



O Novo Método de Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis
no Brasil - Um Workshop para todos sobre sua importância no
contexto nacional

PUCRS - FENG - Triunfo | CONCEPA - ANTT

RELATÓRIO FINAL DE PESQUISA - CONCEPA/ANTT

Curso Sobre O Novo Método De Dimensionamento De Pavimentos Flexíveis No Brasil –
Um Curso Para Alunos De Graduação Sobre Sua Importância No Contexto Nacional



PROJETO DE PESQUISA:

O NOVO MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS NO BRASIL – UM WORKSHOP PARA TODOS SOBRE SUA IMPORTÂNCIA NO CONTEXTO NACIONAL

INSTITUIÇÃO DE EDUCAÇÃO SUPERIOR PROPONENTE:

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL

UNIDADE PROPONENTE:

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA FACULDADE DE ENGENHARIA (FENG)
através da EDUCON - PUCRS

COORDENADORES DO PROJETO:

PROF. PhD LÉLIO ANTÔNIO TEIXEIRA BRITO

PROF. DR. DANIEL HASTENPFLUG

PROF^a MSc LYSIANE PACHECO

PROF^o CLEBER FLORIANO

EQUIPE EXECUTORA:

PROF. PhD LÉLIO ANTÔNIO TEIXEIRA BRITO

PROF^a MSc LYSIANE PACHECO

PROF^o CLEBER FLORIANO

EQUIPE DE APOIO:

ENG^a Esp. KELI MALLMANN (CONCEPA)

ENG^o EDUARDO MEIRELLES (CONCEPA)

ENG^o FELIPE LUZZI (CONCEPA)

ENG. MSc. FÁBIO HIRSCH (CONCEPA)

ENG. MSc. THIAGO VITORELLO (CONCEPA)

Acad. ANDRÉA MEINHART

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| 1. INTRODUÇÃO | 5 |
| 2. OBJETIVOS..... | 5 |
| 3. JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA | 6 |
| 4. ORGANIZAÇÃO DO EVENTO | 6 |
| 4.1. Organização da programação do evento & material de divulgação .. | 6 |
| 4.2. Convites aos convidados palestrantes & professores para minicurso | 7 |
| 4.3. Realização do Workshop | 9 |
| 4.4. Realização dos minicursos | 11 |
| 4.5. Preparação do questionário pós-evento | 12 |
| 5. CONCLUSÕES | 13 |

1. INTRODUÇÃO

O método Brasileiro de dimensionamento de pavimentos flexíveis tem como origem o ensaio de CBR (*California Bearing Ratio*, ou Índice de Suporte Califórnia – ISC), desenvolvido pelo Corpo de Engenheiros do Exército Americano (USACE – *United States Army Corps of Engineers*), com base no trabalho “*Design of Flexible Pavements Considering Mixed Loads and Traffic Volume*”, proposto em 1962 por W.J. Turnbull, C.R. Foster e R.G. Alvin. O estudo apresenta definição de eixo padrão como um ESRD de 8,2tf (18.000 lb), no qual foram elaboradas curvas de dimensionamento dos pavimentos, levando em consideração a quantidades de eixos-padrões (N) e o fator de equivalência de operações (FEO).

No Brasil, adota-se o dimensionamento conhecido como “Método de Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis do DNER” (DNIT, 2006), introduzido pelo Eng. Murillo Lopes de Souza, tal qual, usa como base para o dimensionamento de pavimentos flexíveis, o método apresentado pela USACE e conclusões obtidas na Pista Experimental da AASHTO.

Diversos países se valeram de conhecimentos técnico-científico sobre o comportamento de materiais novos para avançar nas suas metodologias de pavimentação, usando conceitos mais atuais relativo ao comportamento dos materiais, do tráfego e da performance do pavimento ao longo de sua vida útil.

Em 2002, o Guia da AASHTO apresentou uma grande novidade nos EUA; um novo método de dimensionamento, onde até então levava em consideração a concepção de que em todo pavimento pode ser aplicado vários tipos de restaurações. Todavia, o novo guia leva em conta importantes variáveis, tais como: análise de diferentes materiais; influência dos veículos na vida útil do pavimento; influência do clima; capacidade de carga dos materiais e permite adotar modelos de desempenho dos pavimentos. Como exemplo, onde poderiam colocar em prática tais serviços, a Federal Highway Administration (FHWA) desenvolveu um programa chamado *Long-Term Pavement Performance Program* (LTPP) com a finalidade de avaliar o desempenho de serviço do pavimento ao longo do tempo.

No momento, o Brasil também vem realizando um programa de monitoramento de rodovias em serviço, denominado “Rede Temática de Asfalto. O Programa tem como objetivo monitorar trechos experimentais, implantados pelo Brasil, com o intuito de criar um banco de dados, para ser empregado no desenvolvimento de um novo método de dimensionamento brasileiro mecanístico empírico.

Neste sentido, espera-se em 2017 (Motta, 2016) um novo método de dimensionamento capaz de avaliar trincamentos por fadiga dos revestimentos asfálticos, visto que o método de dimensionamento adotado no Brasil, avalia apenas a deformação permanente do subleito e camadas granulares do pavimento.

Isto será um marco na pavimentação nacional que ainda está restrito ao ambiente acadêmico e sua divulgação é necessária para a formação de novos engenheiros e início de uma corrente de apreciação e discussão do método para a mais rápida evolução das normas hoje vigentes que datam de várias décadas e urgência de atualização.

2. OBJETIVOS

Os objetivos desta proposta de pesquisa RDT foi promover a capacitação técnica de alunos de graduação, jovens engenheiros, técnicos rodoviários, especialistas, engenheiros projetistas tanto do âmbito público quanto privado, através de um Workshop com profissionais de reconhecida contribuição ao novo método para

familiarizar, esclarecer dúvidas e doutrinar seu uso racional no âmbito nacional. Para tanto, os seguintes objetivos gerais foram propostos:

1. Montar um workshop de dois dias que contemple através de palestras, minicursos e mesas de debate a explanação da evolução do novo método, suas características, limitações e avanços esperados.
2. Convidar para participação órgãos do poder público e privado para participação, como EGR, DAER, DNIT, ANTT, Concessionária, Universidades, empresas projetistas, profissionais liberais, alunos de graduação e pós-graduação.
3. Chamar palestrantes que tenham tido direta interferência na montagem do novo método como Profª Laura Motta, Profº Jorge Ceratti, Profº Jorge Soares, Profº Luciano Specht, Dra. Luciana Nogueira e outros profissionais.
4. Realizar dois minicursos sobre o dimensionamento de pavimentos rodoviários voltados principalmente a alunos de graduação.

3. JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA

O crescimento nos investimentos das Concessionárias Rodoviárias em Recursos de Desenvolvimento Tecnológico nos últimos anos vem sendo grande fomentador de pesquisas nas Universidades. Várias pesquisas hoje realizadas pela iniciativa privada vêm se colocando na vanguarda da tecnologia no cenário brasileiro em detrimento desta disponibilização realizada pelo Ministério dos Transportes através da Agência Nacional de Transportes Terrestres.

No atual momento brasileiro que vive uma recessão de investimento em infraestrutura por parte do poder público face as recentes dificuldades vividas pelo país e de amplo e notório conhecimento no país, vive-se uma estação voltada à qualificação de profissionais que não estão encontram facilmente sua colocação no mercado. A universidade no curso de sua responsabilidade deve promover o espaço para a atualização e aproveitar o momento para digerir novos temas e propulsionar o avanço técnico.

É neste cenário que a proposta em questão de acordo com o disposto na própria resolução N° 483-2004 da Agência Nacional de Transportes Terrestres - ANTT, visa a melhoria da eficiência, produtividade, qualidade e segurança dos serviços de exploração das rodovias, através da difusão do conhecimento científico e tecnológico, permitindo, desta forma, a modernização das concessões de rodovias federais através da ampla divulgação e doutrinação de novas técnicas disponíveis no âmbito regional do Rio Grande do Sul.

4. ORGANIZAÇÃO DO EVENTO

4.1. Organização da programação do evento & material de divulgação

O evento foi realizado no Campus da PUCRS em Porto Alegre entre os dias 19 e 20 de junho de 2017. No dia 19, no Teatro do Prédio 40, ocorreu a Sessão Plenária que contou com 5 palestrantes conforme inicialmente previsto, segundo a programação na Figura 1.

WORKSHOP - PUCRS
19 e 20/06/2017

O NOVO MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS NO BRASIL

UM WORKSHOP PARA TODOS SOBRE SUA IMPORTÂNCIA NO CONTEXTO NACIONAL

inscrições
Até 19 de Junho de 2017 (gratuitas)
em educon.pucrs.br ou <https://goo.gl/1c343L>

período do evento
Dia 19/06 (Segunda) - Sessão Plenária (público geral)
Dia 20/06 (Terça) - Minicursos (estudantes)

onde
Sessão Plenária - Teatro Prédio 40
Minicursos - Prédio 30 - Sala 302 - Bloco B

PUCRS
Av. Ipiranga, 6681. Partenon - Porto Alegre/RS
CEP 90619-900

contatos
lilio.brto@pucrs.br ou lysiane.pacheco@pucrs.br



19/06 - Segunda-Feira - Sessão Plenária

08:30 Credenciamento

09:00 Abertura

09:20 O histórico dos métodos de dimensionamento brasileiros e sua evolução para o mecanístico-empírico (ME), com Prof^a Laura Motta - COPPE-UFRJ

10:10 Coffee Break

10:45 Atualização de normas e implantação do novo método de dimensionamento de pavimentos no DNIT, com Dr^a Prepredigna Silva - IPR-DNIT

11:35 Sessão de Perguntas

12:00 Intervalo

13:30 Pesquisas desenvolvidas no âmbito dos recursos de desenvolvimento tecnológico (RDT) voltados à tecnologia de pavimentos, com Dr^a Mirian Quebaud - ANTT - Brasília

14:20 O desafio dos modelos de desempenho num método ME nacional de dimensionamento de pavimentos asfálticos, com Prof^o Jorge Soares - UFC

15:30 Coffee Break

16:00 Aplicação da teoria do dano contínuo viscoelástico (VECD) na análise de pavimentos asfálticos e a continuidade do desenvolvimento do novo método brasileiro de dimensionamento, com Dr. Luís Nascimento - CENPES - Petrobras

16:50 Mesa Redonda: A importância da atualização dos métodos de dimensionamento de pavimentos para a Engenharia Brasileira.

18:00 Encerramento

20/06 - Terça-Feira - Mini-curso

com Prof^o Luciano Specht - UFSM & Prof^o Lélío Brito - PUCRS

- Análise mecanística no dimensionamento de pavimentos flexíveis
- Modelos de previsão de desempenho de pavimentos
- Introdução ao uso do software SISPAVR
- Uma breve introdução à viscoelasticidade na modelagem de materiais asfálticos

08:30 Turma A - Manhã - até as 12hs

13:30 Turma B - Tarde - até as 17hs

Figura 1 – Flyer para divulgação do evento com a programação

Para a divulgação do evento, contou-se grandemente com as ferramentas de mídia social Facebook, Instagram e Tweeter, e também foi realizada a divulgação através de contatos diretos via e-mail com a finalidade de que se obtivesse a mais ampla representativa no evento, o que foi de fato atingido. A Figura 2 e a Figura 3 ilustram os banners produzidos para o evento.

4.2. Convites aos convidados palestrantes & professores para minicurso

Conforme havia sido previsto inicialmente no plano de trabalho, a maior parte dos pesquisadores envolvidos na concepção do novo método de dimensionamento aceitaram o convite para participação no evento, que foi agraciado com excelente representação do esforço feito pela Rede Temática de Asfalto – grande propulsora desta nova metodologia em desenvolvimento e em fase de implantação pelo DNIT. Participaram da sessão plenária, com palestras ou através da mesa redonda realizada ao final da programação do dia 19/06:

- Prof^a Laura Motta – COPPE-UFRJ
- Prof^o Jorge Ceratti – UFRGS
- Prof^o Jorge Soares – UFC
- Prof^o Luciano Specht – UFSM
- Prof^o Glicério Trichés – UFSC
- Dr^a Prepredigna Silva – IPR-DNIT
- Dr. Luís Nascimento – CENPES Petrobras
- Dr^a Mirian Quebaud – GEROR – ANTT



Figura 2 – Banner da mesa principal do evento



Figura 3 – Banner de cavalete para divulgação e orientação durante o evento

Para que o evento fosse atrativo e contasse com a maior representativa possível, foram estendidos convites a diversas Universidades, Empresas Privadas e Públicas, órgãos públicos, representantes de mídia, entre outros. Abaixo são elencadas algumas das entidades convidadas:

- DAER-RS
- DNIT – IPR
- DNIT-RS
- Prefeitura de Porto Alegre – SMOV
- Empresa Gaúcha de Rodovias – EGR
- Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS
- Universidade Federal de Santa Maria – UFSM
- Universidade Federal de Pelotas – UFPEL
- Fundação Universitária de Rio Grande – FURG
- Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC
- UNISINOS
- ULBRA – RS
- IPA – Porto Alegre
- Unilasalle Canoas
- UNIJUÍ
- UNISC
- Triunfo Concepa
- Ecosul
- STE Engenharia
- Ecoplan Engenharia
- Magna Engenharia

4.3. Realização do Workshop

A sessão plenária do Workshop, realizada no dia 19/06, contou com público variado, atraindo muitos estudantes, professores de universidades do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, projetistas, engenheiros de empresas construtoras e grande representatividade dos órgãos rodoviários como DAER, ANTT e representantes do DNIT.

Abaixo registra-se o título das apresentações realizadas e seus respectivos apresentadores:

- Prof. Laura Mota – COPPE/UFRJ – O histórico dos métodos de dimensionamento brasileiros e sua evolução para o mecanístico-empírico (ME).
- Prof. Prepredigna Silva – IPR/DNIT – Atualização de normas e implantação do novo método de dimensionamento de pavimentos no DNIT.
- Dra. Mirian Quebaud – GEROR/ANTT – Pesquisas desenvolvidas no âmbito dos recursos de desenvolvimento tecnológico (RDT) voltados à tecnologia de pavimentos.
- Prof. Jorge Soares – DET/UFC – O desafio dos modelos de desempenho num método ME nacional de dimensionamento de pavimentos asfálticos.
- Dr. Luís Nascimento – CENPES/PETROBRAS – Aplicação da teoria do dano contínuo viscoelástico (VECD) na análise de pavimentos asfálticos e a continuidade do desenvolvimento do novo método brasileiro de dimensionamento.

O evento contou com ampla divulgação e inscrições gratuitas através do sistema EDUCON – PUCRS, Figura 4 abaixo. Registra-se na Figura 5 foto da mesa dos palestrantes e coordenadores no dia 19/06/2017.

Também foi realizada cobertura jornalística do evento feito pela Revista Estradas – revista técnica editada pelos funcionários do DAER-RS que divulgou o resultado do evento em seu blog - Figura 6.

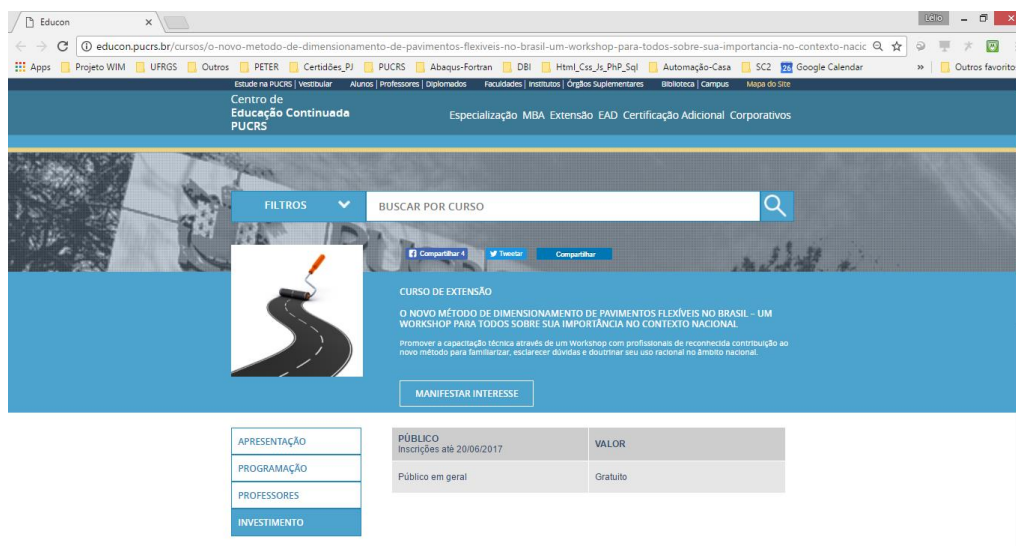


Figura 4 – Portal de inscrições aberta a todos através do sistema EDUCON-PUCRS



Figura 5 – Sessão Plenária com a mesa dos palestrantes e coordenadores no dia 19/06/2017



Figura 6 – Cobertura do evento realizada pela Revista Estradas - SUDAER

4.4. Realização dos minicursos

No dia 20 ocorreu dois minicursos ministrados pelos Professores Luciano Specht, da UFSM e Lélío Brito, da PUCRS, Figura 7. Foram objeto dos minicursos os seguintes temas:

Minicurso Turma A – dia 20/06/2017 – 08:30 as 12:00

- Análise mecánísticas no dimensionamento de pavimentos flexíveis
- Modelos de previsão de desempenho de pavimentos
- Introdução ao uso do software SISPAVBR
- Uma breve introdução à viscoelasticidade na modelagem de materiais asfálticos

Minicurso Turma B – dia 20/06/2017 - 13:30 as 17:00

- Análise mecánísticas no dimensionamento de pavimentos flexíveis
- Modelos de previsão de desempenho de pavimentos
- Introdução ao uso do software SISPAVBR
- Uma breve introdução à viscoelasticidade na modelagem de materiais asfálticos

Os minicursos foram realizados no Prédio 30, sala 302 da PUCRS e tiveram sala cheia em ambos os turnos com elucidativos debates sobre a nova metodologia de dimensionamento mecanicista e emprego da ferramenta SISPAVBR, ainda em desenvolvimento. Os slides do minicurso estão apresentados no Anexo A.



Figura 7 – Minicurso com o Prof. Luciano Specht & Lélío Brito no dia 20/06/2017

4.5. Preparação do questionário pós-evento

Como forma de avaliar o evento realizado foi montado na plataforma SurveyMonkey um questionário pós-evento ainda em consulta no qual se espera um feedback sobre a temática realizada, o interesse da comunidade rodoviária sobre mais eventos como este e também para melhoria da organização realizada através de aspectos chave da montagem do Workshop. O questionário ficará aberto até o dia 20/07/2017, para que se tenha o mais amplo retorno possível. A Figura 8 ilustra a tela inicial do questionário e o Anexo B a íntegra das questões disponível no seguinte endereço: <https://pt.surveymonkey.com/r/KFZ6VC6>. A Figura 9 ilustra um resultado parcial da consulta em andamento.

Feedback do "O Novo Método de Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis no Brasil – Um Workshop Para Todos Sobre Sua Importância No Contexto Nacional"

* 1. No geral, como você avalia o evento?

☐ Excelente

☐ Bom

☐ Nem bom, nem ruim

☐ Ruim

☐ Péssimo

* 2. A temática proposta foi devidamente abordada?

☐ Sim, totalmente

☐ Sim, parcialmente

☐ Apenas em uma pequena parte

☐ Não foi abordada

Figura 8 – Tela inicial do questionário pós-evento feito no SurveyMonkey

No geral, como você avalia o evento?

Respondidas: 13 Ignoradas: 0

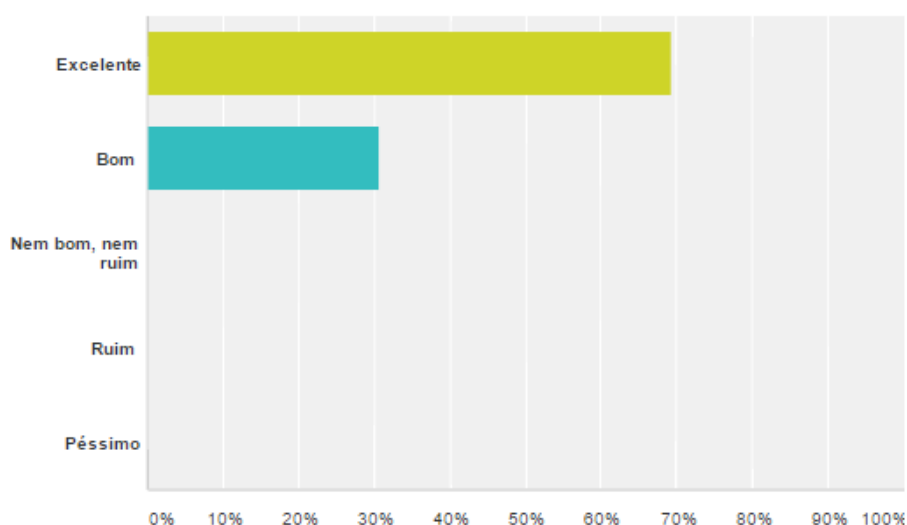


Figura 9 – Resultados parciais até o dia 28/06/2017 da pesquisa pós-evento

5. CONCLUSÕES

O resultado de maior relevância alcançado foi a capacitação de pessoal com conhecimento no campo da Engenharia Rodoviária, através do workshop realizado. A experiência com uso deste formato de evento vem se consolidando como de grande valia na divulgação de novas técnicas, networking de alunos e empresas, motivação para desenvolvimento da área rodoviária e um momento de brainstorming para novas trabalhos de pesquisa.

Tais objetivos foram alcançados com a realização da Sessão Plenária, que além das palestras também contou com uma mesa redonda ao final do evento onde profissionais envolvidos no uso do método puderam externar suas preocupações em adição às sessões de perguntas, grandemente enriquecedoras no evento. Os minicursos também alcançaram seus objetivos levando um direto contato à metodologia mecanicista de dimensionamento de pavimentos e também na nova ferramenta SISPAVBR. De uma forma direta, em toda a capacitação o maior produto formado é de fato o conhecimento adquirido por todos os envolvidos no projeto.

O evento contou com 269 inscritos e 194 presentes na sessão plenária, e 66 inscritos na Turma da manhã do minicurso e 54 na turma da tarde. O Anexo C inclui a lista dos participantes e presentes em ambas as etapas do evento.

O evento acabou por trazer um grande volume de feedbacks informais altamente positivo do que se considera um projeto exitoso em seus vários aspectos propostos.

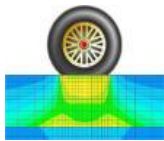
Anexo A – Apresentação realizada durante os minicursos

CONSIDERAÇÕES SOBRE DIMENSIONAMENTO DE
PAVIMENTOS FLEXÍVEIS NO BRASIL



Prof. Dr. LUCIANO PIVOTO SPECHT
UFSM

Prof. Dr. LÉLIO A. T. BRITO
PUCRS



Método Oficial – Versão 1981- IPR 2006

Por outro lado, de acordo com os materiais constitutivos do pavimento, tem-se uma tabela de Coeficientes de Equivalência Estrutural k , como se segue:

| COMPONENTES DO PAVIMENTO | COEFICIENTE k |
|--|-----------------|
| base ou revestimento de concreto betuminoso | 2,00 |
| base ou revestimento de pré-misturado a quente, de graduação densa | 1,70 |
| base ou revestimento de pré-misturado a frio, de graduação densa | 1,40 |
| base ou revestimento por penetração | 1,20 |
| base granular | 1,00 |
| sub-base granular | 0,77 |
| melhoria do subleito | 0,71 |
| solo-cimento com $m_1 \geq 45 \text{ kgf/cm}^2$ | 1,70 |
| solo-cimento com $38 \text{ kgf/cm}^2 < m_1 < 45 \text{ kgf/cm}^2$ | 1,40 |
| solo-cimento com $m_1 < 38 \text{ kgf/cm}^2$ | 1,00 |

Os coeficientes estruturais são designados por:

| | |
|----------------------|-------|
| revestimento | k_R |
| base | k_B |
| sub-base | k_S |
| melhoria do subleito | k_M |

1.4 ESPESSURA MÍNIMA DE REVESTIMENTO BETUMINOSO

A fixação da espessura mínima a adotar para os revestimentos betuminosos é utilizada tanto para proteger a camada de base dos esforços impostos pelo tráfego, como para evitar a ruptura do próprio revestimento por esforços repetidos de tração na flexão.

| N | Espessura mínima de revestimento betuminoso |
|-------------------------------|---|
| $N < 10^5$ | tratamentos superficiais betuminosos |
| $10^5 < N \leq 5 \times 10^6$ | revestimentos betuminosos com 5,0 cm de espessura |
| $5 \times 10^6 \leq N < 10^7$ | concreto betuminoso com 7,5 cm de espessura |
| $10^7 < N \leq 5 \times 10^7$ | concreto betuminoso com 10,0 cm de espessura |
| $N > 5 \times 10^7$ | concreto betuminoso com 12,5 cm de espessura |

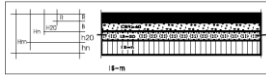
1.5 DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO

O gráfico relaciona, para valores de CBR ou IS, valores de espessura com coeficiente de equivalência estrutural $k = 1$, com número de operações do eixo padrão. Desse modo, sabendo-se o valor de N e o valor de CBR correspondente, determina-se a espessura da camada. A espessura mínima a considerar para camadas granulares é 10 cm. A espessura H_m é a espessura total necessária para um material com CBR ou IS = m; h_b é a espessura da camada do pavimento com CBR ou IS = n etc. Mesmo que o CBR (IS) do material da sub-base seja superior a 20, determina-se a espessura para CBR (IS) = 20, por esta razão, usam-se sempre, os símbolos H_{20} e h_{20} para designar as espessuras de pavimento sobre a sub-base e da sub-base, respectivamente. Os símbolos B e R designam, respectivamente, as espessuras da base e do revestimento. Uma vez determinadas as espessuras H_m , H_b e H_{20} pelo gráfico da figura 2 e R pela tabela de espessura mínima de revestimento betuminoso, as espessuras da base (B), sub-base (h_{20}) e reforço do subleito (h_u), são obtidas pela resolução sucessiva das seguintes inequações:

$$Rk_R + Bk_B > H_{20} \quad (1)$$

$$Rk_R + Bk_B + h_{20}k_S > H_m \quad (2)$$

$$Rk_R + Bk_B + h_{20}k_S + h_u k_{sub} > H_m \quad (3)$$



Para sub-base com CBR ≥ 40 e $N > 10^6$, admite-se substituir na inequação (1), H_{20} por $0,2 \times H_{20}$.

Para $N > 10^7$, recomenda-se substituir, na inequação (1), H_{20} por $1,2 \times H_{20}$.

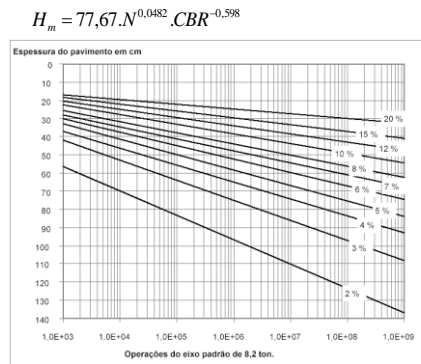


Gráfico de Dimensionamento de Pavimentos do Método do DNER (adaptado)

$$H_m = 77,67 \cdot N^{0,0482} \cdot CBR^{-0,598}$$

Avaliação Mecanicista

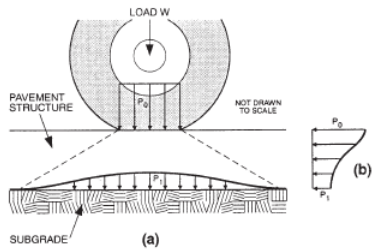
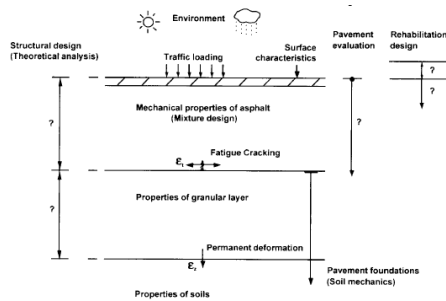


Figure 3-1. Spread of wheel-load through pavement structure.



Rigidez: Módulo de resiliência

Resiliência é a capacidade de um material absorver energia quando deformado elasticamente e então, após o descarregamento, ter a sua energia recuperada. A propriedade associada é o módulo de resiliência.

Hveem (1951) preferiu usar o termo deformação resiliente ao invés de deformação elástica sob o argumento de que as deformações nos pavimentos são muito maiores do que nos sólidos elásticos com que lida o engenheiro (aço, concreto).

Ensaios para medir MR....

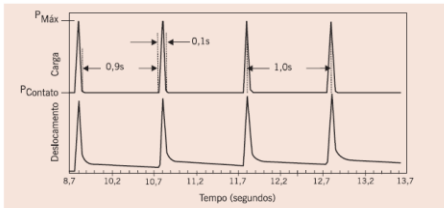
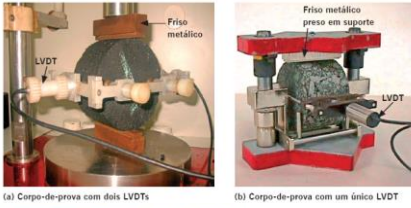


Figura 6.6 Duração dos tempos de carregamento e repouso

$$MR = \frac{P}{\Delta \times H} (0,9976\mu + 0,2692) \quad (6.4)$$

Onde:

MR = módulo de resiliência, MPa;

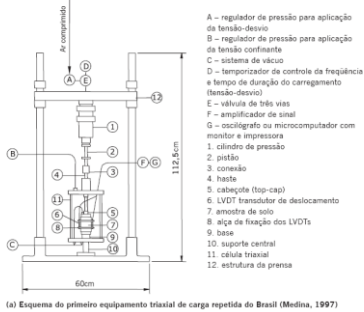
P = carga vertical repetida aplicada diretamente no corpo-de-prova, N;

Δ = deslocamento elástico ou resiliente registrado para 300, 400 e 500 aplicações da carga (P), mm;

H = altura do corpo de prova, mm;

μ = coeficiente de Poisson.

Modulo de Resiliência de Solos e Materiais Granulares:





(b) Exemplo de um equipamento atual

Figura 7.5 Esquema e exemplo de equipamento de ensaio triaxial de carga repetida

Como é feito o ensaio....

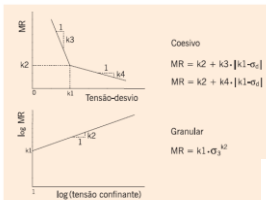


Figura 7.7 Modelos clássicos de comportamento resiliente de solos

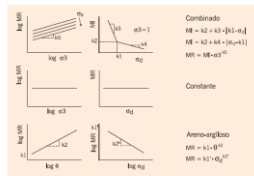


Figura 7.8 Outros comportamentos de solos quanto à resiliência

Modelos Fadiga e Deformação Permanente

- Representação dos Modelos de Fadiga
 - Modelo à Tensão Controlada

$$\frac{\sigma_{ensaio}}{\sigma_{ruptura}} = a + b \cdot \log N$$

- Modelo à Deformação Controlada

$$N = k \cdot \left(\frac{1}{\epsilon_t} \right)^c$$

Modelos de Fadiga e Deformação Permanente

• Modelos de Fadiga

– Misturas Asfálticas

- Pretorius (1969) apud Barker et. al. (1977):
 $N = 9,7 \times 10^{-10} \cdot (1/\epsilon_r)^{6,02}$
- Brown et. al. (1977):
 $N = 8,9 \times 10^{-11} \cdot (1/\epsilon_r)^{5,90}$
- Treybig et. al. (1977):
 $N = 9,73 \times 10^{-10} \cdot (1/\epsilon_r)^{5,16}$
- Pell et. al. (1972):
 $N = 2,2 \times 10^{-10} \cdot (1/\epsilon_r)^{6,103}$
- Epps et. al. apud Pell (1973):
 $N = 6,28 \times 10^{-7} \cdot (1/\epsilon_r)^{3,01}$
- Verstraeten et. al. (1982):
 $N = 4,86 \times 10^{-14} \cdot (1/\epsilon_r)^{6,76}$
- FHWA (1976):
 $N = 1,092 \times 10^{-6} \cdot (1/\epsilon_r)^{3,512}$
- Pinto (1991) - Brasil:
 $N = 6,64 \times 10^{-7} \cdot (1/\epsilon_r)^{3,83}$
- Preussler (1983) - Brasil:
 $N = 2,99 \times 10^{-6} \cdot (1/\epsilon_r)^{3,15}$
- Preussler e Pinto (1984) - para D_0 é expresso em 10^{-2} mm - Brasil:
 $N = 5,548 \times 10^{16} \times D_0^{-5,319}$ para espessura do revestimento < 100 mm
 $N = 3,036 \times 10^{13} \times D_0^{-5,922}$ para espessura do revestimento 100 mm

M-EPDG:

$$N_f = Ck_1 \left(\frac{1}{\epsilon_r} \right)^{k_2} \left(\frac{1}{E} \right)^{k_3} \\ = \beta_{f1} k_1 (\epsilon_r)^{\beta_{f2} \beta_1} (E)^{\beta_{f3} \beta_1}$$

Onde:

N_f : número de repetições de carga para atingir o trincamento por fadiga;
 ϵ_r : deformação de tração na fibra inferior do revestimento;
 E : módulo de rigidez do material;
 k_1, k_2, k_3 : coeficientes de regressão obtidos em laboratório;
 $\beta_{f1}, \beta_{f2}, \beta_{f3}$: parâmetros de calibração;
 C : fator de ajuste de campo

$$N = f \cdot C \cdot 1.904 \cdot 10^{-6} \cdot \left(\frac{1}{\epsilon_r} \right)^{3,103} \cdot \left(\frac{1}{Mr} \right)^{0,75}$$

Franco (2007)

Modelos de Fadiga e Deformação Permanente

$$ATR = 2,36 + 0,56 N_{accum} \quad \text{Vitorello (2008)}$$

$$\epsilon_p (\%) = \psi_1 \left(\frac{\sigma_d}{\rho_0} \right) \psi_2 \left(\frac{\sigma_d}{\rho_0} \right) \psi_3 N \psi_4$$

GUIMARÃES (2009)



ATR é o somatório das deformações plásticas em todas as camadas....necessidade de determinação de parâmetros de cada material

COMPARATIVO ENTRE MÉTODOS

Estrutura do pavimento utilizada para dimensionamento

| Camada | Material | Módulo de Resiliência | Coefficiente de Poisson |
|--------------|---------------------|--|-------------------------|
| Revestimento | CBUQ | Calculado pelo AASHTOWare SisPavBr = 5000 MPa | 0,35 |
| Base | BGS | 300 MPa | 0,40 |
| Sub Base | MS | 208 MPa | 0,40 |
| Subleito | Solo (variando CBR) | 53, 110 e 124 MPa | 0,45 |

CBR's de 5, 10 e 15% → solos A-5, A-3 e A-1-a

RESULTADOS

➤ Dimensionamento DNIT

Espessuras do pavimento

| N | 2,5x10 ⁶ | | | 7,5x10 ⁶ | | | 2,5x10 ⁷ | | | 7,5x10 ⁷ | | | 1,0x10 ⁸ | | |
|-----------------------|---------------------|----|----|---------------------|-----|-----|---------------------|----|----|---------------------|------|------|---------------------|------|------|
| (%) CBR Subleito | 5 | 10 | 15 | 5 | 10 | 15 | 5 | 10 | 15 | 5 | 10 | 15 | 5 | 10 | 15 |
| E _{rev} (cm) | 5 | 5 | 5 | 7,5 | 7,5 | 7,5 | 10 | 10 | 10 | 12,5 | 12,5 | 12,5 | 12,5 | 12,5 | 12,5 |
| E _{bas} (cm) | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 |
| E _{sub} (cm) | 34 | 16 | 16 | 34 | 16 | 16 | 32 | 16 | - | 32 | 16 | - | 32 | 16 | - |

VERIFICAÇÃO COM OS SOFTWARES:

- SisPavBR – Versão 2.0.8.2
- SisPavBR – Versão 2.1.6.0
- AASHTOWare

RESULTADOS – SisPavBR 2.0.8.2

50% confiabilidade

| N | | | | N | | | |
|-----------------------|-----|-----|-----|-----------------------|-----|------|------|
| 2,5x10 ⁶ | | | | 7,5x10 ⁷ | | | |
| MR Subleito (MPa) | 53 | 110 | 124 | MR Subleito (MPa) | 53 | 110 | 124 |
| E _{rev} (cm) | 6,3 | 6,9 | 6,8 | E _{rev} (cm) | 9,9 | 10,3 | 10,1 |
| E _{bas} (cm) | 15 | 15 | 15 | E _{bas} (cm) | 15 | 15 | 15 |
| E _{sub} (cm) | 34 | 16 | 16 | E _{sub} (cm) | 34 | 16 | 16 |

| N | | | | N | | | |
|-----------------------|------|------|------|-----------------------|------|------|------|
| 2,5x10 ⁶ | | | | 7,5x10 ⁷ | | | |
| MR Subleito (MPa) | 53 | 110 | 124 | MR Subleito (MPa) | 53 | 110 | 124 |
| E _{rev} (cm) | 14,1 | 13,9 | 13,8 | E _{rev} (cm) | 18,4 | 17,7 | 17,4 |
| E _{bas} (cm) | 15 | 15 | 15 | E _{bas} (cm) | 15 | 15 | 15 |
| E _{sub} (cm) | 32 | 16 | - | E _{sub} (cm) | 32 | 16 | - |

| N | | | |
|-----------------------|------|------|------|
| 1,0x10 ⁸ | | | |
| MR Subleito (MPa) | 53 | 110 | 124 |
| E _{rev} (cm) | 19,5 | 18,7 | 18,5 |
| E _{bas} (cm) | 15 | 15 | 15 |
| E _{sub} (cm) | 32 | 16 | - |

RESULTADOS – SisPavBR 2.0.8.2

90% confiabilidade

| N | | | | N | | | |
|-----------------------|-----|-----|-----|-----------------------|------|------|------|
| 2,5x10 ⁶ | | | | 7,5x10 ⁷ | | | |
| MR Subleito (MPa) | 53 | 110 | 124 | MR Subleito (MPa) | 53 | 110 | 124 |
| E _{rev} (cm) | 8,6 | 9,0 | 8,8 | E _{rev} (cm) | 12,3 | 12,4 | 12,2 |
| E _{bas} (cm) | 15 | 15 | 15 | E _{bas} (cm) | 15 | 15 | 15 |
| E _{sub} (cm) | 34 | 16 | 16 | E _{sub} (cm) | 34 | 16 | 16 |

| N | | | |
|-----------------------|------|------|------|
| 2,5x10 ⁷ | | | |
| MR Subleito (MPa) | 53 | 110 | 124 |
| E _{rev} (cm) | 16,7 | 16,3 | 16,1 |
| E _{bas} (cm) | 15 | 15 | 15 |
| E _{sub} (cm) | 32 | 16 | - |

N = 7,5x10⁷
N = 1,0x10⁸



INSOLUCIONÁVEIS

RESULTADOS – SisPavBR 2.1.6.0**VIA SECUNDÁRIA**

| N | | | | N | | | |
|-----------------------|----|-----|-----|-----------------------|----|------|------|
| 2,5x10 ⁵ | | | | 7,5x10 ⁵ | | | |
| MR Subleito (MPa) | 53 | 110 | 124 | MR Subleito (MPa) | 53 | 110 | 124 |
| E _{rev} (cm) | 5 | 5 | 5 | E _{rev} (cm) | 14 | 12,5 | 12,5 |
| E _{bas} (cm) | 15 | 15 | 15 | E _{bas} (cm) | 15 | 15 | 15 |
| E _{sub} (cm) | 34 | 16 | 16 | E _{sub} (cm) | 34 | 16 | 16 |

| N | | | | N | | | |
|-----------------------|------|-----|------|-----------------------|----|-----|------|
| 2,5x10 ⁷ | | | | 7,5x10 ⁷ | | | |
| MR Subleito (MPa) | 53 | 110 | 124 | MR Subleito (MPa) | 53 | 110 | 124 |
| E _{rev} (cm) | 15,5 | 14 | 14,5 | E _{rev} (cm) | 17 | 16 | 15,5 |
| E _{bas} (cm) | 15 | 15 | 15 | E _{bas} (cm) | 15 | 15 | 15 |
| E _{sub} (cm) | 32 | 16 | - | E _{sub} (cm) | 32 | 16 | - |

| N | | | |
|-----------------------|------|-----|-----|
| 1,0x10 ⁸ | | | |
| MR Subleito (MPa) | 53 | 110 | 124 |
| E _{rev} (cm) | 17,5 | 17 | 17 |
| E _{bas} (cm) | 15 | 15 | 15 |
| E _{sub} (cm) | 32 | 16 | - |

RESULTADOS – SisPavBR 2.1.6.0**VIA PRINCIPAL**

| N | | | | N | | | |
|-----------------------|----|-----|-----|-----------------------|----|-----|-----|
| 2,5x10 ⁵ | | | | 7,5x10 ⁵ | | | |
| MR Subleito (MPa) | 53 | 110 | 124 | MR Subleito (MPa) | 53 | 110 | 124 |
| E _{rev} (cm) | 5 | 5 | 5 | E _{rev} (cm) | 14 | 13 | 13 |
| E _{bas} (cm) | 15 | 15 | 15 | E _{bas} (cm) | 15 | 15 | 15 |
| E _{sub} (cm) | 34 | 16 | 16 | E _{sub} (cm) | 34 | 16 | 16 |

| N | | | | N | | | |
|-----------------------|------|------|------|-----------------------|------|------|-----|
| 2,5x10 ⁷ | | | | 7,5x10 ⁷ | | | |
| MR Subleito (MPa) | 53 | 110 | 124 | MR Subleito (MPa) | 53 | 110 | 124 |
| E _{rev} (cm) | 16,5 | 15,5 | 15,5 | E _{rev} (cm) | 18,5 | 18,5 | 18 |
| E _{bas} (cm) | 15 | 15 | 15 | E _{bas} (cm) | 15 | 15 | 15 |
| E _{sub} (cm) | 32 | 16 | - | E _{sub} (cm) | 32 | 16 | - |

| N | | | |
|-----------------------|------|------|------|
| 1,0x10 ⁸ | | | |
| MR Subleito (MPa) | 53 | 110 | 124 |
| E _{rev} (cm) | 19,5 | 18,5 | 18,5 |
| E _{bas} (cm) | 15 | 15 | 15 |
| E _{sub} (cm) | 32 | 16 | - |

RESULTADOS – SisPavBR 2.1.6.0**VIA INTERESTADUAL**

| N | | | | N | | | |
|-----------------------|----|-----|-----|-----------------------|------|------|------|
| 2,5x10 ⁵ | | | | 7,5x10 ⁵ | | | |
| MR Subleito (MPa) | 53 | 110 | 124 | MR Subleito (MPa) | 53 | 110 | 124 |
| E _{rev} (cm) | 13 | 12 | 12 | E _{rev} (cm) | 14,5 | 13,5 | 13,5 |
| E _{bas} (cm) | 15 | 15 | 15 | E _{bas} (cm) | 15 | 15 | 15 |
| E _{sub} (cm) | 34 | 16 | 16 | E _{sub} (cm) | 34 | 16 | 16 |

| N | | | | N | | | |
|-----------------------|----|-----|------|-----------------------|------|------|-----|
| 2,5x10 ⁷ | | | | 7,5x10 ⁷ | | | |
| MR Subleito (MPa) | 53 | 110 | 124 | MR Subleito (MPa) | 53 | 110 | 124 |
| E _{rev} (cm) | 19 | 17 | 16,5 | E _{rev} (cm) | 19,5 | 19,5 | 19 |
| E _{bas} (cm) | 15 | 15 | 15 | E _{bas} (cm) | 15 | 15 | 15 |
| E _{sub} (cm) | 32 | 16 | - | E _{sub} (cm) | 32 | 16 | - |

| N | | | |
|-----------------------|----|------|------|
| 1,0x10 ⁸ | | | |
| MR Subleito (MPa) | 53 | 110 | 124 |
| E _{rev} (cm) | 20 | 19,5 | 19,5 |
| E _{bas} (cm) | 15 | 15 | 15 |
| E _{sub} (cm) | 32 | 16 | - |

RESULTADOS – AASHTOWare

50% CONFIABILIDADE

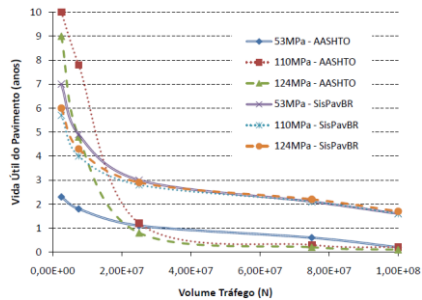
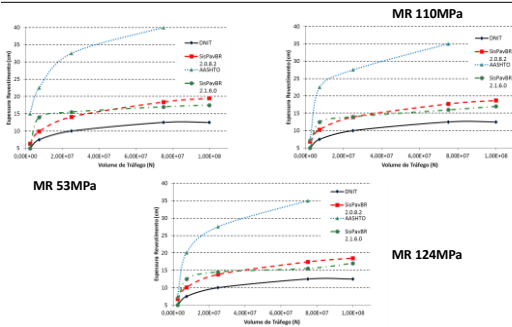
| N | 2,5x10 ⁶ | | | N | 7,5x10 ⁶ | | |
|-----------------------|---------------------|-----|-----|-----------------------|---------------------|------|-----|
| MR Subleito (MPa) | 53 | 110 | 124 | MR Subleito (MPa) | 53 | 110 | 124 |
| E _{rev} (cm) | 15 | 7,5 | 7,5 | E _{rev} (cm) | 22,5 | 22,5 | 20 |
| E _{bas} (cm) | 15 | 15 | 15 | E _{bas} (cm) | 15 | 15 | 15 |
| E _{sub} (cm) | 34 | 16 | 16 | E _{sub} (cm) | 34 | 16 | 16 |

| N | 2,5x10 ⁷ | | | N | 7,5x10 ⁷ | | |
|-----------------------|---------------------|------|------|-----------------------|---------------------|-----|-----|
| MR Subleito (MPa) | 53 | 110 | 124 | MR Subleito (MPa) | 53 | 110 | 124 |
| E _{rev} (cm) | 32,5 | 27,5 | 27,5 | E _{rev} (cm) | 40 | 35 | 35 |
| E _{bas} (cm) | 15 | 15 | 15 | E _{bas} (cm) | 15 | 15 | 15 |
| E _{sub} (cm) | 32 | 16 | - | E _{sub} (cm) | 32 | 16 | - |

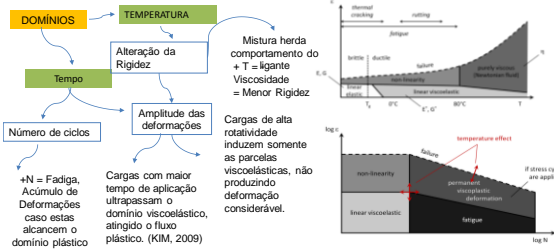
N = 1,0x10⁸ → INSOLUCIONÁVEL

RESULTADOS

50% CONFIABILIDADE / VIAS SECUNDÁRIAS



Comportamento Mecânico das Misturas Asfálticas



Módulo Complexo

> RIGIDEZ

TEORIA DA ELASTICIDADE

A determinação da rigidez das misturas asfálticas é realizada por meio do ensaio de **Módulo de Resiliência (MR)**. Considera um comportamento elástico linear das mesmas, obedecendo a Lei de Hooke.

VISCOELASTICIDADE

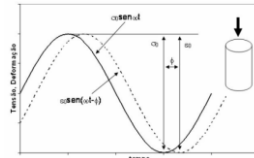
> Determinação da rigidez por meio do ensaio de **Módulo Complexo**, que melhor representa o comportamento viscoelástico linear na camada asfáltica;

> **Módulo Complexo (E^*)** é um número complexo, que relaciona tensão e deformação para materiais viscoelásticos sujeitos a carregamento senoidal, aplicado em um certo domínio de frequência e temperatura.

MÓDULO COMPLEXO

$$|H^*(w)| = \frac{|\sigma|}{|\epsilon|}$$

$$\psi = \frac{t_r}{t_p} \times 360$$



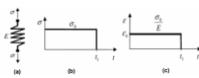
TEORIA DA ELASTICIDADE

A determinação da rigidez das misturas asfálticas, realizada por meio do ensaio de **Módulo de Resiliência (MR)**, considera um comportamento elástico linear das mesmas, obedecendo a Lei de Hooke.

VISCOELASTICIDADE

Determinação da rigidez do concreto asfáltico pelo ensaio de **Módulo Complexo**, que melhor representa o comportamento viscoelástico linear na camada asfáltica.

Modelagem física-matemática



(a) Modelo de Hooke

(b) Modelo de Hooke-Sayegh

(c) Modelo 2SP4D

Módulo Complexo

➤ ENSAIO: Norma AASHTO T 342



✓ Corpos de prova: diâmetro entre 100 e 104 mm, altura entre 147,5 e 152,5 mm e tamanho máximo nominal de 37,5 mm;
✓ Volume de Vazios: 5,5 % ± 0,5%

| Temperatura de ensaio (°C) | Tempo para equilíbrio da temperatura a partir da temperatura de saída do ensaio (h:m:s) | Tempo para equilíbrio da temperatura a partir da temperatura de teste anterior (h:m:s) |
|----------------------------|---|--|
| -10 | 1 hora e 15 min | 1 hora e 15 min |
| 0 | 1 hora e 15 min | 1 hora e 15 min |
| 10 | 1 hora e 15 min | 1 hora e 15 min |
| 20 | 1 hora e 15 min | 1 hora e 15 min |
| 30 | 1 hora e 15 min | 1 hora e 15 min |
| 40 | 1 hora e 15 min | 1 hora e 15 min |
| 50 | 1 hora e 15 min | 1 hora e 15 min |

✓ Carregamento senoidal axial;
✓ Aplicação de carga nas frequências de 25 Hz, 20 Hz, 10 Hz, 5 Hz, 2 Hz, 1 Hz, 0,5 Hz, 0,2 Hz, 0,1 Hz e 0,01 Hz;
✓ Temperaturas de ensaio: -10° C, 4° C, 21° C, 37° C e 54° C;
✓ Deformação limitada à faixa de 50 a 75 microstrain, no intuito de representar o regime de viscoelasticidade linear;




Módulo Complexo

➤ RESULTADOS

RESULTADOS DO ENSAIO DE MÓDULO COMPLEXO

MODELAGEM FÍSICA-MATEMÁTICA

Modelos Reológicos

(a) Modelo de Huet (b) Modelo de Huet-Sageh (c) Modelo 2S2P1D

✓ Modelagem bidimensional - sete parâmetros de calibração; Tridimensional - nove, ao acrescentar o coeficiente de Poisson;
✓ Há também as constantes C1 e C2, responsáveis pela transição.

Modelo 2S2P1D, desenvolvido por Olard e Di Benedetto (2003).

$$E^*(\omega) = E_{00} \frac{E_0 - E_{00}}{1 + \delta(j\omega\tau)^k} + \frac{E_0 - E_{00}}{(j\omega\tau)^k + (j\omega\beta\tau)^{-1}}$$

$$\nu^*(\omega) = \nu_{00} + (\nu_0 - \nu_{00}) \frac{E^*(\omega) - E_{00}}{E_0 - E_{00}}$$

Onde:

- ω = pulsção, $\omega = 2\pi f$ (sendo f a frequência)
- k, h = expoentes, $0 < k, h < 1$, β = constante
- E_{00} = módulo estático $\omega \rightarrow 0$
- E_0 = módulo em transição $\omega \rightarrow \infty$
- η_1 = viscosidade Newtoniana, $\eta_1 = (E_0 - E_{00})/\beta$
- τ_1 = tempo característico, o qual varia com a temperatura T ; $\tau(T) = a_0(T) \tau_0$

onde $\tau_0 = \tau(T_0)$ é determinado na temperatura de referência

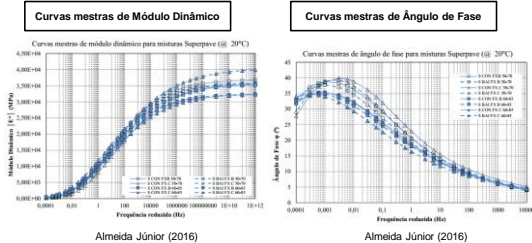
ν_{00} = coeficiente de Poisson estático, $\omega \rightarrow 0$

ν_{00} = coeficiente de Poisson em transição $\omega \rightarrow \infty$

$$\log(a_T) = -\frac{C_1(T - T_{ref})}{C_2 + (T - T_{ref})}$$

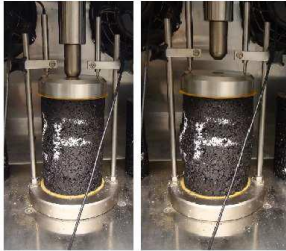
Módulo Complexo

➤ EXEMPLOS DE RESULTADOS

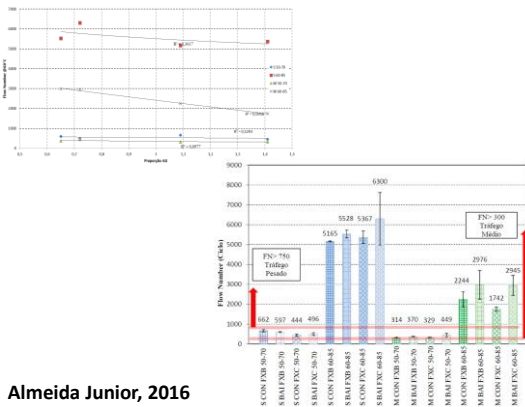
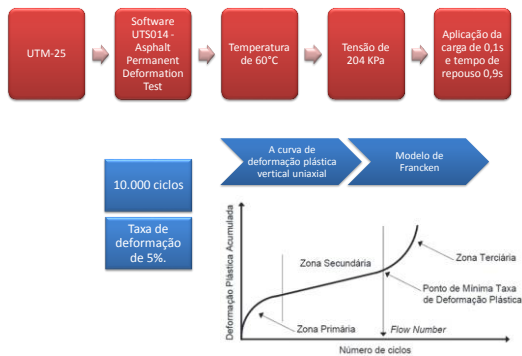


Ensaio *Flow Number*

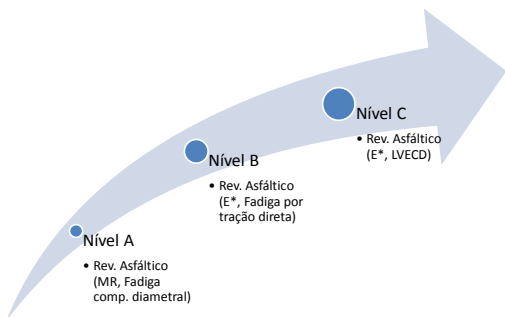
O ensaio de Flow Number é descrito no Brasil pela norma ABNT NBR 16505:2016 - Misturas asfálticas - Resistência à deformação permanente utilizando o ensaio uniaxial de carga repetida. Os corpos de prova são moldados com grau de compactação (GC) $97\% \pm 0,5\%$. Devem ser ensaiados três Corpos de prova por mistura, com as dimensões: altura de $150 \pm 2,5\text{mm}$ e diâmetro $102 \pm 2\text{mm}$.



Ensaio *Flow Number*



Almeida Junior, 2016



- No método ME-BR, em proposta:
 - ✓ ainda estão sendo validadas as equações já estabelecidas para fadiga do nível A
 - ✓ falta detalhar e completar o nível B
 - ✓ validar o método para camadas cimentadas
 - ✓ desenvolver função transferência para deformação de solos e para trincas por reflexão de camadas cimentadas
- Este que está sendo disponibilizado inicialmente é o nível A, que utiliza o software denominado SisPavBR, baseado no SisPav desenvolvido por Franco (2007)

| Características do Concreto asfáltico (CA) e do revestimento | Método do CBR | MEFOS BR |
|--|------------------------------------|---|
| Escolha do ligante | Inexistente | Função do clima e do tráfego, e também asfalto modificado, ajuste do Superpave, velocidade. |
| Dosagem do CA | Marshall | Superpave, ajuste da granulometria em várias condições e análise do empacotamento. |
| Característica mecânica | Estabilidade, Resistência a tração | Módulo de resistência ou dinâmico, curva mestre, dano por unidade induzida, fadiga e deformação permanente. |
| Espessura | Função do tráfego | Funções dos componentes da estrutura, características mecânicas do CA e do tráfego. |
| Desempenho | Não explicitado | Previsão de trincamento e afundamento |

Nível A

- O ensaio de MR é requerido para **todas as camadas do pavimento** e para o **subleito**, além do **ensaio de deformação permanente**.
- Para camadas **quimicamente** estabilizadas os **módulos elásticos** ou **resilientes** devem ser obtidos, mas considera-se que **não contribuirão para o afundamento**, **dispensando-se** o ensaio de **deformação permanente**.
- Para as **misturas asfálticas** e **misturas cimentadas** também é necessário se definir uma **equação de fadiga**, que no caso de concreto asfáltico deve ser obtida por ensaio de compressão diametral (tração indireta).
- Os **ensaio de deformação permanente** de solos e britas são de desenvolvimento mais recente, **mas também já se tem um banco de dados** de diversos materiais.
- A **função de transferência** para o cálculo do **ATR** ainda está **em desenvolvimento**. No entanto, como também é feito em vários países, a previsão da contribuição de cada camada geotécnica para o **ATR total** é considerada segura quando os materiais selecionados apresentam o comportamento de acomodamento nos ensaios para níveis de tensão elevados.

Nível B

- O ensaio de Módulo de resiliência e o de deformação permanente são requeridos para todas as camadas do pavimento e do subleito, exceto para todas as camadas asfálticas para as quais o módulo dinâmico é requerido e o ensaio de fadiga por tração direta.
- Para camadas quimicamente estabilizadas os módulos elásticos ou resilientes devem ser obtidos, mas considera-se que não contribuirão para o afundamento, mas equações de fadiga destes são necessárias.

CARACTERÍSTICAS DE PROJETO E FATORES NÃO INCLuíDOS NO MÉTODO

- Atrito, Resistência a derrapagem e ruído
- Pneus simples (Single) e simples especial (Super-Single) extralargos
- Durabilidade e desintegração da Mistura asfáltica
- Expansão de solos
- Geogrelhas e outros materiais sintéticos de reforço
- Pavimentos Semirrígidos
- Programa de preservação de pavimento
- Construção em estágios

Deformação Permanente

- O cálculo se baseia no cálculo de distorção incremental ou deformação em cada subcamada não ligada.
- A deformação permanente do revestimento não está incluída neste nível 1.
- A deformação permanente acumulada é estimada como o somatório das contribuições de cada camada geotécnica, considerando a espessura da subcamada dentro da estrutura do pavimento.
- A deformação plástica na superfície ou ATR é a soma das deformações plásticas verticais de cada camada

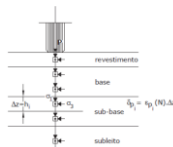
$$\epsilon_p(N) = \psi_1 \left(\frac{P_1}{p_0} \right)^{\psi_2} \left(\frac{D_1}{p_0} \right)^{\psi_3} N^{\psi_4}$$

(1)

$$\epsilon_{total}^p = \sum_{i=1}^n \epsilon_p^i h_i$$

Onde: ϵ_p (%): deformação permanente específica; $\psi_1, \psi_2, \psi_3, \psi_4$: parâmetros de regressão (parâmetros de deformabilidade permanente); σ_3 : tensão confinante; σ_d : tensão desvio; p_0 : tensão de referência (tensão atmosférica a 1 kgf/cm²);

N: número de ciclos de aplicação de carga.



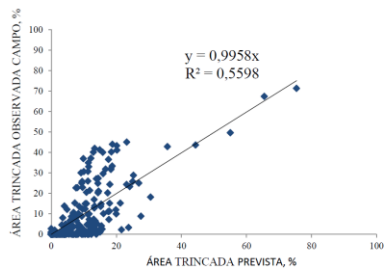
Trincas relacionadas à carga

- No cálculo da área trincada, (os defeitos de couro de jacaré, trincas longitudinais e transversais são agrupadas neste critério), o programa faz análise em vários pontos do revestimento.
- Admiti-se que a maioria das fissuras inicia na parte inferior da camada de revestimento asfáltico e se propaga para superfície com tráfego continuado de caminhões, enquanto trincas longitudinais iniciam na superfície, mas quando visíveis na superfície, são englobadas numa só categoria no levantamento visual.
- DA (dano acumulado) é calculado a partir do dano médio (ΔD), empregando a hipótese de Miner. Este dano médio é estimado numa malha distribuída em 110 pontos da camada de revestimento, permitindo ainda, calcular o dano em até duas camadas asfálticas

$$N = k_1 \times k_2 \times k_3 \times MR^{k_4}$$

Onde: N = nº permissível de aplicações de eixos de carga
k1, k2 e k3 = constantes
ε_s = deformação de tração
MR = módulo de resiliência

$$DA = \sum \Delta D = \sum \left(\frac{n}{N} \right)_{t,c}$$
$$D_{reduzida} = D_{média\ acumulada} \times Função\ "S"$$
$$\Delta T_{prevista} = C1 \times (D_{reduzida})^{C2}$$



Fritzen, 2016

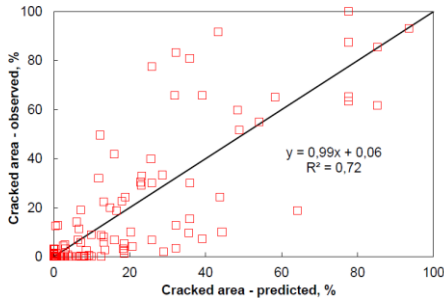
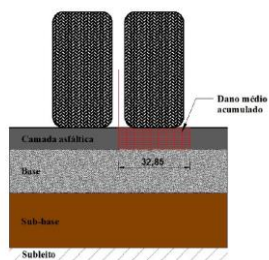


Figura 57 - Resultados da calibração da Função de Transferência definida por Nascimento em 2015, baseada na Função "ST_{0,35}" Fonte: (NASCIMENTO, 2015)



10 pontos distribuídos na direção horizontal a partir do centro do carregamento (considerando o eixo padrão) – ponto 0 cm até 32,85 cm e 11 pontos distribuídos na direção vertical à 0,01 mm da superfície igualmente distribuídos em função da espessura da camada asfáltica

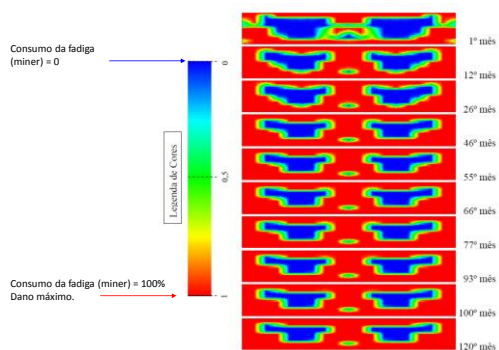


Figura 54 – Exemplo de avaliação do dano médio acumulado gerado pelo AEMC – segmento com duas camadas de revestimento asfáltico novas – Projeto Fândio

Tabela 4.1: Critérios de desempenho sugeridos para utilização na concepção e dimensionamento de pavimentos asfálticos.

| Tipo de rodovia | Critério (Valor no final da vida útil, no nível de confiabilidade do projeto) | | |
|---|---|-----------------|-------------|
| | AT (%) máximo | ATR (mm) máximo | FN (mínimo) |
| Autoestrada, tráfego pesado, vias com restrições para obras | 10 | 10 | 2000 |
| Principal, tráfego médio a pesado | 20 a 30 | 13 | 750 |
| Secundária, coletora, baixo volume de tráfego | 30 a 40 | 20 | 300 |
| AT – área trincada | | | |
| ATR – afundamento de trilha de roda | | | |
| FN – Número de fadiga do concreto asfáltico | | | |

Tabela 4.2: Nível de Confiabilidade sugerido por tipo de rodovia

| Classificação funcional | Região Urbana | Região Rural |
|-----------------------------|---------------|--------------|
| Autoestrada, tráfego pesado | 95 | 92 |
| Arteriais principais | 90 | 85 |
| Coletoras | 80 | 75 |
| Local | 70 | 60 |

Anexo B – Questionário pós-evento

Feedback do "O Novo Método de Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis no Brasil – Um Workshop Para Todos Sobre Sua Importância No Contexto Nacional"

* 1. No geral, como você avalia o evento? 

- ☐ Excelente
- ☐ Bom
- ☐ Nem bom, nem ruim
- ☐ Ruim
- ☐ Péssimo

* 2. A temática proposta foi devidamente abordada? 

- ☐ Sim, totalmente
- ☐ Sim, parcialmente
- ☐ Apenas em uma pequena parte
- ☐ Não foi abordada

* 3. Quão organizado foi o evento? 

- ☐ Extremamente organizado
- ☐ Muito organizado
- ☐ Mais ou menos organizado
- ☐ Pouco organizado
- ☐ Nada organizado

* 4. Quão adequada foi a infra-estrutura do evento? 


- ☐ Extremamente adequada
- ☐ Muito adequada
- ☐ Mais ou menos adequada
- ☐ Pouco adequada
- ☐ Nada adequada

* 5. As palestras ministradas na sessão plenária atenderam sua expectativa? 

- ☐ Sim, todas as palestras foram interessantes.
- ☐ Sim, porém uma das palestras deixou a desejar.
- ☐ Sim, porém mais de uma palestra deixou a desejar.
- ☐ Não houve palestras interessantes.

* 6. Quanto ao mini-curso de terça-feira, como você avaliaria? 

- ☐ Excelente
- ☐ Bom
- ☐ Nem bom, nem ruim
- ☐ Ruim
- ☐ Péssimo

* 7. Você teria interesse em fazer um curso sobre o novo método de dimensionamento de pavimentos flexíveis? 

- ☐ Sim, gostaria.
- ☐ Sim, apenas se for gratuito.
- ☐ Sim, e aceitaria pagar por esta formação.
- ☐ Não tenho interesse.

* 8. Gostaria de compartilhar algo sobre o evento? Teria alguma recomendação a fazer? 

QUESTIONÁRIO DISPONÍVEL EM: <https://pt.surveymonkey.com/r/KFZ6VC6>



Lelio Brito shared a link.

7 mins - SurveyMonkey   



Gostaríamos de sua opinião sobre o Workshop realizado pela PUCRS intitulado "O Novo Método de Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis no Brasil – Um Workshop

PT.SURVEYMONKEY.COM

Anexo C – Lista de Participantes do Evento



Controle de Frequência Manual

Nome do Projeto: CURSO DE EXTENSÃO: O NOVO MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS NO BRASIL - UM WORKSHOP PARA TODOS SOBRE SUA IMPORTÂNCIA NO CONTEXTO

Nome do Atividade: WORKSHOP - SESSÃO PLENÁRIA

Segunda-feira 19 Junho 2017
Página 1 de 10



Controle de Frequência Manual

Código do Projeto: 123294
Nome do Projeto: CURSO DE EXTENSÃO: O NOVO MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS NO BRASIL - UM WORKSHOP PARA TODOS SOBRE SUA IMPORTÂNCIA NO CONTEXTO

Nome do Atividade: WORKSHOP - SESSÃO PLENÁRIA

Segunda-feira 19 Junho 2017
Página 2 de 10



Controle de Frequência Manual

Nome do Projeto: CURSO DE EXTENSÃO: O NOVO MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS NO BRASIL - UM WORKSHOP PARA TODOS SOBRE SUA IMPORTÂNCIA NO CONTEXTO

Nome do Atividade: WORKSHOP - SESSÃO PLENÁRIA

Segunda-feira 19 Junho 2017
Página 5 de 10



Controle de Frequência Manual

Nome do Projeto: CURSO DE EXTENSÃO: O NOVO MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS NO BRASIL - UM WORKSHOP PARA TODOS SOBRE SUA IMPORTÂNCIA NO CONTEXTO

Nome do Atividade: WORKSHOP - SESSÃO PLENÁRIA

Segunda-feira 19 Junho 2017
Página 6 de 10



Nome do Atividade: WORKSHOP - SESSÃO PLENÁRIA

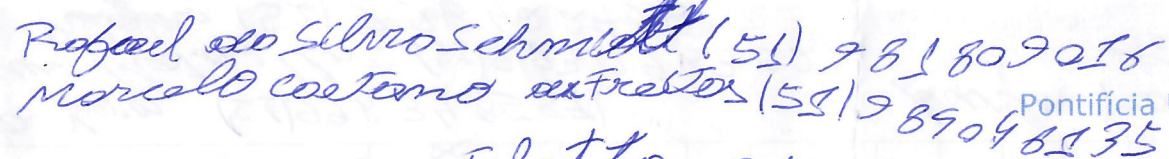
Página 7 de 10





Nome do Atividade: MINI CURSO (OPÇÃO B - TURNO TARDE)

Maria Inês Sidou.
Tejo (51) 98104 4842



PRÓ-REITORIA DE EXTENSÃO

Relatório de Frequências

Controle de Frequência Manual

Nome do Projeto: CURSO DE EXTENSÃO: O NOVO MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS NO BRASIL - UM WORKSHOP PARA TODOS SOBRE SUA IMPORTÂNCIA NO CONTEXTO

Nome do Atividade: MINI CURSO (OPÇÃO B - TURNO TARDE)

Observação: João Boeira (5) 9 96645 9181

Bibiano Cordoso ~~1000000~~ (51) 9 9838 9957

Assinatura do Coordenador/Minis

Porces Silver (51998986970)

Ricordo Von Muehlen (51) 999 991 662

Segunda-feira 19 Junho 2017

Página 2 de 2

