69} \sigma_{TD}^{-0,123} T^{-0,01}$$

com coeficiente de determinação (r^2) igual a 0,80.

TABELA 6

Variação do coeficiente angular da curva de deformação específica permanente x tempo no ensaio de *creep* dinâmico para faixas granulométricas II e III

Faixa granulométrica	Coeficiente angular da curva de deformação específica permanente x tempo ((mm/mm)/tempo)		
	25°C	40°C	50°C
II	0,00027	0,00096	0,00147
III	0,00078	0,00178	0,00190

O gráfico da Figura 6 apresenta a correlação entre a deformação específica obtida a partir do ensaio com simulador de tráfego e a obtida através do ensaio de *creep* dinâmico.

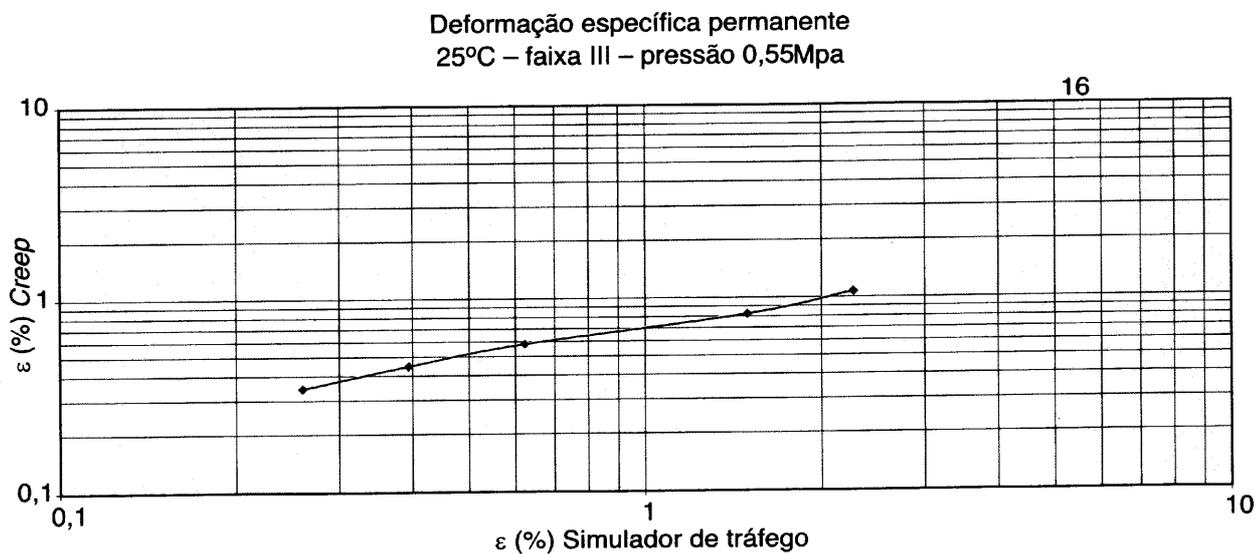


Figura 6 Curva de correlação entre a deformação permanente obtida a partir do simulador de tráfego e a oriunda do ensaio de *creep* dinâmico

5 CONCLUSÃO

Ainda que este estudo esteja na fase preliminar de avaliação das potencialidades do ensaio de *creep* dinâmico, verifica-se, com os dados, que existe uma boa correlação.

Com relação aos dados obtidos a partir do ensaio de *creep* dinâmico pode-se afirmar:

- a) Foram evidenciadas as seguintes tendências da deformação específica permanente:
 - é crescente com o aumento da temperatura;
 - é função do tempo de exposição e da pressão de carregamento.
- b) Sua execução e interpretação é simples e tem a grande vantagem de trabalhar com corpos-de-prova provenientes do ensaio Marshall, que, na prática, facilita a assimilação da implantação por parte dos laboratórios existentes.
- c) As curvas de deformação de *creep* para as misturas de faixas granulométricas II e III apresentam coerência de resultados, de acordo com o obtido no simulador de tráfego, e permitem visualizar a influência da estrutura granular no aumento da resistência à deformação permanente.
- d) O efeito da pressão da carga foi estudado e verificado que a tendência observada com o simulador de tráfego também se repetiu no ensaio de *creep*, ou seja, quanto maior a carga, maior a deformação permanente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO. ESP – 11/92. Especificação de serviço – camadas de concreto betuminoso usinado a quente, São Paulo, 1992.
2. YODER, E.J. & WITCZAK, M.W. *Principles of pavement design*. 2 ed. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1975.
3. ASTM – American society for testing and materials D5340/1997. EUA: ASTM, 1992.
4. DNER – Departamento nacional de Estradas de Rodagem TER 001/78. Defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos. Rio de Janeiro.
5. HUBER, A.H., DECKER, D.S. *Engineering properties of asphalt mixtures and the relationship to their performance*. In: AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS STP 1265, EUA, p.1, 1995.
6. HUDSON, W.R. Asphalt technology conference of the americas, University of Texas at Austin, 2nd, 1998. EUA, *Future Directions of Pavement Management*, p 1-7.

7. BROWN, S.F. Essais triaxiaux sur enrobés bitumineux en chargement répété ou en fluage bitumes et enrôbes. Bull. Liaison Laboratoire Ponts et Chaussées, spécial Bitumineux, France, p.125, décembre 1977.
8. AUSSÉDAT, G. L'essai de fluage dynamique dans la formation des enrobés et le dimensionnement des chaussées. Bull. Liaison Laboratoire Ponts et Chaussées, p.139, spécial, décembre 1977.
9. GRIMAU, J-P., HIERNAUX, R. Utilisation de l'ornièreur type LPC. Bull, Liaison Laboratoire Ponts et Chaussées, spécial, p.165, 1977.
10. BROSSEAUD, Y., DELORME, J., HIERNAUX, R. Use of LPC Wheel-tracking rutting tester to select asphalt pavements resistant to rutting. *Transportation Research Record*, 1384, p.59-68, 1993.
11. CORTÉ, J.F., BROSSEAUD, Y., SIMONCELLI, J-P., CAROFF, G. TRANSPORTE RESEARCH MEETING. Investigation of rutting of asphalt surface layers: influence of binder and of configuration of axle loading. Washington, D.C., january, 1994, p.1-22, (paper n° 94 0221).
12. CORTÉ, J.F., BROSSEAUD, Y., KERZREHO, J-P. *Study of rutting of wearing courses on the L.C.P.C. test track*. In: 8th International Conference on Asphalt Pavement, Seattle, EUA, p.1555-1576, 1997.
13. NEMESDY, E., AMBRUS, K., PALLÓS, I., TOROK, K. The complex mechanical investigation system of asphalts at the Technical University, Budapest. *Mechanical Test for Bituminous Mixes – Characterization, Design and Control*. London: Chapman and Hall, p.561-574, 1990.
14. SEKENA, M., GSCHWENDT, I. The methods for testing of asphalt mixes deformation properties. *Mechanical Test for Bitunous Mixes – Characterization, Design and Control*. London: Chapman and Hall, p.607-616, 1990.
15. MONISMITH, C.L. Rutting prediction in asphalt concrete pavements. *Transportation Research Record*, 616, p.2-8, 1976.
16. MONISMITH, C.L.; HICKS, R.G., FINN, F.N. Evaluation of tests for asphalt-agregate mixtures which relate to field Performance. *Mechanical Test for Bituminous Mixes*. London: Chapman and Hall, p.504-539, 1990.
17. SARAF, C.L., SMITH, W.S., FINN, F.N. Rut depht prediction. *Transportation Research Record*, 616, p.9-14, 1976.
18. THOMPSON, M.R. & NAUMAN, D. Strength and deformation characteristics of pavement structures: rutting rate analyses of the AASHO road test flexible pavements. *Transportation Research Record*, 1384, p.36-48, 1993.
19. LOO, P.J.V. de. Practical approach to the prediction of rutting in Asphalt pavements: The Shell Method. *Transportation Research Record*, 616, p.15-21, 1976.
20. FWA, T.F., TAN, S.A. *Laboratory evaluation of rutting potencial of asphalt mixtures, effects of aggregates and minerala fillers on asphalt mixture performance*. Richard C. Meininger (ed.). ASTM, STP 1147, p.211-250, 1992.
21. MALLICK, R.B., AHLRICH, R., BROWN, E.R. *Potential of dynamic creep to predict rutting, engineering properties of asphalt mixtures and the relationship to Their Performance*. Americam Society for Testing Materials, ASTM, STP 1265, p.194-212.

22. CHUA, K.M., ROO, M.C. *Comprehensive characterization of performance-related properties of asphalt concrete mixtures through dynamic testing, engineering properties of asphalt mixtures and the relationship to their performance*. American Society for Testing Materials, ASTM, STP 1265, p.213-230, 1995.
23. WILLIAMS, R.C., PROWELL, B.D. ANNUAL MEETING OF THE TRB, 78th. Comparison of laboratory wheel-tracking test results to westrack performance. Washington D.C., p.17, 1999. (Paper submitted for presentation and publication).
24. ASCHENBRENER, T. Asphalt concrete mixture design and performance: comparison of results obtained from the LCPC rutting tester with pavements of known field performance. *Transportation Research Record*, 1454, p.66-73, 1994.
25. HUBER, G.A., ZHANG, X., FONTAINE, R. Superpave models: predicting performance during design and construction. *Transportation Research Record*, 1545, p.105-112, 1996.
26. WEISSMAN, S.L. The influence of tire-pavement contact stress distribution on the development of distress mechanism in pavements. Paper submitted or presentation and publication at the 78th annual meeting of the TRB, Washington D.C., p.1-12, 1999.
27. WILLIAMS, R.C. PROWELL, B.D. ANNUAL MEETING OF THE TRB, 78th. Comparison of laboratory wheel-tracking test results to westrack performance. Washington D.C., p.1-25, 1999. (Paper submitted for presentation and publication).
28. BERNUCCI, L.B., CAMPOS, O.S., DOMINGUES, F.A., NETO, A. M.C., RABAÇA, S.R. 9º CONGRESO IBERO-LATINO AMERICANO DEL ASFALTO. Influência do tipo de asfalto no comportamento à deformação permanente de misturas asfálticas. Assuncion, Paraguai, p.451-467, 1997.
29. MERIGHI, J.V., BERNUCCI, L.B., SUZUKI, C.Y. Utilização de simulador de tráfego para análise de comportamento de misturas asfálticas. *Anais da 29ª Reunião Anual de Pavimentação*, Cuiabá, v.3, 1995.