

International Workshop

Fortaleza/CE - Oct. 2009

II – PAVEMENT DESIGN – IDENTIFICATION OF WORLDWIDE BEST PRACTICES

Dimensionamento de Pavimentos no Brasil Histórico e Expectativas Futuras

Djalma R. Martins Pereira, M.Eng.

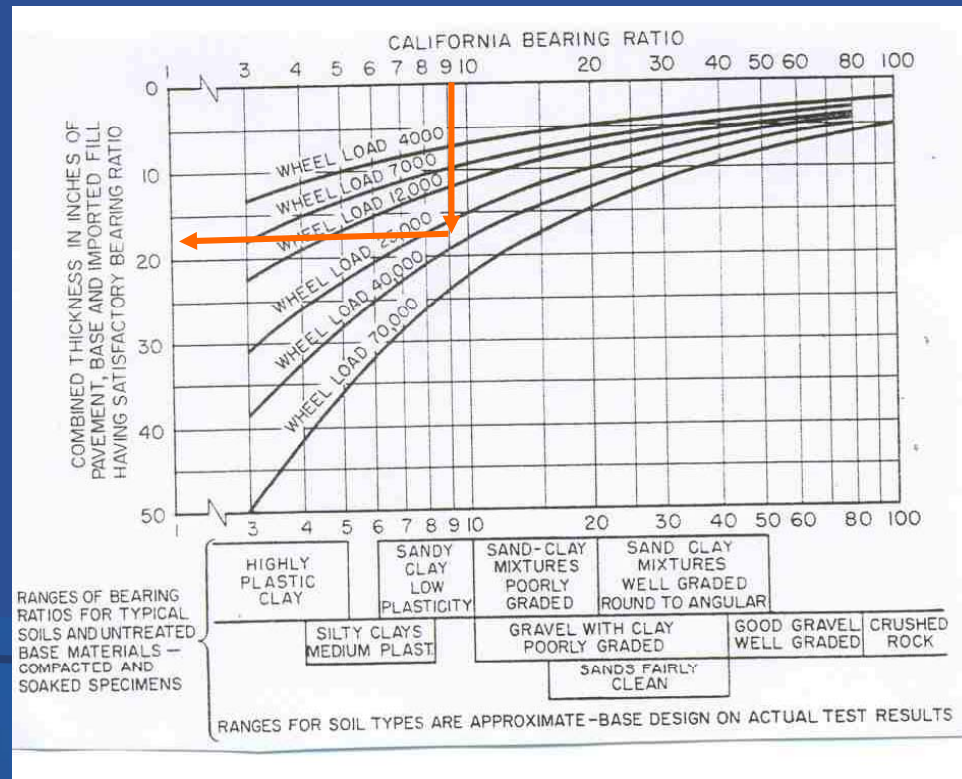


Dimensionamento de Pavimentos no Brasil

HISTÓRICO – NOVOS PAVIMENTOS:

Primeiros pavimentos: anos 50 e início anos 60

Dimensionamento intuitivo ou Método empírico USACE = $f(\text{CBR})$



Dimensionamento de Pavimentos no Brasil

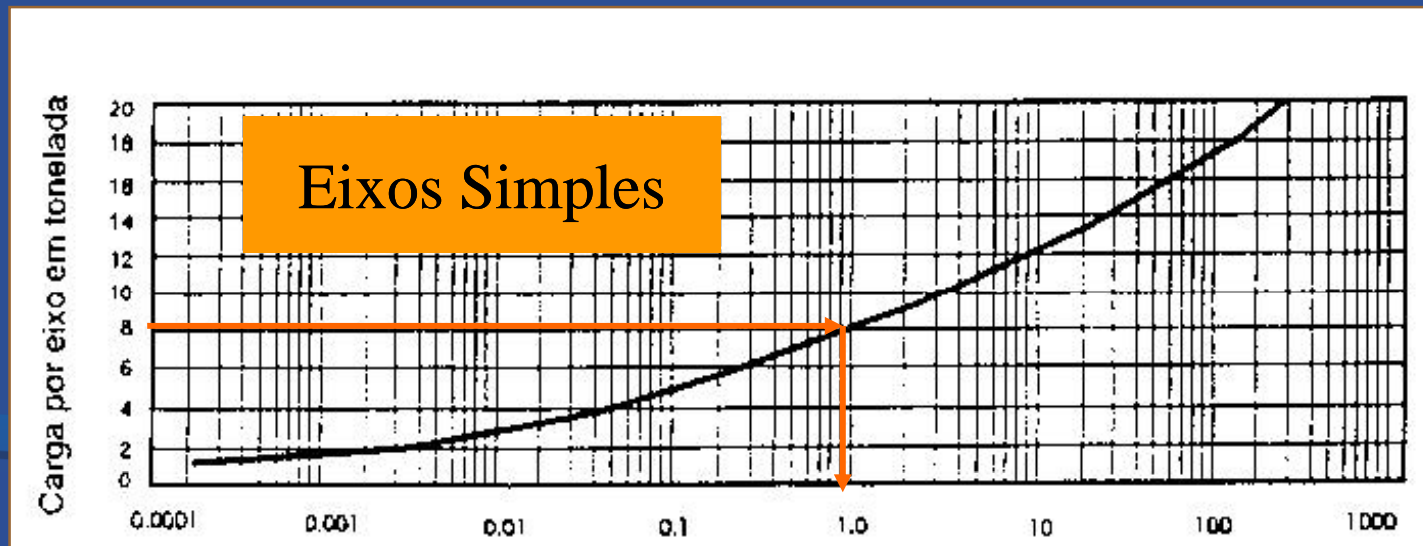
Método de Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis:

DNER: 1966

Origem: USACE e AASHO Road Test

Tráfego: equivalente de operações eixo-padrão 18.000 lb ("N")

Fatores de equivalência de cargas (EAL): USACE



Dimensionamento de Pavimentos no Brasil

Coeficientes de equivalência estrutural:

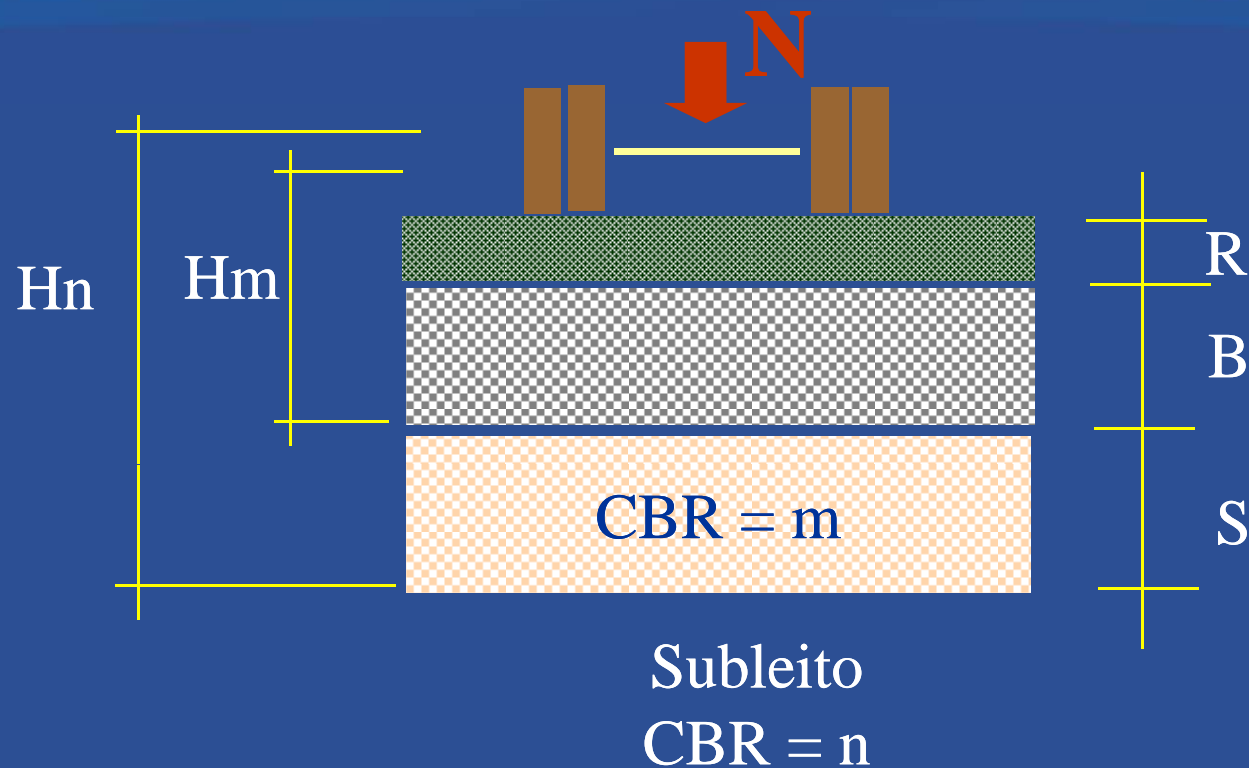
- Adaptados da pista experimental da AASHO (AASHTO)



Mesmo efeito estrutural

- Coeficiente estrutural: $K = H / h$
- Espessura equivalente: $H = h \cdot K$

Dimensionamento de Pavimentos no Brasil



Inequações:

$$R \cdot K_r + B \cdot K_b \geq H_m$$

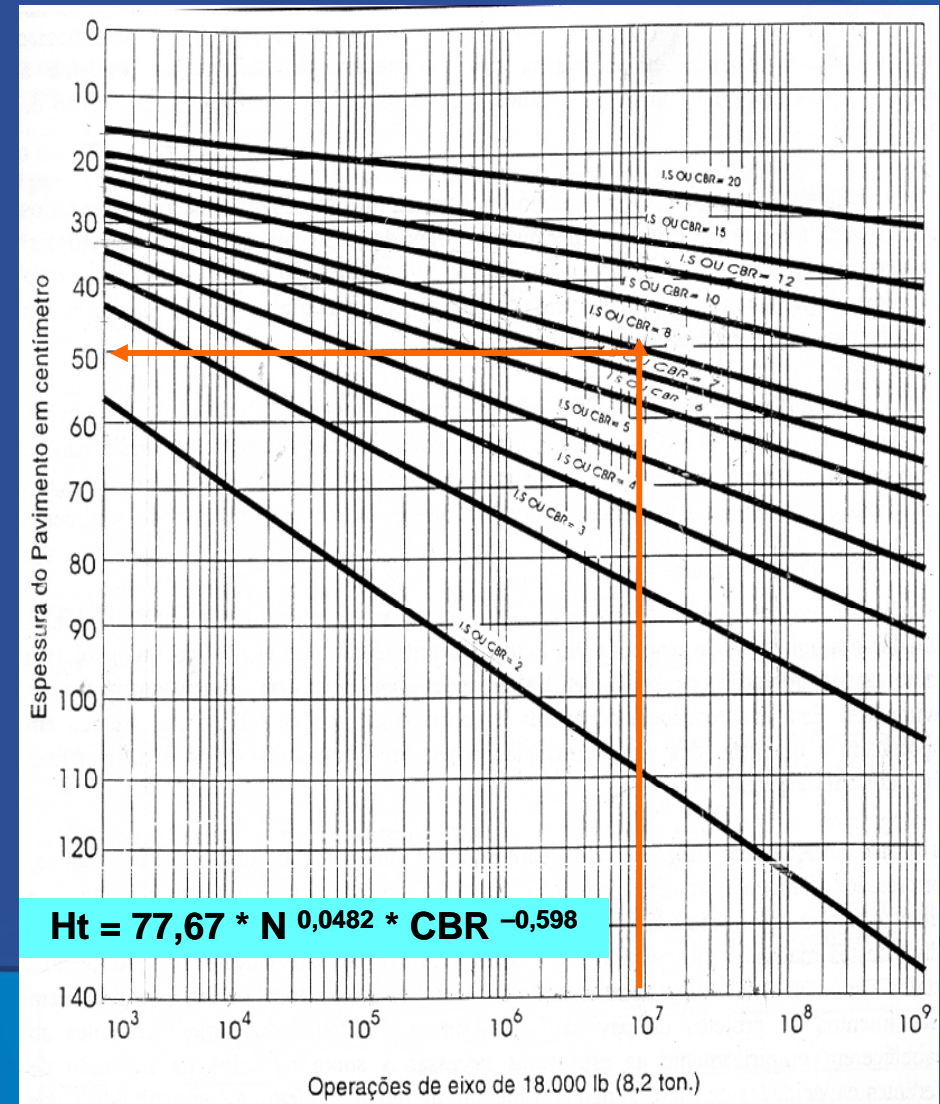
$$R \cdot K_r + B \cdot K_b + S \cdot K_s \geq H_n$$

Dimensionamento de Pavimentos no Brasil

Amplo emprego no país
Até hoje utilizado

Restrições:

- Proteção do subleito: OK
- Não considera:
características resilientes
da estrutura e efeito de
fadiga



Dimensionamento de Pavimentos no Brasil

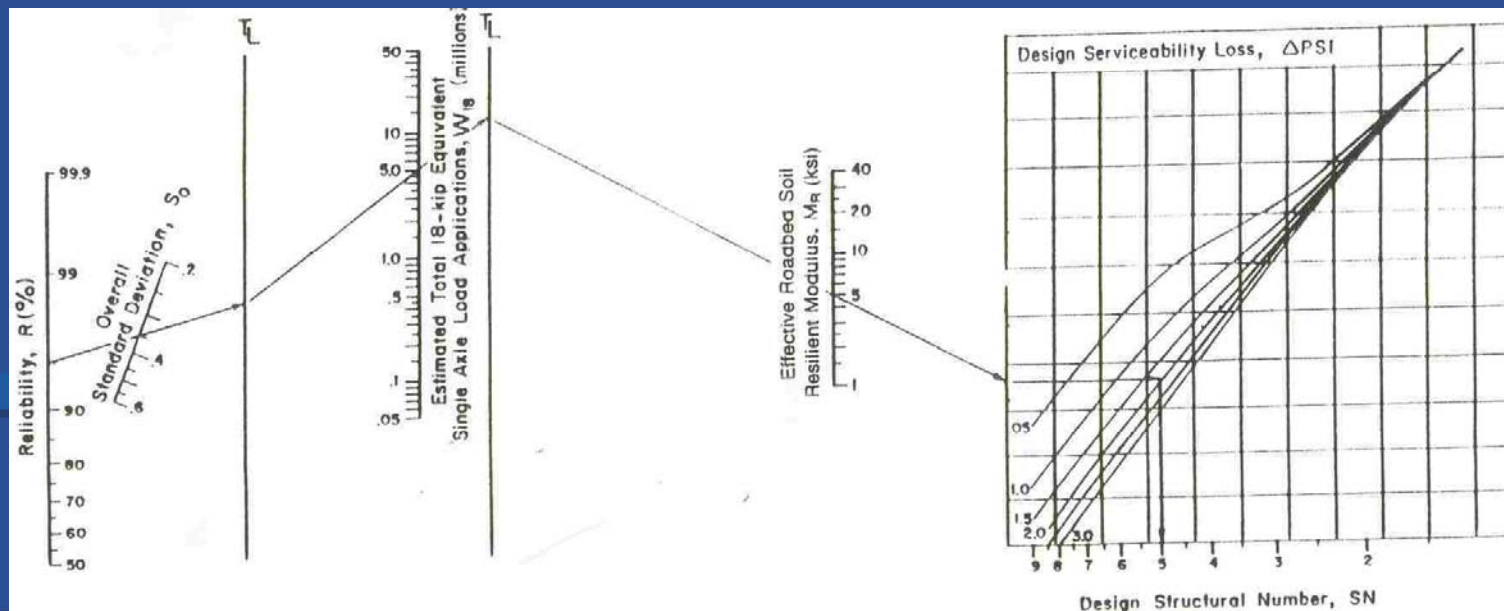
AASHTO Guides:

Diversas aplicações, com adaptações regionais

Não chegou a ser objeto de norma brasileira

Restrições ao uso no Brasil:

- Condições climáticas muito distintas das de Illinois
- Solos tropicais com comportamento diferenciado



Dimensionamento de Pavimentos no Brasil

A MECÂNICA DOS PAVIMENTOS:

Princípios começam a ser consolidados a partir dos anos 80

Primeiros equipamentos para ensaios dinâmicos: COPPE/UFRJ



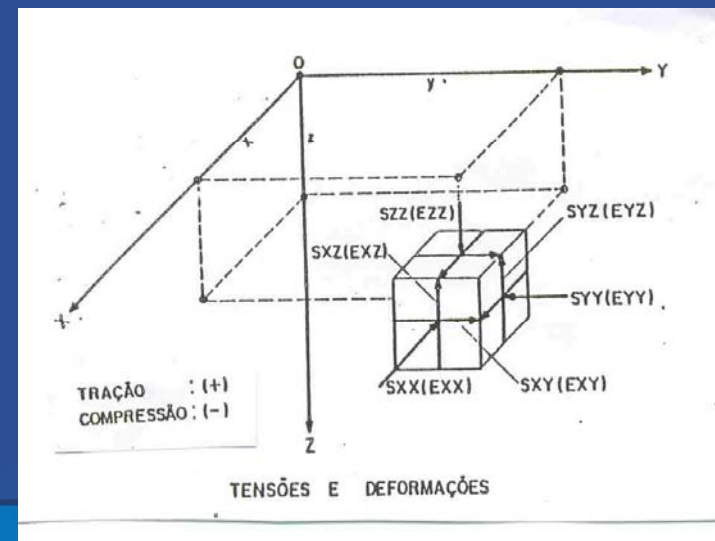
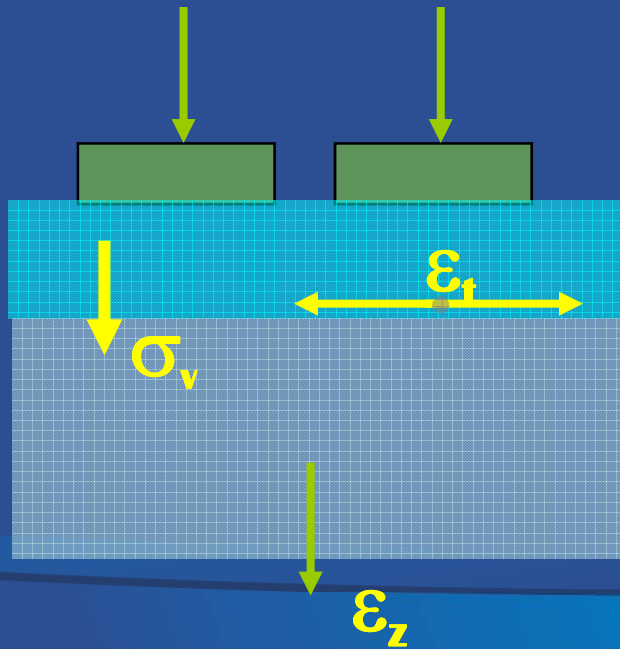
Dimensionamento de Pavimentos no Brasil

A MECÂNICA DOS PAVIMENTOS:

Primeiro software de análise tensão-deformação: FEPAVE 2

Outros softwares empregados:

ELSYM5, EVESTRESS, ... (elasticidade linear)



Dimensionamento de Pavimentos no Brasil

A MECÂNICA DOS PAVIMENTOS:

Prática comum entre os projetistas (a partir de 1990):

Dimensionamento empírico (método do DNER)

Calibração e ajuste com apoio de modelos empírico-mecanísticos (projetos para a iniciativa privada)

Restrições e dificuldades:

Limitado número de equipamentos: ensaios dinâmicos

Uso de correlações aproximativas para avaliar módulos

Emprego simplista da elasticidade linear

Área de contato circular com pressão uniforme

Crítérios de falha importados de outros países

Enorme diversidade de solos e condições climáticas

Dimensionamento de Pavimentos no Brasil

HISTÓRICO – DIMENSIONAMENTO DE REFORÇOS:

Normas do DNER (DNIT):

DNER-PRO 10/79

Baseada em procedimentos da California (antiga CDH)

Solução nomográfica – anos depois informatizada

Baseado em deflexão recuperável (Benkelman)

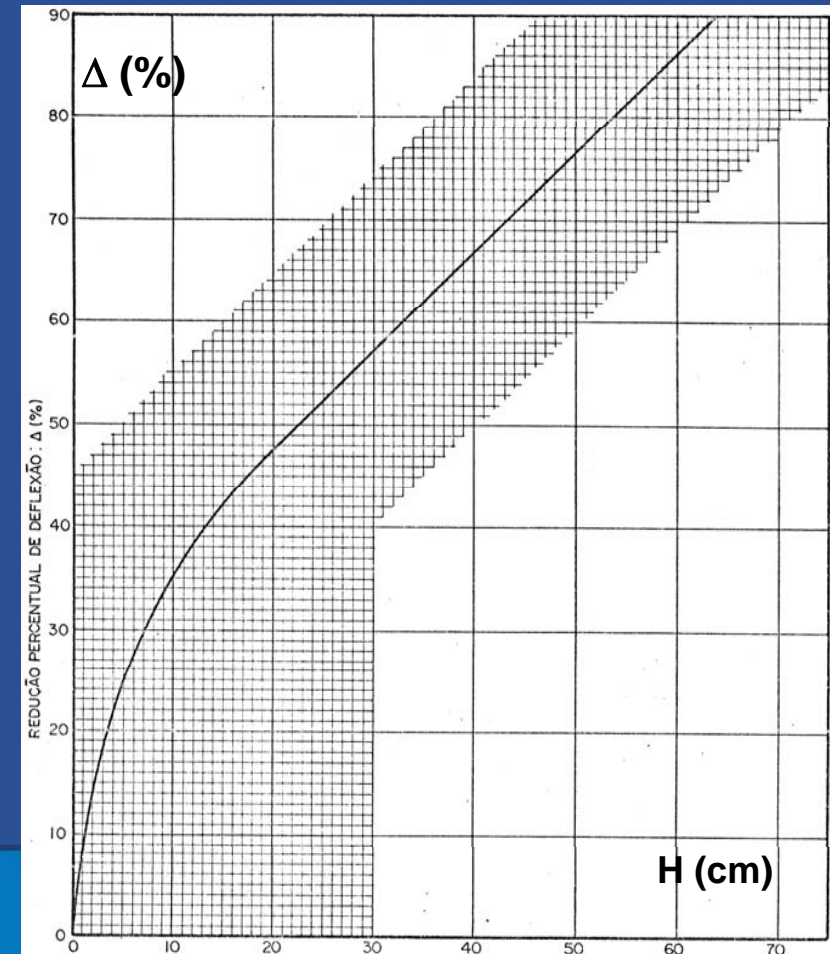
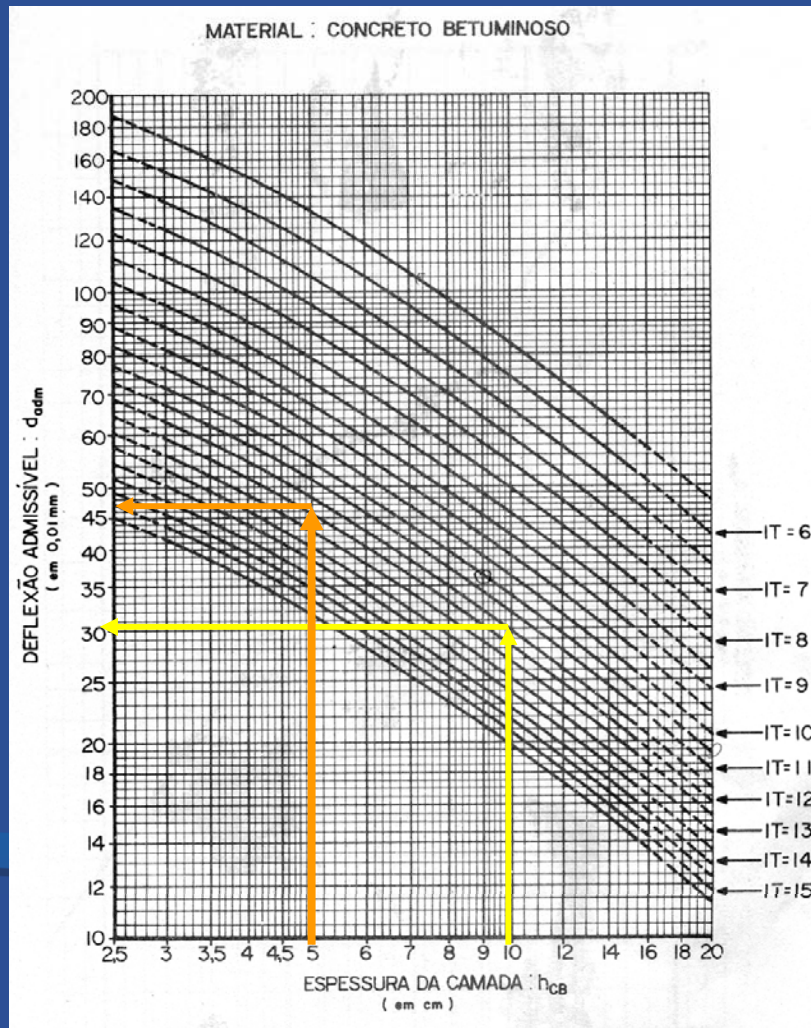
Busca do atendimento a uma deflexão admissível

Deflexão admissível como função do:

- Tráfego
- Espessura da camada crítica (mistura densa)

Dimensionamento de Pavimentos no Brasil

HISTÓRICO – DIMENSIONAMENTO DE REFORÇOS:



Dimensionamento de Pavimentos no Brasil

HISTÓRICO – DIMENSIONAMENTO DE REFORÇOS:

Normas do DNER (DNIT):
DNER-PRO 11/79

Baseada em estudos de Ruiz

Considera deflexão vigente

Busca compatibilizar com deflexão admissível

Expressões de cálculo simples:

$$\log dadm = 3,01 - 0,176 \log N$$

$$h_{CB} = 40 \log (dp / dadm)$$

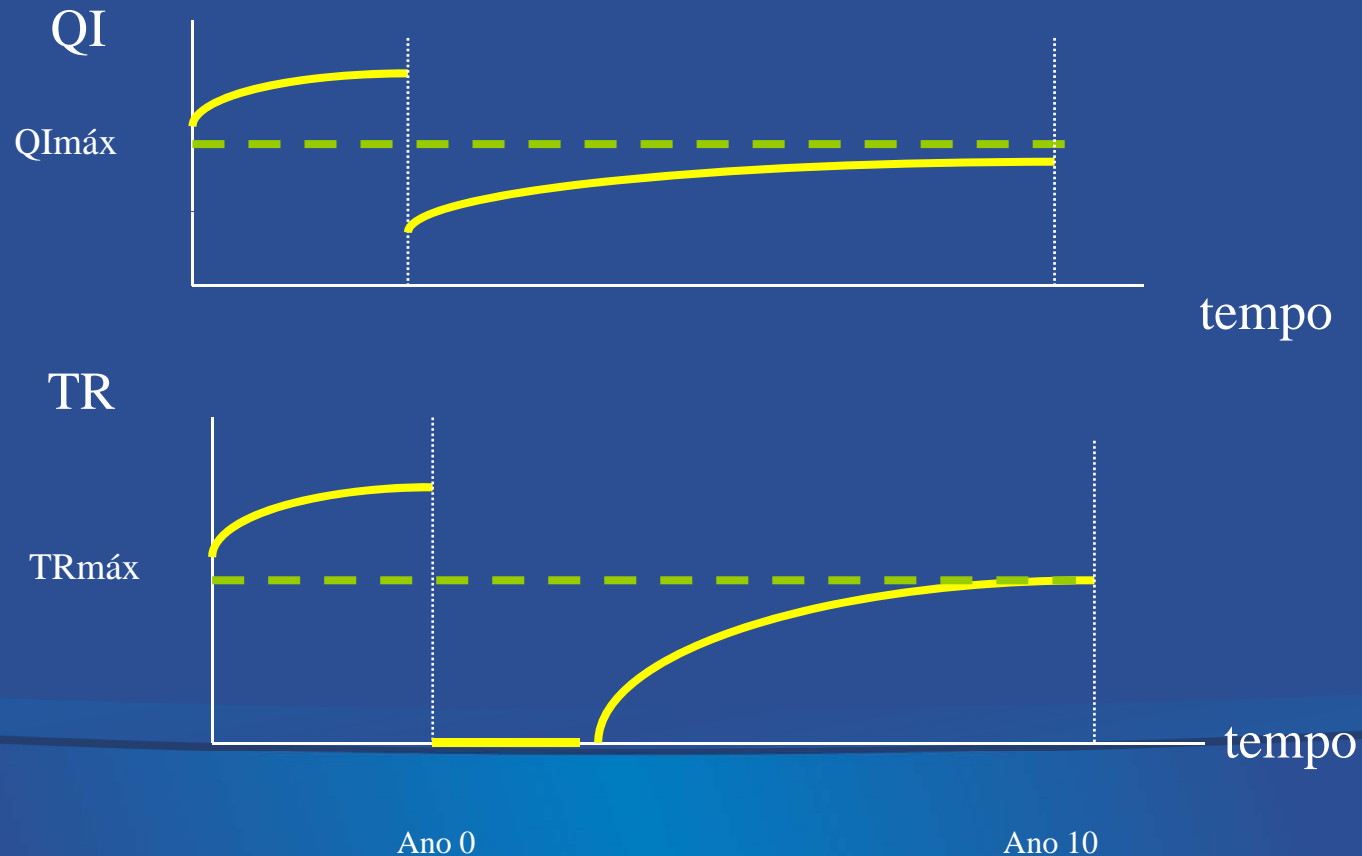
Ampla utilização no país

Dimensionamento de Pavimentos no Brasil

HISTÓRICO – DIMENSIONAMENTO DE REFORÇOS:

Normas do DNER (DNIT):

DNER-PRO 159/85 → baseada em modelos de desempenho (PICR)



Dimensionamento de Pavimentos no Brasil

HISTÓRICO – DIMENSIONAMENTO DE REFORÇOS:

Normas do DNER (DNIT):

DNER-PRO 269/85

Baseada em:

- Modelos de fadiga de misturas densas
- Ensaio de resiliência de solos finos e granulares
- Análises tensões-deformações (não-lineares)

Deflexão admissível em função do tráfego

Permite estudo com mistura reciclada

Disputa a preferência dos projetistas com PRO-11/79

Dimensionamento de Pavimentos no Brasil

HISTÓRICO – DIMENSIONAMENTO DE REFORÇOS:

Enfoque Mecanístico

Cerca de 15 FWD`s no país (Dynatest e KUAB)

Retroanálise para avaliação de módulos resilientes:

FPEDD1 (W.Uddin); MODULUS; ELMOD, EVERCALC, ...

Programas para cálculo de tensões e deformações:

ELSYM5, EVERSTRESS, ...

Critérios de falha:

Dificuldades com novos materiais/produtos

Questão da reflexão de trincas:

Estudos da mecânica da fratura (COPPE/UFRJ, ...)

Dimensionamento de Pavimentos no Brasil

EXPECTATIVAS E NECESSIDADES FUTURAS:

Atualização dos métodos oficiais de dimensionamento é uma necessidade

Deflexão Belkelman, com todas as suas limitações, ainda é a referência dos métodos oficiais → limita o crescimento do parque de FWD`s

Métodos empírico-mecanísticos , na linha do MEPDG AASHTO, parecem mais apropriados: melhor adaptação à grande diversidade de solos e variações climáticas

Ampliação dos critérios de falha: pesquisas nas universidades são determinantes

Capacitação dos laboratórios de pesquisa (ensaios a carga repetida e deformação permanente) e estudos do novo método de dimensionamento → importante dar sequência ao apoio da PETROBRAS às Universidades

Sistemas de gerência de pavimentos: muitas vezes descontinuados, limitam a possibilidade de geração de modelos de desempenho

QUANTO MAIS APRENDEMOS, MAIS TOMAMOS CONSCIÊNCIA DO POUCO QUE SABEMOS ...

djalma@engefoto.com.br *Obrigado!*