

**Diretrizes para Implementação do Guia de
Dimensionamento Mecânico-Empírico de
Pavimentos (MEPDG) para a Concessionária
NovaDutra**

Relatório Final

SUBMETIDO À:

Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT)

Preparado por:

Kamil E. Kaloush
Professor Associado

Maria Carolina Rodezno
Pesquisadora Pos Doc

Outubro 2011

**Ira A. Fulton Schools of Engineering
School of Sustainable Engineering and the Built Environment
Civil, Environmental and Sustainable Engineering
Tempe, AZ 85287-5306**



Diretrizes para Implementação do Guia de Dimensionamento Mecânico-Empírico de Pavimentos (MEPDG) para a Concessionária NovaDutra

1. Introdução

1.1 Necessidade de um Novo Guia de Dimensionamento de Pavimentos nos Estados Unidos

As equações empíricas recomendadas pela *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO) para o dimensionamento da estrutura de pavimentos (1993 AASHTO) são baseadas nos resultados de rodovias teste originais avaliadas pela AASHTO de 1958 a 1961, em Ottawa, Illinois. O estudo avaliou o desempenho de pavimentos de cimento de concreto Portland e de pavimentos de concreto asfáltico sob tráfego de particular magnitude e frequência.

De acordo com a *Federal Highway Administration* (1), 80% dos estados americanos usam os guias da AASHTO de 1972, 1986, ou 1993. Muitos países pelo mundo também utilizam este método para seus dimensionamentos de pavimentos. Estes procedimentos empíricos são baseados nas equações de desempenho desenvolvidas através dos dados do pavimento teste da AASHTO de 1950.

Apesar de estes métodos empíricos estarem sendo usados há muitos anos, eles apresentam um número de limitações que restringem sua eficiência como base para dimensionamento. Algumas dessas limitações incluem:

- Deficiências no carregamento do tráfego: O carregamento de caminhões pesados aumentou de forma considerável desde a década de 1960. Atualmente, pavimentos necessitam ser dimensionados para carregamento que possa atingir 200 milhões de passagem de eixo ou mais, porém as equações de dimensionamento básicas foram obtidas para carregamento de tráfego de menos de 2 milhões ESAL's. Isto significa que a aplicação deste método para o tráfego atual necessita de uma extrapolação da metodologia de dimensionamento, distante dos dados utilizados para derivar as equações.
- Deficiências para reabilitação: Procedimentos para reabilitação de pavimentos não foram considerados nos pavimentos testados na AASHTO, por isso, os

procedimentos no guia da AASHTO de 1993 são completamente empíricos e limitados.

- Deficiências com relação aos efeitos ambientais: Como o teste foi conduzido em uma localidade específica, Ottawa, Illinois, ele não leva em consideração o efeito de diferenças climáticas no desempenho dos pavimentos. O ajuste do módulo de resiliência do subleito para diferentes estações do ano e os coeficientes de drenagem das camadas são os únicos elementos que levam em consideração efeitos climáticos.
- Deficiências com relação ao subleito: No pavimento teste da AASHTO, apenas um tipo de subleito foi utilizados em todas as seções, apesar de existirem diferentes tipos de subleito nos Estados Unidos que resultariam em diferentes desempenhos do pavimento.
- Deficiências na determinação da vida útil: O pavimento teste foi avaliado por um período de dois anos. Devido a essa curta duração, os efeitos de longo prazo do clima e do envelhecimento dos materiais não foram levados em consideração.

Os avanços nas tecnologias de modelagem e nas capacidades computacionais nos últimos anos, juntamente com iniciativas de programas de avaliação de desempenho de pavimentos, como o *Strategic Highway Research Program* (SHRP) e o *Long Term Pavement Performance* (LTPP), levaram a metodologias de dimensionamento de pavimentos mais precisas. Melhor caracterização de materiais que se baseiam em propriedades fundamentais de engenharia para determinar o estado de tensões e deformações, características do tráfego, clima e avaliação de desempenho de seções de pavimento in situ, levaram a uma maior necessidade rumo a um método de dimensionamento mecanicista. Este método é apresentado no novo *Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide* (MEPDG) desenvolvido através da *National Cooperative Highway Research Program* (NCHRP) Projeto 1-37A e NCHRP Projeto 1-40D.

O MEPDG foi desenvolvido por um grande grupo de engenheiros do ARA, *Arizona State University* e muitos consultores externos. Este foi completado em 2004 e colocado à disposição do público o guia e o software para avaliação. A última versão disponível corresponde à *Version 1.100*. Futuras versões do guia serão oferecidas pela

AASHTO como DARWin-ME, *Mechanistic-Empirical Pavement Design*; as taxas para a licença estão anexadas a este relatório.

Desde 2002, diferentes estados americanos iniciaram atividades para futuras implementações do guia de dimensionamento. Estas atividades incluem treinamento de pessoal, coleta de dados de entrada (tráfego, materiais), aquisição de equipamentos de teste e seleção/preparação de seções teste para calibração local.

O documento-chave “*AASHTO Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide, Interim Edition: A Manual Practice*” (AASHTO 2008) é a melhor documentação de engenharia disponível do novo método de dimensionamento de pavimentos. A completa documentação sobre o guia encontra-se disponível em formato pdf (somente leitura) no seguinte website: www.trb.org/mepdg.

O software MEPDG esteve disponível para revisão até setembro de 2011.

1.2 ASU – CCR NovaDutra – Objetivos do Estudo

Esse trabalho de pesquisa firmado entre ASU e a Concessionária NovaDutra teve como primeiro objetivo o desenvolvimento de um guia para implementação do novo método MEPDG no processo de dimensionamento de pavimentos novos, além da reabilitação, para as condições da NovaDutra; o objetivo final seria o de melhorar e/ou validar dimensionamentos e modelos de previsão previamente existentes. Como parte fundamental desse esforço, encontra-se esse relatório de pesquisa, que servirá como um documento simplificado para assistir no uso do MEPDG durante o processo de implementação.

É importante mencionar que a completa implementação do MEPDG não consiste apenas no uso direto do software. Ele requer uma série de atividades e esforços que incluem, mas não são limitados a, caracterização laboratorial dos materiais, seleção e avaliação de seções teste para o processo de calibração, calibração do MEPDG para condições locais que incluem materiais, tráfego e variáveis climáticas e ambientais.

1.3 Importância do Esforço de Colaboração entre a *Arizona State University* e a NovaDutra

É esperado que o MEPDG seja completamente implementado nos Estados Unidos em um futuro próximo e também que outros países adotem essa metodologia. De fato, países como Argentina e Costa Rica estão nos estágios iniciais de sua implementação. Qualquer agência que deseje implementar o método MEPDG deve preparar um plano contendo calibração/validação do processo para condições locais. Modelos de previsão bem calibrados resultam em um dimensionamento confiável, além de permitir o desenvolvimento de planos para uma efetiva manutenção dos pavimentos.

O MEPDG inclui as recomendações necessárias para garantir uma recalibração adequada e validação para condições locais. Algumas dessas recomendações são:

- Dados de entrada necessários.
- Calibração local e validação dos modelos de previsão de defeitos, que incluem: banco de dados de projetos e diretrizes dos dados de entrada para condições locais, materiais e tráfego.

Essa colaboração é o ponto inicial para implementação do MEPDG no dimensionamento de novos pavimentos, e reabilitações, da NovaDutra, CCR, visando alcançar uma melhoria no desempenho das rodovias brasileiras.

2. Visão Geral do MEPDG

A fim de auxiliar os engenheiros de projeto da NovaDutra, esse item do relatório apresenta uma visão geral dos dados de entrada necessários e do processo de dimensionamento de pavimentos. Esse item contém informações sobre as seguintes atividades:

- Visão geral do procedimento adotado no MEPDG
- Diretrizes para obtenção dos dados de entrada necessários
- Diretrizes para executar o dimensionamento dos seguintes tipos de pavimento:
 - ✓ Projeto de uma nova camada asfáltica

- ✓ Restauração / Nova camada asfáltica executada sobre um pavimento asfáltico existente

2.1 Visão Geral do Dimensionamento através do MEPDG

O conceito fundamental do dimensionamento pelo MEPDG é baseado em princípios mecanístico-empírico. Isso significa que o método calcula as respostas do pavimento, como tensões, deformações e deflexões causadas pelo tráfego e por efeitos climáticos, e então acumula o dano gerado no pavimento ao longo do tempo. Em seguida, o MEPDG utiliza modelos empíricos calibrados, que são obtidos dos defeitos observados em campo, e relaciona o dano acumulado com o tempo (calculado) aos defeitos do pavimento baseados no desempenho de projetos reais. O procedimento e o fluxograma de atividades são ilustrados na Figura 1. Nota-se que o dimensionamento pelo MEPDG é um processo iterativo. O software fornece:

1. Uma interface com o usuário para inclusão dos dados de entrada,
2. Ferramentas computacionais para análise e previsão de desempenho, e
3. Resultados e dados de saída das análises em formatos apropriados para uso em documentos eletrônicos, ou impressão.

O MEPDG tem capacidade para executar a análise e dimensionamento de pavimentos novos, ou reabilitação, seja flexível, ou de concreto. Uma grande gama de alternativas de dimensionamento está disponível, como:

- Pavimentos flexíveis: convencionais, pavimentos perpétuos, semirrígidos, recapeamentos;
- Pavimentos rígidos: pavimento de concreto armado, pavimento de concreto levemente armado, restauração de placas de concreto.

A tela principal do software encontra-se ilustrada na Figura 2. O usuário primeiramente entra com os dados de Informações Gerais do projeto e então com os dados das três principais categorias: Tráfego, Clima, e Estrutura. Todos os dados de entrada são codificados por cores. Dados em vermelho significa que estes requerem entrada do usuário. Dados padrão, ou *default*, são mostrados em amarelo. Dados *default* já verificados e aceitos pelo usuário, ou quando o usuário entra com *inputs* específicos do projeto, são mostrados em verde. Uma vez todos os locais de dados de entrada

estando em amarelo ou verde, o programa poderá ser rodado. A Figura 3 ilustra a tela geral com os dados de entrada. Nessa fase, o usuário poderá selecionar o tipo de dimensionamento, bem como o tempo de projeto, e datas de construções/obras.

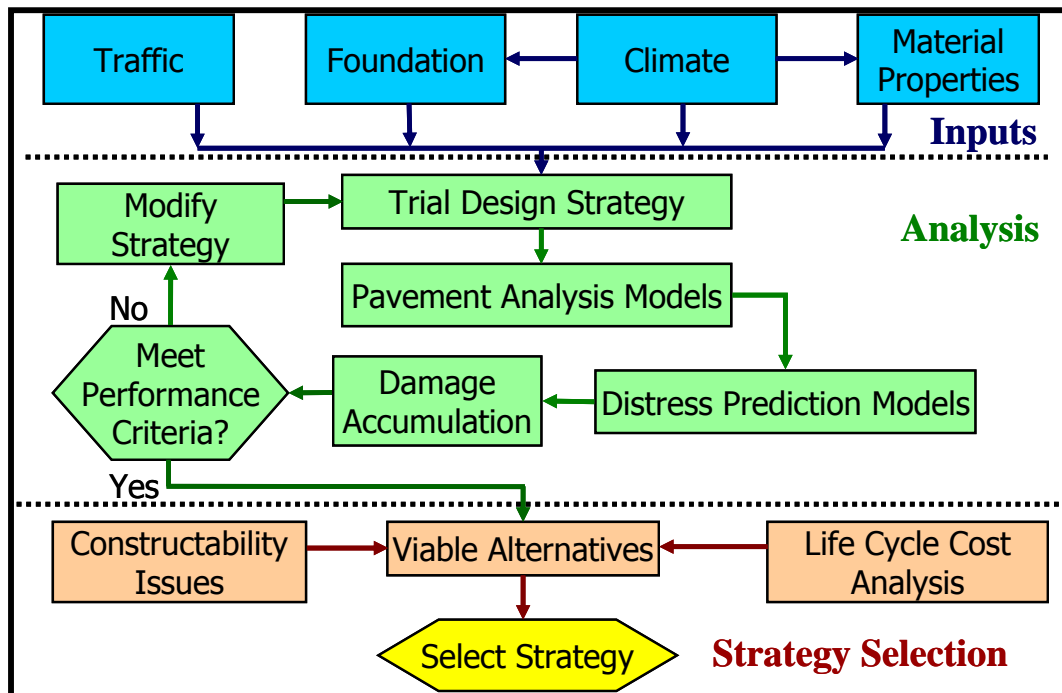


Figura 1. Fluxograma do procedimento adotado no MEPDG

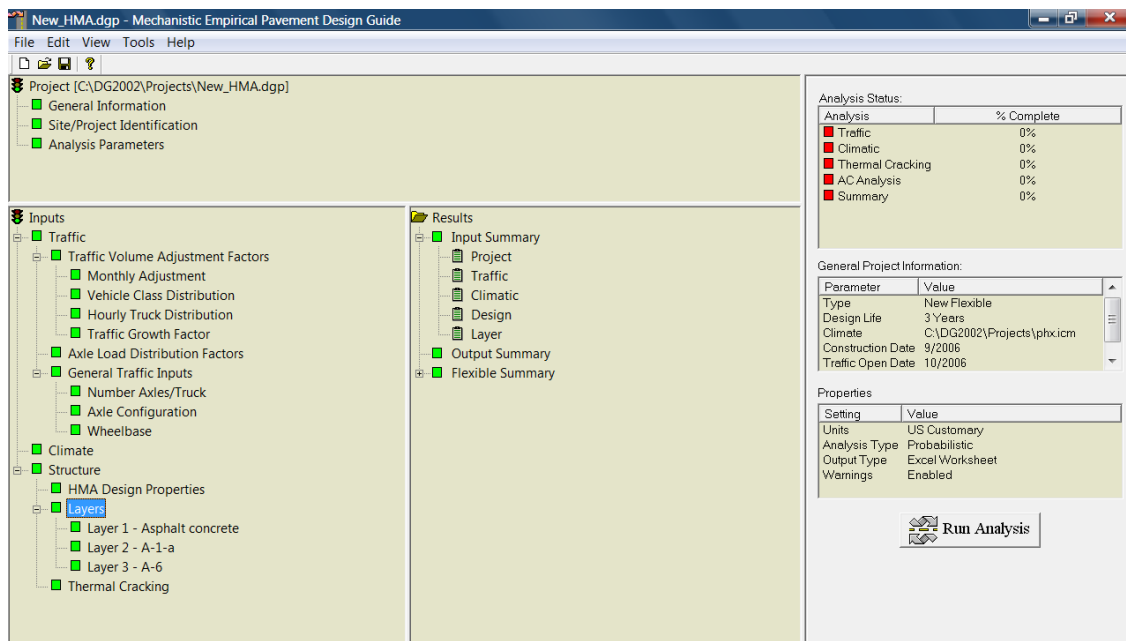


Figura 2. Tela principal do software (MEPDG)

General Information

Project Name:

Description:

Design Life (years):

Base/Subgrade Construction Month: Year:

Pavement Construction Month: Year:

Traffic open month: Year:

Type of Design

New Pavement

☒ Flexible Pavement ☐ Jointed Plain Concrete Pavement (JPCP) ☐ Continuously Reinforced Concrete Pavement (CRCP)

Restoration

☐ Jointed Plain Concrete Pavement (JPCP)

Overlay

☐ Asphalt Concrete Overlay ☐ PCC Overlay

☒ OK ☐ Cancel

Figura 3. Tela dos dados de entrada – Informações Gerais (MEPDG)

O MEPDG envolve um nível de complexidade nos dados de entrada que são requeridos. Informações muito detalhadas são solicitadas em todas as seções: parâmetros de tráfego, condições climáticas, propriedade dos materiais asfálticos e subleito, a fim de avaliar um dimensionamento padrão que atenda aos critérios de desempenho previamente estabelecidos. Se os critérios não forem estabelecidos, o projeto é revisado, uma outra tentativa é estabelecida, e o processo de avaliação é repetido. Seguindo esse processo iterativo, as espessuras finais das camadas são obtidas quando todos os critérios do dimensionamento são satisfeitos.

Outra importante característica do MEPDG é que ele utiliza uma avaliação hierárquica. Esta é baseada na filosofia de que o nível de esforço de engenharia demandado no dimensionamento do pavimento deve ser coerente com sua importância, tamanho e custo do projeto. Essa característica adiciona flexibilidade ao projetista de forma a obter os dados de entrada baseado na importância do projeto e disponibilidade

de recursos. Essa característica hierárquica é usada para os dados de entrada de tráfego, materiais e clima. Três níveis de projeto são previstos:

Nível 1: os dados de entrada possuem o maior nível de acurácia, ou seja, tem o menor nível de incerteza. Os dados de entrada dos materiais requerem testes de laboratório e campo, como o módulo dinâmico das misturas asfálticas, ou levantamento defletoométrico (não destrutivo). Este nível requer mais recursos e tempo que os outros níveis.

Nível 2: os dados de entrada possuem um nível de acurácia intermediário e é o procedimento que mais se assemelha com as versões anteriores do guia da AASHTO. Este nível pode ser adotado quando os recursos não estão disponíveis para executar os testes exigidos no Nível 1. Os dados de entrada para esse nível poderiam ser possivelmente retirados de bancos de dados de agências, de programas de testes limitados, ou poderiam ser estimados através de correlações.

Nível 3: os dados de entrada possuem o menor nível de acurácia (maior nível de incerteza). Este nível é usado para o dimensionamento onde as consequências para uma falha precoce são mínimas, por exemplo, em rodovias de baixo volume de tráfego. Os dados de entrada são tipicamente dados selecionados pelo usuário ou valores médios para a região.

Defeitos Considerados no MEPDG

O guia inclui diferentes defeitos estruturais que são considerados no projeto e análise de pavimentos flexíveis. Estes defeitos incluem:

- Trincamento por fadiga (de baixo para cima)
- Trincamento longitudinal (de cima para baixo)
- Deformação permanente
- Trincas térmicas
- Trincas por reflexão (pavimento flexível ou rígido)

Critério de Dimensionamento por Desempenho

Os parâmetros de análise/critério por desempenho no MEPDG assegura uma adequada avaliação do pavimento durante sua vida de serviço. A tela com os parâmetros de análise encontra-se ilustrada na Figura 4. O guia permite ao usuário a fixação de limites críticos, a fim de avaliar a adequação de um dimensionamento específico. Esses critérios podem ser utilizados como um requerimento da agência para acessar a condição do pavimento. A Tabela 1 mostra os valores padrão de defeitos em revestimentos asfálticos sugeridos no MEPDG. Esses valores podem ser ajustados conforme a necessidade do projeto, ou condições específicas.

| | Limit | Reliability |
|--|-------|-------------|
| <input checked="" type="checkbox"/> Terminal IRI (in/mile) | 172 | 90 |
| <input checked="" type="checkbox"/> AC Surface Down Cracking Long Cracking (ft/mi) | 2000 | 90 |
| <input checked="" type="checkbox"/> AC Bottom Up Cracking Alligator Cracking (%) | 25 | 90 |
| <input checked="" type="checkbox"/> AC Thermal Fracture (ft/mi) | 1000 | 90 |
| <input type="checkbox"/> Chemically Stabilized Layer Fatigue Fracture(%) | | |
| <input checked="" type="checkbox"/> Permanent Deformation - Total Pavement (in) | 0.75 | 90 |
| <input checked="" type="checkbox"/> Permanent Deformation - AC Only (in) | 0.25 | 90 |

Figura 4. Tela com os dados de entrada dos parâmetros de desempenho

Tabela 1. Valores limites recomendados para projetos teste

| Critério de Desempenho | Valor Máximo ao final da Vida de Serviço |
|---|---|
| Trincas Interligadas | Rodovias interestaduais: 10% da área da faixa Rodovias primárias: 20% da área da faixa Rodovias Secundárias: 35% da área da faixa |
| Deformação Permanente (Trilha de Roda) | Rodovias interestaduais: 0,40 in (10 mm) Rodovias primárias: 0,5 in (13 mm) Outras (< 45 mph, 75 km/h): 0,65 in (17 mm) |
| Trincas Térmicas | Rodovias interestaduais: 500 ft/mi (100 m/km) Rodovias primárias: 700 ft/mi (140 m/km) Rodovias Secundárias: 700 ft/mi (140 m/km) |
| IRI (Irregularidade) | Rodovias interestaduais: 160 in/mi (2,7 m/km) Rodovias primárias: 200 in/mi (3,3 m/km) Rodovias Secundárias: 200 in/mi (3,3 m/km) |

O MEPDG incorpora um cálculo estatístico de confiabilidade de forma a levar em consideração a variabilidade dos indicadores de desempenho obtidos como dado de saída. A confiabilidade de cada modelo de previsão de defeito foi calibrada usando informações de campo, obtidas através do bando de dados do LTPP, para determinar a diferença entre defeitos previstos e observados. A confiabilidade de um projeto é definida como a probabilidade de os defeitos previstos serem menores que o valor crítico para o período do projeto (2). O nível de confiabilidade para cada indicador de desempenho pode ser ajustado individualmente, ou podem ser agrupados para um valor comum. O projetista pode escolher ajustar o projeto caso a confiabilidade desejada não seja atendida após a o fim da análise. A Tabela 2 apresenta os níveis de confiabilidade sugeridos para diferentes classes de rodovias.

Tabela 2. Níveis de confiabilidade para diferentes classes de rodovias

| Classificação Funcional | Nível de Confiabilidade | |
|---------------------------------|-------------------------|-------|
| | Urbano | Rural |
| Interestaduais/ <i>Freeways</i> | 95 | 95 |
| Arteriais Principais | 90 | 85 |
| Coletoras | 80 | 75 |
| Locais | 75 | 70 |

2.2 Guia para Obtenção dos Dados de Entrada Requeridos

Dados de Tráfego

Os dados de tráfego são um dos fatores chave na análise estrutural de pavimentos pelo MEPDG. Muitos dados de entrada são requeridos com relação ao tráfego. A abordagem através do ESAL utilizada nas versões anteriores do guia de dimensionamento de pavimentos (AASHTO, 1993), não é requerida para o MEPDG. O guia passa a utilizar o espectro completo de carga por eixo, para cada tipo de eixo. Esse espectro é obtido através do processamento de dados de peso em movimento (*weight-in-motion* – WIM).

Uma vez que nem todas as agências dispõem de recursos para coletar informações de tráfego detalhada, o guia inclui distribuições de tráfego padrão para todos os dados de entrada solicitados, com exceção do volume de caminhões iniciais e da estimativa do crescimento do tráfego. Todas essas informações são necessárias para uma estimativa do carregamento que será aplicado sobre o pavimento, e a frequência dessas aplicações ao longo da vida útil do pavimento. Neste guia, os dados de tráfego necessários são os mesmos independente do tipo de pavimento (flexível ou rígido), ou do tipo de projeto (novo ou reabilitação) (1). A Figura 5 ilustra a tela principal para entrada dos dados de tráfego. Alguns dos principais dados necessários no dimensionamento incluem:

- Volume de tráfego de caminhões diário inicial
- Velocidade operacional dos veículos (caminhões)
- Direção do tráfego de caminhões e fatores de distribuição por faixa

- Tipo de caminhão e fatores de distribuição de carga por eixo
- Configurações base do eixo e da roda
- Características do pneu e pressão
- Fator de distribuição lateral do caminhão
- Fatores de crescimento dos caminhões

The screenshot shows a 'Traffic' dialog box with the following fields and controls:

- Design Life (years):** Input field with value '3' and a dropdown arrow.
- Opening Date:** Input field with value 'October, 2006'.
- Initial two-way AADTT:** Input field with value '1500' and a dropdown arrow.
- Number of lanes in design direction:** Input field with value '2'.
- Percent of trucks in design direction (%):** Input field with value '50.0'.
- Percent of trucks in design lane (%):** Input field with value '95.0'.
- Operational speed (mph):** Input field with value '60'.
- Traffic Volume Adjustment:** Input field with a green checkmark icon and an 'Edit' button.
- Axle load distribution factor:** Input field with a green checkmark icon and an 'Edit' button.
- General Traffic Inputs:** Input field with a green checkmark icon and an 'Edit' button.
- Traffic Growth:** Input field with value 'Compound, 4%' and a dropdown arrow.
- Import/Export:** A button with a folder icon.
- OK:** A button with a green checkmark icon.
- Cancel:** A button with a red X icon.

Figura 5. Tela principal para entrada dos dados de tráfego

Para cada mês, o MEPDG calcula o número acumulado de caminhões pesados na faixa que esta sendo projetada como um indicador da magnitude do carregamento do tráfego de caminhões. O guia usa a classificação da FHWA (da classe 4 para cima) (1). A Figura 6 mostra as classes de veículos padrão. Para o MEPDG, as distribuições das classes de veículos são basicamente fatores de ajuste usados para distribuir, ao longo do

ano, uma estimativa do tráfego por tipo de veículo/caminhão. A Figura 7 mostra a tela dos fatores de ajuste do volume de tráfego.

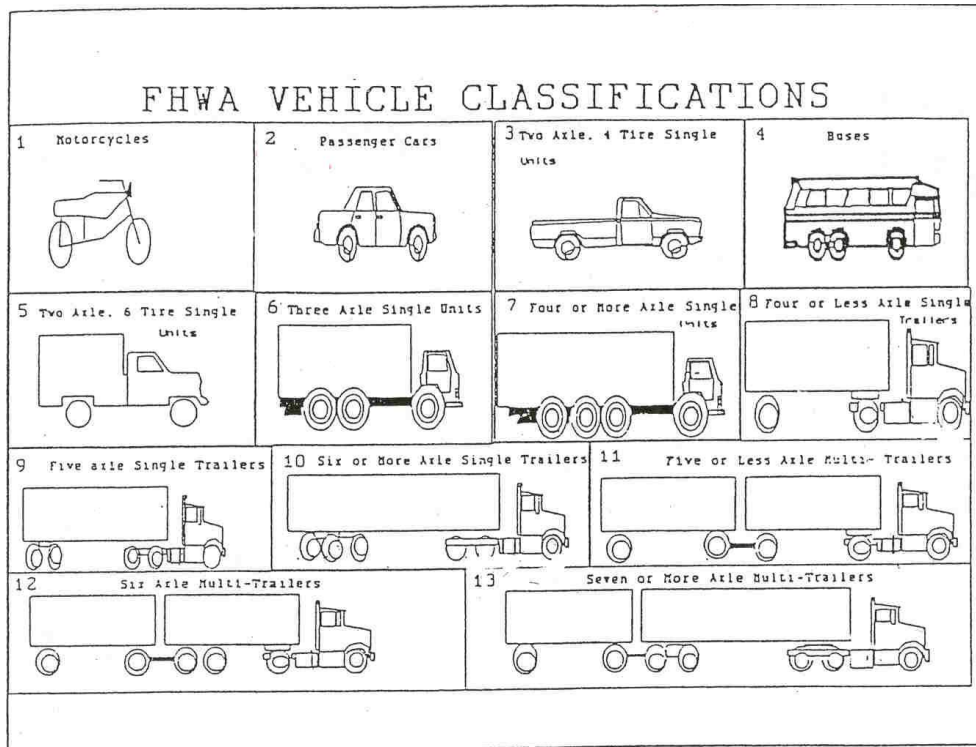


Figura 6. Classe dos veículos pela FHWA

Traffic Volume Adjustment Factors

☒ Monthly Adjustment
 ☒ Vehicle Class Distribution
 ☐ Hourly Distribution
 ☐ Traffic Growth Factors

AADTT distribution by vehicle class

| | | |
|----------|-------|--|
| Class 4 | 1.8 | |
| Class 5 | 24.6 | |
| Class 6 | 7.6 | |
| Class 7 | 0.5 | |
| Class 8 | 5.0 | |
| Class 9 | 31.3 | |
| Class 10 | 9.8 | |
| Class 11 | 0.8 | |
| Class 12 | 3.3 | |
| Class 13 | 15.3 | |
| Total | 100.0 | |

Note: AADTT distribution must total 100%.

Load Default Distribution

☐ Level 1: Site Specific Distribution
☐ Level 2: Regional Distribution
☒ Level 3: Default Distribution

Load Default Distribution

OK Cancel

Figura 7. Tela dos fatores de ajuste do volume de tráfego

Informações Climáticas

As informações climáticas também são dados de entrada fundamentais no MEPDG. As condições ambientais tem um efeito importante no desempenho dos pavimentos, como: precipitação hora-a-hora, temperatura, velocidade do vento, umidade relativa, nebulosidade, bem como altura do lençol freático.

Na estrutura de um pavimento, a umidade e a temperatura são os dois fatores ambientais que podem afetar a camada do pavimento e as propriedades do subleito de forma mais significativa, e consequentemente, sua capacidade de suporte de carga (1). Alguns dos efeitos climáticos nos materiais de pavimentação estão listados a seguir:

- Materiais asfálticos apresentam considerável variação de módulo com a temperatura. O módulo pode variar de 2 a 3 milhões psi (14000 a 21000 MPa) durante o inverno americano até cerca de 100.000 psi (700 MPa), ou menos, durante os meses quentes do verão.

- Em temperaturas abaixo de zero, a água presente nos solos congela e seu módulo resiliente pode chegar a valores 20 a 120 vezes maior que os valores antes do congelamento.
- Materiais aglutinados não são diretamente afetados pela presença da umidade, Porém, umidade em excesso pode levar ao *stripping* (ou falta de adesividade) nas misturas asfálticas, ou podem ter efeito em longo prazo na integridade estrutural de materiais cimentícios.

A fim de considerar as mudanças de temperatura e umidade na estrutura de um pavimento e subleito durante sua vida em serviço, uma sofisticada ferramenta de modelagem climática, chamada *Enhanced Integrated Climatic Model* (EICM), é adotada. O EICM é um programa unidimensional que acopla fluxo de calor e umidade para simular mudanças no comportamento e nas características nos materiais do pavimento e do subleito em conjunto com condições climáticas ao longo de vários anos de operação (1).

Todas as informações climáticas necessárias no MEPDG estão disponíveis através de estações climáticas nos Estados Unidos. O usuário deve apenas ter conhecimento da longitude e da latitude do projeto e o programa irá selecionar as estações climáticas mais próximas, criando uma estação climática para o referido projeto. A Figura 7 ilustra a tela principal para os dados climáticos e ambientais.

O MEPDG tem a capacidade de criar estações adicionais para qualquer localidade se as informações climáticas mencionadas anteriormente estiverem disponíveis.

Environment/Climatic

☒ Climatic data for a specific weather station.
☐ Interpolate climatic data for given location.

Latitude (degrees.minutes)

Longitude (degrees.minutes)

Elevation (ft)

☐ Seasonal

| Depth of water table (ft) | |
|---------------------------|----|
| Annual average | 20 |

Note: Ground water table depth is a positive number measured from the pavement surface.

Select weather station

- ANCHORAGE, AK
- ANCHORAGE, AK
- ANCHORAGE, AK
- ANNETTE, AK
- BARROW, AK
- BETHEL, AK
- BETTLES, AK
- COLD BAY, AK
- CORDOVA, AK
- DEADHORSE, AK
- DEERING, AK
- DELTA JUNCTION/FT GREELY, AK

Select Station

Cancel

Station Location:
(none)

Figura 7. Tela dos dados climáticos e ambientais

2.3 Dados de Entrada dos Materiais e Estrutura

Dados da Estrutura

Os projetistas necessitam selecionar um projeto preliminar que é analisado pelo MEPDG. Os dados de entrada solicitados são espessura das camadas e propriedades dos materiais para os materiais asfálticos (novos e os já existentes) e materiais granulares e subleito. A Figura 8 mostra a tela com os dados de entrada da estrutura do pavimento no MEPDG.

Structure

Surface short-wave absorptivity:

Layers

| Layer | Type | Material | Thickness | Interface |
|-------|---------------|------------------|---------------|-----------|
| 1 | Asphalt | Asphalt concrete | 8.0 | 1 |
| 2 | Granular Base | A-1-a | 8.0 | 1 |
| 3 | Subgrade | A-6 | Semi-infinite | n/a |

Insert Delete Edit

Opening Date: Design Life (years): ...

OK Cancel

Figura 8. Tela com os dados de entrada da estrutura do pavimento

Dados dos Materiais

No MEPDG existem basicamente 3 passos para a entrada de informações sobre a camada de concreto asfáltico:

- a. Mistura
- b. Ligante Asfáltico
- c. Informações Gerais

As informações necessárias em cada um desses campos irão variar de acordo com o Nível de Análise que será adotado:

Nível 1

a. Informações da Mistura

No nível 1, dados de testes laboratoriais reais são necessários para construir a curva mestra e os *shift factors* para o Módulo Dinâmico. A curva mestra para o nível 1 de análise é construída usando otimização numérica para transformar os dados de laboratório da mistura em uma curva suave. Resultados de Módulo Dinâmico para diferentes temperaturas e frequências são usados como dados de entrada e os valores

recomendados são indicados no manual do MEPDG. Se os resultados de testes de laboratório estiverem disponíveis, eles podem ser usados como dados de entrada diretos para a análise nível 1.

b. Ligante Asfáltico

Se o módulo complexo cisalhante (G^*) do ligante asfáltico estiver disponível, a relação entre a viscosidade do ligante e a temperatura deve ser estabelecida. Esse passo é feito inicialmente através da conversão da rigidez do ligante, em cada temperatura, para viscosidade através da Equação 1. Os parâmetros da equação da ASTM A_i - VTS_i são então encontrados por regressão linear da Equação 1 após a transformação log-log dos dados de viscosidade e transformação log dos dados de temperatura.

$$\log \eta = 10,5012 - 2,2601 \times \log (\text{pen}) + 0,00389 \times \log (\text{pen})^2 \quad (1)$$

$$\eta = \frac{G^*}{10} \left(\frac{1}{\sin \delta} \right)^{4,8628} \quad (2)$$

Onde,

η = viscosidade do ligante asfáltico, cP

G^* = módulo complexo cisalhante do ligante asfáltico, Pa

δ = ângulo de fase do ligante asfáltico, graus

Os dados do ligante asfáltico após o envelhecimento de curto-prazo são também necessários. Dois tipos de dados podem ser apresentados para o ligante: testes pela metodologia Superpave ou testes convencionais. Pelo Superpave, o módulo complexo e o ângulo de fase são necessários para um gama de temperaturas e uma taxa de carregamento de 1.59 Hz (10 rad/s). Pelo método tradicional, o ponto de amolecimento, penetração, viscosidade Brookfield, viscosidades absoluta e cinemática são os dados de entrada necessários.

As Figuras 9 e 10 mostram a tela para entrada dos dados necessários ao nível 1 de análise para as propriedades dos materiais asfálticos. A Figura 9 corresponde às

informações sobre a mistura asfáltica e a Figura 10 corresponde às informações sobre o ligante asfáltico.

c. Propriedades do Material Asfáltico

As informações necessárias nesse item são as propriedades volumétricas *as built*, que incluem: teor de ligante efetivo (%), volume de vazios (%) e peso total unitário. Outras propriedades como, condutividade térmica, capacidade de aquecimento, também são requeridas. As mesmas informações são necessárias para os níveis 2 e 3. A Figura 11 ilustra a tela de entrada dos dados sobre as propriedades do material asfáltico no MEPDG.

Asphalt Material Properties

Level: 1

Asphalt material type: Asphalt concrete

Layer thickness (in): 6

☒ Asphalt Mix ☐ Asphalt Binder ☐ Asphalt General

Dynamic Modulus Table

Number of temperatures: 5

Number of frequencies: 4

| Temperature (°F) | Mixture E* (psi) | | | |
|------------------|------------------|---|----|----|
| | 0.1 | 1 | 10 | 25 |
| 10 | | | | |
| 40 | | | | |
| 70 | | | | |
| 100 | | | | |
| 130 | | | | |

Import Export

OK Cancel View HMA Plots

Figura 9. Tela de entrada dos dados da mistura asfáltica – Nível 1 de análise

Asphalt Material Properties

Level: 1

Asphalt material type: Asphalt concrete

Layer thickness (in): 6

☒ Asphalt Mix ☒ Asphalt Binder ☒ Asphalt General

Import

Export

Options - At Short Term Aging - RTFO

☒ Superpave binder test data

☐ Conventional binder test data

Number of temperatures: 6

| Temperature (°F) | Angular frequency = 10 rad/sec | |
|------------------|--------------------------------|-----------|
| | G* (Pa) | Delta (°) |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |

OK Cancel View HMA Plots

Figura 10. Tela de entrada dos dados do ligante asfáltico – Nível 1 de análise

Asphalt Material Properties

Level: 3

Asphalt material type: Asphalt concrete

Layer thickness (in): 8

☒ Asphalt Mix ☒ Asphalt Binder ☒ Asphalt General

General

Reference temperature (°F): 20

Gravimetric Properties (Mix Design)

Binder content by weight(%):

Optimum binder content (OBC) (%)

Design air voids used to select OBC (%):

Volumetric Properties as Built

Effective binder content (%): 10

Air voids (%): 8.5

Total unit weight (pcf): 150

Poisson's Ratio

☐ Use predictive model to calculate Poisson's ratio.

Poisson's ratio: 0.35

Parameter a:

Parameter b:

Thermal Properties

Thermal conductivity asphalt (BTU/hr-ft-F): 0.67

Heat capacity asphalt (BTU/lb-F): 0.23

OK Cancel View HMA Plots

Figura 11. Tela de entrada dos dados para análise das propriedades gerais dos materiais asfálticos (Níveis 1, 2 e 3)

Nível 2

a. Informações da Mistura

No Nível 2, é adotada a equação de previsão do Módulo Dinâmico do prof. Witczak (Equação 3).

$$\begin{aligned} \log E^* = & 3.750063 + 0.02932\rho_{200} - 0.001767(\rho_{200})^2 - 0.002841\rho_4 \\ & - 0.058097V_a - 0.802208\left(\frac{V_{eff}}{V_{eff} + V_a}\right) + \\ & \frac{3.871977 - 0.0021\rho_4 + 0.003958\rho_{38} - 0.000017(\rho_{38})^2 + 0.005470\rho_{34}}{1 + e^{(-0.603313 - 0.31335 \log(f) - 0.393532 \log(\eta))}} \end{aligned} \quad (3)$$

Onde,

E^* = Módulo Dinâmico, psi

η = Viscosidade do ligante asfáltico, 10^6 poise

f = Frequência de carregamento, Hz

V_a = Volume de vazios, %

V_{eff} = Teor de ligante efetivo, % por volume

ρ_{34} = % Acumulado retido na peneira $\frac{3}{4}$

ρ_{38} = % Acumulado retido na peneira $\frac{3}{8}$

ρ_4 = % Acumulado retido na peneira # 4

ρ_{200} = % Passando na peneira # 200

ρ_{34} = % Acumulado retido na peneira $\frac{3}{4}$

ρ_{38} = % Acumulado retido na peneira $\frac{3}{8}$

ρ_4 = % Acumulado retido na peneira #4

ρ_{200} = % Passando na peneira # 200

A Figura 12 mostra a tela com dados de entrada para uma análise de nível 2 com as informações da mistura.

b. Informações do Ligante

Estes são os mesmos dados do ligante que são requisitados para a análise nível 1: são necessários como dados de entrada o módulo complexo de cisalhamento e o ângulo de fase ao longo de uma varredura de temperaturas, ou dados obtidos em ensaios convencionais.

Nível 3

a. Informações da Mistura

Para a análise no nível 3, a Equação 3 também é usada para estimar o módulo dinâmico, e a única informação da mistura que é requisitada é a granulometria dos agregados.

b. Informações do Ligante

As informações do ligante no nível 3 não requerem ensaios laboratoriais. A viscosidade do ligante em função da temperatura é estimada por meio da relação típica entre temperatura e viscosidade após o RTFOT, estabelecida para os diferentes tipos de asfalto classificados nas especificações. Para estimar a viscosidade do ligante em uma dada temperatura são usados os parâmetros A e VTS para a relação temperatura-viscosidade. O MEPDG oferece a opção de estimar estes valores do ligante se alguma das informações a seguir é conhecida:

- *Performance Grade* (PG) do ligante asfáltico (Classificação Superpave)
- Viscosidade (Classificação convencional)
- Penetração (Classificação convencional)

A Figura 13 mostra os dados de entrada para uma análise Nível 3 com as informações do ligante. Neste caso, foi selecionada a classificação do ligante pelo método Superpave.

Asphalt Material Properties

Level: 3

Asphalt material type: Asphalt concrete

Layer thickness (in): 8

☒ Asphalt Mix ☒ Asphalt Binder ☒ Asphalt General

Aggregate Gradation

Cumulative % Retained 3/4 inch sieve: 7

Cumulative % Retained 3/8 inch sieve: 30

Cumulative % Retained #4 sieve: 57.5

% Passing #200 sieve: 4

OK Cancel View HMA Plots

Figura 12 Tela com dados de entrada para análise com as informações da mistura no Nível 2

Asphalt Material Properties

Level: 3

Asphalt material type: Asphalt concrete

Layer thickness (in): 8

☒ Asphalt Mix ☒ Asphalt Binder ☒ Asphalt General

Options

☒ Superpave binder grading

☐ Conventional viscosity grade

☐ Conventional penetration grade

| High Temp | Low Temp (°C) | | | | | | |
|-----------|---------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | -10 | -16 | -22 | -28 | -34 | -40 | -46 |
| 46 | | | | | | | |
| 52 | | | | | | | |
| 58 | | | | | | | |
| 64 | | | | | | | |
| 70 | | | | | | | |
| 76 | | | | | | | |
| 82 | | | | | | | |

A: VTS:

OK Cancel View HMA Plots

Figura 13 Tela com dados de entrada para análise do ligante asfáltico no Nível 3

2.3 Método de Dimensionamento pelo MEPDG

Após a seleção das seções de pavimento e a compilação de todos seus dados de entrada, é realizado um dimensionamento. No geral, o dimensionamento deverá seguir os seguintes passos:

1. Criar uma tentativa de projeto para um local específico, baseada em informações de tráfego, clima e material.
2. Definir as camadas do pavimento, a mistura asfáltica a quente, e outras propriedades dos materiais.
3. Computar as respostas estruturais (tensão, deformação, etc.) usando elementos finitos ou programa de análise de camadas elásticas para cálculo de cada dano ao longo de todo o período de projeto.
4. Calcular os danos acumulados em cada mês de toda a vida de serviço.
5. Prever os defeitos, como trincamento e deformação permanente, mês-a-mês durante o período de projeto, usando modelos de desempenho mecanístico-empíricos calibrados fornecidos no MEPDG.
6. Avaliar o desempenho indicado na tentativa de projeto.

3. Plano de Trabalho ASU – NovaDutra

Em meados de maio de 2011, os pesquisadores da ASU e os técnicos da NovaDutra se reuniram por diversos dias na sede da NovaDutra para discutir mais detalhadamente sobre as tarefas estabelecidas para neste estudo. Participaram destes encontros: Décio de Rezende Souza, Valéria Cristina de Faria, Maria Carolina Rodezno e Kamil Kaloush. A descrição e a realização das diferentes tarefas são apresentadas a seguir neste relatório.

TAREFA 1. Treinamento técnico para uso do software MPEDG.

Uma apresentação abrangente sobre o MEPDG foi preparada e incluída como Apêndice 1 neste relatório. Já o Apêndice 2 inclui um resumo deste projeto, também em

forma de *slides*, que foi apresentado por ocasião do 7º Congresso Brasileiro de Rodovias e Concessões, em outubro de 2011. Ambas as apresentações podem ser utilizadas pelos engenheiros de projeto da NovaDutra para realizar *workshops* e treinamentos futuros, caso necessário. Estas apresentações incluem algumas informações como:

- ✓ Introdução ao MEPDG
- ✓ Definição dos dados de entrada no MEPDG
- ✓ Análise dos parâmetros e dos modelos de previsão de defeitos
- ✓ Metodologia computacional
- ✓ Vantagens do MEPDG sobre os métodos tradicionais de projeto de pavimentos
- ✓ Estudos de caso para as condições da NovaDutra

Dois *workshops* foram realizados pela Dra. Maria Carolina Rodezno durante sua estada no Brasil. O primeiro foi feito na sede da NovaDutra e o segundo na sede da CCR. Os principais engenheiros da CCR, responsáveis por análises e projetos de pavimentos, participaram de ambos os *workshops*.

TAREFA 2. Determinação e seleção dos dados de entrada requeridos, considerando as condições da concessionária NovaDutra.

Para um melhor entendimento do nível de esforços necessários nesta tarefa, a seguir lista-se um resumo dos dados de entrada requeridos:

1. Informações Gerais

- Período de projeto
- Data da obra
- Mês da construção do pavimento (pavimento novo)
- Mês da construção do pavimento existente e mês da obra de recapeamento (restauração)

2. Tráfego de Caminhões

Como mencionado na seção anterior, o MEPDG utiliza dados do espectro de carga por eixo para cada tipo de eixo, tanto para projetos de pavimentos novos quanto para projetos de restauração. Os espectros de carga por eixo são obtidos por meio de dados de processamento do tipo *Weighing in Motion* (WIM). Estes dados necessitam de processamento detalhado e extensivo para determinar o tráfego dos diversos caminhões relacionados aos dados de entrada no MEPDG.

Entretanto, o custo e o tempo necessários para coletar e analisar os dados de tráfego não é viável. Como alternativa, o tráfego pode ser analisado através do conceito ESAL. A informação de ESAL já está disponível na NovaDutra, além das seguintes informações requeridas como dados de entrada quanto às variáveis de tráfego:

- Tráfego inicial médio diário anual de caminhões nas duas direções (AADTT)
- Porcentagem de caminhões na faixa de projeto
- Porcentagem de caminhões na direção de projeto
- Velocidade operacional (limite fixado para caminhões)

3. Informações Climáticas

O clima tem papel importante no desempenho dos pavimentos. Pode ter influência significativa na estrutura destes últimos, especialmente em locais onde há grandes mudanças sazonais. O MEPDG considera influências do clima e do ambiente no entorno no desempenho do pavimento. Como explicado nas seções anteriores, isto é possível por meio do uso da ferramenta de modelagem climática (EICM). A EICM é utilizada para prever e simular as mudanças de comportamento e de características no pavimento e nos materiais granulares devido às condições do ambiente ao longo da vida de serviço do sistema. Além disso, a ferramenta tem uma interface fácil de ser usada para produzir o banco de dados climático necessário para rodar o EICM. (1).

Com o EICM, o MEPDG pode criar estações adicionais para qualquer local se as informações climáticas necessárias estiverem disponíveis. Isto é um aspecto importante, visto que o guia inclui dados de clima somente para os Estados Unidos. Com as

informações requeridas, pode-se criar o banco de dados no EICM. Estes arquivos deveriam ter o mesmo formato solicitado pelo EICM. Os dados de clima devem estar em formato de hora em hora.

O EICM requer dois grandes tipos de dados de entrada. A profundidade do lençol freático é um dos dados manualmente adicionados no EICM. As informações relacionadas ao clima, o segundo tipo de dados de entrada, são basicamente obtidas por meio de estações climáticas próximas ao local da obra. Os cinco parâmetros climáticos (hora a hora) utilizados no modelo do EICM são:

- Temperatura ambiente
- Precipitação
- Velocidade do vento
- Umidade relativa
- Nebulosidade

Também são necessárias informações sobre longitude, latitude e altura.

O MEPDG requer pelo menos 24 meses de levantamento de dados efetivos nas estações climáticas, para fins computacionais.

Nos Estados Unidos, os dados coletados podem ser obtidos através do *National Climatic Data Center* (NCDC), da *National Oceanic and Atmospheric Association* (NOAA) ou de outras fontes confiáveis.

Mudanças de temperatura, precipitação e profundidade de congelamento podem afetar drasticamente o comportamento do pavimento. Deste modo, o MEPDG requer que tais dados de entrada sejam calibrados para cada local. A NovaDutra obteve algumas informações climáticas parciais que poderiam ser usadas para criar um banco de dados específico para a Rodovia Presidente Dutra. Diversas tentativas para obter informações climáticas ao longo desta rodovia foram feitas, mas não havia dados completos disponíveis. Na maior parte das vezes, as informações hora a hora não estavam disponíveis, além de não haver absolutamente outros dados, como radiação solar.

Com vistas a este problema, foram selecionados dois locais nos Estados Unidos no banco de dados climáticos do EICM, com condições similares a São Paulo e Rio de

Janeiro. Estes dois pontos estão localizados no estado norte-americano da Louisiana; Monroe foi escolhido para as condições de São Paulo e Shreveport para as do Rio de Janeiro. Para uma futura implementação completa do MPEDG no Brasil serão necessários dados climáticos mais apurados, consistentes com o formato do EICM. Isto irá assegurar uma acurácia melhor nas futuras previsões.

4. Dados da Estrutura

4.1 Materiais Asfálticos

Como nenhum dado de módulo dinâmico está disponível no momento, o Nível 3 de análise foi utilizado neste estudo. As informações dos materiais asfálticos são as seguintes:

- Graduação da mistura
- Tipo de ligante (Classificação Superpave de ligante, classificação convencional de viscosidade e de penetração)
- Propriedades volumétricas *as built* (teor de asfalto efetivo, volume de vazios, peso total unitário)

4.2 Base/Sub-base/Subleito de Materiais Granulares Não-Estabilizados

- Tipo de material (Classificação AASHTO ou Classificação Unificada)
- Módulo de Resiliência, que pode ser estimado por meio de valores *default* fornecidos pelo MEPDG ou usando CBR ou valor R
- Graduação, limites de Atterberg, densidade seca, teor de umidade

4.3 Materiais Estabilizados (Tratados com Cimento, Solo-Cimento)

- Elástico; Módulo de Resiliência
- Módulo de Ruptura

Foi realizada uma série de encontros/sessões com os profissionais da NovaDutra para fornecer e explicar o estado atual da prática de cada dado de entrada acima que é requerido.

TAREFA 3. Esforços iniciais para a implementação do MEPDG na NovaDutra

Como primeiro passo na implementação do MEPDG para as condições da NovaDutra foi desenvolvido um estudo preliminar. Este estudo incluiu a previsão de desempenho do MEPDG para as estruturas existentes de pavimentos restaurados localizados ao longo da Rodovia Presidente Dutra, entre São Paulo e Rio de Janeiro, Brasil.

Notou-se que o MEPDG não é calibrado para as condições da NovaDutra, mas os resultados poderiam levar a um melhor entendimento das necessidades em uma calibração futura. Uma das limitações na avaliação era o fato de que não havia disponibilidade de um pavimento real ou recente para fins de comparação. Assim, os valores dos dados de saída do MEPDG relativos ao desempenho neste estudo precisam de uma validação adicional baseada em dados de desempenho em campo.

É importante ter em mente que deve haver um balanço entre a precisão desejada e os dados disponíveis à mão dentro de cada Nível no MEPDG. Existem diferentes fontes de variação que podem contribuir para a previsão, como: erros de estimativa da carga de tráfego, flutuação climática, variações na espessura da camada, propriedade do material e das características do subleito ao longo do projeto, diferenças quanto aos materiais de projeto e aqueles realmente empregados na obra, e outras propriedades da camada. Basicamente, a precisão dentro de cada Nível pode ser melhorada com base na confiança e na disponibilidade dos dados de entrada dentro deste Nível; além disso, a precisão da previsão de desempenho pode ser melhorada quando se passa para um dos níveis hierarquicamente mais elevados no MEPDG.

Também é importante mencionar que a maioria das estruturas de pavimentos ao longo da Rodovia Presidente Dutra se trata de projetos de restauração, uma vez que a rodovia original foi construída nos anos 1960. Esta situação tornou o processo de coleta de dados muito difícil, uma vez que a maioria dos registros históricos da construção não estava disponível. A melhor informação disponível se tratava de um estudo com poços de inspeção, que foi realizado em 1996. Este estudo forneceu alguns dados sobre a

espessura de cada camada, bem como informações gerais sobre os tipos de materiais de cada uma destas camadas. Um total de 39 poços foi investigado. A partir deste estudo, verificou-se que a estrutura da Rodovia Presidente Dutra é bastante variável em termos de espessuras e materiais.

Para ter uma boa representatividade das diferentes seções de pavimentos, algumas das variáveis usadas na seleção dos trechos incluíram: tráfego (médio e pesado), zona climática (São Paulo e Rio de Janeiro), período de projeto do pavimento.

Um total de 7 seções de pavimentos foi selecionado. Para cada um destes trechos foram coletados os dados de entrada necessários. As informações incluíram: data de construção, tráfego, estrutura de camadas, e informações climáticas.

Como os dados relativos aos materiais eram muito limitados, duas camadas típicas de mistura asfáltica foram selecionadas e usadas como dados de entrada que serão descritos nos itens a seguir.

O MEPDG requer informações detalhadas de clima para a previsão dos defeitos dos pavimentos. Estes dados, hora a hora, incluem temperatura, precipitação, velocidade do vento, umidade relativa e nebulosidade. Estas informações são usadas para prever a temperatura e o teor de umidade em cada camada do pavimento.

Como explicado anteriormente, os dados climáticos detalhados para esta localidade não estavam disponíveis. Por causa disto, foram selecionados os dados de clima de dois locais nos Estados Unidos no Estado da Louisiana; Monroe que foi escolhido para as condições de São Paulo e Shreveport que foi selecionado as condições do Rio de Janeiro. Em análises futuras, para uma melhor precisão nas previsões, serão necessários os dados climáticos especificamente de cada local.

A Tabela 3 resume as informações destas seções de pavimentos. Estes dados incluem a identificação do trecho, os registros de restauração, e algumas informações de tráfego incluindo: tráfego médio diário anual (AADTT), tráfego pesado, e o número total de ESAL's calculado por meio de dois métodos: do *US Army Corps of Engineer* (USACE) e da *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO). Estes dados foram fornecidos pelos técnicos da NovaDutra. Estas informações estão no Apêndice 3.

Como não havia nenhum espectro de carga disponível para rodar estes cenários, foi empregado o nível mais crítico de tráfego em termos de ESAL. O método USACE

deu o nível de tráfego mais elevado. As Figuras 14 a 20 apresentam um esquema das seções dos pavimentos de todos os 7 locais. O período de projeto para todos os cenários foi de 8 anos, que é o período que os projetistas da NovaDutra usam como ciclo de restauração.

Tabela 3. Seções da Rodovia Presidente Dutra usadas na análise preliminar no MEPDG

| Seção n° | Identificação da seção | Registros de restauração | Informações de tráfego (AADT) | Tráfego pesado | ESAL (USACE) | ESAL (AASHTO) |
|----------|------------------------|--------------------------|-------------------------------|----------------|--------------|---------------|
| 1 | Pista Norte SP 63-0 | 1997, 2011 | 1,55E+04 | 8,08E+03 | 2,60E+08 | 7,81E+07 |
| 2 | Pista Norte SP 107-106 | 2003 | 1,97E+04 | 7,29E+03 | 2,35E+08 | 7,06E+07 |
| 3 | Pista Norte SP 128-118 | 2004, 2010 | 2,16E+04 | 5,84E+03 | 1,89E+08 | 5,66E+07 |
| 4 | Pista Sul RJ 182-184 | 2000, 2006, 2010 | 2,45E+04 | 6,62E+03 | 2,13E+08 | 6,40E+07 |
| 5 | Pista Sul SP 211-214 | 2002, 2007 | 1,10E+04 | 5,30E+03 | 1,71E+08 | 5,12E+07 |
| 6 | Pista Norte RJ 218-210 | 1999, 2008 | 1,07E+04 | 5,24E+03 | 1,69E+08 | 5,08E+07 |
| 7 | Pista Norte RJ 309-305 | 2007, 2010 | 1,33E+04 | 6,80E+03 | 2,19E+08 | 6,57E+07 |

| | |
|---------|---------------------------|
| 12,0 cm | Mistura asfáltica |
| 22,0 cm | Mistura asfáltica antiga |
| 15,0 cm | Base granular |
| 20,0 cm | Material natural granular |
| | Subleito (argila) |

Figura 14. Seção de pavimento 1 – Pista Norte SP 63-0

| | |
|---------|---------------------------|
| 4,0 cm | Mistura asfáltica |
| 22,0 cm | Mistura asfáltica antiga |
| 30,0 cm | Base granular |
| 35,0 cm | Material natural granular |
| | Subleito (argila) |

Figura 15. Seção de pavimento 2 – Pista Norte SP 107-106

| | |
|---------|---------------------------|
| 4,0 cm | Mistura asfáltica |
| 11,0 cm | Mistura asfáltica antiga |
| 20,0 cm | Base granular |
| 20,0 cm | Material natural granular |
| | Subleito (argila siltosa) |

Figura 16. Seção de pavimento 3 – Pista Norte SP 128-118

| | |
|---------|--|
| 5,0 cm | Mistura asfáltica |
| 5,0 cm | Mistura asfáltica antiga |
| 10,0 cm | Mistura asfáltica antiga (<i>Binder</i>) |
| 20,0 cm | Brita graduada (macadame hidráulico) |
| 40,0 cm | Sub-base granular_Material granular |
| | Subleito (silte) |

Figura 17. Seção de pavimento 4 – Pista Sul SP 182-184

| | |
|---------|--|
| 4,0 cm | Mistura asfáltica |
| 16,0 cm | Mistura asfáltica antiga (<i>Binder</i>) |
| 15,0 cm | Brita graduada (macadame hidráulico) |
| 15,0 cm | Sub-base granular_Material granular |
| | Subleito (argila siltosa-arenosa) |

Figura 18. Seção de pavimento 5 – Pista Sul SP 211-214

| | |
|---------|-----------------------------------|
| 12,0 cm | Mistura asfáltica |
| 4,0 cm | Mistura asfáltica antiga |
| 20,0 cm | Pavimento de concreto existente |
| 35,0 cm | Sub-base_Material arenoso |
| | Subleito (argila siltosa-arenosa) |

Figura 19. Seção de pavimento 6 – Pista Norte RJ 218-210

| | |
|---------|---|
| 6,0 cm | Mistura asfáltica modificada com polímero |
| 14,0 cm | Mistura asfáltica antiga |
| 20,0 cm | Base granular |
| 20,0 cm | Material granular natural |
| | Subleito (argila) |

Figura 20. Seção de pavimento 7 – Pista Norte RJ 309-305

Dados de Entrada de Material – Análise Nível 3

Na análise das diferentes seções de pavimento descritas acima foi empregada uma análise Nível 3. Isto se deve ao fato de não haverem dados de laboratório disponíveis de nenhuma das seções.

Como mencionado anteriormente, as informações sobre os materiais eram muito limitadas. Deste modo, dois tipos diferentes de camadas de mistura asfáltica foram empregadas na análise: a primeira será referida como “Concreto Asfáltico” (CA) e a segunda como “*Binder*”. Nas Figuras 14-20, todas as camadas de misturas asfálticas são do tipo CA.

Os dados disponíveis destas misturas estão resumidos nas Tabelas 4 e 5.

Tabela 4. Propriedades das misturas

| Propriedade da mistura | CA | <i>Binder</i> |
|-------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| G_{mm} | 2,4 | 2 |
| G_{mb} | 2,305 | 2,368 |
| G_{sb} | 2,608 | 2,61 |
| Teor de asfalto (%) | 4,9 | 3,6 |
| Volume de vazios (%) | 3-5 (<i>as built</i> = 7) | 4-6 (<i>as built</i> = 7) |
| Teor de asfalto efetivo | 8,95 | 5,54 |
| Tipo de ligante | CAP 30-45 – Pen 40-50 | CAP 30-45 – Pen 40-50 |

Tabela 5. Graduação das misturas de CA e de binder (porcentagem retida)

| Mistura | ρ_{34} % | ρ_{38} % | ρ_4 % | ρ_{200} % passante |
|----------------|-------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|---|
| Mistura CA | 2 | 19 | 36 | 8 |
| Mistura Binder | 26 | 45 | 60 | 6,8 |

Previsões de defeito no MEPDG

Após serem compiladas todas as informações descritas no item 2, foi executado o método de dimensionamento como mencionado no item 3 para os cenários dos sete casos. Os dados de saída do MEPDG contêm previsões de defeitos individuais mensais para o período de projeto. O resumo dos dados de entrada dos cenários de todos os casos, bem como os dados completos de saída são apresentados no Apêndice 4.

Os defeitos abrangidos são: deformação permanente da mistura asfáltica, trincamento por fadiga, trincamento longitudinal, trincamento por reflexão, trincamento térmico. Já que trincamento térmico é causado por mudanças extremas de temperatura, o que não é o caso da Rodovia Presidente Dutra, este defeito não foi previsto. Além disso, não foi previsto trincamento por fadiga (base-topo) para aquelas seções.

A Tabela 6 resume os dados de saída de deformação permanente acumulada na mistura asfáltica em cada seção para cada ano do período de projeto. A Figura 21 mostra a deformação permanente total no concreto asfáltico ao final do período de projeto. A partir destas informações pode-se notar que todas as seções apresentaram altos valores de deformação permanente da mistura asfáltica. Existem dois fatores principais que influenciam a previsão destas seções individuais quanto a tráfego e espessuras de camadas. Já que as mesmas misturas foram utilizadas em todos os trechos, os dados da mistura não são considerados como um fator quando há uma comparação entre as seções. Os trechos com os menores valores de deformação permanente correspondem às seções 1, 5 e 6. Estes trechos correspondem a duas das seções com as espessuras totais mais elevadas de concreto asfáltico e à que contém o pavimento de concreto sob a camada asfáltica. Ainda que não houvesse dados

disponíveis de desempenho para comparar a precisão dos valores do MEPDG, todos os dados de saída pareciam ser maiores que o esperado com relação aos valores de deformação permanente do concreto asfáltico (empiricamente, estabeleceu-se que a deformação permanente total não exceda 2,5 cm).

Tabela 6. MEPDG – Previsão de deformação permanente para os cenários dos 7 casos na NovaDutra

| Ano | Deformação permanente do CA (mm) | | | | | | |
|-----|----------------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| | PN SP 63-0 | PN SP 107-106 | PN SP 128-118 | PS SP 211-214 | PS RJ 182-184 | PN RJ 218-210 | PN RJ 309-305 |
| 1 | 5,31 | 14,12 | 7,98 | 10,29 | 5,41 | 5,54 | 10,97 |
| 2 | 7,24 | 19,74 | 11,18 | 14,33 | 8,00 | 8,59 | 16,66 |
| 3 | 8,81 | 24,33 | 13,84 | 17,65 | 9,37 | 10,06 | 20,12 |
| 4 | 9,78 | 27,20 | 15,52 | 19,66 | 10,69 | 11,13 | 22,73 |
| 5 | 10,59 | 29,54 | 16,94 | 21,36 | 11,81 | 12,32 | 25,53 |
| 6 | 11,33 | 31,75 | 18,26 | 22,91 | 12,75 | 13,00 | 27,10 |
| 7 | 12,29 | 34,80 | 20,02 | 25,12 | 13,59 | 13,64 | 28,52 |
| 8 | 13,28 | 37,69 | 21,74 | 27,20 | 14,45 | 14,30 | 29,97 |

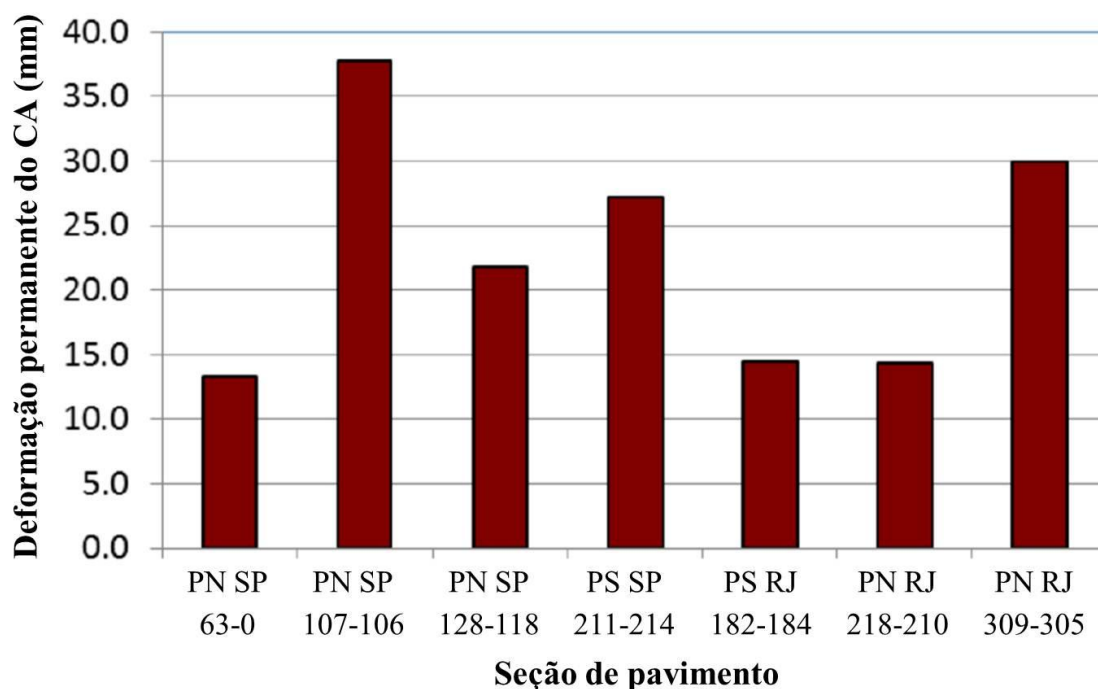


Figura 21. Deformação permanente total para os cenários dos sete casos

A Tabela 7 mostra a previsão de deformação permanente total de cada seção em cada ano de sua vida de projeto. A Figura 22 mostra a deformação permanente total para cada trecho ao fim do período de projeto. Novamente, o MEPDG demonstra maiores níveis de deformação permanente total do que parece ocorrer em campo (análise subjetiva) para estas seções. A partir desta informação também se pode observar que a maior parte da deformação permanente acontece nas camadas asfálticas e uma porcentagem menos significativa deste defeito ocorre na base e no subleito.

Tabela 7. MEPDG – Previsão de deformação permanente total para os cenários dos 7 casos na NovaDutra

| Ano | Deformação permanente total (mm) | | | | | | |
|-----|----------------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| | PN SP 63-0 | PN SP 107-106 | PN SP 128-118 | PS SP 211-214 | PS RJ 182-184 | PN RJ 218-210 | PN RJ 309-305 |
| 1 | 8,46 | 18,90 | 14,88 | 15,52 | 10,74 | 5,54 | 16,43 |
| 2 | 10,59 | 24,79 | 18,72 | 19,99 | 13,92 | 8,59 | 22,53 |
| 3 | 12,32 | 29,54 | 21,74 | 23,55 | 15,54 | 10,06 | 26,11 |
| 4 | 13,36 | 32,51 | 23,75 | 25,73 | 17,09 | 11,13 | 28,85 |
| 5 | 14,25 | 34,95 | 25,37 | 27,53 | 18,34 | 12,32 | 31,72 |
| 6 | 15,04 | 37,24 | 26,87 | 29,21 | 19,41 | 13,00 | 33,35 |
| 7 | 16,08 | 40,36 | 28,85 | 31,52 | 20,37 | 13,64 | 34,82 |
| 8 | 17,09 | 43,36 | 30,71 | 33,71 | 21,36 | 14,30 | 36,32 |

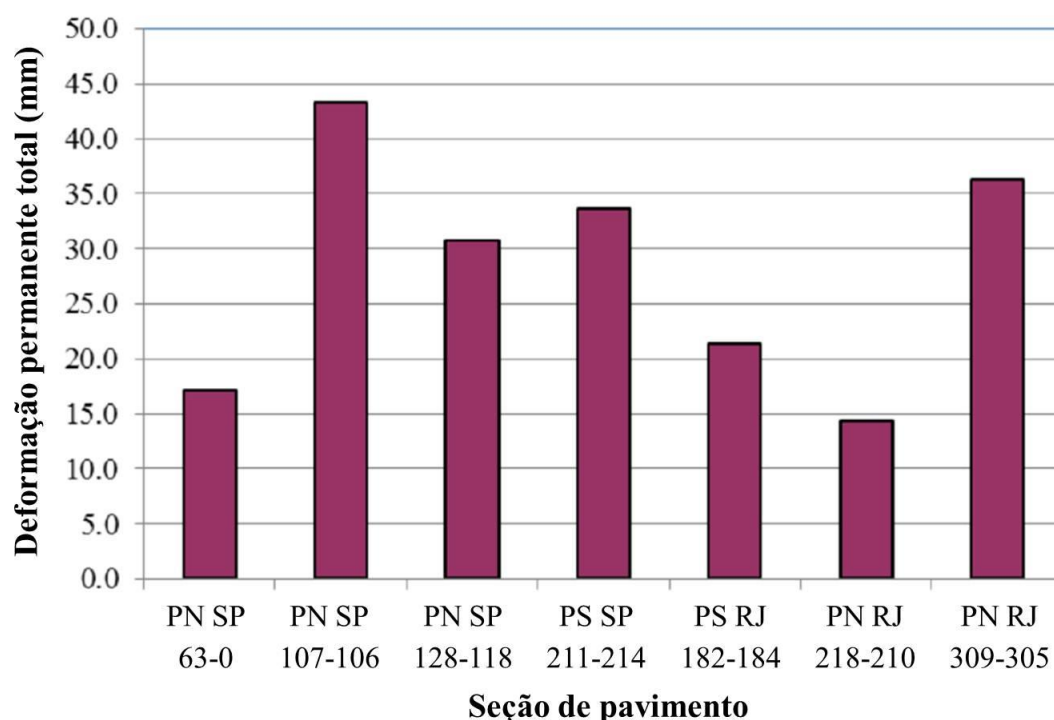


Figura 22. Deformação permanente total para os cenários dos sete casos

A Tabela 8 mostra as previsões do MEPDG para trincamento longitudinal para cada ano do período de projeto. A Figura 23 também mostra a previsão de trincamento longitudinal para as seções ao fim do período de projeto. As seções com menor trincamento longitudinal correspondem aos trechos com maiores espessuras totais de CA, 1 e 2, e a seção 5 que tem o trecho com pavimento de concreto abaixo. O valor usado como limite no MEPDG é 380 m/km, o que é alto para rodovia interestadual. Apesar disso, todas as seções se mostraram abaixo deste limite.

Tabela 8. Previsão de trincamento longitudinal para os cenários dos 7 casos na NovaDutra

| Ano | Trincamento longitudinal (m/km) | | | | | | |
|-----|---------------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| | PN SP 63-0 | PN SP 107-106 | PN SP 128-118 | PS SP 211-214 | PS RJ 182-184 | PN RJ 218-210 | PN RJ 309-305 |
| 1 | 0,1 | 0,8 | 8,8 | 10,4 | 0,2 | 23,7 | 18,7 |
| 2 | 0,1 | 2,1 | 20,3 | 26,7 | 0,6 | 92,6 | 54,9 |
| 3 | 0,1 | 5,0 | 36,4 | 48,3 | 1,0 | 131,8 | 96,8 |
| 4 | 0,1 | 5,9 | 55,9 | 72,9 | 1,5 | 161,0 | 145,1 |
| 5 | 0,1 | 6,5 | 76,9 | 99,8 | 2,0 | 202,7 | 198,9 |
| 6 | 0,1 | 7,2 | 101,3 | 130,3 | 2,6 | 223,5 | 250,1 |
| 7 | 0,2 | 10,9 | 131,5 | 167,8 | 3,3 | 240,6 | 299,3 |
| 8 | 0,2 | 15,2 | 161,6 | 208,4 | 4,2 | 259,5 | 354,2 |

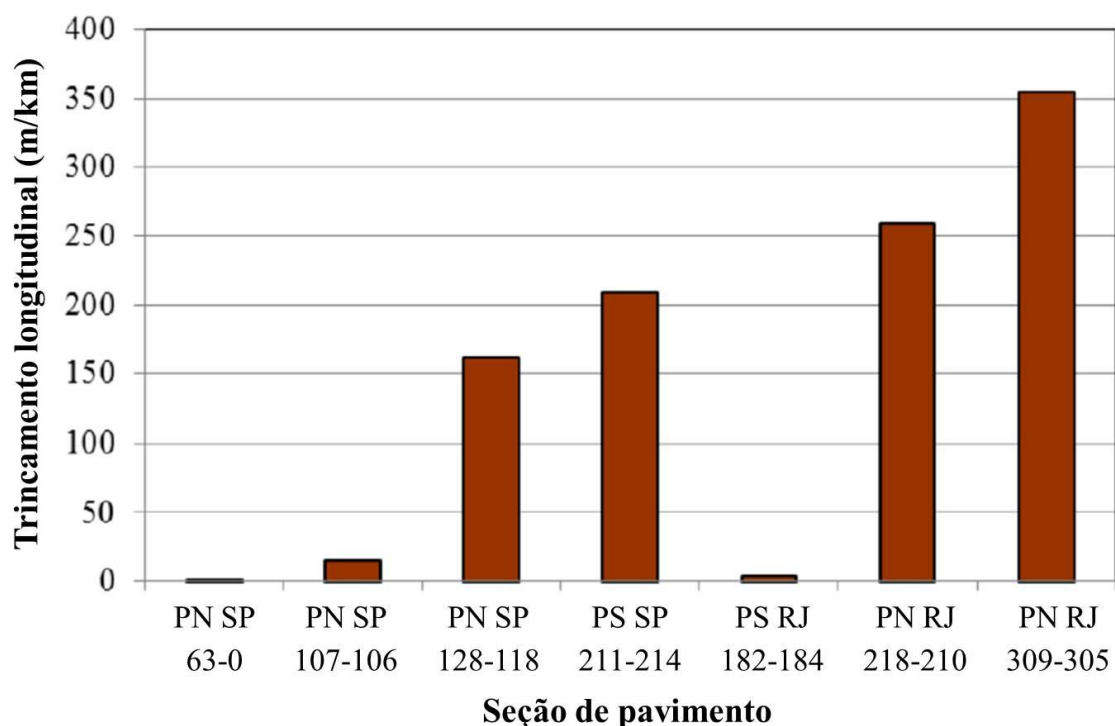


Figura 23. Trincamento longitudinal para os cenários dos sete casos

A Tabela 10 mostra as previsões do MEPDG para trincamento por reflexão para as seções. Este defeito é calculado devido ao fato de que todos os trechos se tratam de projetos de restauração; isto é, existe uma camada aderida mais antiga sob o recapeamento mais novo. Para todas as seções, exceto a 6 (com pavimento de concreto abaixo), o MEPDG calcula o trincamento elevado por reflexão ao fim dos seus períodos de projeto.

Tabela 10. Previsão de trincamento por reflexão para os cenários dos 7 casos na NovaDutra

| Ano | Trincamento por reflexão (%) | | | | | | |
|-----|------------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| | PN SP 63-0 | PN SP 107-106 | PN SP 128-118 | PS SP 211-214 | PS RJ 182-184 | PN RJ 218-210 | PN RJ 309-305 |
| 1 | 0,0 | 2,8 | 2,9 | 3,3 | 3,1 | 0,0 | 1,0 |
| 2 | 0,4 | 17,6 | 17,8 | 19,5 | 21,9 | 0,3 | 7,2 |
| 3 | 1,7 | 25,3 | 26,0 | 27,8 | 45,2 | 1,1 | 23,7 |
| 4 | 6,4 | 26,8 | 27,8 | 31,3 | 49,8 | 3,4 | 33,7 |
| 5 | 17,4 | 27,6 | 29,2 | 34,6 | 50,4 | 5,6 | 37,7 |
| 6 | 28,8 | 28,5 | 30,6 | 37,9 | 50,5 | 6,4 | 40,2 |
| 7 | 34,0 | 29,4 | 32,0 | 41,2 | 50,6 | 6,7 | 42,6 |
| 8 | 35,6 | 30,4 | 33,5 | 44,5 | 50,8 | 6,7 | 44,9 |

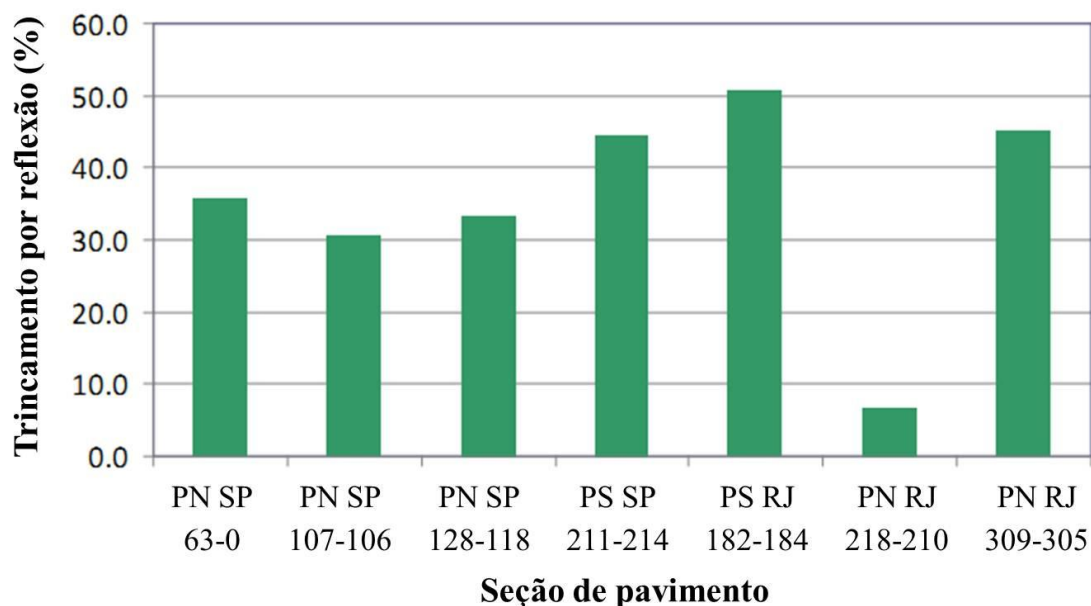


Figura 24. Trincamento longitudinal para os cenários dos sete casos

4. Conclusões e Recomendações

Conclusões

Este trabalho teve como principal objetivo o desenvolvimento de um guia para implementação do novo MEPDG no processo de dimensionamento de pavimentos novos e de restaurações para as condições da NovaDutra; o objetivo final é o de melhorar e/ou validar dimensionamentos e modelos de previsão previamente existentes.

O principal ponto deste guia foi identificar os dados de entrada que a Concessionária Nova Dutra precisa para uma futura implementação do MEPDG. Como mencionado no relatório, a completa implementação do Guia em longo prazo se inicia pela identificação de quais informações serão requeridas para uma transição com sucesso para esta nova ferramenta de análise de projeto e de dimensionamento de estruturas de pavimentos.

As primeiras seções deste relatório fornecem uma experiência sobre o MEPDG que ajuda a identificar as principais diferenças com relação ao método de dimensionamento tradicional. O relatório também inclui uma visão geral do guia para o

reconhecimento das etapas no método de dimensionamento, bem como dos dados de entrada que são requeridos em cada campo (tráfego, clima, materiais). Para ter uma avaliação inicial das necessidades de uma calibração do MEPDG para as condições da NovaDutra, diferentes casos foram avaliados. A dificuldade nesta avaliação estava relacionada à quantidade limitada de informações atualmente disponíveis na NovaDutra. Esta análise representa um ponto inicial para futuras implementações do guia. Não existem previsões de desempenho disponíveis para comparar com os resultados do guia, mas no geral, o MEPDG levou a medidas mais elevadas de defeitos quanto à deformação permanente e trincamento por reflexão. Este estudo preliminar mostra o quão vital é a calibração e a validação do guia para as condições da NovaDutra antes de sua implementação.

A completa implementação do MEPDG na NovaDutra irá necessitar de uma grande quantidade de tempo e de recursos. O uso efetivo dos procedimentos do novo MEPDG requer bancos de dados de materiais e de tráfego, para se ir além do Nível 3 e das informações *defaults* do MEPDG. Os dados climáticos completos também são necessários para se criar o banco de dados de clima requerido.

Ademais, o MEPDG irá necessitar de calibração local para a previsão de defeito de cada pavimento. Para novas estruturas de pavimentos flexíveis isto inclui: deformação permanente (camadas de concreto asfáltico, base granular, sub-base, e subleito, e a profundidade total de afundamento), trincamento por fadiga (trincamento longitudinal topo-base e trincamento tipo couro-de-jacaré base-topo), e IRI. O processo de calibração envolve o ajuste das equações de previsão de defeitos de forma a minimizar as diferenças entre o comportamento previsto e o observado. O processo de modelagem de validação envolve a coleta de dados suficientes para confirmar a validade dos modelos de previsão calibrados.

Recomendações

1. Recomenda-se que o software MEPDG seja utilizado (no Nível 3, melhor estimativa, e dados de entrada *defaults*) juntamente com os procedimentos existentes de dimensionamento na NovaDutra. Isto irá oferecer muitos anos de familiaridade com os procedimentos do MEPDG antes da implementação

completa. As comparações de projeto também darão informações úteis quanto à racionalidade geral dos dados de saída do MEPDG.

2. Iniciar as atividades de coleta de dados necessários para a calibração e validação dos dados de saída do MEPDG usando informações de um banco de dados substancial de seções de pavimentos novos ou em serviço com estruturas representativas da Rodovia Presidente Dutra. As seções deverão ter informações de construção e de tráfego detalhadas e deverão ser periodicamente monitoradas com o objetivo de calibrar e validar as previsões de defeitos e de textura.
3. Com relação aos dados de Tráfego: Iniciar um estudo para investigar a viabilidade do desenvolvimento de dados de um espectro de carga por eixo Nível 1. A melhoria dos dados de entrada de tráfego, além da distribuição ESAL atualmente disponível deveria ser considerada como de alta prioridade.
4. Com respeito às Propriedades do Material: A NovaDutra não possui um banco de dados de propriedades de material requeridos para um nível maior no programa. As propriedades do material pedidas no MEPDG devem ser assumidas ou calculadas com base na classificação, graduação, propriedades da mistura, etc. Baseado nos resultados deste estudo, os esforços iniciais de alta prioridade devem ser focados em ensaios para determinar o módulo dinâmico de mistura asfáltica, os testes com ligantes e os módulos dos materiais de camada de base.
5. Trechos experimentais na NovaDutra: Para calibrar localmente e validar as previsões de defeitos no MEPDG, recomenda-se que a NovaDutra estabeleça seções para tais calibrações e validações. Além disso, as informações de construção e o levantamento de defeitos irão fornecer dados necessários para a calibração e a validação das previsões no MEPDG.

Referências

1. Guide for Mechanistic-Empirical Design of New and Rehabilitated Pavement Structures. Final Report. NCHRP 1-37A, National Research Council, Washington, D. C., March 2004.

2. American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO).
Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide: A Manual of Practice.
AASHTO Designation: MEPDG-1. Washington, DC, July 2008.

Diretrizes para Implementação do Guia de Dimensionamento Mecanístico Empírico de Pavimentos (MEPDG) para a Concessionária NovaDutra



7º Congresso Brasileiro de Rodovias e Concessões (CBR&C)

Kamil E. Kaloush
Arizona State University
26 de Outubro, 2011

Apresentação



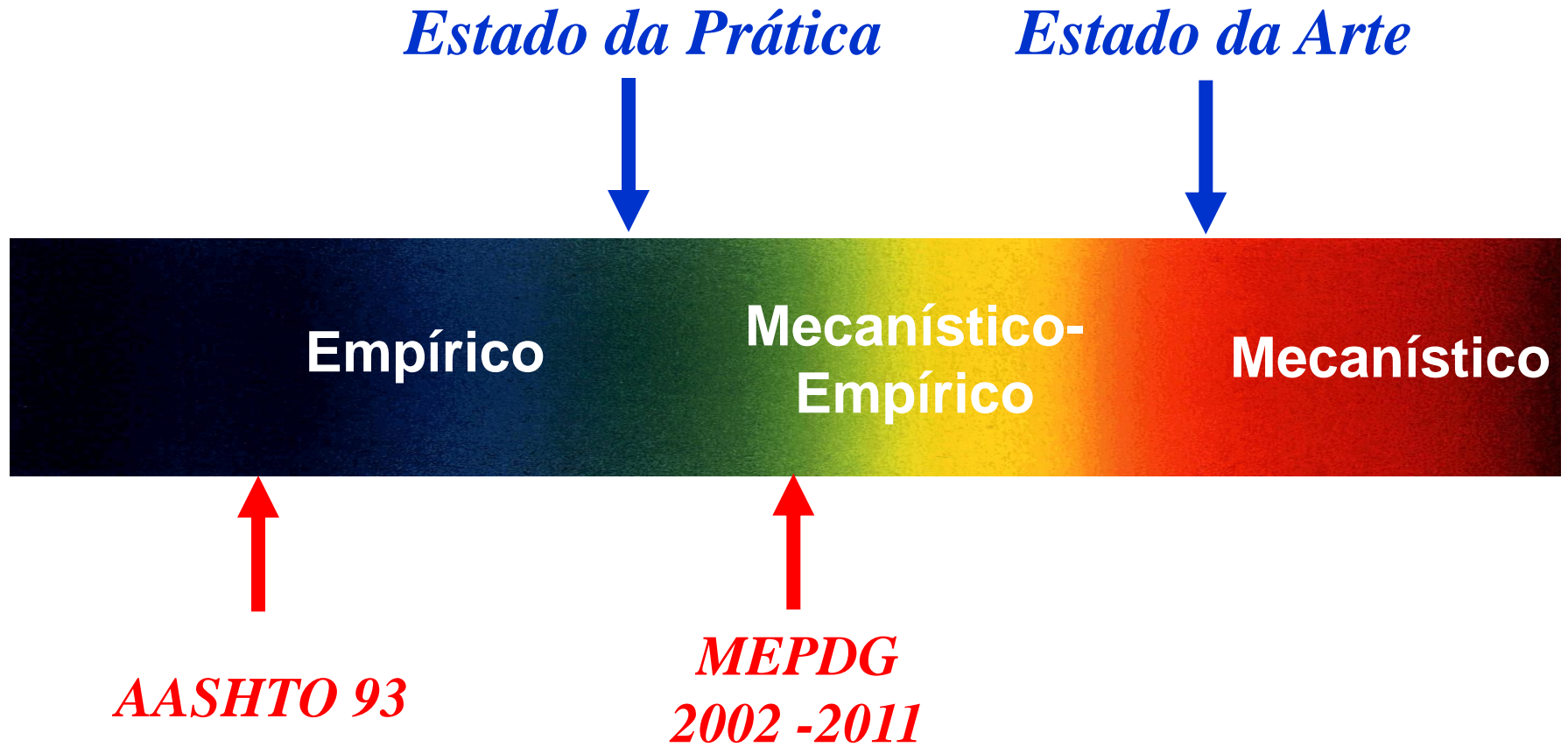
- Introdução
- Objetivo do Estudo
- Visão Geral do MEPDG
- Metas do Estudo
- Dados de Entrada Necessários às Condições da Concessionária NovaDutra
- Estudos de Caso Preliminares - MEPDG
- Resumo e Recomendações

Introdução sobre o MEPDG

“O objetivo geral do Guia de Dimensionamento Mecanístico-Empírico para Estruturas **Novas** e **Reabilitação** de Pavimentos é promover à comunidade rodoviária uma ferramenta que seja estado da prática sobre dimensionamento e reabilitação de estrutura de pavimentos, baseada em princípios mecanístico-empírico”



Dimensionamento de Pavimentos – Estado da Arte



Métodos de Dimensionamento de Pavimentos



- *Experiência*
- *Empírico*
 - Modelos estatísticos de pistas experimentais
- *Mecanístico-Empírico*
 - Cálculo de tensões/deformações/deflexão
 - Desempenho do pavimento avaliado por modelos empíricos
- *Mecanístico*
 - Cálculo de tensões/deformações/deflexão
 - Desempenho do pavimento avaliado por modelos mecânicos

Guias Anteriores de Projeto da AASHTO

Todos os Guias de Projeto da AASHTO até hoje são baseados em observações empíricas da Pista Experimental da AASHTO

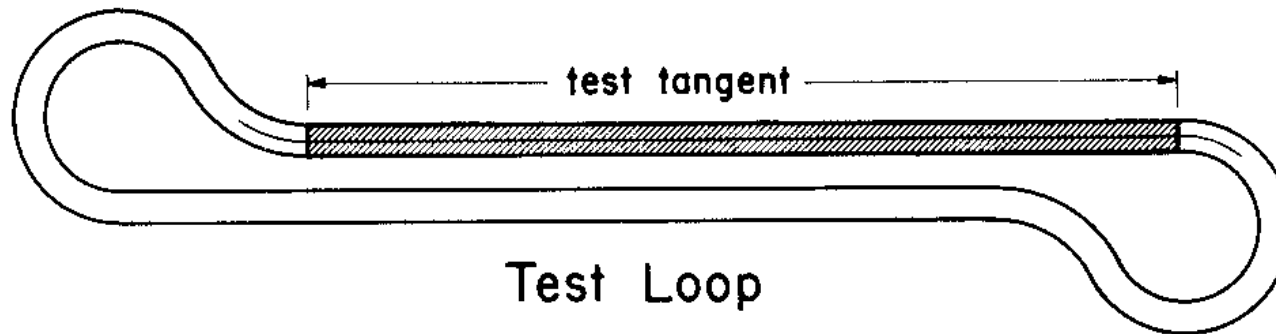
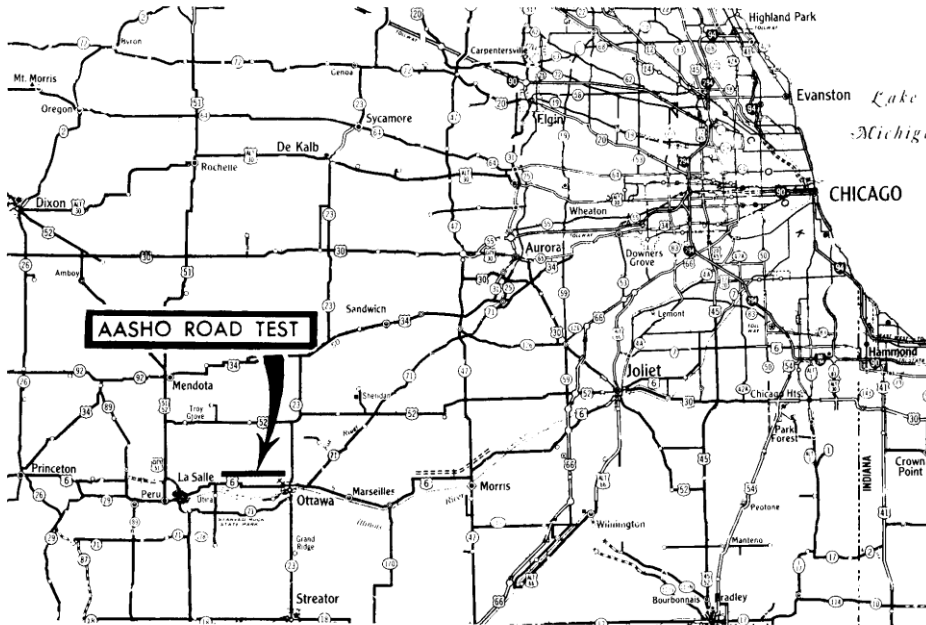
- Dados de campo limitados
 - Uma zona climática
 - Um tipo de solo de subleito
- Técnicas de construção e tráfego da década de 1950
- Medida e modelos de desempenho rudimentares
- Falta de medidas fundamentais da capacidade de suporte das camadas do pavimento

Apesar da Pista Experimental da AASHTO nos ter servido imensamente até hoje, é hora de algo melhor...

Métodos Tradicionais de Dimensionamento de Pavimentos – ASSHO e AASHTO

- Metodologia empírica
- Diversas versões:
 - 1961 (Guia Provisório)
 - 1972
 - 1986
 - ◆ Caracterização de materiais refinada
 - 1993
 - ◆ Mais em reabilitação
 - ◆ Mais consistência entre dimensionamento de pavimentos flexíveis e rígidos
 - ◆ Mais comumente utilizado

Pista Experimental da AASHTO (fim da década 1950)



- 6- 2 faixas rotatórias
- 332 seções de teste flexíveis
- 312 seções de teste rígidas

(AASHO, 1961)

Ottawa, Illinois

Uma Zona de Temperatura...

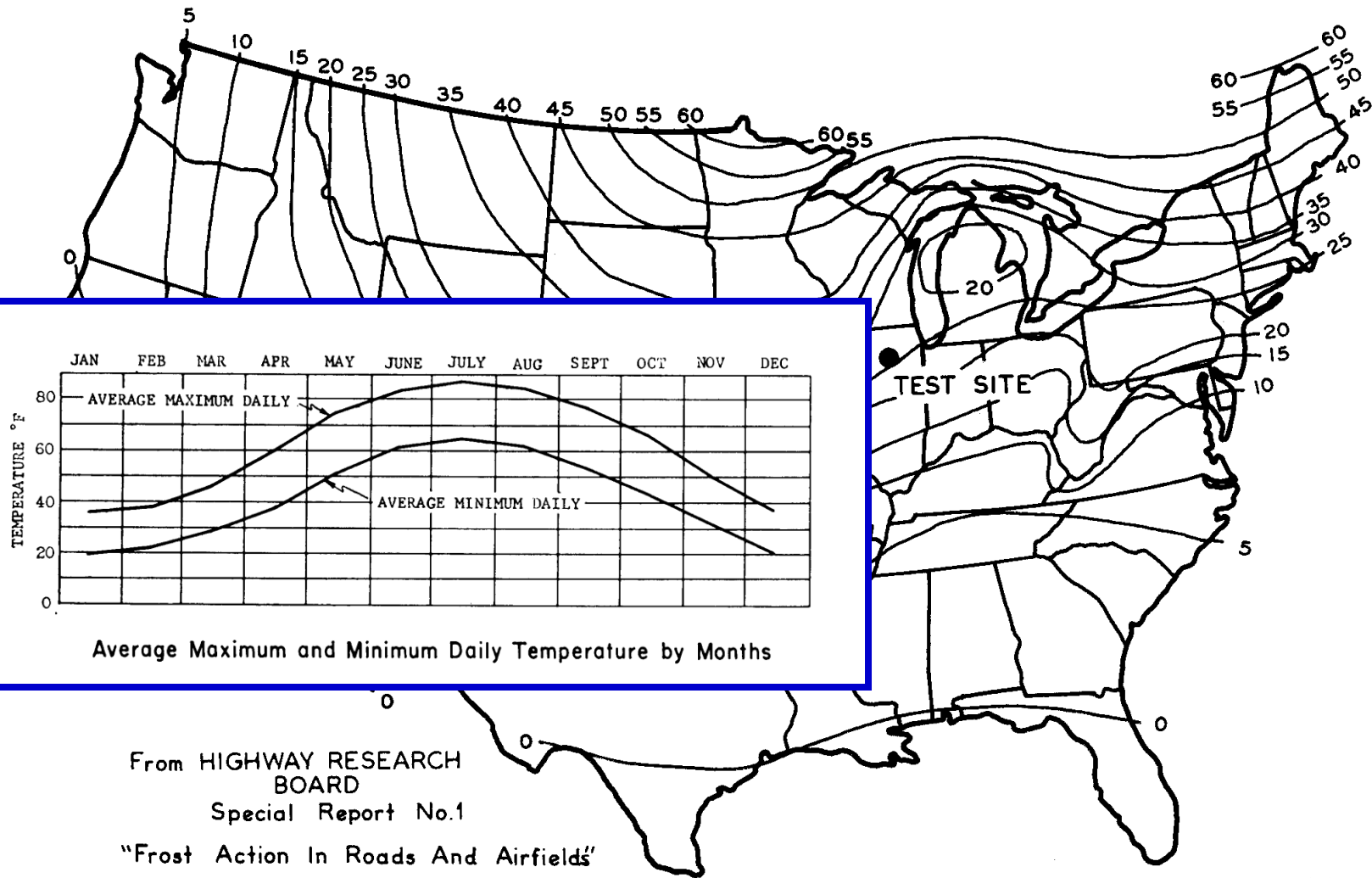


Figure 10. Average annual frost penetration, in inches.

(AASHO, 1961)

Um Subleito...



A-6 / A-7-6 (Argila)
Drenagem Deficiente

Figure 16. Embankment construction, loop 1, using rotary speed mixers to process and adjust moisture content of soil.

Número Limitado de Materiais...

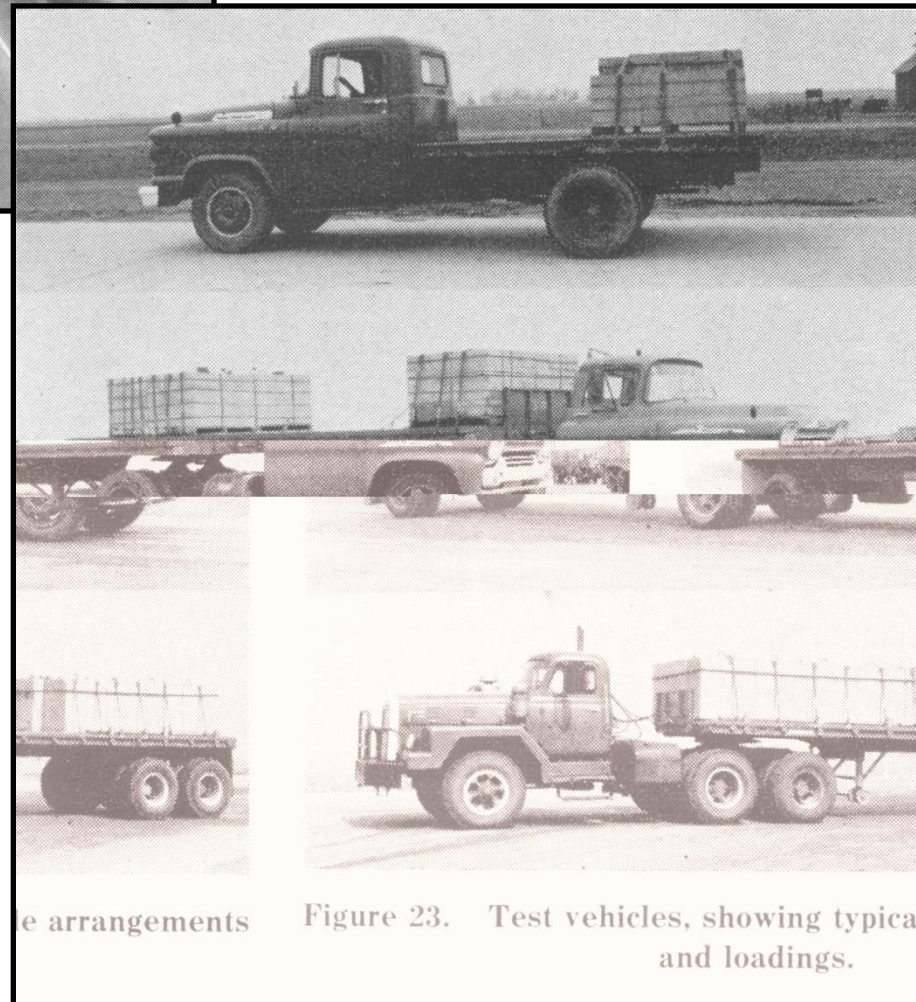


- Um concreto asfáltico
 - Capa - 3/4"
 - Binder - 1"
- Um concreto de cimento Portland (3500 psi @ 14 dias)
- Quatro materiais de base
 - Pedra calcária britada bem graduada(experimento principal)
 - Pedregulho não-britado bem graduado (estudos especiais)
 - Base tratada com asfalto (estudos especiais)
 - Base cimentada (estudos especiais)
- Uma subbase de areia/pedregulho uniforme

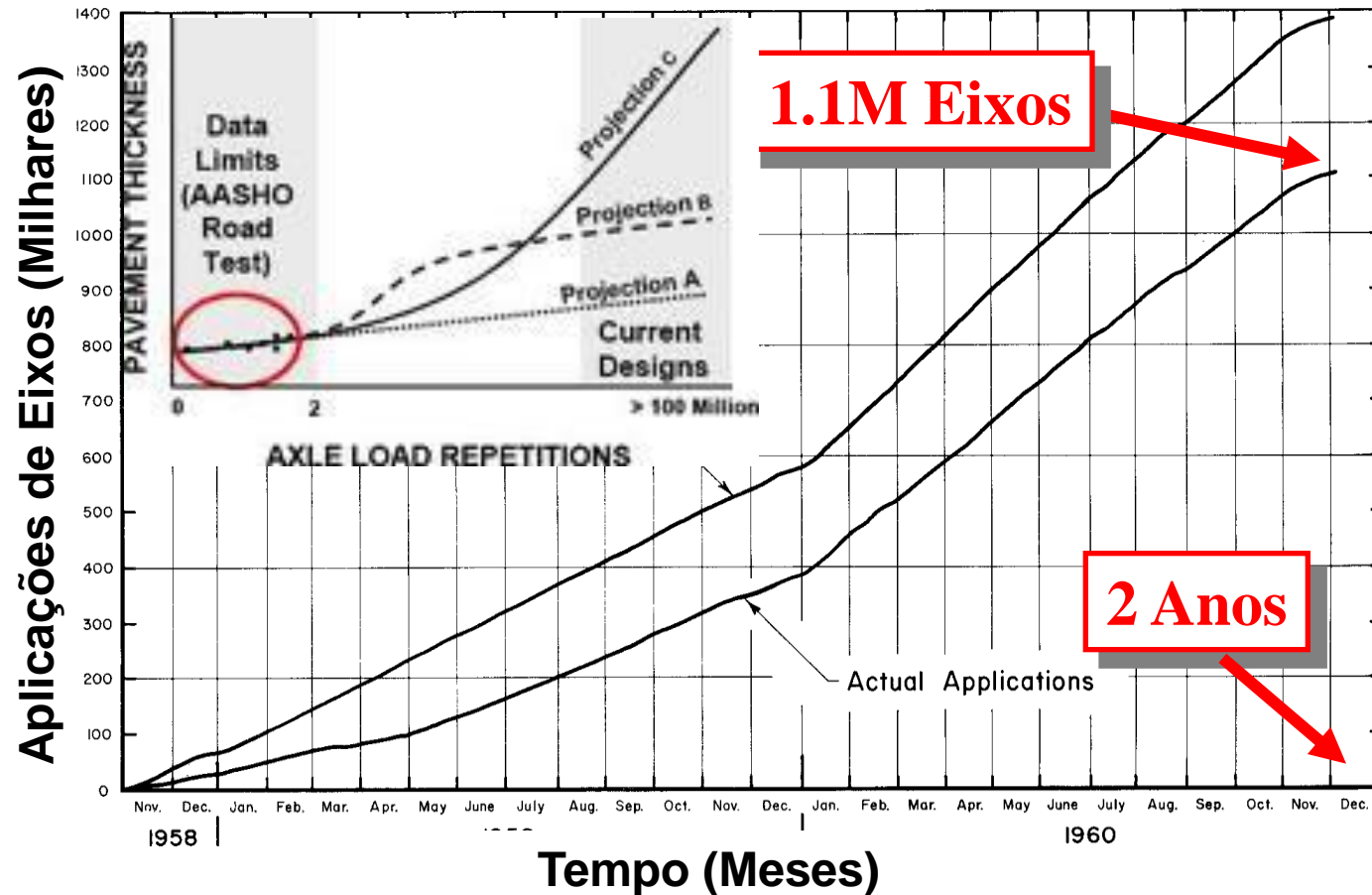
(AASHO, 1961)



Década de 1950 Carga dos Veículos...



Volume de Tráfego Limitado...



Dimensionamento Mecânico-Empírico

- ***Mecanicamente*** calcula a resposta do pavimento (tensão, deformação, deflexão) devido a:
 - Carregamento do tráfego
 - Condições climáticas
- ***Empiricamente*** relaciona tensão / deformação / deflexão e o número de repetições causadoras dos defeitos:
 - Trincamento
 - Deformação Permanente
 - *Faulting* (desnível entre placas)
- ***Calibra*** previsões com observações de desempenho em campo

Benefícios de uma Abordagem M-E de Dimensionamento

Os projetistas podem

- Criar projetos mais eficientes técnica e financeiramente
- Melhorar a confiabilidade do projeto
- Melhorar os projetos de reabilitação
- Reduzir custos durante a vida de serviço
- Incluir métodos para a calibração local

Benefícios de uma Abordagem M-E de Dimensionamento

Os projetistas podem

- Prever (e reduzir) modos específicos de falha
- Minimizar falhas/defeitos prematuros
- Avaliar melhor o impacto de novos níveis de carregamento
- Melhor caracterizar o efeito sazonal/drenagem
- Trazer as mudanças diárias/sazonais/anuais nos materiais para o processo de dimensionamento
- Fazer melhor uso dos materiais disponíveis
- Extrapolar dados limitados de campo e laboratório

Em resumo: AASHTO 93 vs MEPDG




Objetivo do Estudo



- Desenvolver uma estrutura para implementação do método de dimensionamento MEPDG de pavimentos novos e reabilitação para as condições da concessionária NovaDutra
- Completa implementação e não apenas uso direto do software
- As atividades incluem: avaliação/coleta das principais variáveis necessárias como dado de entrada, caracterização laboratorial dos materiais, seleção e avaliação de trechos experimentais para o processo de calibração, calibração para as condições locais

Importância do Trabalho de Colaboração



- É esperado que o método MEPDG seja completamente implementado nos EUA em um futuro próximo e outros países irão segui-lo.
- Outros países estão em fases iniciais no processo de implementação do método.
- Qualquer agência interessada em adotar o método MEPDG deve preparar um plano que inclua o processo de calibração/validação para as condições locais.



Visão Geral do MEPDG

Metodologia MEPDG



Um Método de Análise

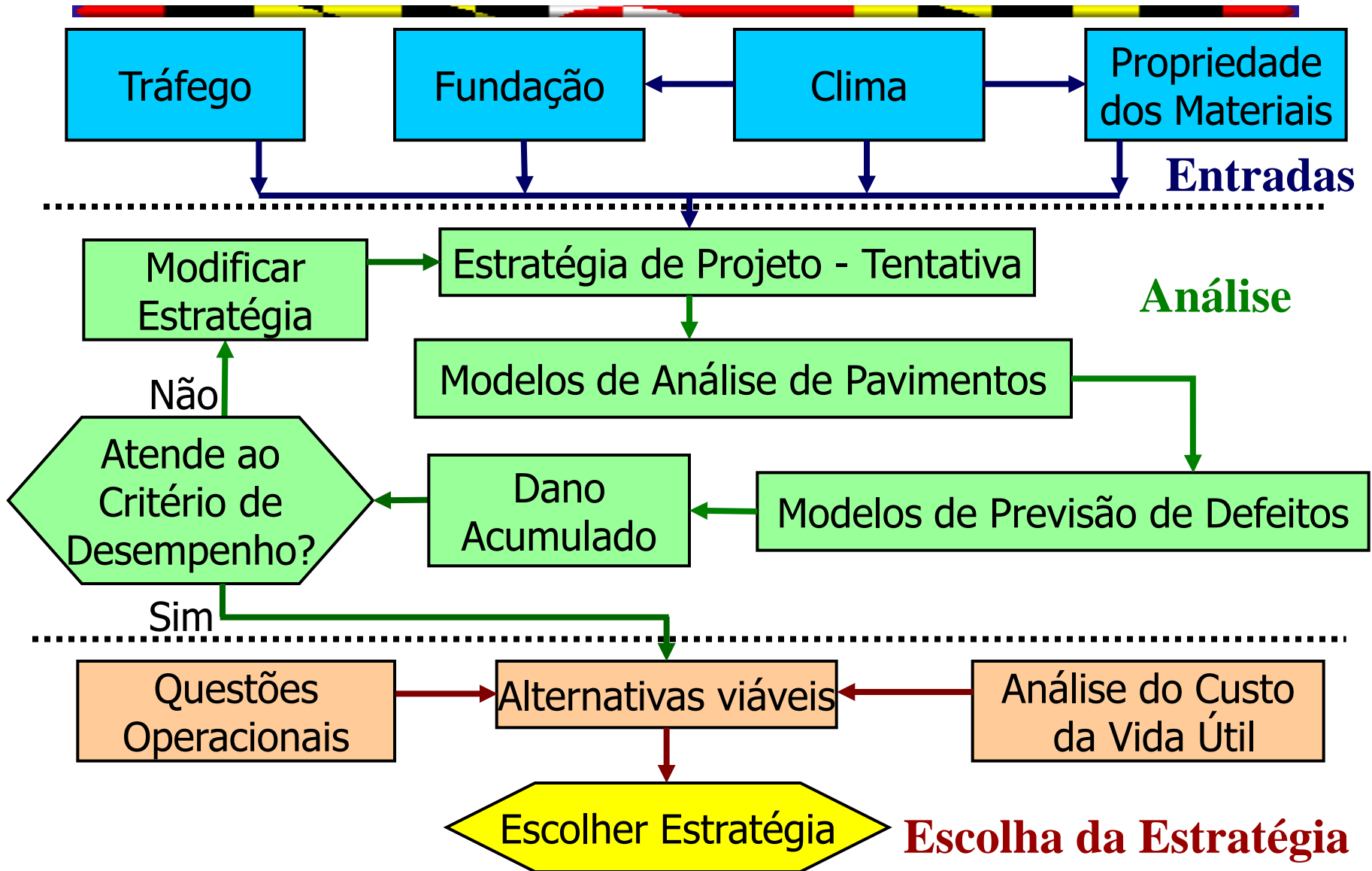


Um Método de Dimensionamento
Interativo

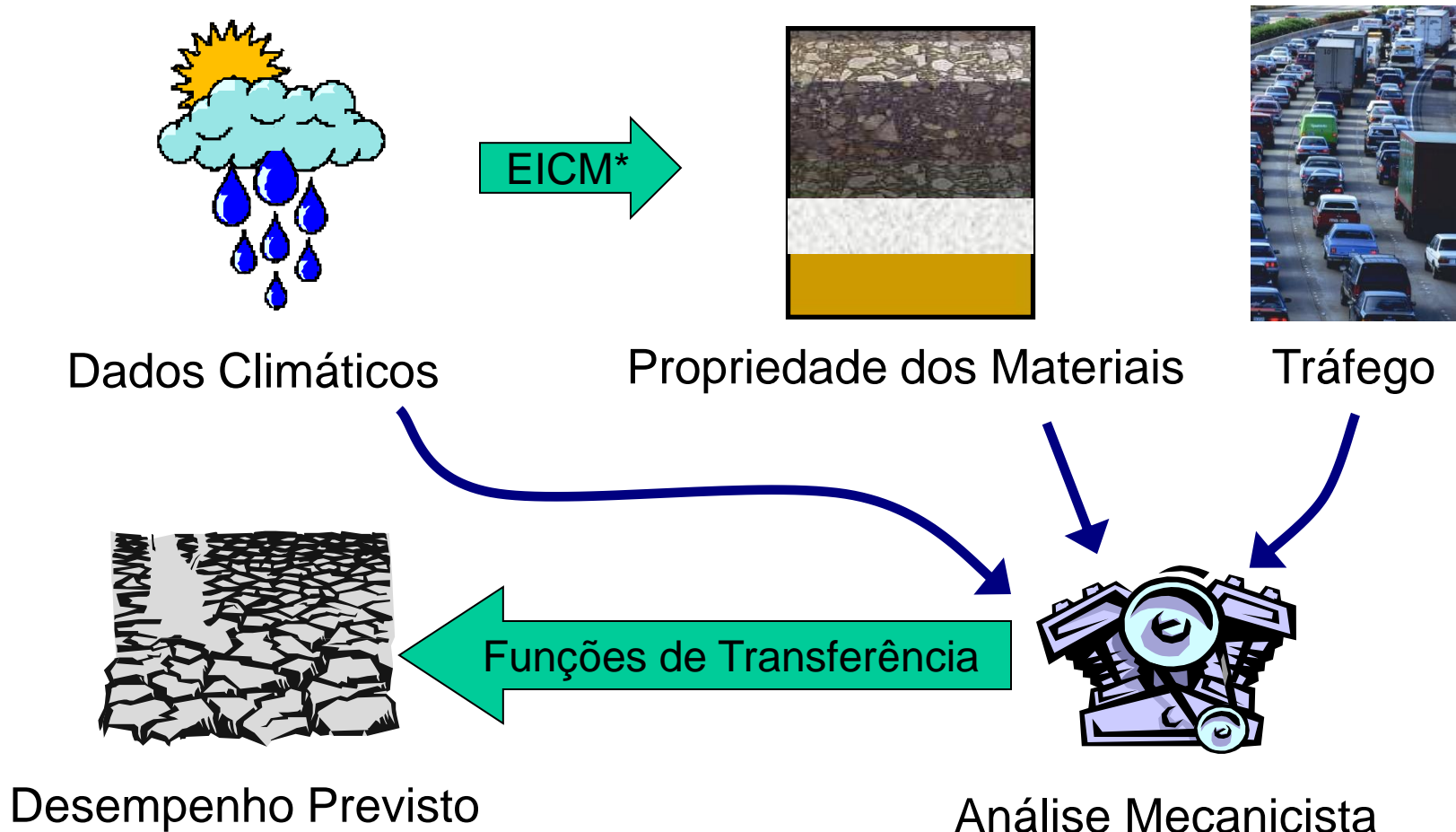
A resposta é:

O montante de defeitos ao longo do tempo.

Visão Geral do Processo de Dimensionamento



Processo de Dimensionamento



* EICM - *Enhanced Integrated Climatic Model* (Ferramenta de Modelagem Climática)

Características do MEPDG



- Relaciona características dos materiais com o seu desempenho em campo
- Calibração realizada através de dados obtidos do projeto LTPP (*Long Term Pavement Performance*)
- Capacidade de adaptação para outras condições locais
- Projeto de pavimentos novos e reabilitação

Hierarquia dos Dados de Entrada no MEPDG



- *Nível 1*: Dados precisos de testes em laboratório
- *Nível 2*: Nível intermediário de precisão. Dados de entrada estimados através de correlações
- *Nível 3*: Nível mais baixo de precisão. Uso de dados padrão fornecidos pelo programa

Seleção do Nível para os Dados de Entrada



- Sensibilidade do desempenho do pavimento a um determinado dado de entrada
- Importância do projeto
- Informações disponíveis durante o projeto
- Recursos e tempo disponíveis ao projetista para obtenção dos dados de entrada

Previsão de Defeitos



**Trincamento
por Fadiga**



IRI



**Trincas
Longitudinais**



**Trincamento
Térmico**



**Deformação
Permanente**

Dimensionamento




- ✓ Selecionar uma estrutura inicial para o pavimento
- ✓ Identificar seções transversais do pavimento
- ✓ Especificar tipo de material e espessura das camadas
- ✓ A análise sazonal é exigida?
 - ✓ Duas Opções
 - ✓ EICM (*Enhanced Integrated Climatic Model*)
 - ✓ Valores sazonais obtidos mês a mês

Principais Dados de Entrada no MEPDG

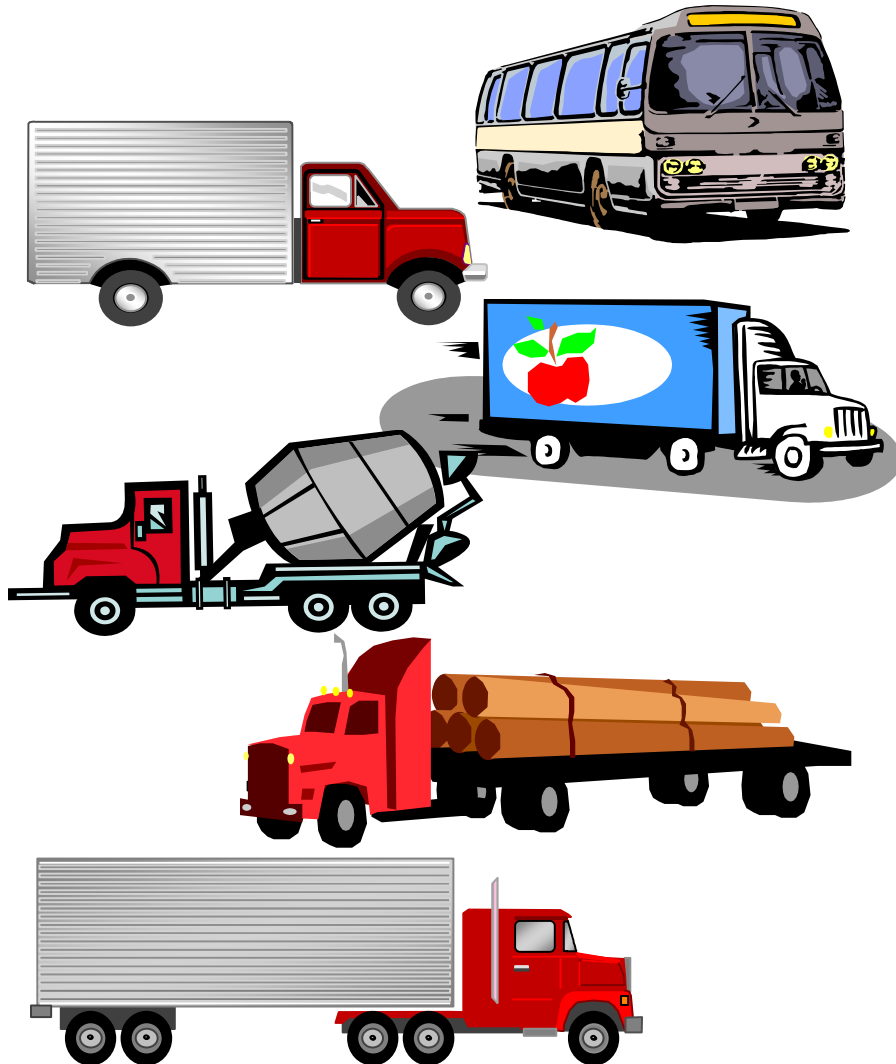


- Clima
- Tráfego
- Dados dos Materiais / Estrutura do Pavimento

Clima no MEPDG

- 
- Informações Climáticas
 - Temperatura do ar (hora a hora)
 - Precipitação (hora a hora)
 - Velocidade do vento (hora a hora)
 - Intensidade solar (hora a hora)
 - Umidade relativa do ar (hora a hora)
 - Altura do lençol freático (sazonal ou constante)

Dados de Tráfego no MEPDG



Número de Eixos por:

- Tipo de eixo
- Tipo de caminhão
- Espaçamento entre eixos

Número de Eixos em:


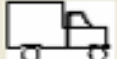
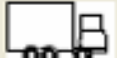


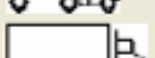




- Cada ano
- Estação do ano
- Cada hora

Distribuição das Classes de Veículos

Traffic Volume Adjustment Factors

☒ Monthly Adjustment ☒ Vehicle Class Distribution ☐

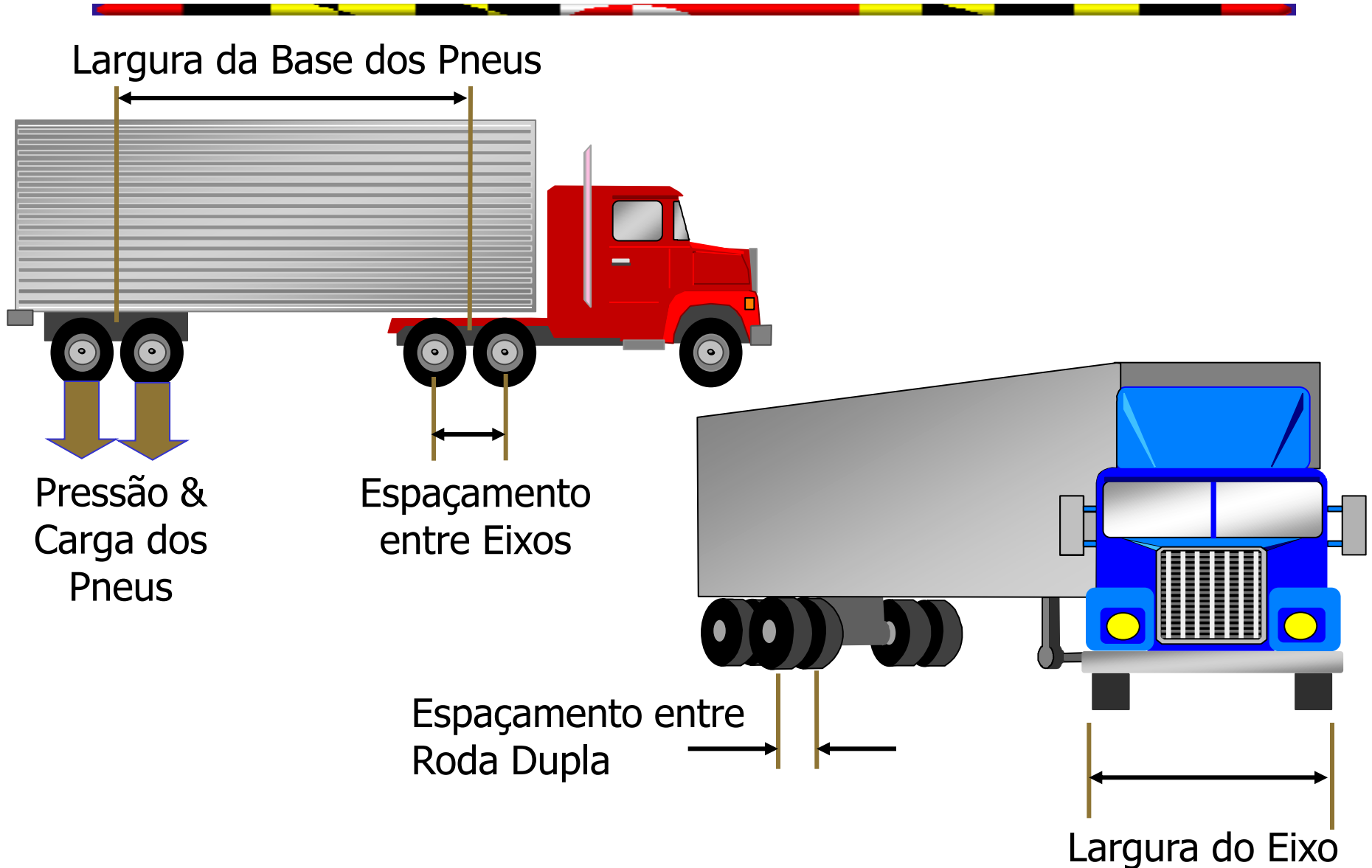
AADTT distribution by vehicle class

| | | |
|----------|-------|---|
| Class 4 | 1.8 |  |
| Class 5 | 24.6 |  |
| Class 6 | 7.6 |  |
| Class 7 | 0.5 |  |
| Class 8 | 5.0 |  |
| Class 9 | 31.3 |  |
| Class 10 | 9.8 |  |
| Class 11 | 0.8 |  |
| Class 12 | 3.3 |  |
| Class 13 | 15.3 |  |
| Total | 100.0 | |

Note: AA

- 13 Classificações pela FHWA
- Preocupação apenas com os caminhões

Dados de Entrada da Configuração do Eixo





Dados de Entrada Necessários à NovaDutra

Dados de Entrada de Clima



- EICM no MEPDG não inclui dados climáticos para nenhuma região fora dos EUA
- Os dados climáticos devem ser criados como informações das estações meteorológicas para cada região. Essas informações precisam estar no mesmo formato usado no EICM.
- O Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) em São Paulo e Rio de Janeiro foram contatados para obtenção dos dados climáticos necessários → dados horários não estavam disponíveis em sua base contínua (dados de no mínimo 2 anos são requeridos)
- Intensidade solar não disponível

Dados de Entrada de Tráfego



- MEPDG exige: Caminhões por classe (Classes pela AASHTO 4-13), Carga por eixos das diferentes classes de caminhões, número de eixos simples, tandem, tridem e quad por cada classe de caminhão.
- Existem 4 estações de pesagem em movimento (WIM) ao longo da Rodovia Presidente Dutra, mas antes que essas informações possam ser utilizadas, uma avaliação da validade, qualidade e extensão desses dados torna-se necessária.
- Como primeiro passo, uma aproximação por ESAL pode ser adotada no MEPDG, até que dados precisos de WIM possam ser implementados.

Dados de Entrada dos Materiais



➤ Propriedades do Ligante Asfáltico

- Para o Nível 1 de análise, o MEPDG requer as propriedades do ligante asfáltico após o RTFO tanto para os testes pelo Superpave, como para os testes convencionais
- A NovaDutra possui os equipamentos necessários para realização dos testes convencionais (Brookfield, Ponto de Amolecimento e Penetração), porém não dispõe do RTFO

➤ Propriedades da Mistura

- Para o Nível 1 de análise, o MEPDG requer dados de E^*
- A NovaDutra recentemente adquiriu o equipamento necessário para realização do teste e obtenção do parâmetro E^* para suas misturas

Dados de Entrada dos Materiais




- Materiais Granulares (Base, Sub-base, Subleito)
 - Para o Nível 1 de análise, o MEPDG requer dados de módulo de resiliência
 - A NovaDutra adquiriu equipamento capaz de realizar o ensaio de módulo de resiliência

Esforços Iniciais para Implementação do MEPDG na NovaDutra




- Estudo preliminar para avaliar a previsão de desempenho pelo MEPDG para estruturas de reabilitação ao longo da rodovia Presidente Dutra entre São Paulo – Rio de Janeiro.
- O MEPDG não está calibrado para as condições da NovaDutra, mas os resultados darão um bom entendimento das necessidades para futuras calibrações.
- Condição atual do pavimento não disponível; a análise dará apenas uma ideia do quão bom ou ruim são as previsões, porém não fornecerá medidas quantitativas de sua precisão.
- A maior parte das estruturas de pavimento são reabilitações, a rodovia original foi construída na década de 1960. Essa situação torna a coleta de dados um processo mais difícil, uma vez que a maior parte dos dados da construção não se encontram disponíveis.

Esforços Iniciais para Implementação do MEPDG na NovaDutra

- 
- 7 seções de pavimento foram selecionadas ao longo da rodovia Presidente Dutra; as variáveis sendo: tráfego (moderado-elevado), zona climática (São Paulo – Rio de Janeiro), vida de serviço do projeto.
 - Uma vez que as informações disponíveis sobre os materiais são limitadas, 2 camadas asfálticas típicas foram selecionadas como dado de entrada para todas as seções.
 - Uma vez que os dados climáticos disponíveis não eram suficientes para gerar o arquivo necessário como dado de entrada, 2 localidades de Louisiana foram selecionadas; similares às condições de São Paulo e Rio de Janeiro.
 - Uma vez que o espectro de carregamento não estava disponível, o nível de tráfego mais crítico em termos de ESAL foi adotado. O método da USACE dá o nível de tráfego mais pesado.
 - A tempo de projeto para todos os cenários foi de 8 anos. Tempo que os projetistas consideram até que a próxima reabilitação seja necessária.

Estudos de Caso Preliminares



| Seção n° | Identificação da seção | Registros de restauração | Informações de tráfego (AADT) | Tráfego pesado | ESAL (USACE) | ESAL (AASHTO) |
|---------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|--|---------------------------|-------------------------|--------------------------|
| 1 | Pista Norte SP 63-0 | 1997, 2011 | 1,55E+04 | 8,08E+03 | 2,60E+08 | 7,81E+07 |
| 2 | Pista Norte SP 107-106 | 2003 | 1,97E+04 | 7,29E+03 | 2,35E+08 | 7,06E+07 |
| 3 | Pista Norte SP 128-118 | 2004, 2010 | 2,16E+04 | 5,84E+03 | 1,89E+08 | 5,66E+07 |
| 4 | Pista Sul RJ 182-184 | 2000, 2006, 2010 | 2,45E+04 | 6,62E+03 | 2,13E+08 | 6,40E+07 |
| 5 | Pista Sul SP 211-214 | 2002, 2007 | 1,10E+04 | 5,30E+03 | 1,71E+08 | 5,12E+07 |
| 6 | Pista Norte RJ 218-210 | 1999, 2008 | 1,07E+04 | 5,24E+03 | 1,69E+08 | 5,08E+07 |
| 7 | Pista Norte RJ 309-305 | 2007, 2010 | 1,33E+04 | 6,80E+03 | 2,19E+08 | 6,57E+07 |

Seções de Pavimento na NovaDutra

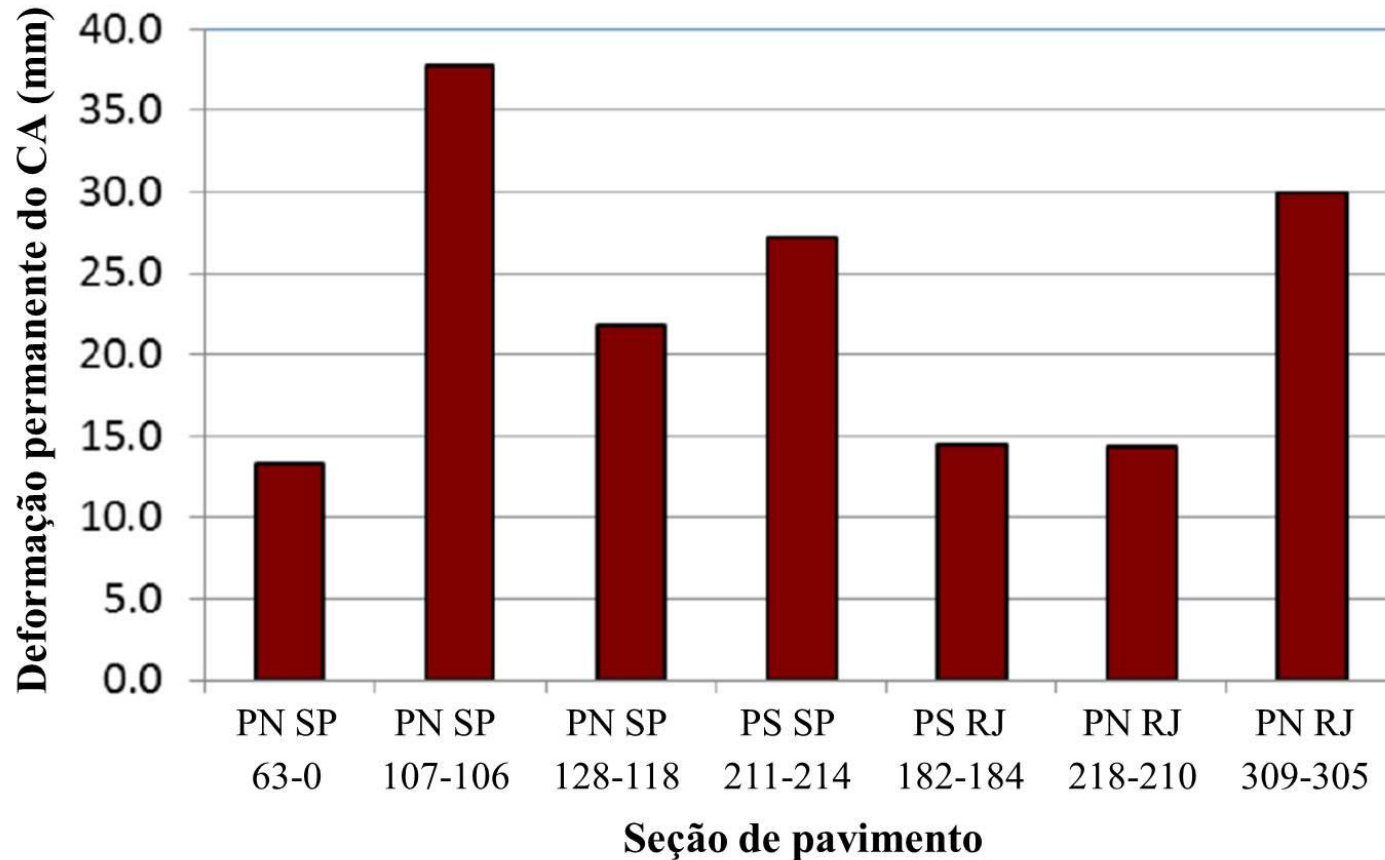
| | | | |
|---------|---|---------|---|
| 12,0 cm | Mistura asfáltica | 4,0 cm | Mistura asfáltica |
| 22,0 cm | Mistura asfáltica antiga | 22,0 cm | Mistura asfáltica antiga |
| 15,0 cm | Base granular | 30,0 cm | Base granular |
| 20,0 cm | Material natural granular | 35,0 cm | Material natural granular |
| | Subleito (argila) | | Subleito (argila) |
| 4,0 cm | Mistura asfáltica | 5,0 cm | Mistura asfáltica |
| 11,0 cm | Mistura asfáltica antiga | 5,0 cm | Mistura asfáltica antiga |
| 20,0 cm | Base granular | 10,0 cm | Mistura asfáltica antiga (<i>Binder</i>) |
| 20,0 cm | Material natural granular | 20,0 cm | Brita <i>graduada</i> (macadame hidráulico) |
| | Subleito (argila siltosa) | 40,0 cm | Sub-base granular_Material granular |
| | | | Subleito (silte) |
| 4,0 cm | Mistura asfáltica | 12,0 cm | Mistura asfáltica |
| 16,0 cm | Mistura asfáltica antiga (<i>Binder</i>) | 4,0 cm | Mistura asfáltica antiga |
| 15,0 cm | Brita <i>graduada</i> (macadame hidráulico) | 20,0 cm | Pavimento de concreto existente |
| 15,0 cm | Sub-base granular_Material granular | 35,0 cm | Sub-base_Material arenoso |
| | Subleito (argila siltosa-arenosa) | | Subleito (argila siltosa-arenosa) |

Propriedades das Misturas

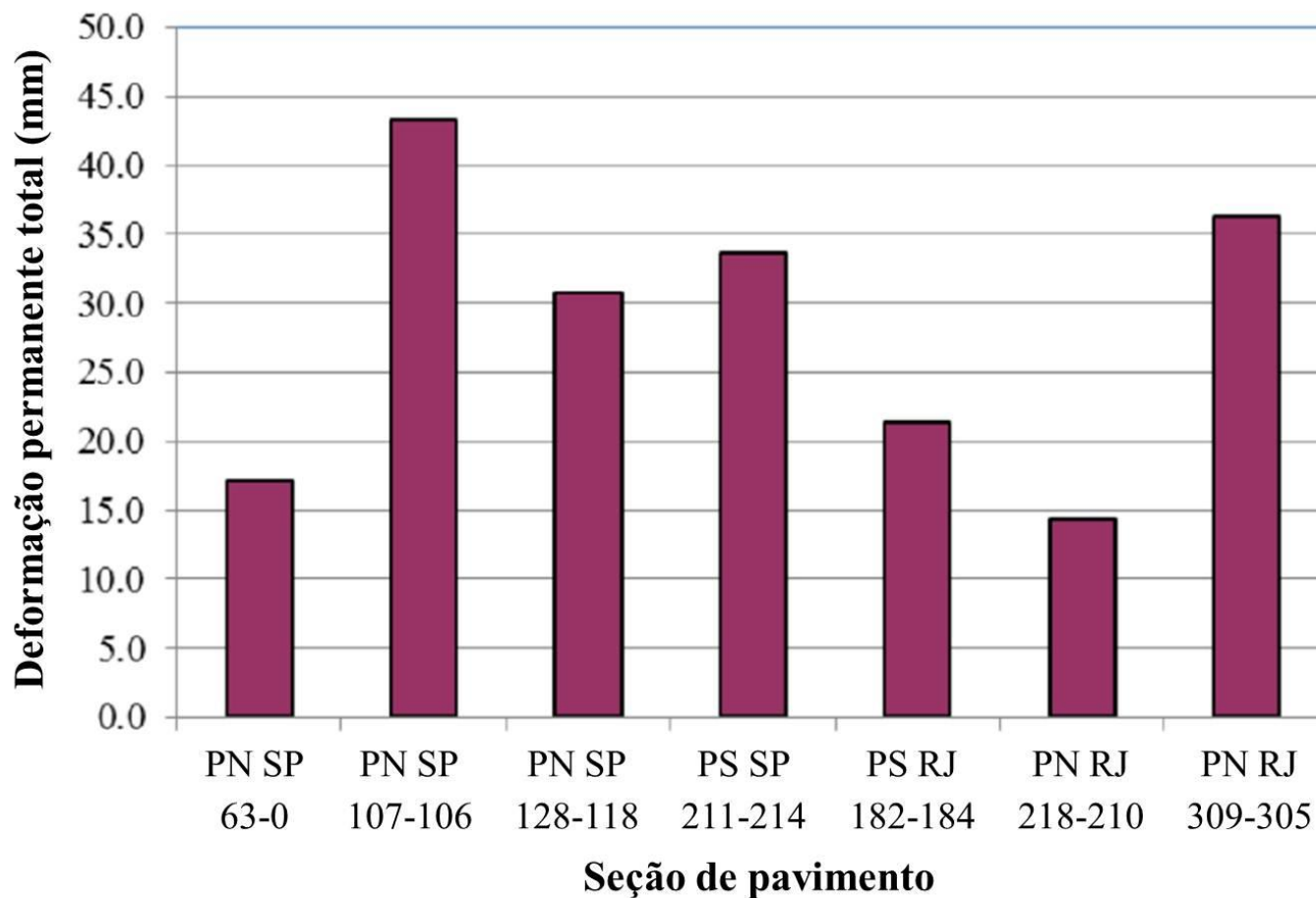
| Propriedade da mistura | CA | <i>Binder</i> |
|-------------------------|----------------------------|----------------------------|
| G_{mm} | 2,4 | 2 |
| G_{mb} | 2,305 | 2,368 |
| G_{sb} | 2,608 | 2,61 |
| Teor de asfalto (%) | 4,9 | 3,6 |
| Volume de vazios (%) | 3-5 (<i>as built</i> = 7) | 4-6 (<i>as built</i> = 7) |
| Teor de asfalto efetivo | 8,95 | 5,54 |
| Tipo de ligante | CAP 30-45 – Pen 40-50 | CAP 30-45 – Pen 40-50 |

| Mistura | p_{34} % | p_{38} % | p_4 % | p_{200} % passante |
|-----------------------|---------------|---------------|------------|----------------------------|
| Mistura CA | 2 | 19 | 36 | 8 |
| Mistura <i>Binder</i> | 26 | 45 | 60 | 6,8 |

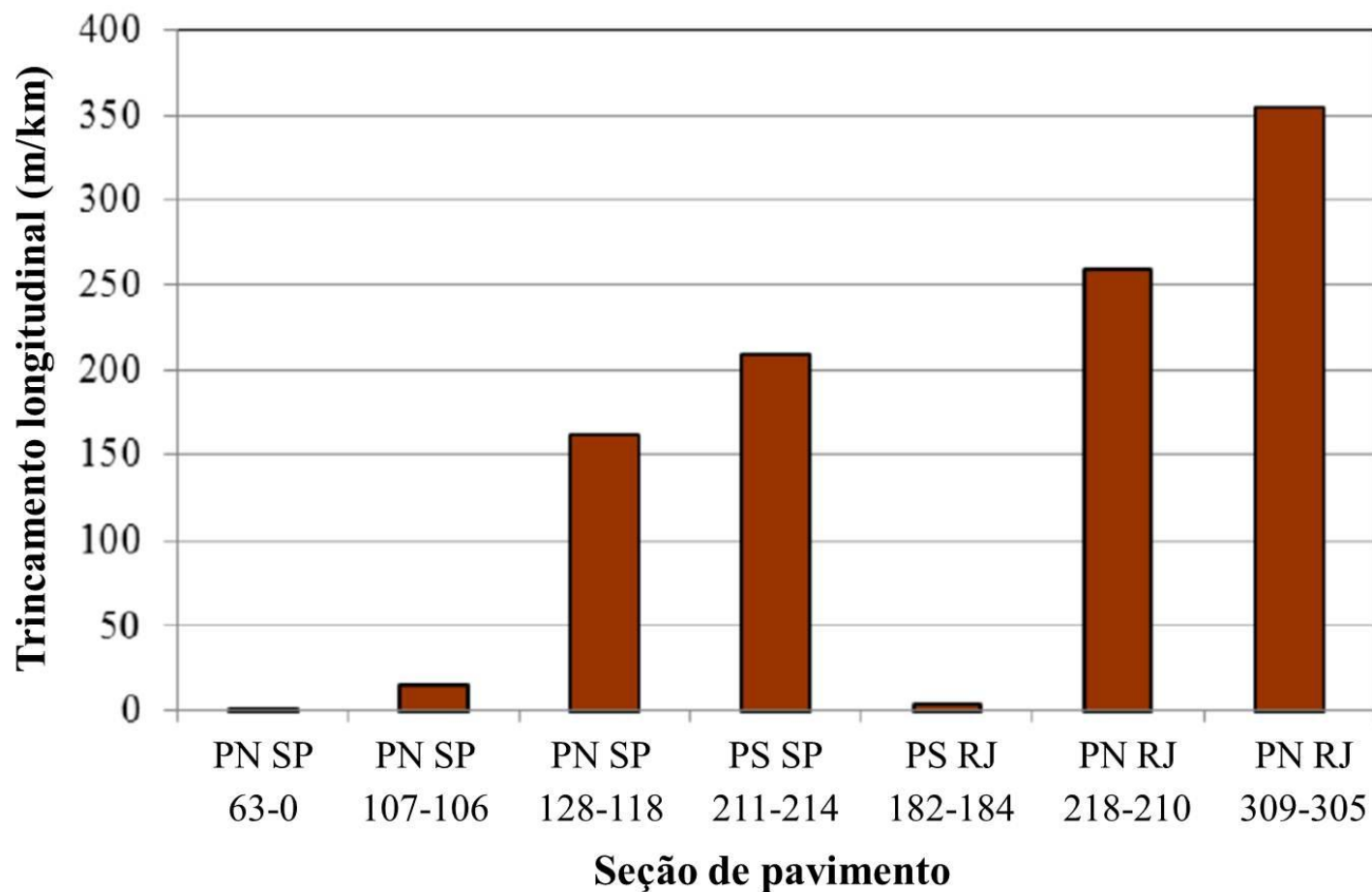
Resultados de Deformação Permanente na Mistura Asfáltica



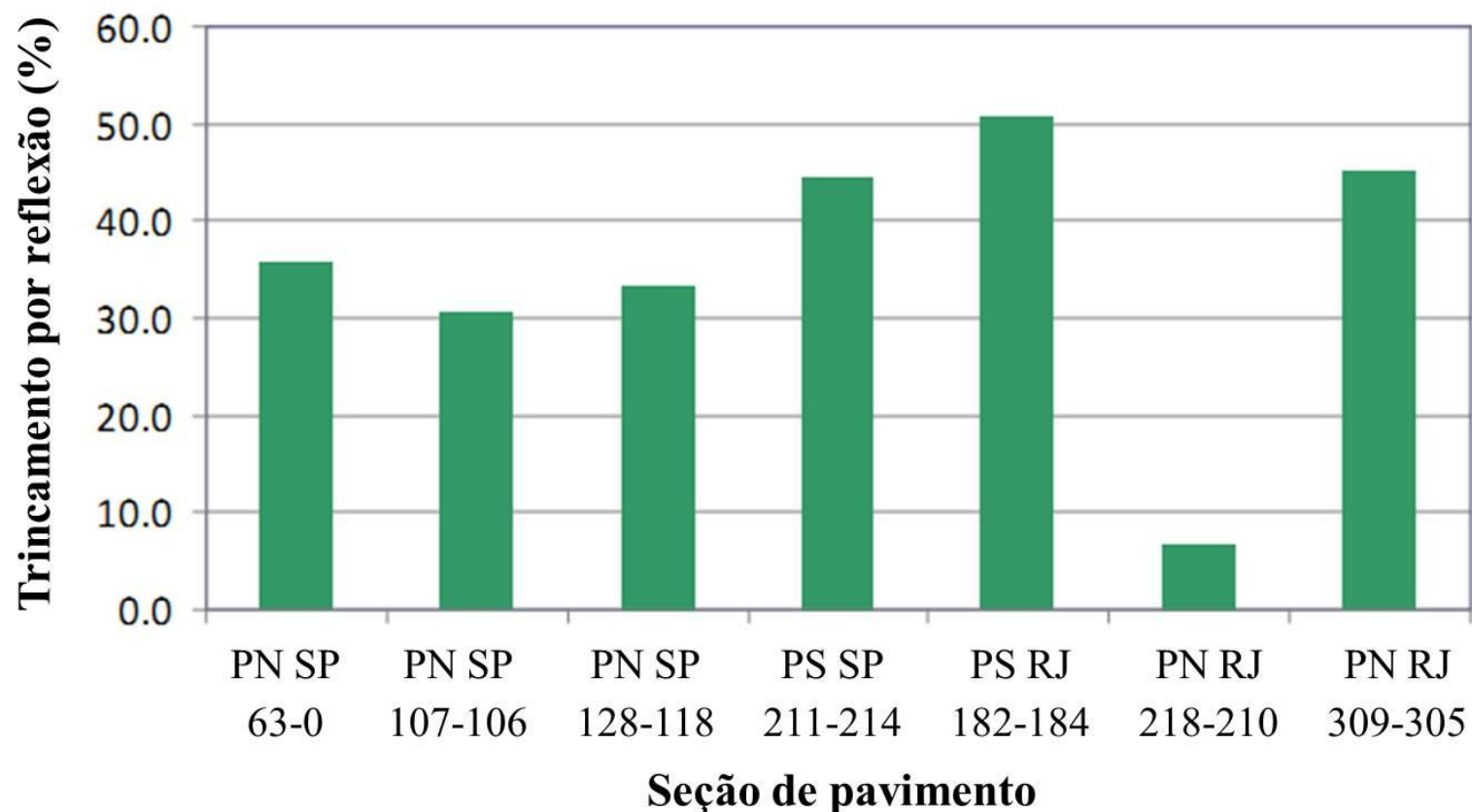
Resultados de Deformação Permanente Total




Resultados de Trincas Longitudinais




Resultados de Trincas por Reflexão




Resumo

- 
- Principal objetivo do trabalho: desenvolver uma estrutura para implementação do método de dimensionamento MEPDG para novos pavimentos e reabilitações nas condições da NovaDutra
 - Elemento preliminar – identificar as informações necessárias para uma transição de sucesso a essa nova ferramenta ; maior dificuldade → atualmente, apenas informações limitadas estão disponíveis na NovaDutra
 - Como primeiras tentativas, diferentes cenários foram avaliados → ponto de partida para uma futura implementação. Nenhuma previsão de comportamento disponível, mas o MEPDG parece superestimar deformação permanente e trincas por reflexão. Esse estudo preliminar mostra o quanto importante é a calibração antes que o MEPDG seja implementado.

Resumo

- 
- Para uma completa implementação do método, é necessária quantidade considerável de tempo e recursos. Banco de dados dos materiais, clima e tráfego acima do Nível 3 são necessários.
 - Calibração local para previsão de cada um dos defeitos: deformação permanente (camada asfáltica, base granular, sub-base, e subleito, além da deformação permanente total), trincamento por fadiga (trincamento longitudinal de cima para baixo e trincamento couro de jacaré de baixo pra cima), e IRI.

Recomendações

- 
- Utilizar o software MEPDG (Nível 3, melhor estimativa, e dados padrão) juntamente com os procedimentos de dimensionamento existentes na NovaDutra. Isto irá oferecer familiaridade com os procedimentos antes da completa implementação do método.
 - Iniciar a coleta de dados para calibração e validação dos dados de saída do MEPDG usando estruturas representativas de pavimentos novos e reabilitações na NovaDutra.
 - As seções devem ter seus dados construtivos e de tráfego monitorados periodicamente e de forma detalhada.

Recomendações



- Para tráfego: Iniciar estudo para investigar a praticabilidade de desenvolvimento de um espectro de dados de carga por eixo para o Nível 1. Melhoria dos dados de entrada, além do ESAL, é considerado de alta prioridade.
- Desenvolvimento de um banco de dados das propriedades dos materiais comumente usados
 - Ligantes Asfálticos
 - Misturas Asfálticas
 - Materiais de Base/Sub-base



Página oficial do MEPDG:
www.trb.org/mepdg