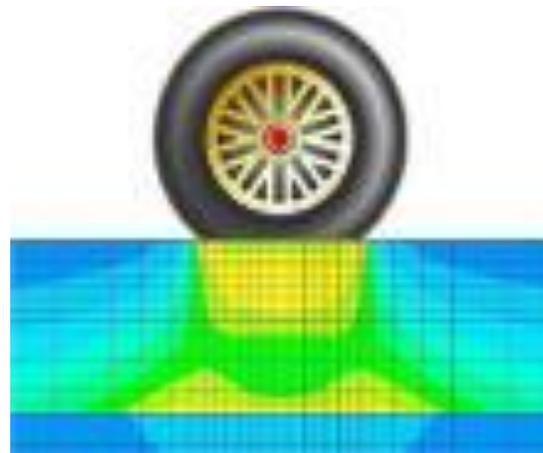
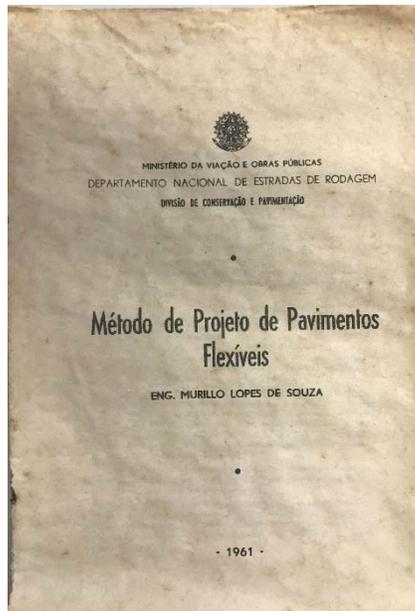
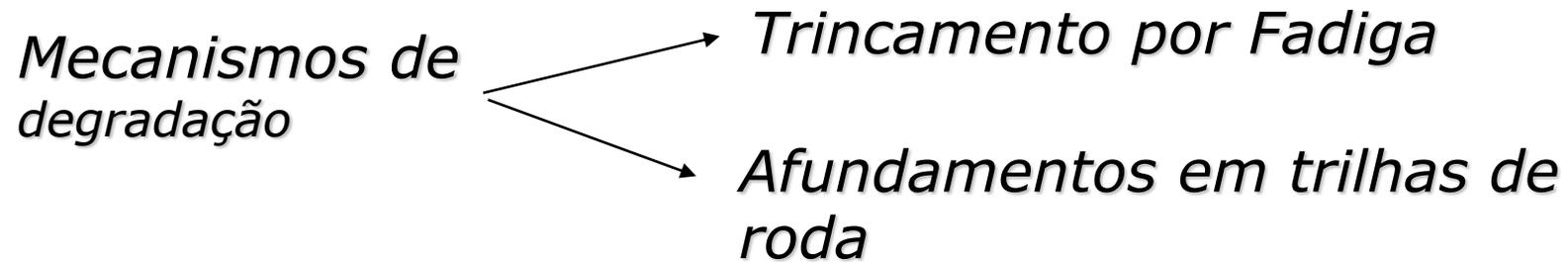
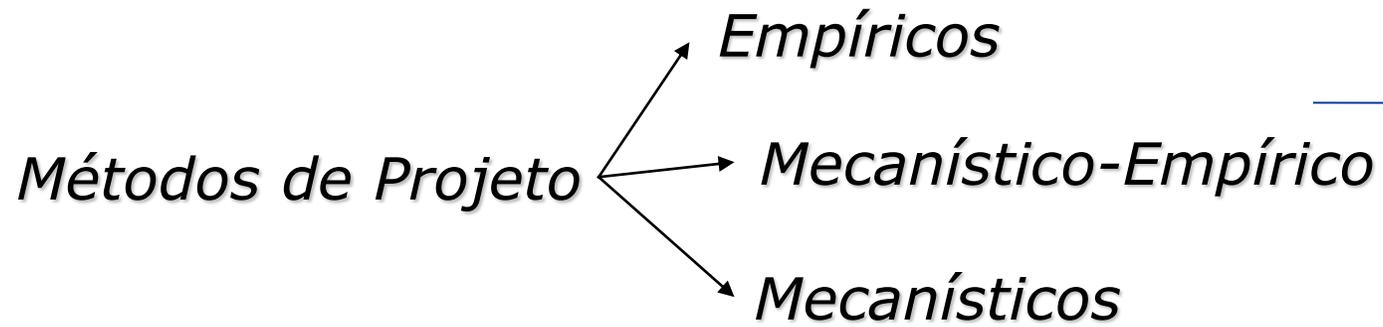




“NOVO MÉTODO NACIONAL DE DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS (MeDiNa)”

PALESTRANTE: PROF. DR. LUCIANO PIVOTO SPECHT





Método Oficial – Versão 1981- IPR 2006

ESPESSURA MÍNIMA DE REVESTIMENTO BETUMINOSO

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

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

Os coeficientes estruturais são designados por:

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

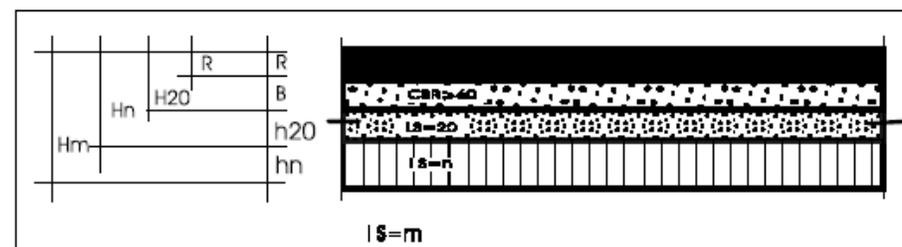
1.5 DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO

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

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

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

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



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

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

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

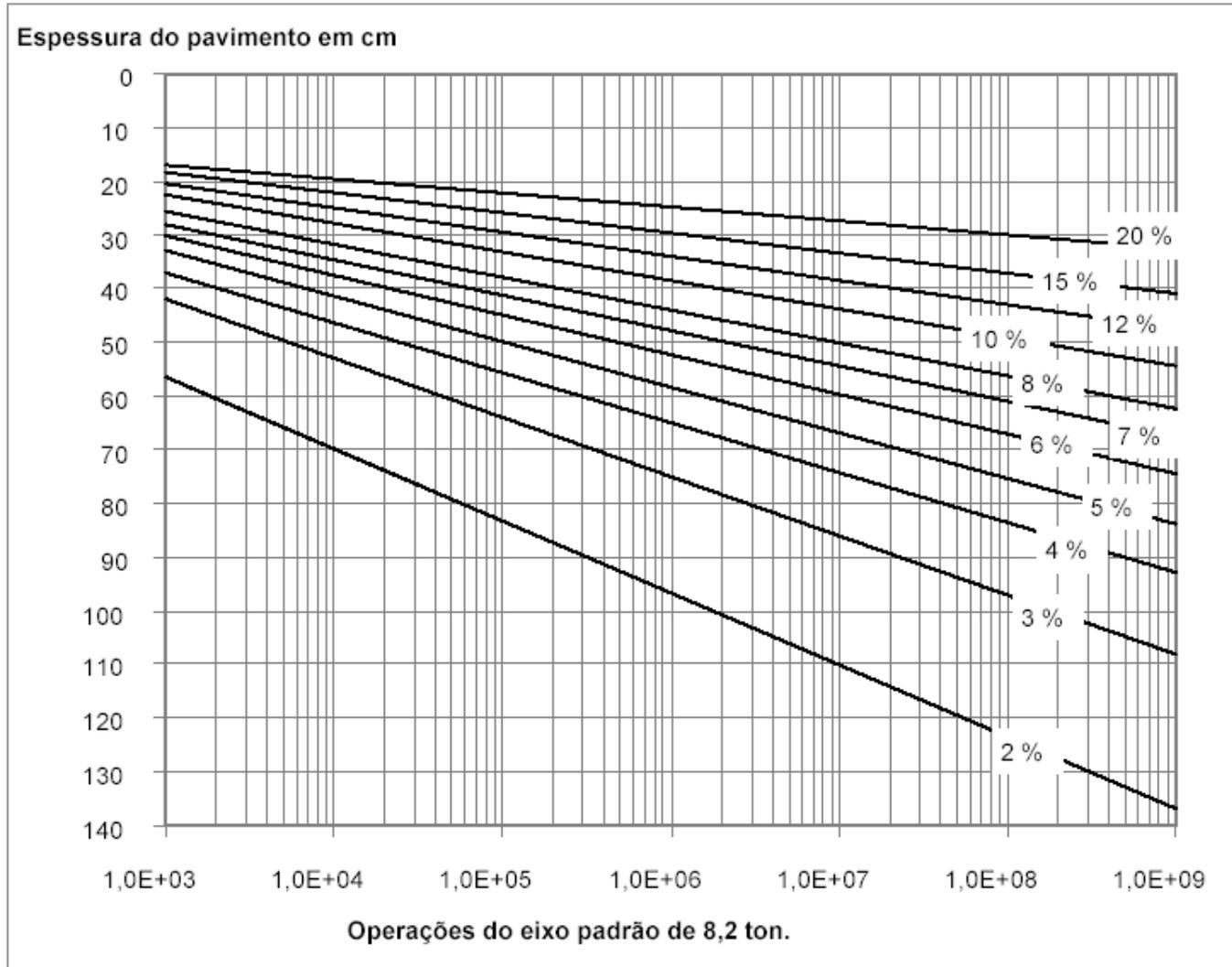
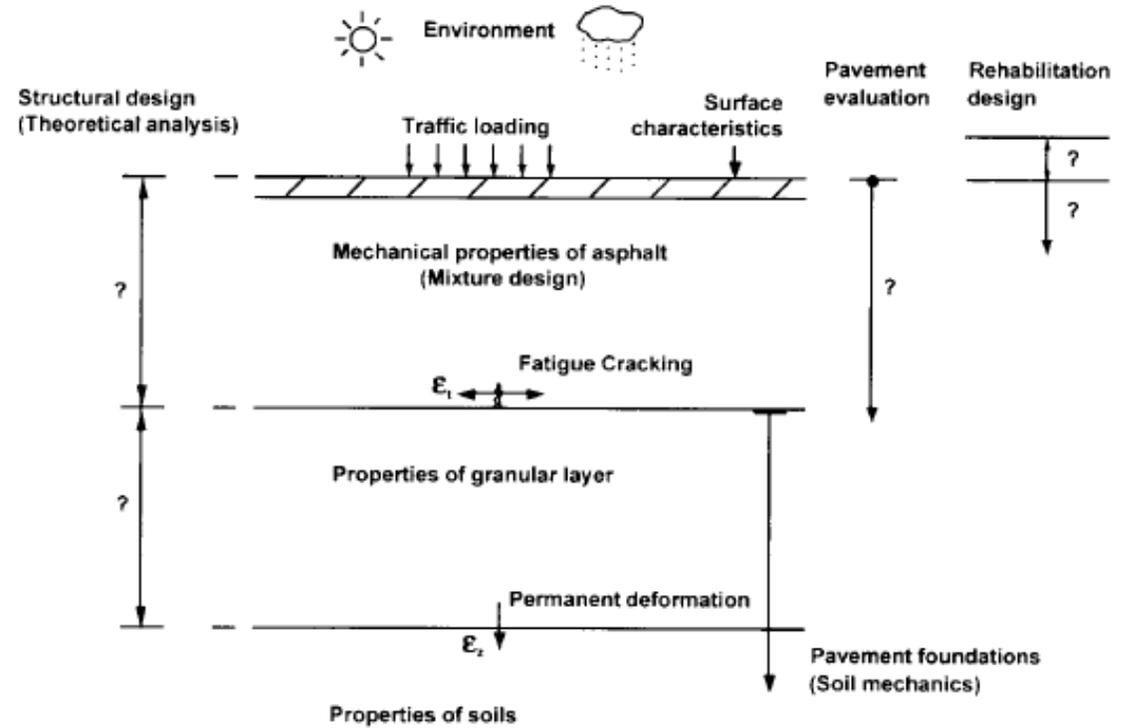
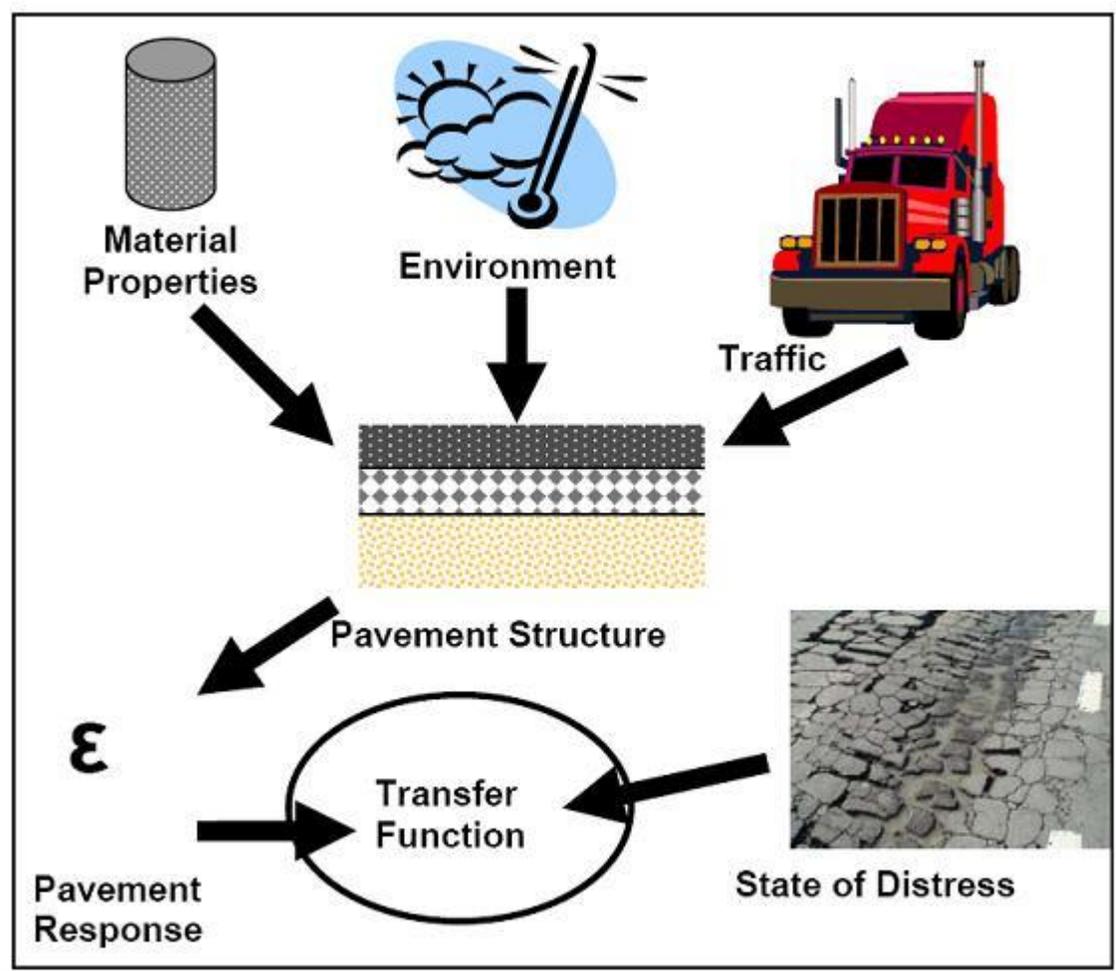


Gráfico de Dimensionamento de Pavimentos do Método do DNER (adaptado)

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

COMPONENTES DO PAVIMENTO	COEFICIENTE k
base ou revestimento de concreto betuminoso	2,00
base ou revestimento de pré-misturado a quente, de graduação densa	1,70
base ou revestimento de pré-misturado a frio, de graduação densa	1,40
base ou revestimento por penetração	1,20
base granular	1,00
sub-base granular	0,77
melhoria do subleito	0,71
solo-cimento com $\sigma_{r\ 7\text{dias}} > 45\ \text{kgf/cm}^2$	1,70
solo-cimento com $38\ \text{kgf/cm}^2 < \sigma_{r\ 7\text{dias}} < 45\ \text{kgf/cm}^2$	1,40
solo-cimento com $\sigma_{r\ 7\text{dias}} < 38\ \text{kgf/cm}^2$	1,00

Comportamento Mecânico de Pavimentos Flexíveis

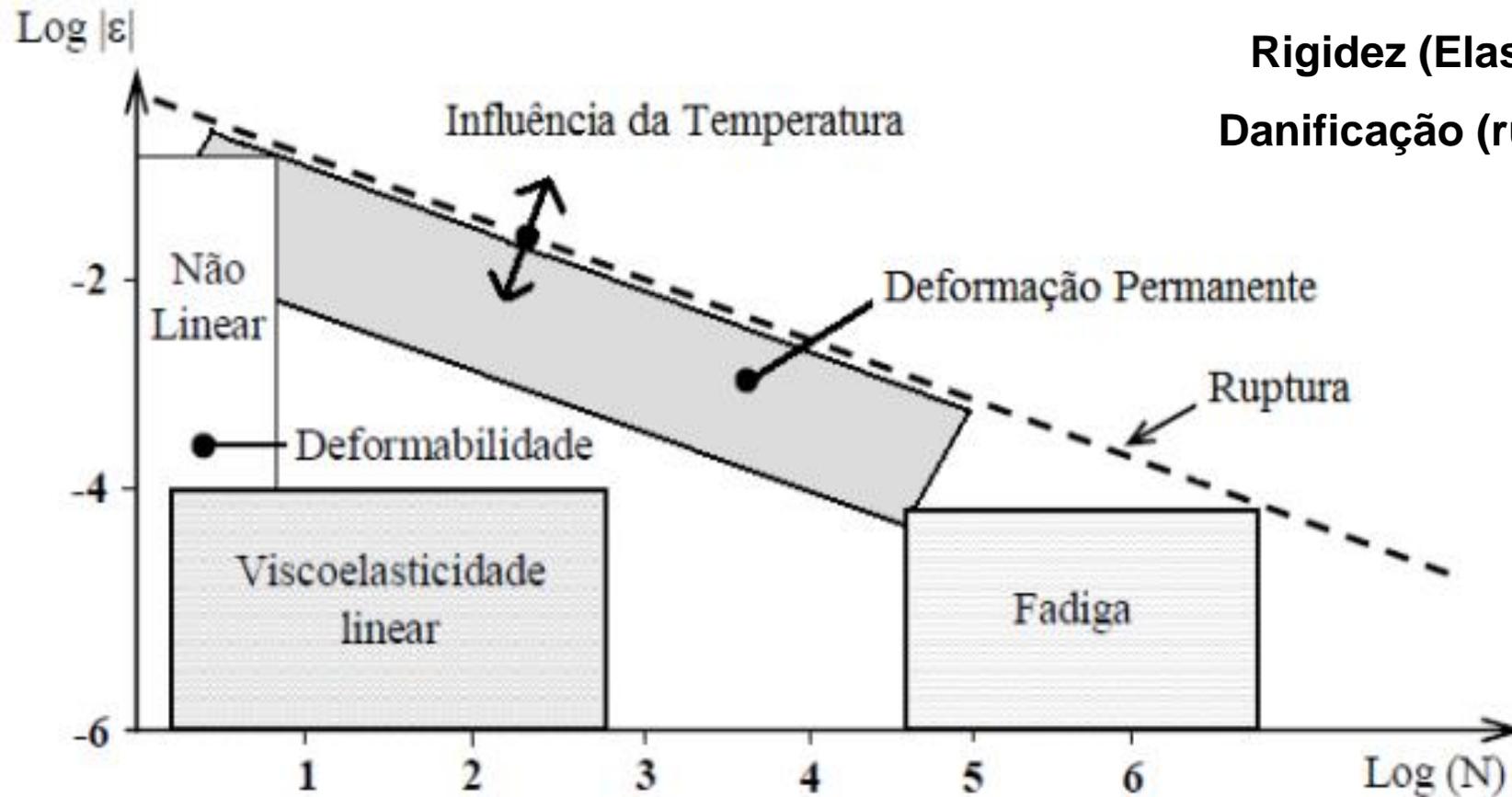


Comportamento Mecânico de Pavimentos Flexíveis

Domínios de Comportamento de uma mistura asfáltica

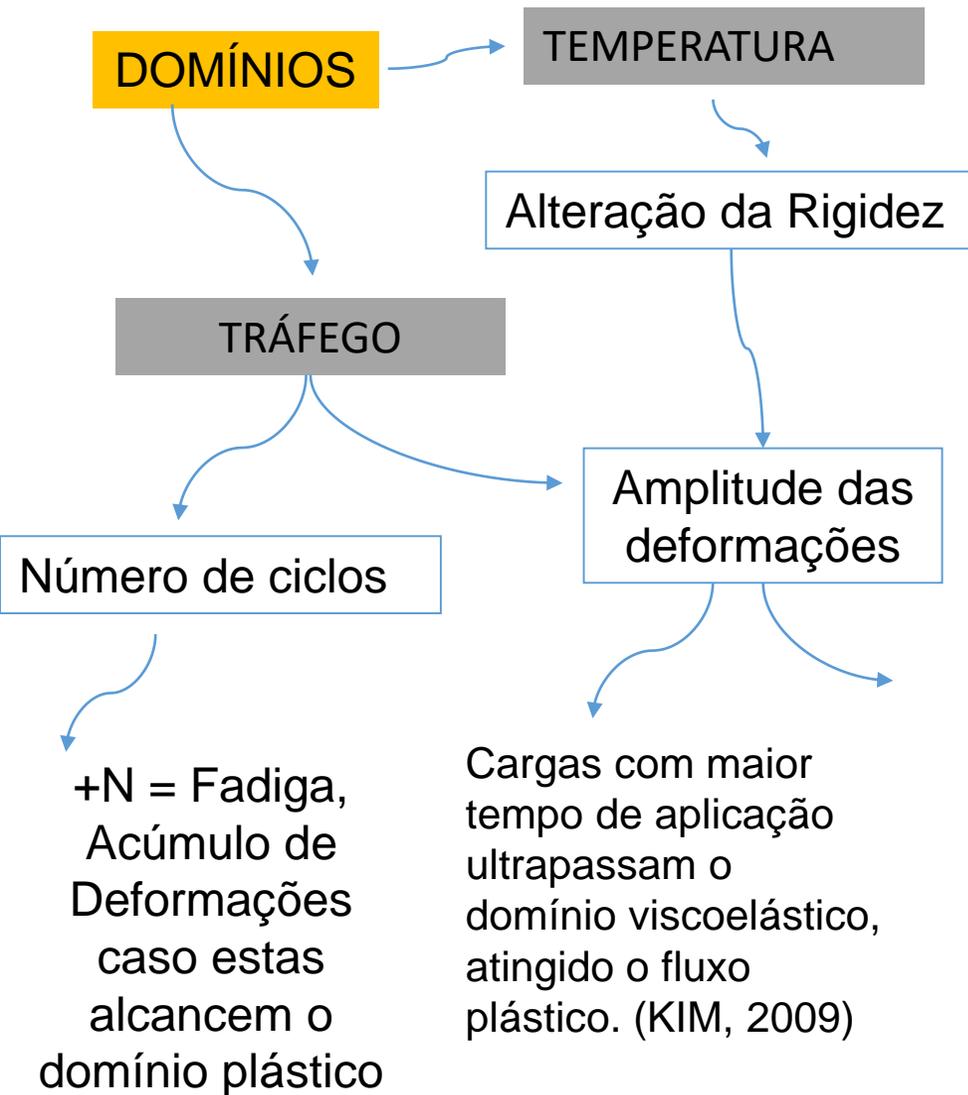
Rigidez (Elasticidade e Viscoelasticidade)

Danificação (ruptura – plastificação e fadiga)



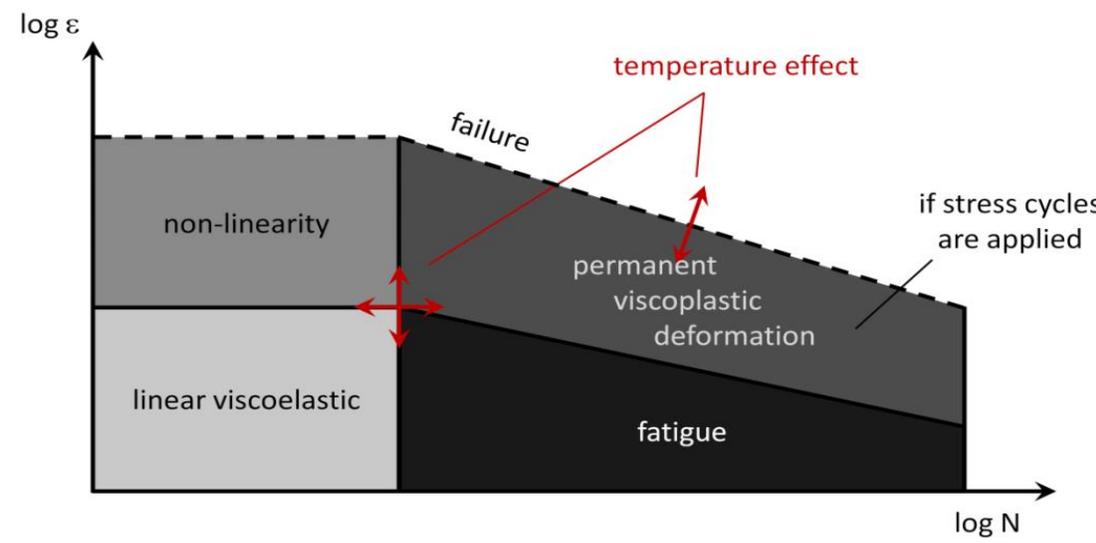
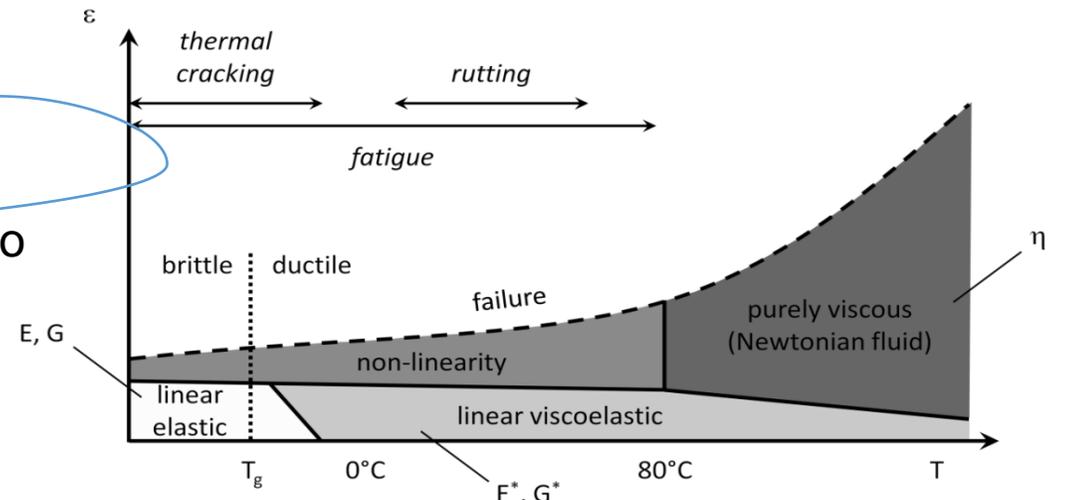
Rigidez
Elasticidade
x
Viscoelasticidade Linear

Comportamento Mecânico das Misturas Asfálticas



Mistura herda comportamento do + T = ligante Viscosidade = Menor Rigidez

Cargas de alta rotatividade induzem somente as parcelas viscoelásticas, não produzindo deformação considerável.



DEFORMAÇÃO PERMANENTE

ATR

Problema de deformação permanente de trilha de roda é corriqueiro nas estradas brasileiras (Nascimento 2008).

DENSIFICAÇÃO

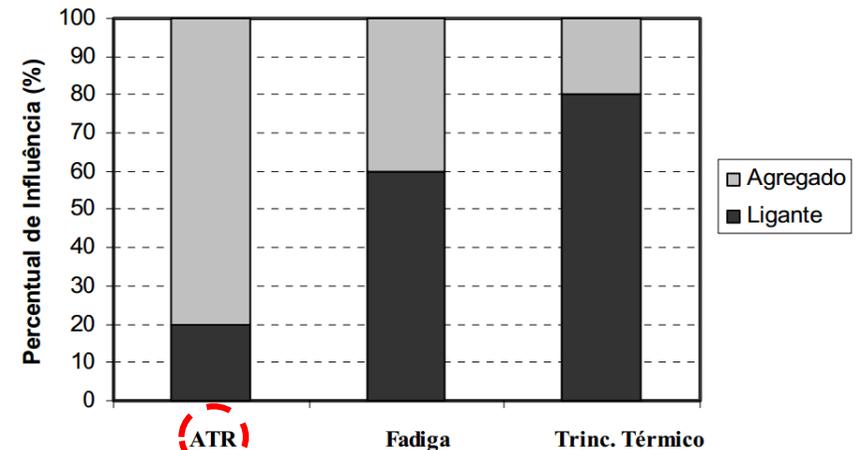
Queda no volume de vazios

Redução do volume

CISALHAMENTO DA MASSA ASFÁLTICA

Cisalhamento da massa asfáltica a volume constante

Formação das elevações laterais à trilha



FHWA (2002)

FADIGA

Fadiga

Degradação interna do material por acúmulo de ciclos – queda de rigidez, separação de superfícies que afeta a distribuição de tensões...

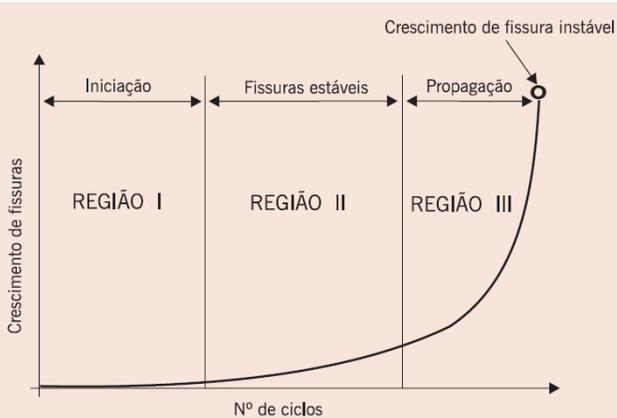
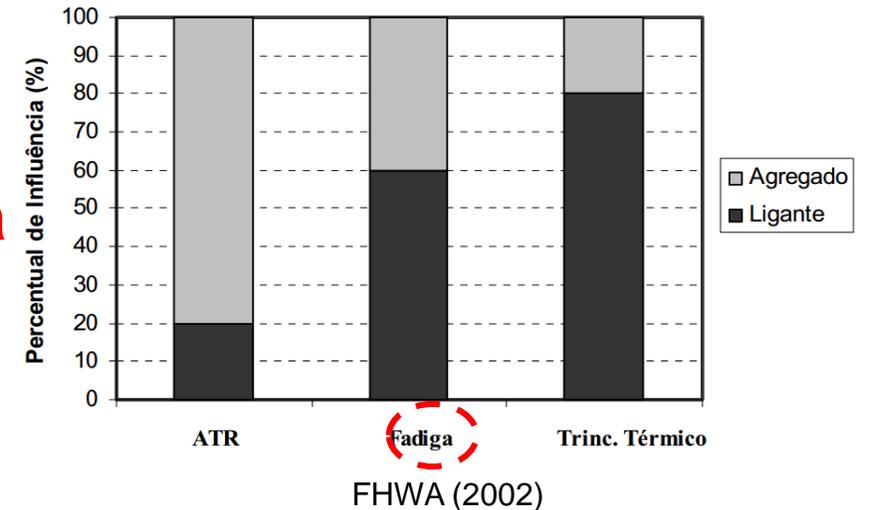
3 Fases

Depende do que?

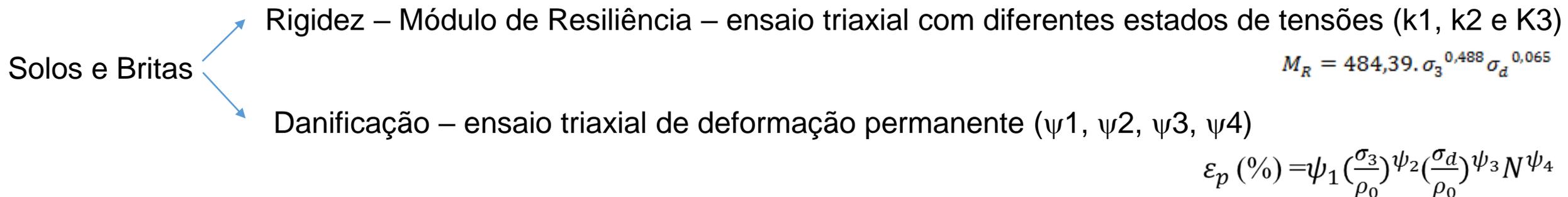
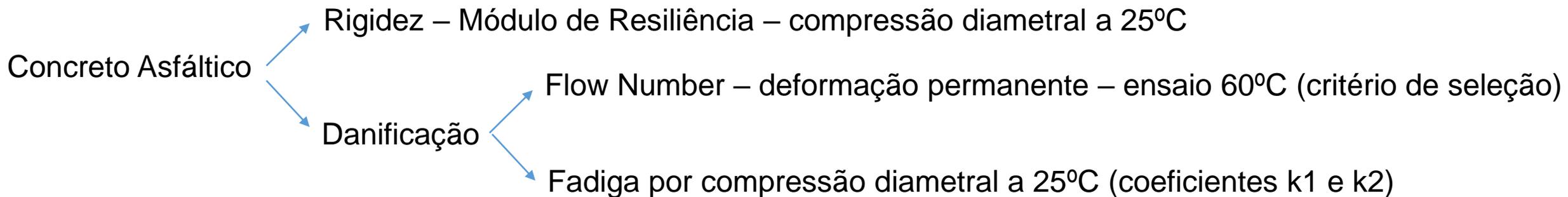
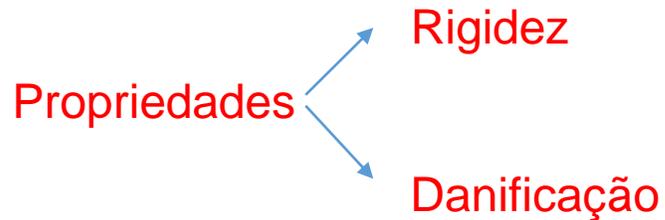


Materiais
Dosagem

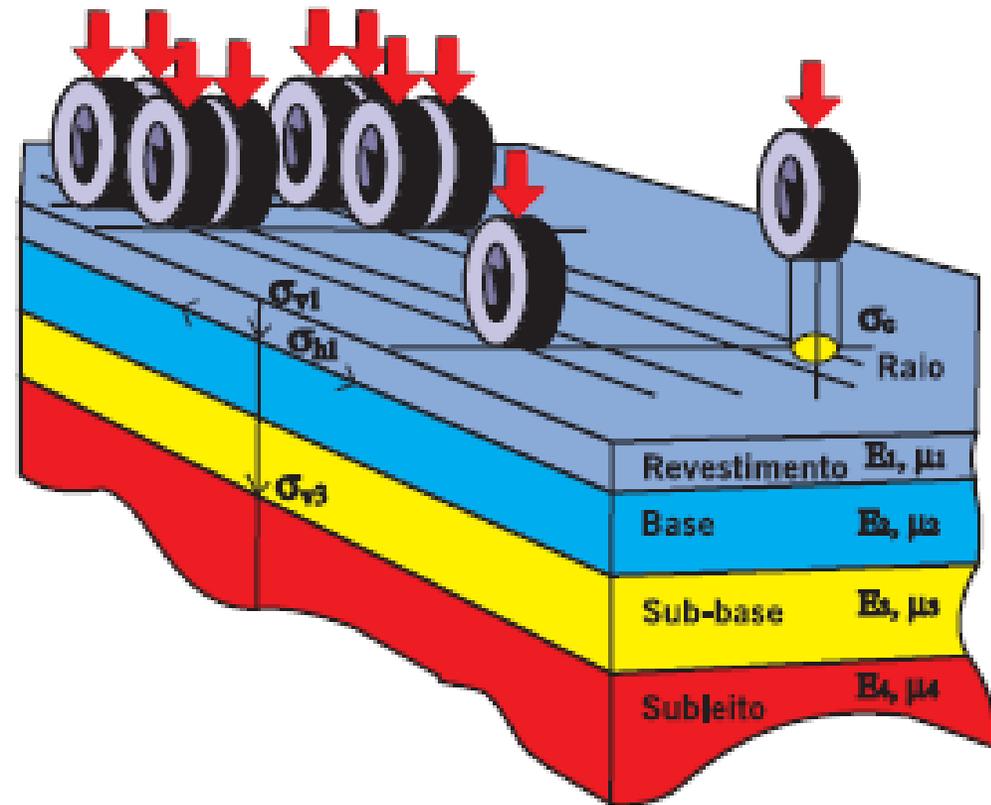
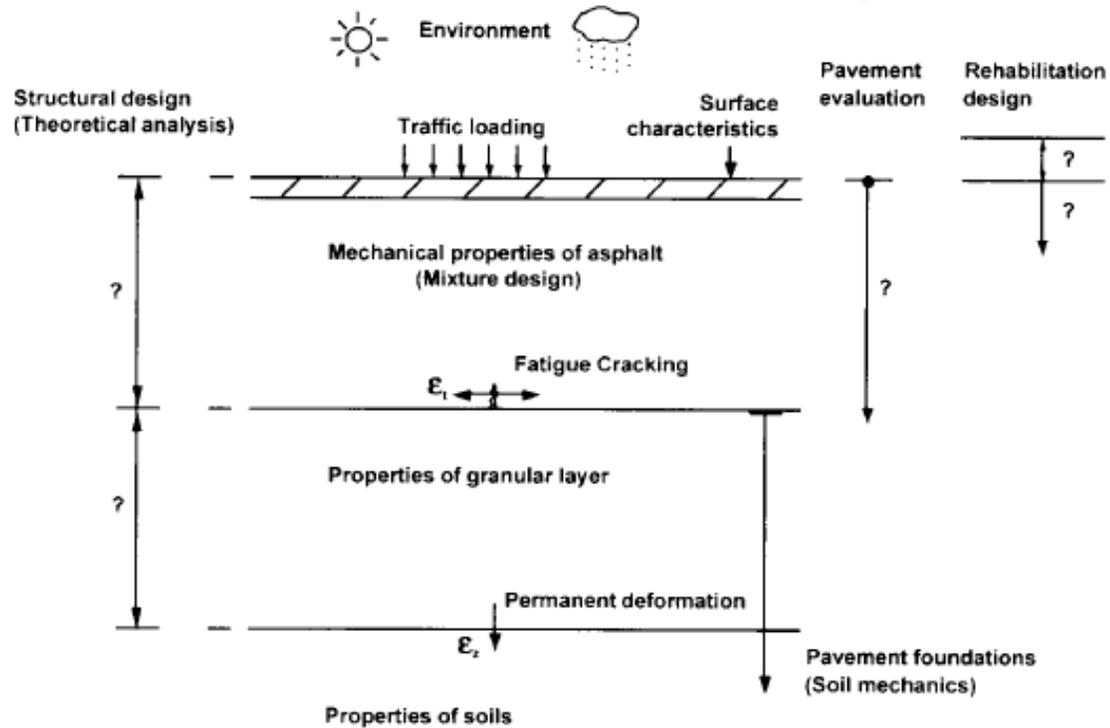
Comportamento na Estrutura
(espessura e rigidez)



Dados de Entrada MeDiNa



Avaliação Mecanicista

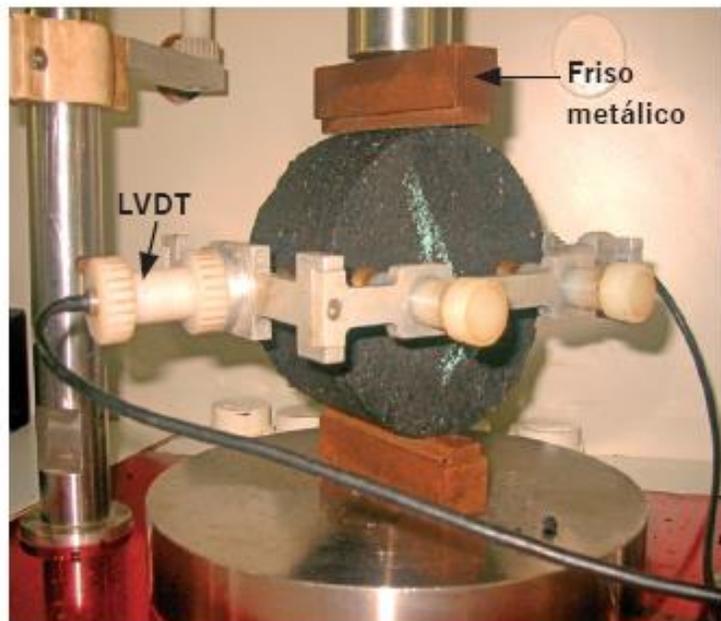


Rigidez: Módulo de resiliência

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

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

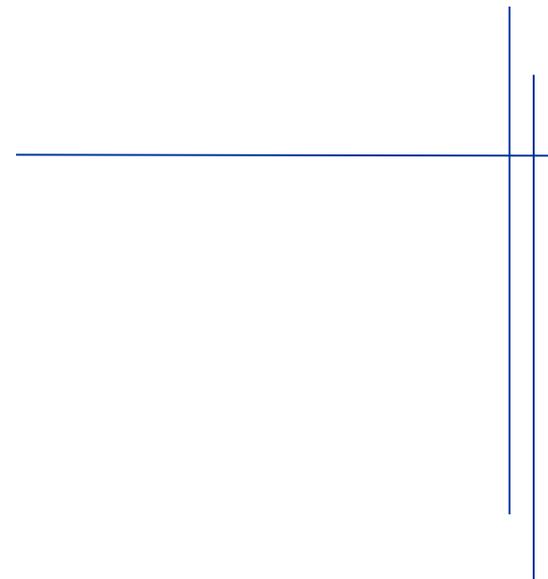
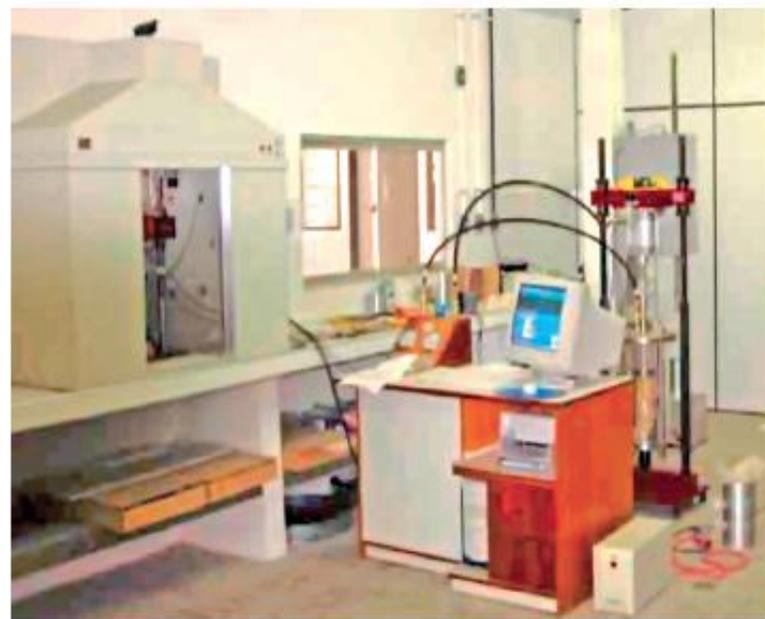
Ensaio para medir MR....



(a) Corpo-de-prova com dois LVDTs



(b) Corpo-de-prova com um único LVDT



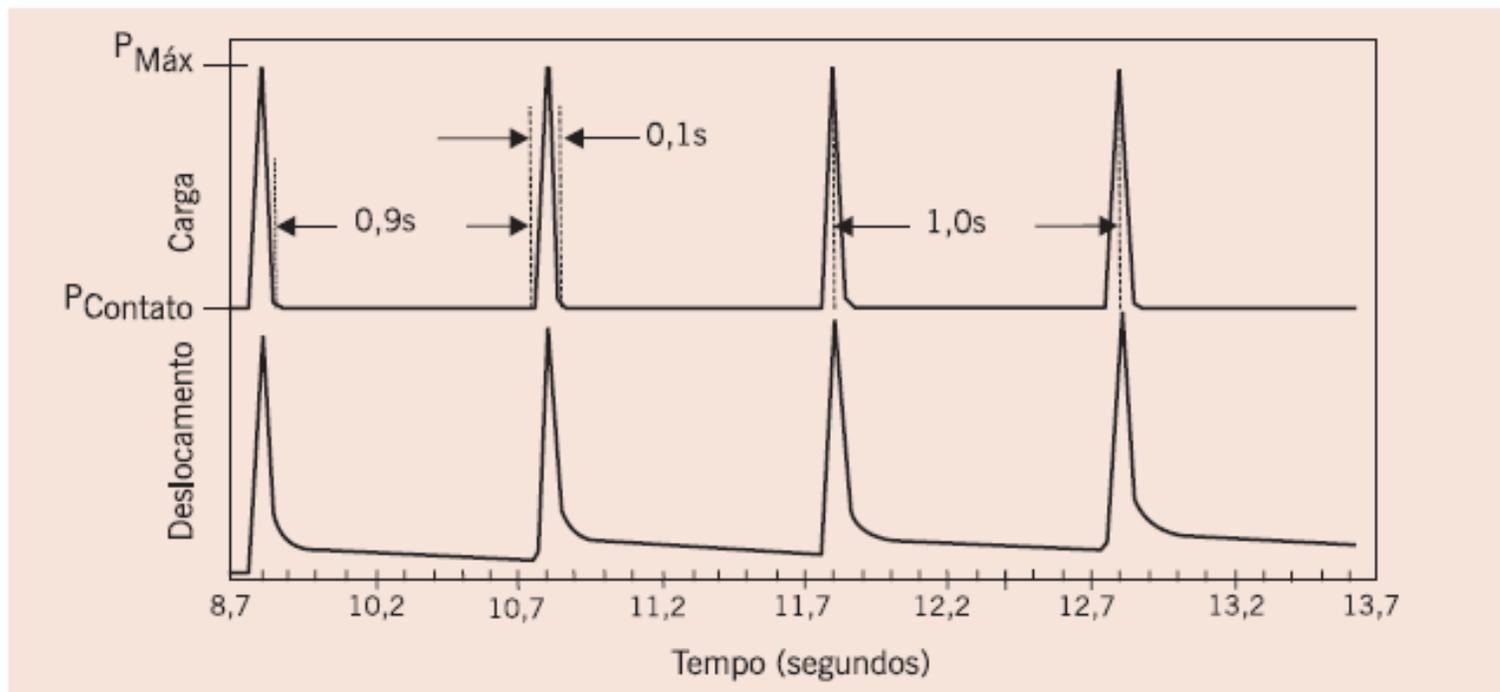


Figura 6.6 Duração dos tempos de carregamento e repouso

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

Onde:

MR = módulo de resiliência, MPa;

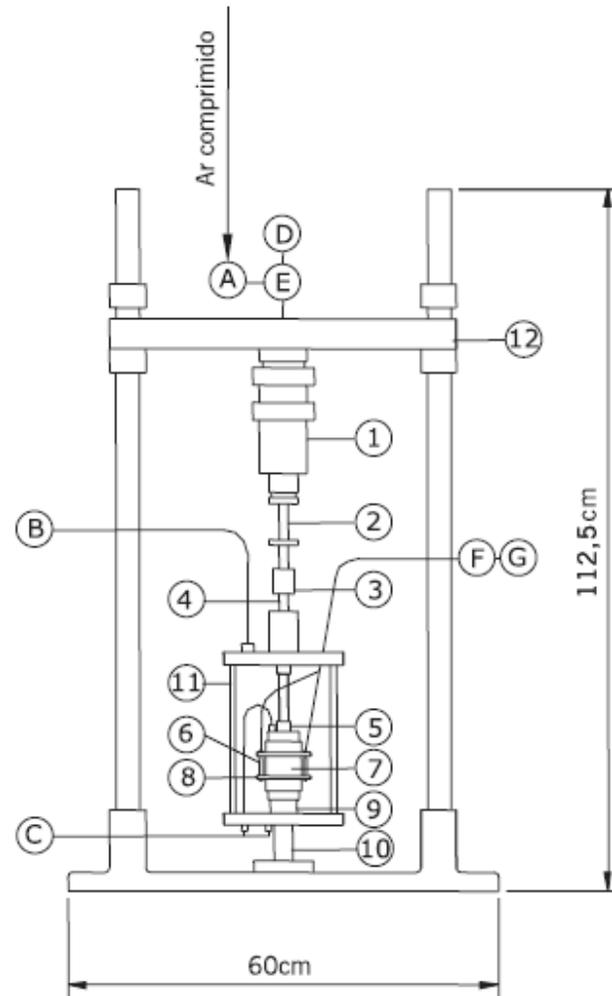
P = carga vertical repetida aplicada diretamente no corpo-de-prova, N;

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

H = altura do corpo de prova, mm;

μ = coeficiente de Poisson.

Modulo de Resiliência de Solos e Materiais Granulares:



- A – regulador de pressão para aplicação da tensão-desvio
- B – regulador de pressão para aplicação da tensão confinante
- C – sistema de vácuo
- D – temporizador de controle da frequência e tempo de duração do carregamento (tensão-desvio)
- E – válvula de três vias
- F – amplificador de sinal
- G – oscilógrafo ou microcomputador com monitor e impressora
- 1. cilindro de pressão
- 2. pistão
- 3. conexão
- 4. haste
- 5. cabeçote (top-cap)
- 6. LVDT transdutor de deslocamento
- 7. amostra de solo
- 8. alça de fixação dos LVDTs
- 9. base
- 10. suporte central
- 11. célula triaxial
- 12. estrutura da prensa

(a) Esquema do primeiro equipamento triaxial de carga repetida do Brasil (Medina, 1997)



(b) Exemplo de um equipamento atual

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

Como é feito o ensaio.....

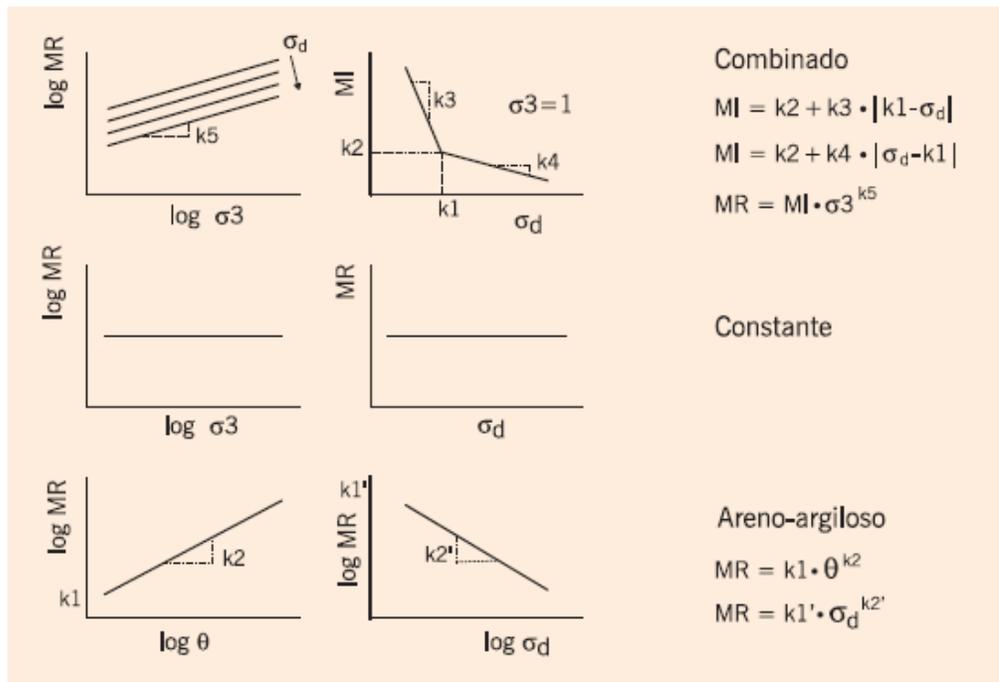
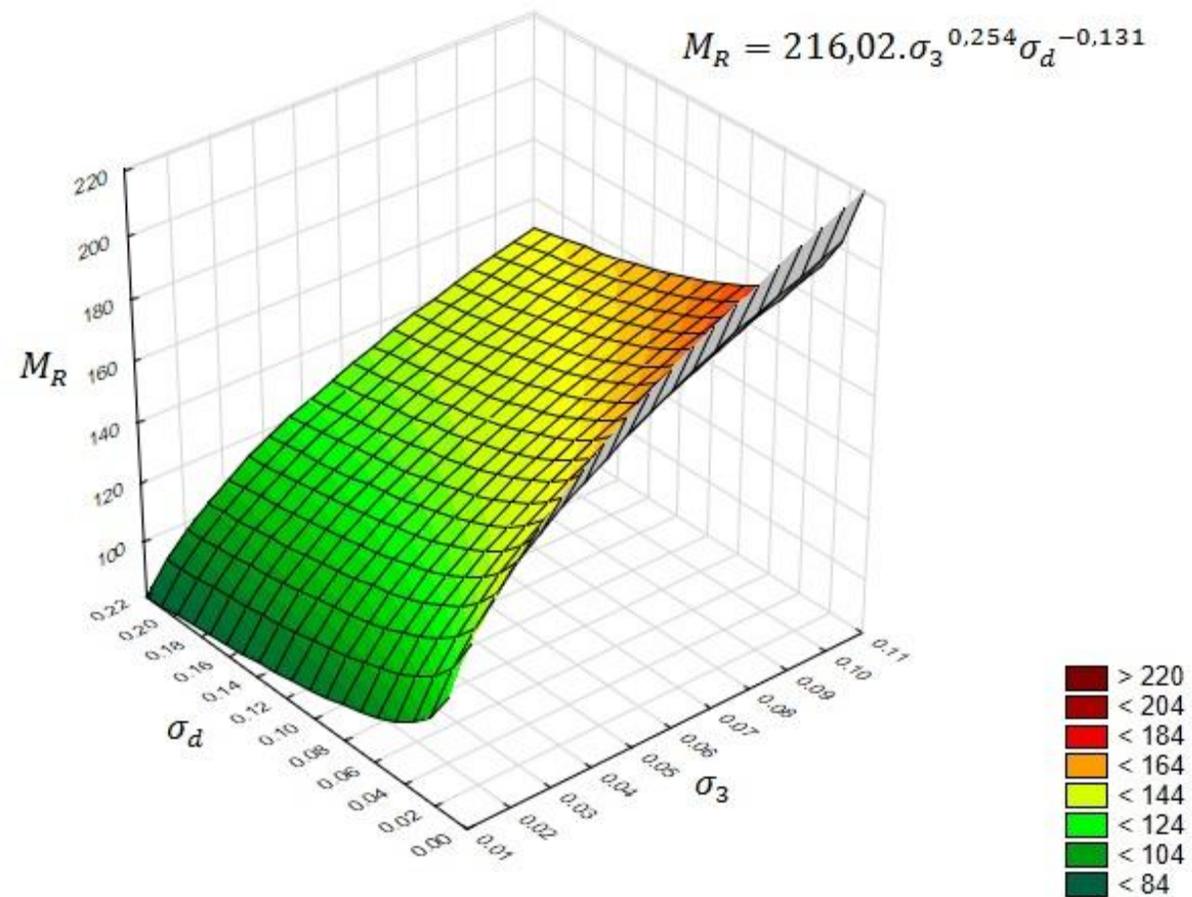
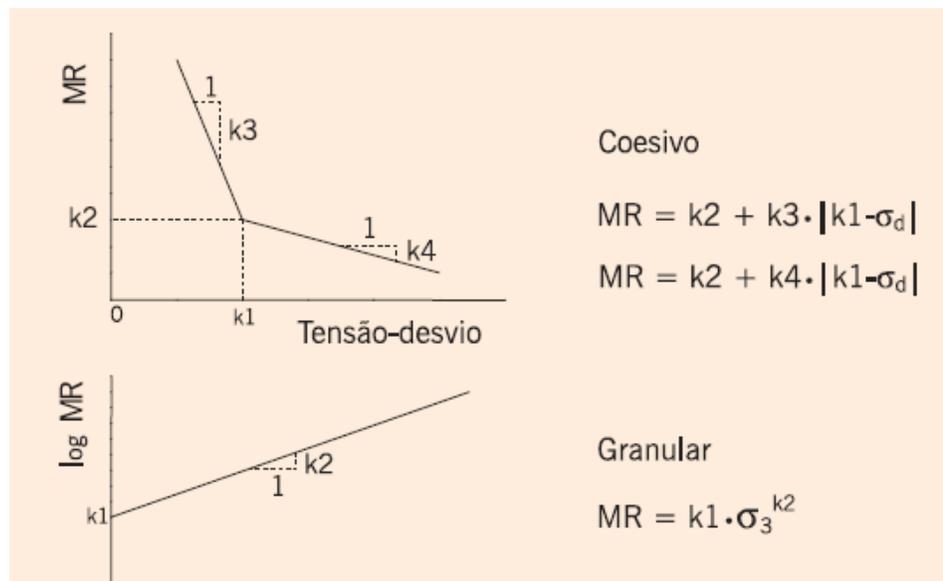


Figura 7.8 Outros comportamentos de solos quanto à resiliência

▪ Ensaio por Compressão Diametral (tração indireta).

- ✓ O ensaio de tração indireta fornece um estado biaxial de tensões (horizontais de tração e verticais de compressão);

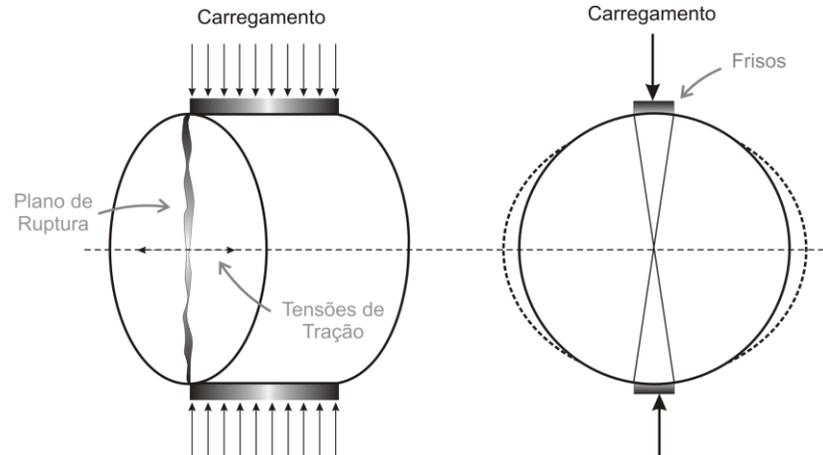


Figura 2 – Esquema de carregamento

Fonte: Brito, 2006

- ✓ 10% e 50% da RT em amostras de 63,5mm de altura por 102mm diâmetro – ensaio tensão controlada
 - ✓ $25^{\circ} \text{ C} \pm 0,5^{\circ} \text{ C}$ – Critério de parada – ruptura completa
 - ✓ A frequência é de 60 ciclos por minuto, com o tempo de aplicação de carga de 0,10s e 0,90s de repouso.
- ✓ Apresenta a vantagem da simplicidade da preparação dos corpos de prova (Método Marshall) pode utilizar também amostras coletadas no campo.



Figura 1 – Ensaio de Fadiga por Compressão Diametral

■ ENSAIOS DE FADIGA CONVENCIONAIS

■ Ensaio por Compressão Diametral (tração indireta).

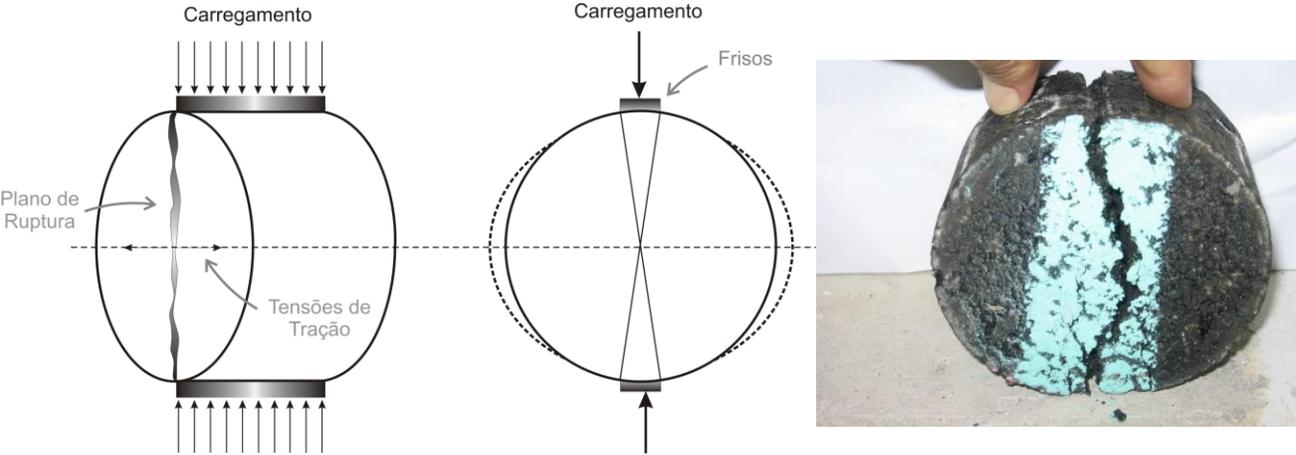


Figura 2 – Esquema de carregamento
Fonte: Brito, 2006

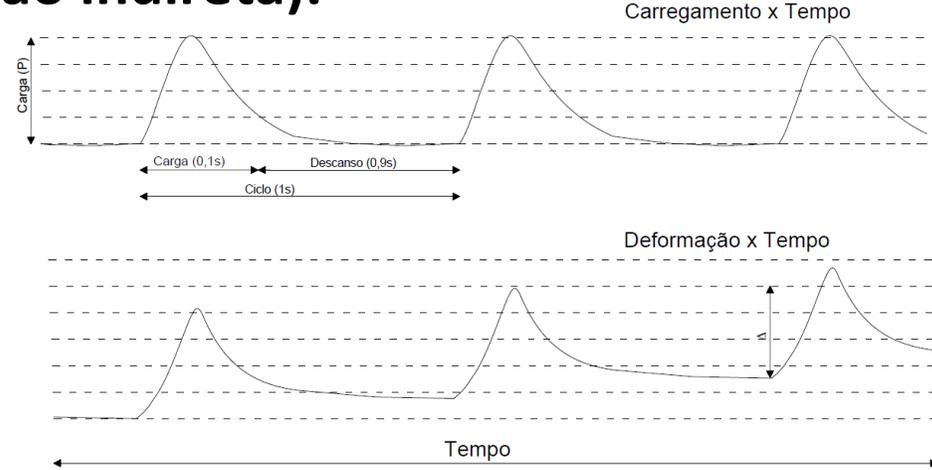
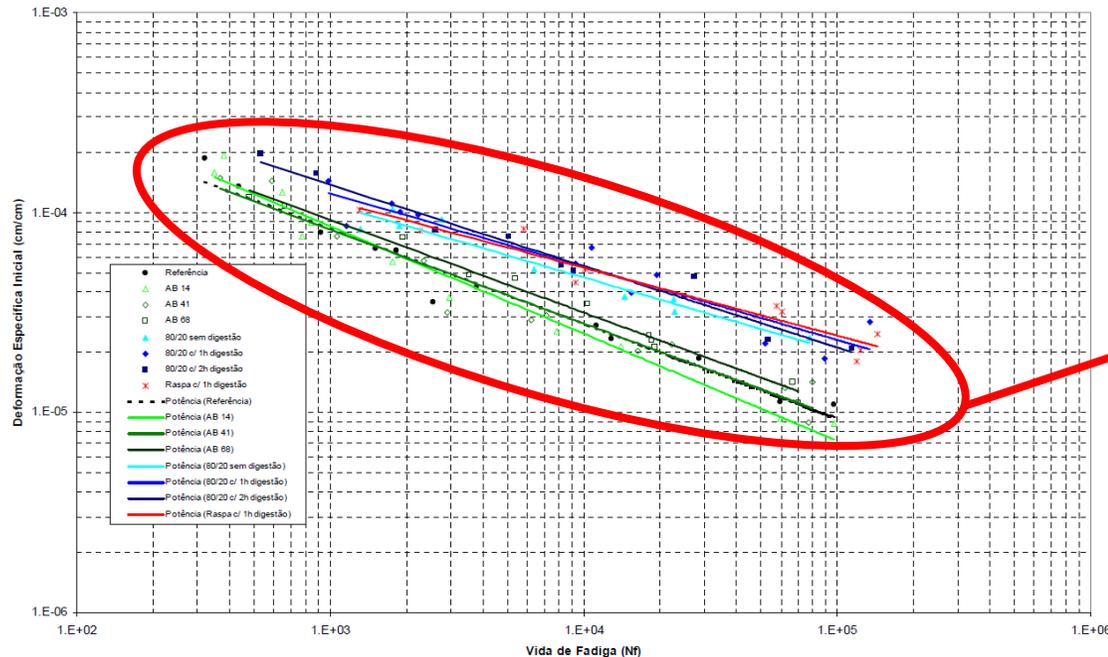


Figura 3 – Registro gráfico típico do ensaio
Fonte: Specht, 2004



COEFICIENTES DE REGRESSÃO PARA O MEDINA

$$N_f = k1.(\epsilon)^{k2}$$

K 1
K 2

Figura 4 – Relação entre a vida de fadiga e deformação específica inicial
Fonte: Specht, 2004

■ ENSAIOS DE FADIGA CONVENCIONAIS

- Ensaios por Compressão Diametral (tração indireta).

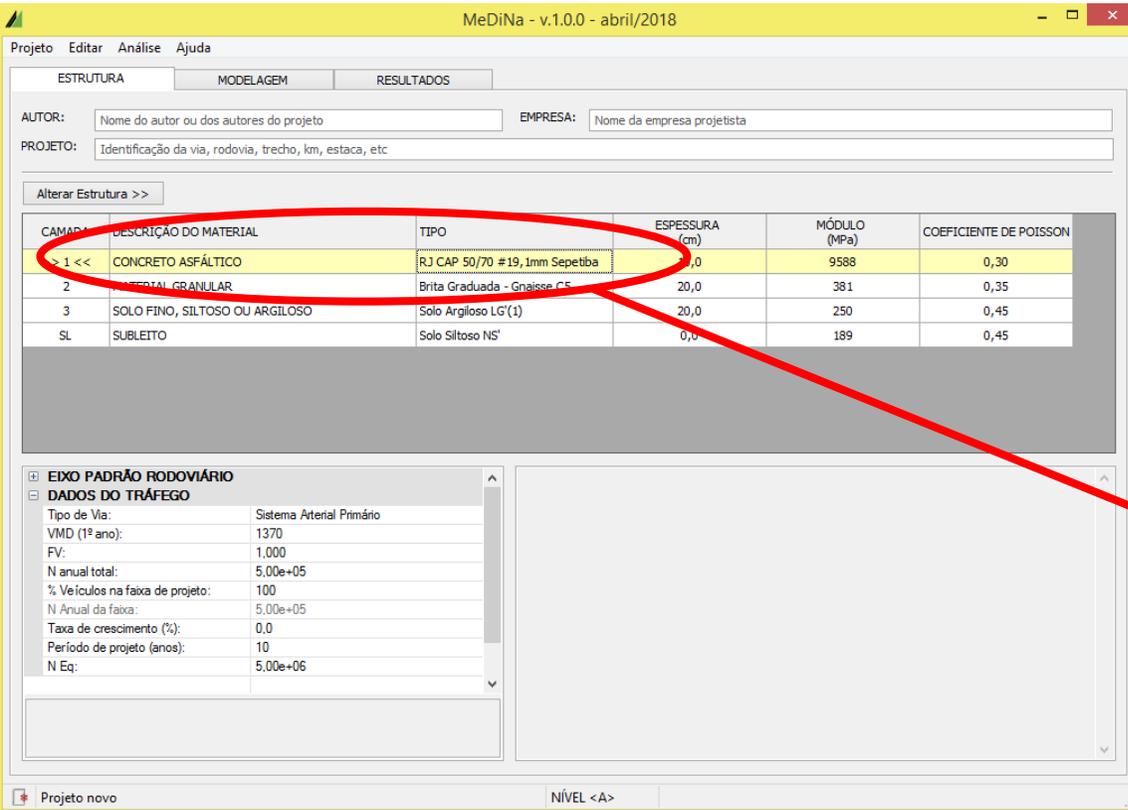
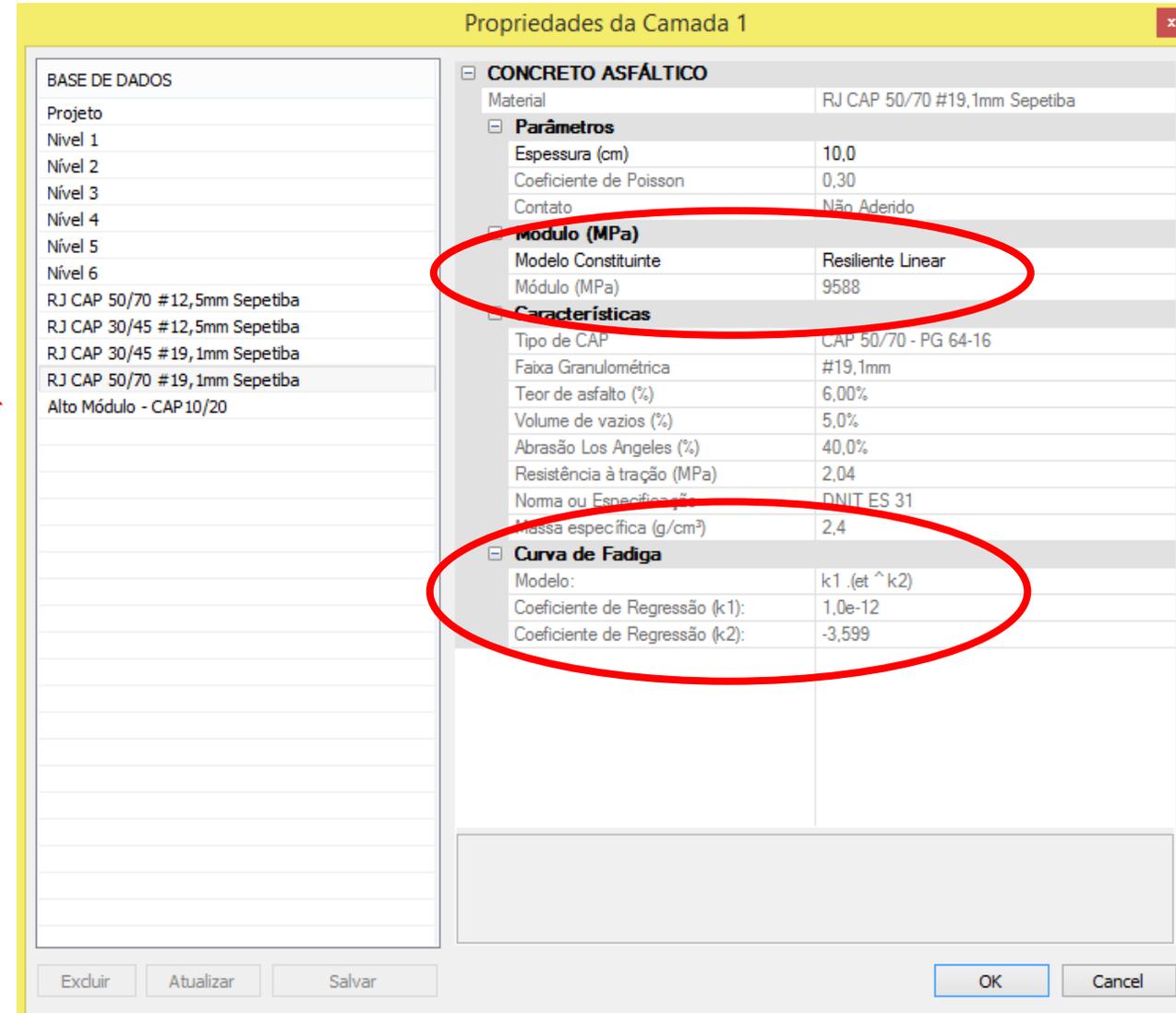


Figura 5 – Entrada de dados das camadas no programa MeDiNa 2018

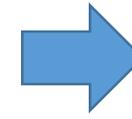
Figura 6 – Entrada de dados das propriedades do CA no programa MeDiNa 2018



DEFORMAÇÃO PERMANENTE – Solos e Britas



“É a parcela irreversível das deformações que ocorrem no pavimento.”



ATR $\epsilon_p (\%) = \psi_1 \left(\frac{\sigma_3}{\rho_0}\right) \psi_2 \left(\frac{\sigma_d}{\rho_0}\right) \psi_3 N \psi_4$

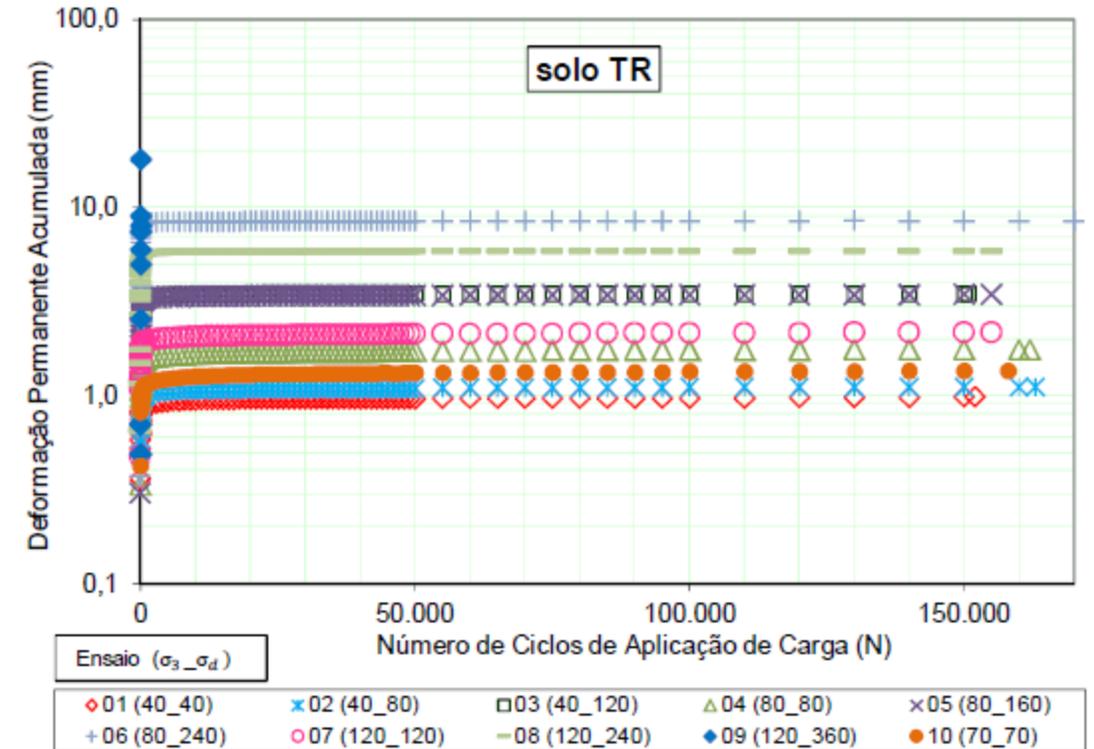
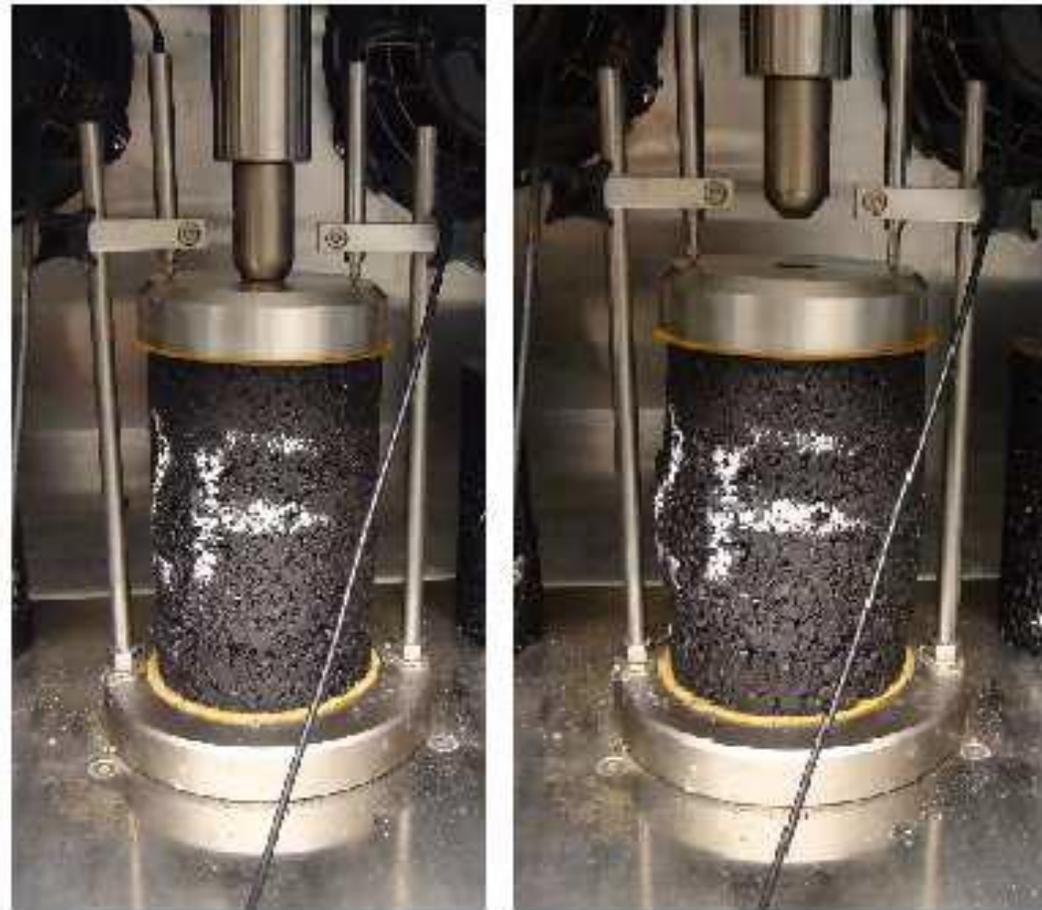


Figura 4: Deformação permanente acumulada – solo TR

Deformação Permanente – Misturas Asfálticas - Ensaio *Flow Number*

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

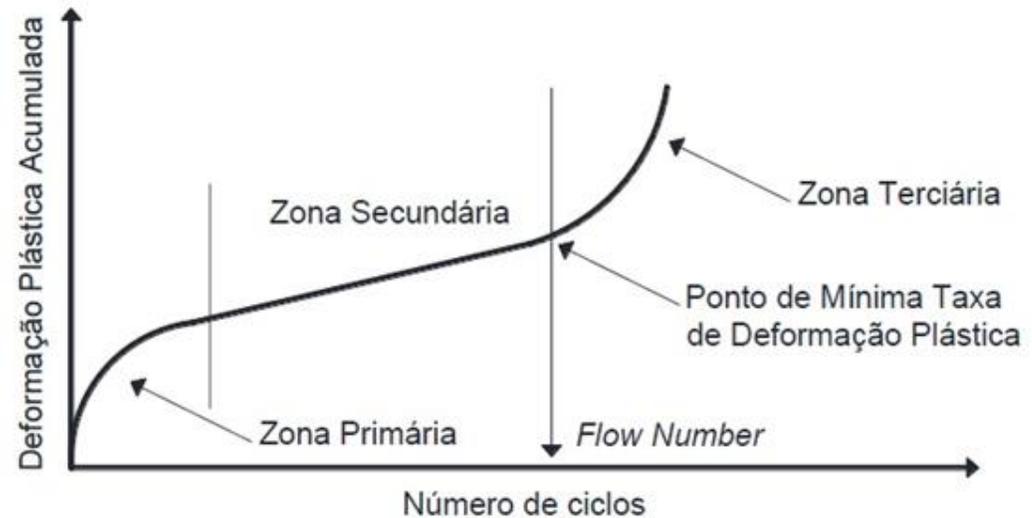


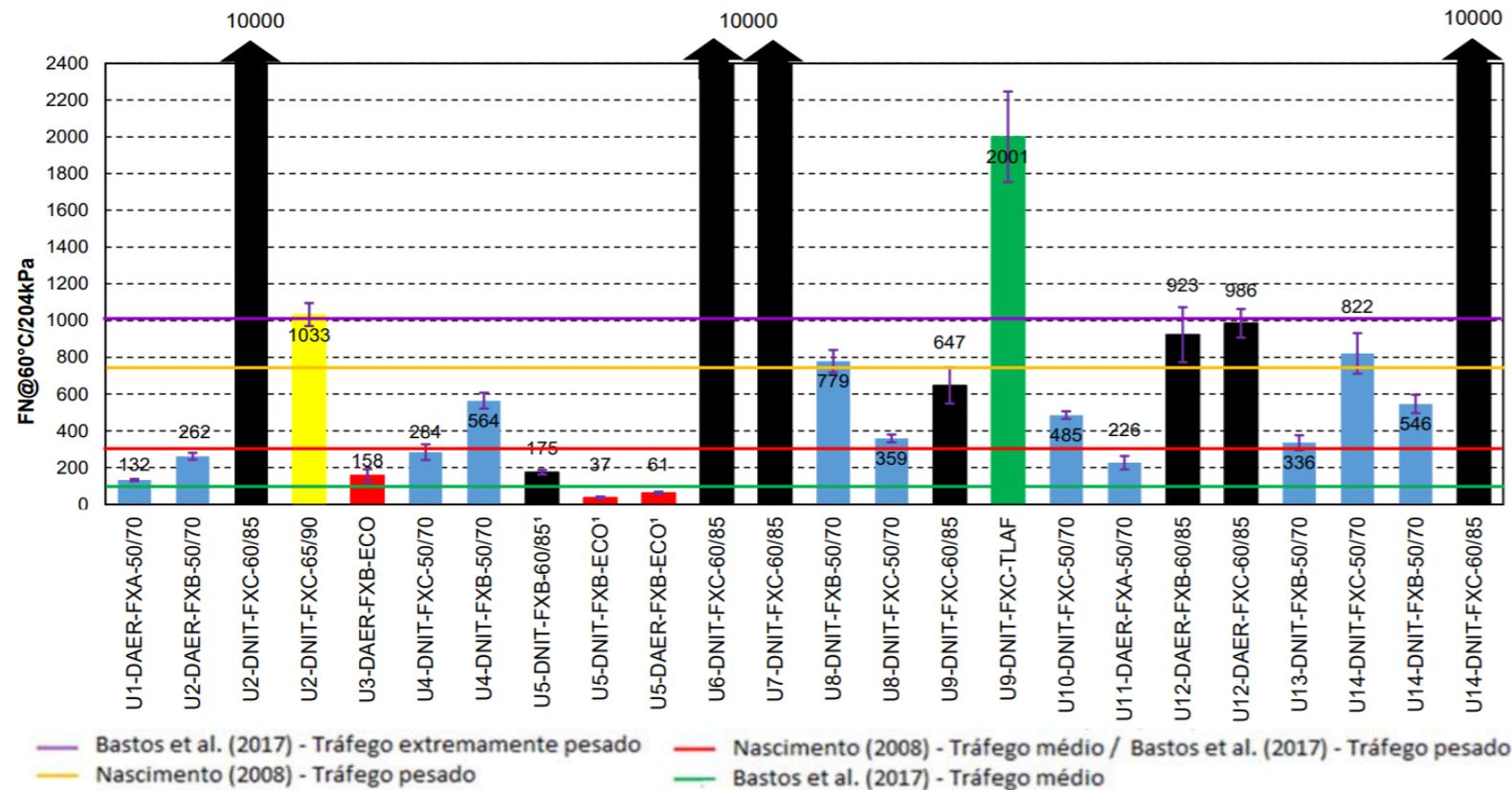
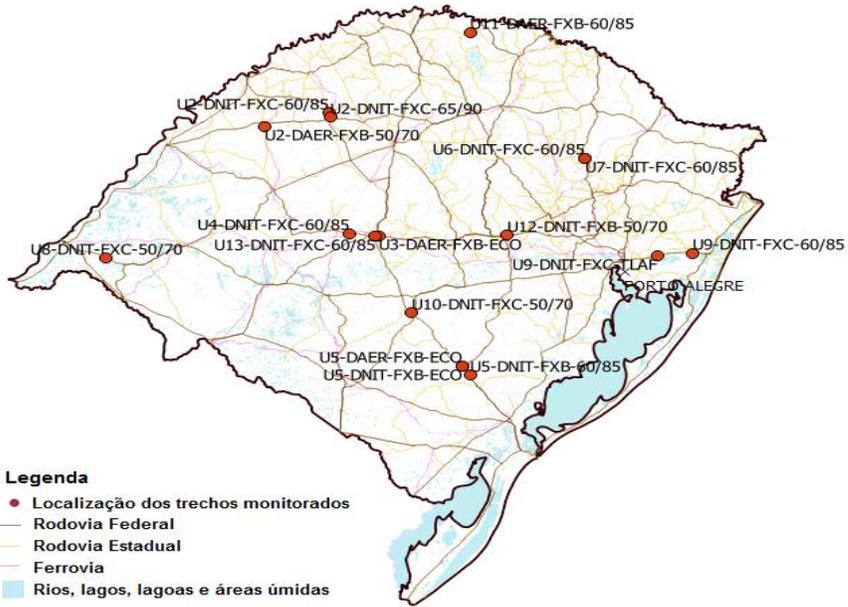
Ensaio *Flow Number*

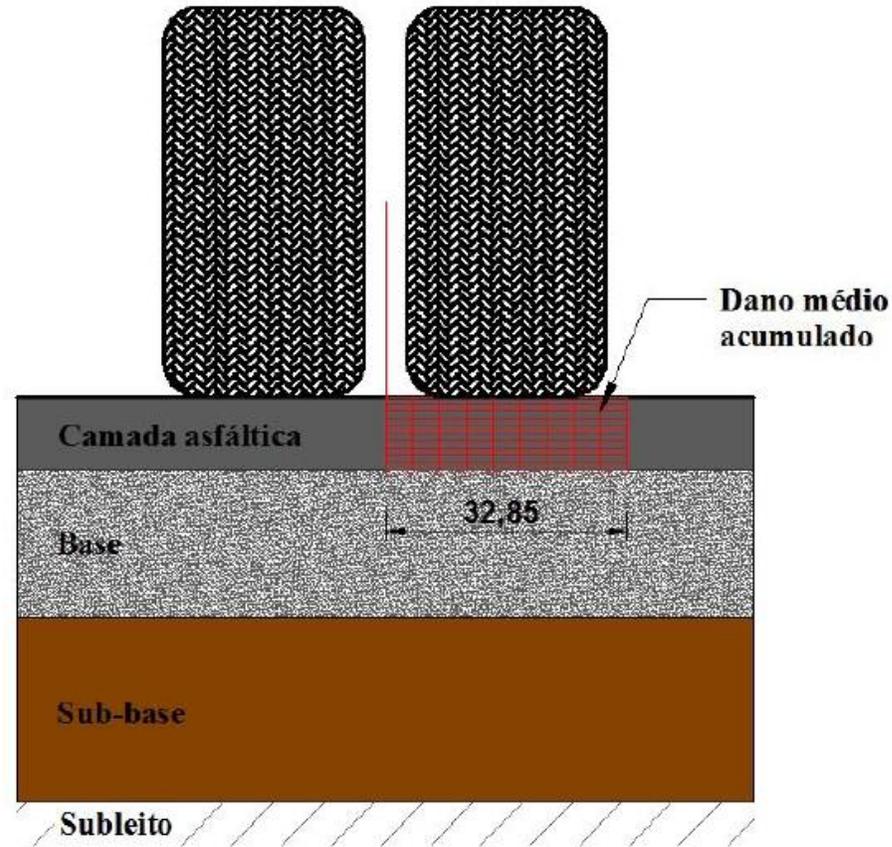


10.000 ciclos

Taxa de deformação de 5%.







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

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

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

Tabela 4.2: Nível de Confiabilidade sugerido por tipo de rodovia

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

COMPARATIVO ENTRE MÉTODOS

Estrutura do pavimento utilizada para dimensionamento

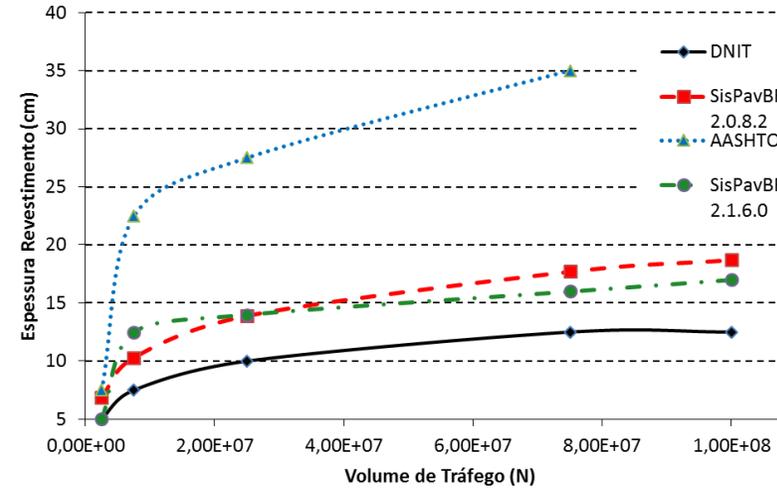
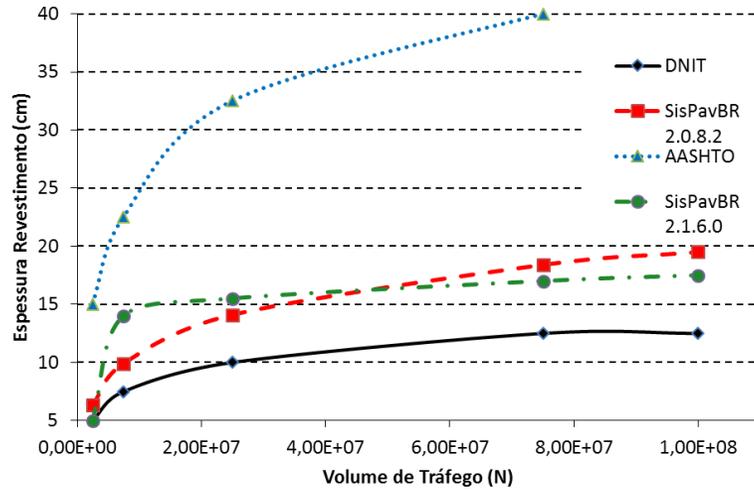
Camada	Material	Módulo de Resiliência	Coefficiente de Poisson
Revestimento	CBUQ	Calculado pelo AASHTOWare SisPavBr = 5000 MPa	0,35
Base	BGS	300 MPa	0,40
Sub Base	MS	208 MPa	0,40
Subleito	Solo (variando CBR)	53, 110 e 124 MPa	0,45

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

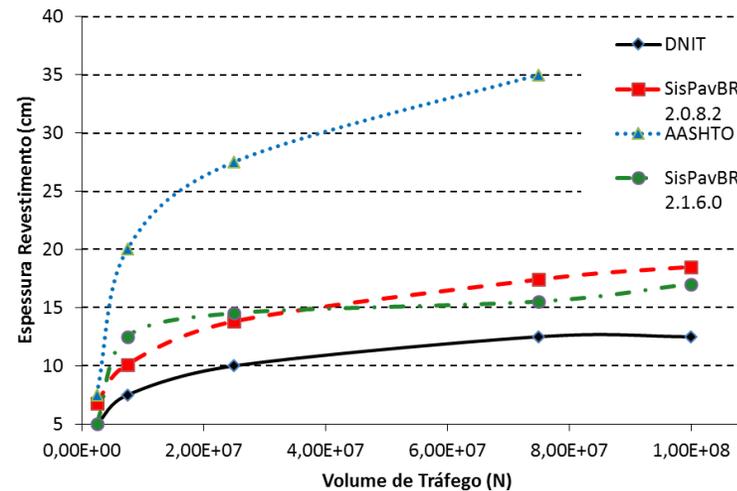
RESULTADOS

50% CONFIABILIDADE / VIAS SECUNDÁRIAS

MR 110MPa



MR 53MPa



MR 124MPa

Muito Obrigado



L'école de l'aménagement durable des territoires

