

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

PTR 3521-Avaliação e Reabilitação de Pavimentos

Professores Liedi Bariani Bernucci e José Tadeu Balbo



Relatório de Pistas-teste e simuladores de tráfego no mundo: benefícios e limitações

Samuel Sakanoue Leite 4637175

Thiago Ferraz 8994988

São Paulo
Abril 2018

Índice

1. INTRODUÇÃO	3
2.SIMULADORES DE TRÁFEGO	3
2.1. FINALIDADES DA UTILIZAÇÃO DE SIMULADORES DE TRÁFEGO EM ENSAIOS ACELERADOS	5
3.PISTAS TESTE	8
3.1. O WASHO road test	9
3.2. AASHO road test	10
4. Referências	14

1. INTRODUÇÃO

Com o crescimento da utilização do transporte rodoviário no começo do século XX, tornou-se necessário a construção de pavimentos que suportassem cargas maiores para um número maior de aplicações. Entretanto, inicialmente a única forma de se analisar o desempenho de um novo pavimento era a inserção deste em um trecho de uma via e o seu estudo a longo prazo. Tendo em vista que resultados significativos eram obtidos após anos de estudo, foram propostos formas de se simular e acelerar o tráfego através da construção de máquinas que aplicam cargas cíclicas e a coleta dos dados e respostas imediatas, e pela construção de pistas teste que eram submetidas a um tráfego pesado, e os danos e deformações nas pistas eram registrados ao longo do tempo.

Por fim, por mais que existam métodos matemáticos e softwares que simulem de forma satisfatória as respostas esperadas ao longo do tempo em um pavimento, a utilização de simuladores de tráfego (usados principalmente para a avaliação de pavimentos em operação) e pistas teste (para a determinação do desempenho de pistas experimentais).

2.SIMULADORES DE TRÁFEGO

Simuladores de tráfego consistem em grandes equipamentos capazes de simular em um curto período de tempo o número de passagens previstas em projeto do veículo tipo sobre determinada seção pavimentada. Para tanto, esses equipamentos em geral dispõem de uma ou duas rodas de caminhão através das quais ocorre uma aplicação controlada de uma carga de roda igual ou acima do limite legal permitido

Seja em um pavimento-teste ou em uma via existente, a aplicação de carga se dá pela passagem repetida da(s) roda(s) sobre a seção a ser estudada de modo a se determinar a resposta do sistema e o seu desempenho sob condições controladas e aceleradas de acúmulo de danos num espaço limitado de tempo (METCALF, 1996).

Dentre os equipamentos que podem ser classificados como simuladores de tráfego é possível fazer uma divisão em três categorias quanto ao seu modo de operação:

- Os simuladores de campo fechado, que aplicam a carga de roda através da rotação em torno de um pilar central, em uma pista circular;
- Os simuladores lineares, nos quais os dispositivos de rodas se movem linearmente através de uma seção-teste linear como os diversos simuladores móveis de tráfego;
- Os simuladores em pistas experimentais fechadas, nos quais os movimentos de rodas se dão de forma livre ao longo da pista-teste de forma circular ou oval;



Figura 2.1- Simulador Manège de fadigue de campo fechado



Figura 2.2- Simulador Linear HVS

2.1. FINALIDADES DA UTILIZAÇÃO DE SIMULADORES DE TRÁFEGO EM ENSAIOS ACELERADOS

No desenvolvimento de projetos para construção ou reabilitação de pavimentos, comumente engenheiros rodoviários têm utilizado modelos de desempenho de pavimentos desenvolvidos principalmente na América do Norte e na Europa. Entretanto, tais modelos apresentam limitações e podem não cobrir com a exatidão necessária os diversos aspectos observados em rodovias de todo o mundo.

De acordo com (AZAMBUJA, 2004), Enquanto os ensaios de laboratório se afastam das condições de carregamento e das características da estrutura, e os ensaios em rodovias demandam um tempo longo para a obtenção de resultados, os ensaios acelerados reduzem o tempo de experimento, permitem a análise de diversos fenômenos relativos ao tráfego, além de possibilitarem a extrapolação dos resultados.

Tomando-se conhecimento de algumas das limitações dos modelos de desempenho, é possível identificar benefícios que justificam a utilização de ensaios acelerados em tamanho real para diversos fins, dentre os quais foram listado por (METCALF, 1996):

1. Avaliar pavimentos existentes para níveis de tráfego mais elevados, visto que a maioria dos métodos de dimensionamento vigentes foram desenvolvidos com base em cargas e frequências de aplicação inferiores às atuais;
2. Permitir o emprego de novos materiais e estruturas de pavimento em métodos de dimensionamento;
3. Avaliar os materiais de pavimentação não-tradicionais tais como os provenientes de reciclagens;
4. Avaliar os processos de estabilização e tratamentos geossintéticos para o subleito;
5. Determinar o processo de deterioração dos pavimentos;

6. ·Avaliar os efeitos dos novos eixos, cargas e configurações de rodas;
7. ·Investigar os efeitos ambientais;
8. ·Determinar a vida remanescente de um pavimento.

2.2. ASPECTOS IMPORTANTES PARA ENSAIOS ACELERADOS EM PAVIMENTOS

Ao se realizar experimentos com simuladores de tráfego para estudo de determinada seção pavimentada é necessário que se atente para uma série de fatores de modo que a experiência forneça resultados congruentes não apenas com a via que está sendo posta à prova, como também com vias para as quais o estudo é passível de extrapolação.

Além de considerar-se para o experimento fatores como envelhecimento do asfalto, materiais de pavimentação, instrumentação utilizada e o monitoramento durante os ensaios, dois aspectos se destacam: Tráfego e variáveis climáticas

2.2.1 TRÁFEGO

Dentre os elementos de tráfego, o fator que possui influência mais direta sobre os resultados do ensaio seria a carga de roda. Dessa forma, estudos desenvolvidos pela AASHTO se encarregaram de obter uma equação para um fator de equivalência entre a carga aplicada e o eixo padrão:

$$FEC = \left(\frac{W_i}{W_p} \right)^b$$

Onde:

Wi: carga por eixo genérica

Wp: carga por eixo tomada como padrão

b: expoente definido pela AASHTO como próximo de 4.

Conhecida como a lei da quarta potência, a equação fornece uma curva que ilustra bem a importância da definição do plano de carregamento a ser realizado durante os ensaios acelerados com o emprego de simuladores de tráfego, ainda que não seja aplicável a todos os casos.

Outros fatores de tráfego que devem ser citados são:

- Características do Pneu e Pressão de Contato: pode haver pressão não uniforme na área de contato

pneu-pavimento, sendo observados picos de pressão na superfície do pavimento superiores ao dobro da pressão de inflação do pneu.

- Deslocamento Lateral Transversal: A canalização do tráfego pode ser regulada na maioria dos simuladores de tráfego durante os ensaios acelerados através da determinação do deslocamento lateral máximo
- Sentido e velocidade do carregamento: Carregamentos em uma seção feita em ambos os sentidos pode não representar as condições reais de operação da via, assim como ensaios em baixa velocidade, ambos característicos do simulador do tipo HVS
- Suspensão e efeitos dinâmicos: Os efeitos dinâmicos de diferentes tipos de suspensão podem representar pontos críticos na deterioração de um pavimento.
- Tipo e configuração de eixo: Os ensaios acelerados também permitem o emprego de diferentes tipos e configurações de eixos, tanto nas pistas testes dedicadas, através do emprego de diferentes veículos de configurações conhecidas, quanto em simuladores de tráfego, através de alteração no trem de prova empregado.

2.2.2 VARIÁVEIS CLIMÁTICAS

Elementos climáticos como temperatura e umidade consistem em importantes condições de contorno a serem consideradas em ensaios acelerados, o que muitas vezes as tornam variáveis determinantes para a invalidação da extrapolação de modelos empíricos desenvolvidos em países europeus ou nos Estados Unidos, para regiões de climas mais quente e úmido.

Ambos os elementos citados influenciam diretamente na deflexão de um pavimento ao ser submetido a uma carga de roda, Como estudado por HUGO & MARTIN (2004):

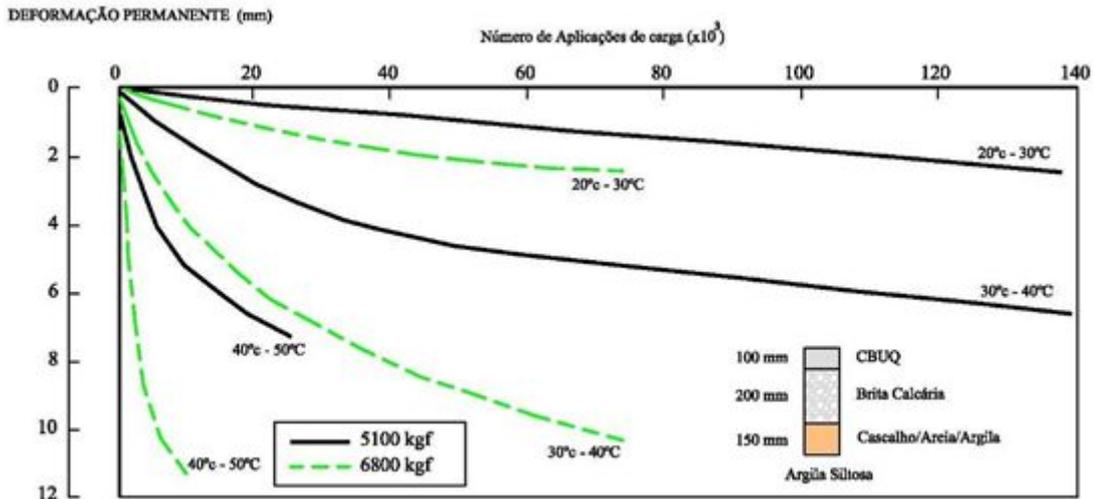


Figura 2.3 – Efeitos da temperatura no desempenho dos pavimentos.

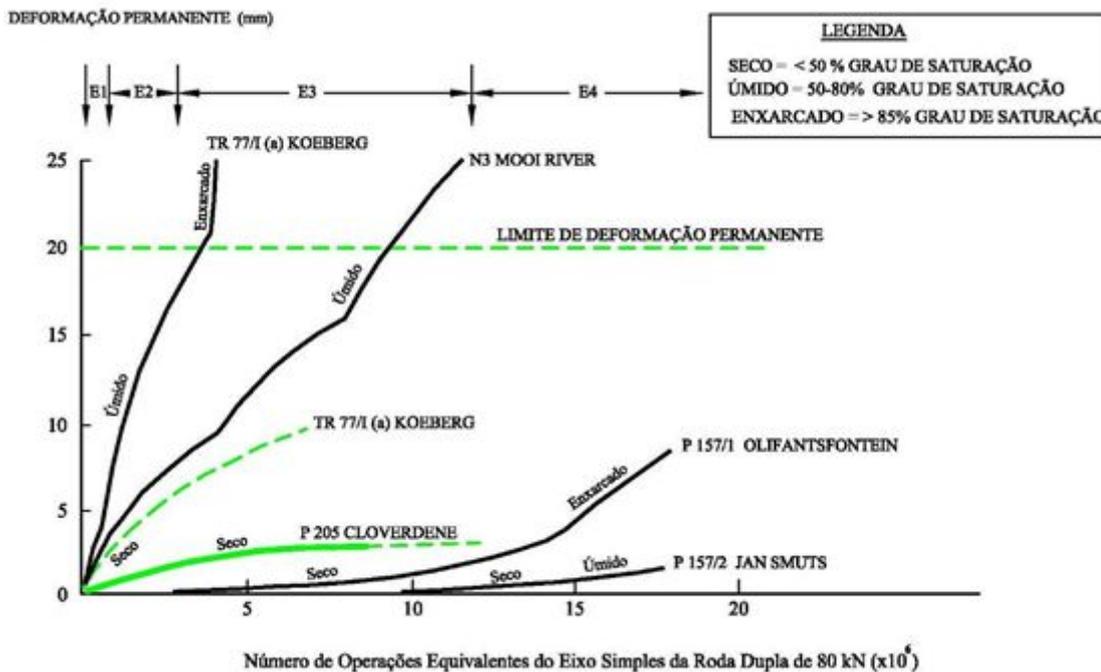


Figura 2.4 – Efeito da saturação no desempenho de pavimentos asfálticos de base granular ensaios com HVS.

3.PISTAS TESTE

Uma maneira prática e que já vem sendo empregada há quase 90 anos de se avaliar o desempenho de um pavimento consiste na inserção deste em um trecho de uma via e o seu estudo ao longo dos anos. Entretanto, apesar de ser um método que leva em consideração efeitos climáticos e o tráfego real, a obtenção de resultados significativos se dá somente depois de alguns anos de uso, o que torna o estudo muitas vezes excessivamente demorado. Como alternativa, foi proposto a construção de um pavimento em círculo e a sujeição deste a um tráfego pesado e

de alta densidade através de simuladores de tráfego, e mais tarde tais foram adaptados para pistas lineares também.

Esse modo acelerado de teste se constituiu na base para a elaboração dos experimentos WASHO (Western Association of State Highway Officials) e AASHO (American Association of State Highway and Transportation Officials) road tests, testes de tamanha importância devido à suas descobertas, que seus resultados ainda são aplicados.

3.1. O WASHO road test

Originalmente financiado pelo Western Association of State Highway Officials, tinha como objetivo inicial o estudo da performance de pavimentos de concreto asfáltico de diferentes espessuras submetidas a cargas axiais repetidas. Foi construído em cima de um solo silte argiloso no sul do estado de Idaho.

Foram construídas duas pistas teste idênticas, cada uma com um par de pistas de 620m, com um par de faixas cada, interligadas no final por uma curva fechada de raio de 50m. Além disso as faixas possuíam a cada intervalo de 100m uma transição de 30m em que ambas a espessura da base e do concreto asfáltico mudavam. Os testes se iniciaram em novembro de 1952 por um curto período de tempo até serem interrompidos em julho de 1953 e seguiram até o final de maio de 1954 com um intervalo de dezembro de 1953 até meados de fevereiro de 1954 devido ao congelamento da pista no inverno.

A performance da faixa foi medida através das deformações permanentes na via, nos trilhos de roda e entre os trilhos de roda em intervalos mensais, além da coleta de dados a respeito de trincamentos e deformações elásticas através de uma viga benkelman.

Tabela 3.1-Indica a relação eixo e carga, e onde foram aplicados

Número de Eixos	Carga (kg)	Pista e faixa
3 simples	8160 (em dois eixos)	Pista 1, faixa interna
3 simples	10100kg (em dois eixos)	Pista 1, faixa externa
1 simples e um tandem duplo	14500kg (em cada par de eixos)	Pista 2, faixa interna
1 simples e um tandem duplo	18100kg (em cada par de eixos)	Pista 2, faixa externa

Em relação aos resultados e conclusões, foi verificado que nos trechos com menor espessura, as deformações nos primeiros 30000 ciclos foram altas, enquanto que nos 100000 ciclos restantes as deformações foram comparativamente

pequenas. Além disso, quando o experimento foi retomado em fevereiro de 1954, após o período do inverno, que causou o congelamento das pistas, as deformações se intensificaram na seção de 50mm de asfalto, fenômeno que não ocorreu de forma expressiva nas pistas com 100mm de espessura de asfalto. Observou-se também que o início do experimento coincidiu com o período em que foram constatados as maiores deformações devido à soma do efeito da compactação inicial da base e subbase e as temperaturas elevadas do pavimento (entretanto nesse experimento as ações de cada um dos agentes não foi analisado separadamente).

Também foi observado que nos pavimentos de revestimento asfáltico de 50mm as deformações não só foram maiores, mas também o seu comportamento mais errático com o aumento do número de ciclos (ver figura 3.2) se comparado ao mesmo revestimento porém com o dobro de espessura. Por último, foi possível verificar que o eixo simples promovia deformações muito maiores no pavimento do que um eixo tandem.

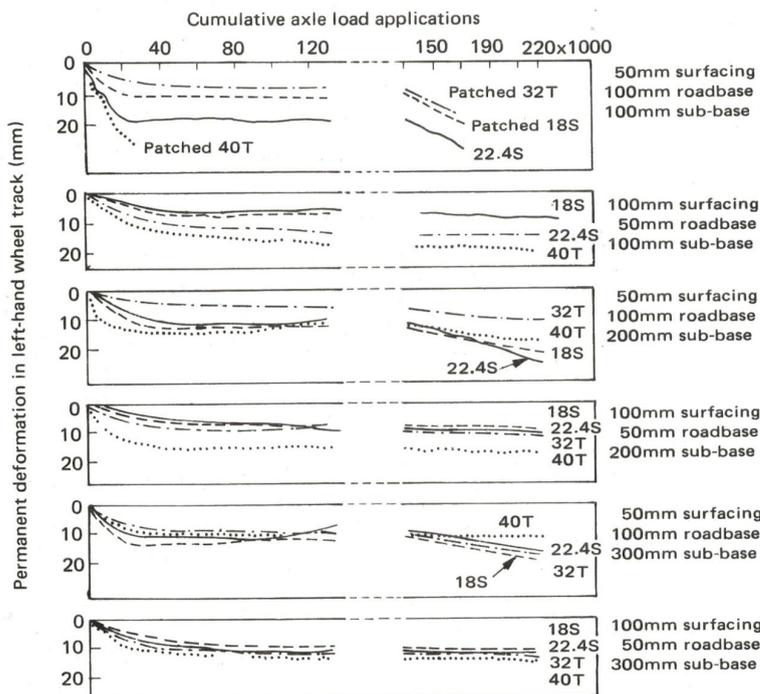


Figure 17.10 WASHO road test. Development of permanent deformation in the left-hand wheel tracks

Figura 3.1-Gráficos mostrando as deformações medidas em cada pista para diferentes as cargas aplicadas

3.2. AASHO road test

Se por um lado a AASHO road test (realizado no estado de Illinois), assim como a WASHO, tinha como objetivo a determinação da relação entre carga e deformação em um pavimento, a AASHO não só analisou uma combinação muito maior de pavimentos, mas também introduziu o conceito de serventia - ou seja -

ajudou a classificar a trafegabilidade de uma determinada pista através da análise de suas condições físicas.

A primeira parte do experimento consistiu na determinação da serventia de uma via, ou “serviceability”, através da avaliação por parte de uma série de motoristas de 99 trechos de estradas diferentes nos estados de Illinois, Minnesota e Indiana. A avaliação, apelidada de “present serviceability rating” (PSR), consistia na identificação do trecho analisado, a atribuição de uma nota à trafegabilidade neste, e por fim se o trecho era aceitável ou não na opinião do motorista (figura 3.4). Tal foi importante uma vez que mostrou que a condição estrutural do pavimento não necessariamente está intrinsecamente ligada à segurança e o conforto de trafegabilidade. Por fim, tais resultados ajudaram na formulação do índice de “present serviceability index” (PSI) (figura 3.5), e através das características físicas observadas na via, foi estabelecido uma nota de desempenho à esta, que ia de 0 a 5, em que 2.5 representava um pavimento que necessitaria de manutenção em um futuro próximo, e 1.5 um pavimento muito ruim.

$$PSI = 5.03 - 1.91 \log(1 + \overline{SV}) - 1.38 \overline{RD}^2 - 0.01 \sqrt{C + P} \quad (17.1)$$

where \overline{RD} = the rut depth measured in inches over a 4-ft span embracing each wheel track (average for both wheel tracks)

\overline{SV} = the slope variance $\times 10^6$ (average of both wheel tracks)

C = the cracking, expressed as the area of pavement in square feet exhibiting grid-pattern cracking or other cracking leading to the breakout of the bituminous surfacing, measured over an area of 1000 ft²

P = the area of patching per 1000 ft²

Figura 3.2-Relação utilizada para a determinação do índice PSI envolvendo a profundidade do trilho de roda (RD), a variação de declividade média entre os trilhos de roda (SV), a quantidade de trincas por unidade de área (C) e a quantidade de remendos na pista por unidade de área (P)

A segunda parte consistiu na construção de seis pistas muito parecidas com as pistas WASHO exceto pelo fato da curva ser tangente de um lado da pista e do outro lado não, com duas faixas cada, e da aplicação de diferentes cargas sob trechos compostos de diferentes espessuras de base, subbase e revestimento. Em relação ao número de combinações de espessuras na composição do pavimento de revestimento asfáltico, na pista 2 haviam 18 combinações diferentes, enquanto que nas pistas 3 a 6 haviam 27, já para os trechos de concreto haviam 20 seções diferentes na pista 2 e 28 nas restantes. Em cada faixa era aplicado uma carga diferente (exceto na pista 1, que não foi submetida à carga alguma de forma a analisar o efeito da temperatura e do congelamento isoladamente). As pistas 2 a 6 foram submetidas à um tráfego mais ou menos constante, à 56km/h (36mph), 19 horas por dia, por um período de mais ou menos dois anos.

Através de medições a cada duas semanas, foram traçadas as seguintes curvas (em que 1 kip equivale a 0.225kn):

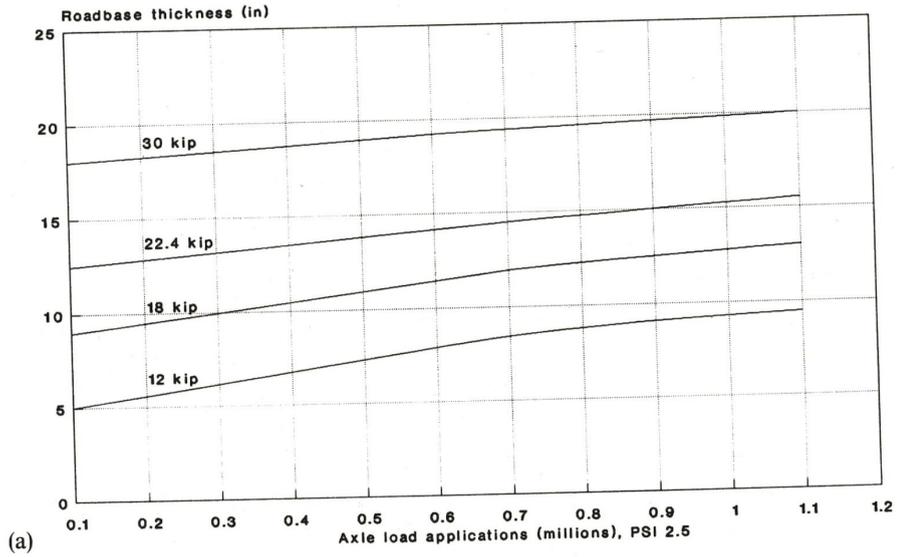
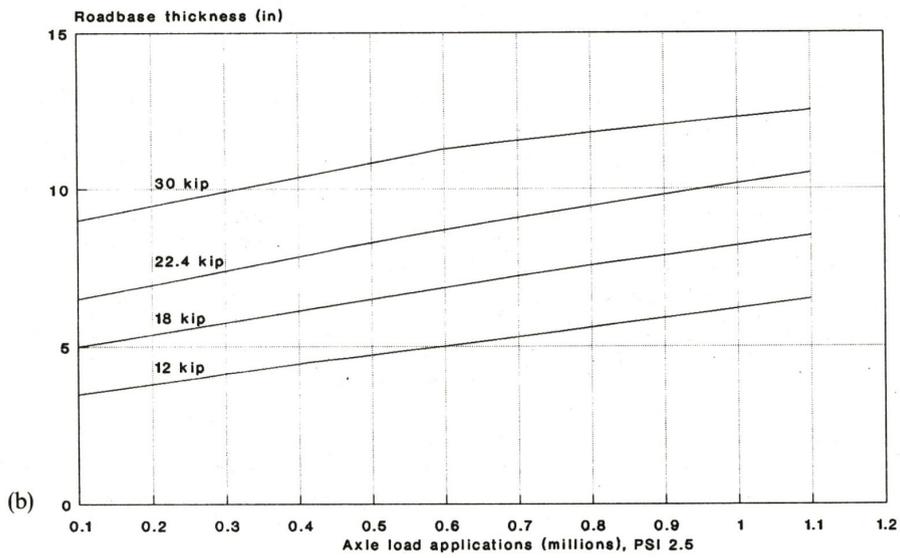


Figure 17.18 AASHO road test: effect of type of roadbase on performance: (a) crushed-stone roadbase



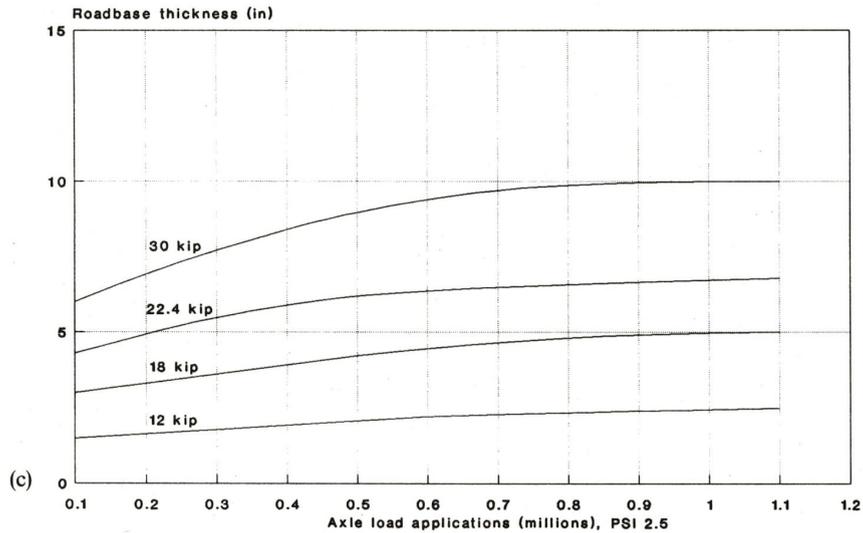


Figure 17.18—contd—AASHO roadtest: effect of type of roadbase on performance: (b) cement roadbase; (c) bituminous roadbase

Figura 3.3- Imagem mostrando a relação entre a espessura necessária (para vias de brita, cimento e asfalto respectivamente) para uma determinada carga e o número de ciclos que ela é aplicada em milhões, para um pavimento com índice PSI=2.5

Por fim, é possível comparar os dois experimentos analisados, apesar das diferenças na forma de avaliação do desempenho do pavimento. Primeiramente vale a pena destacar as que tanto a composição do solo, quanto os materiais utilizados e o clima nos dois eram muito similares. Ambos tomavam como referência as deformações no pavimento e aplicavam cargas diferentes em seções compostas de diferentes espessuras, chegando a resultados similares. Entretanto na AASHO, não só foi analisado um número muito maior de pavimentos diferentes, sob cargas diferentes, por mais tempo, mas também associou os elementos físicos das faixas com a sua trafegabilidade. Por fim vale ressaltar que os resultados encontrados nos experimentos perdem parte da sua representabilidade se diretamente aplicados para regiões com clima diferente, uma vez que nas regiões analisadas, o congelamento da base e da subbase e a grande amplitude térmica anual influenciaram no resultados.

4. Referências

AZAMBUJA, D. M. Estudo de recapeamentos asfálticos de pavimentos através de ensaios acelerados. 2004. 124 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS. Porto Alegre, 2004.

CRONEY, David, CRONEY, Paul. The Design and Performance of Road Pavements. 2ª Edição. London. McGRAW-HILL Book Company Europe.

METCALF, J. NATIONAL COOPERATIVE HIGHWAY RESEARCH PROGRAM. - NCHRP Synthesis of Highway Practice 235: Application of full-scale accelerated pavement testing. 1996. TRB, National Research Council, Washington, U.S.A, 1996.

VALE, A. F. Método de uso de simuladores de tráfego linear móvel de pista para a determinação de comportamento e previsão de desempenho de pavimentos asfálticos. 2008. 306 f. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

<https://www.floridamemory.com/items/show/105566> último acesso em 08/04/18 21:21

<http://explorer.acpa.org/explorer/places/united-states/illinois/ottawa/test-road/aasho-road-test/> último acesso em 08/04/18 21:21

<http://jornal.usp.br/ciencias/tecnologia/estudo-premiado-analisa-durabilidade-de-concreto-em-clima-tropical/> último acesso em 08/04/18 21:21

<http://www.ufrgs.br/lapav> último acesso em 08/04/18 21:27

