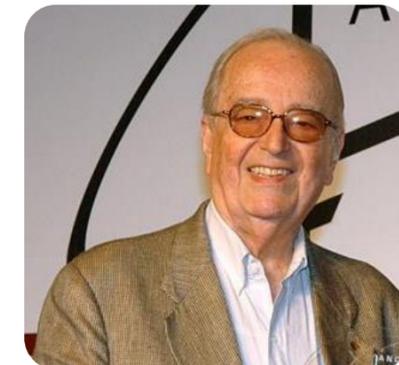




Método de Dimensionamento Nacional de Pavimentos

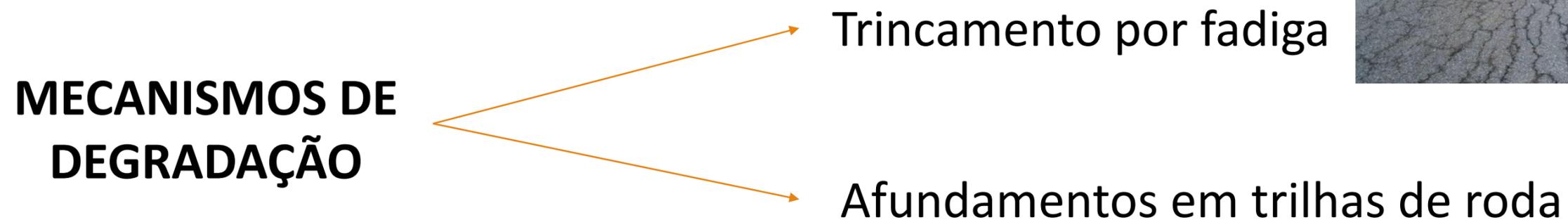
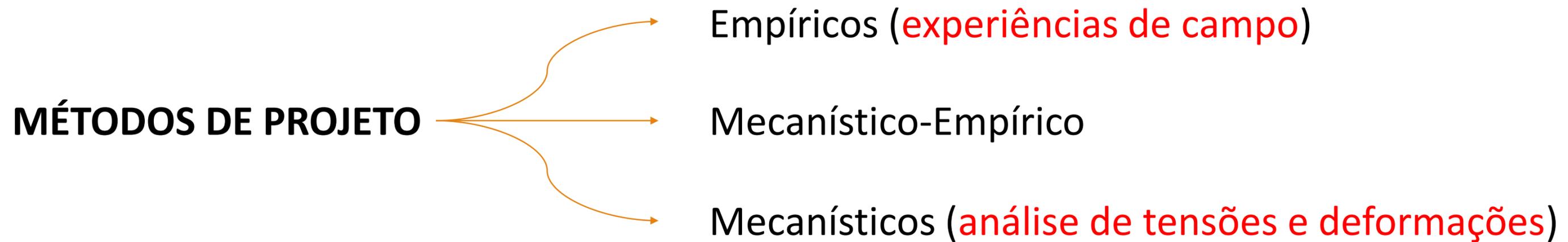
MeDiNa



PROF.: DR. JOHN KENNEDY GUEDES RODRIGUES
ESTAGIÁRIO DOCÊNCIA: M.SC. CONRADO CESAR VITORINO



Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis



O que são esses métodos?

EMPÍRICO: se baseiam em experiências repetidas no campo. Têm como melhor fundamento o método originado do trabalho de O. J. **Porter**, antigo engenheiro do Departamento de Estradas de Rodagem da Califórnia. Inicialmente conhecido como método Califórnia e posteriormente como do **USACE** (Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos), se baseia no **ensaio CBR** que foi o ponto de partida para a evolução da engenharia rodoviária mundial (**Método do CBR**).

MECANÍSTICO: consideram a análise das **tensões e deformações** em meios não perfeitamente elásticos (solos e misturas asfálticas) e comparam estas respostas da estrutura com critérios pré-estabelecidos para determinar as espessuras das camadas. Na verdade, não existe um método puramente mecanístico.

Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis

Método do DNIT



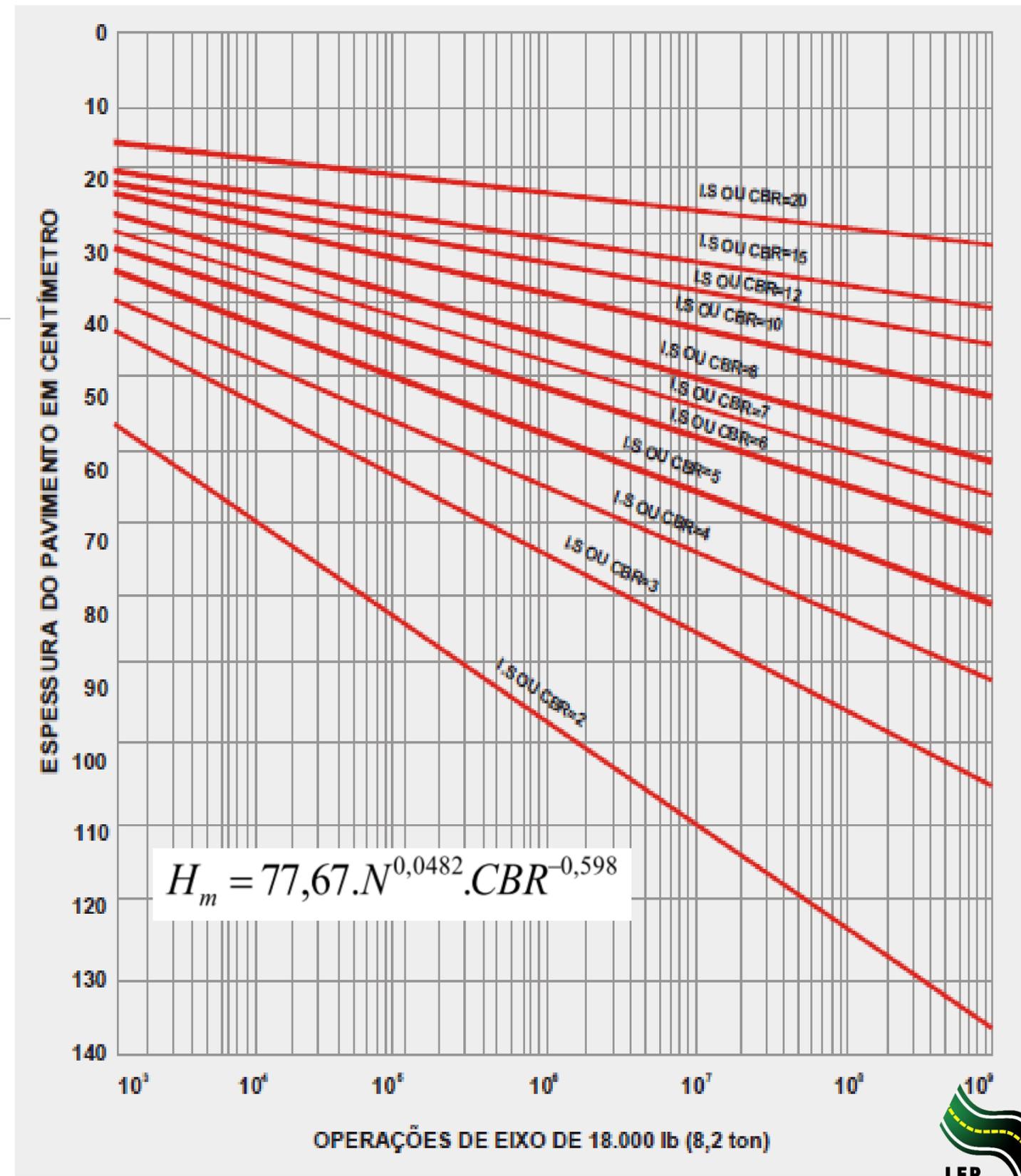
EMPÍRICO

Número N

$$N = 365 \times (FC) \times VMD \times \text{Período} \times (FV)$$

Índice de suporte Califórnia

$$ISC = \frac{\text{Pressão calculada ou pressão corrigida} \times 100}{\text{pressão padrão}}$$



Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis

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

N	ESPESSURA DO REVESTIMENTO
$N \leq 10^6$ $10^6 \leq N \leq 5 \times 10^6$ $5 \times 10^6 < N \leq 10^7$ $10^7 < N \leq 5 \times 10^7$ $N > 5 \times 10^7$	Tratamentos superficiais betuminosos Revestimento betuminoso com 5,00cm de espessura Concreto betuminoso com 7,5cm de espessura Concreto betuminoso com 10,0cm de espessura Concreto betuminoso com 12,5cm de espessura

$$RK_R + BK_B \geq H_{20} \quad (1)$$

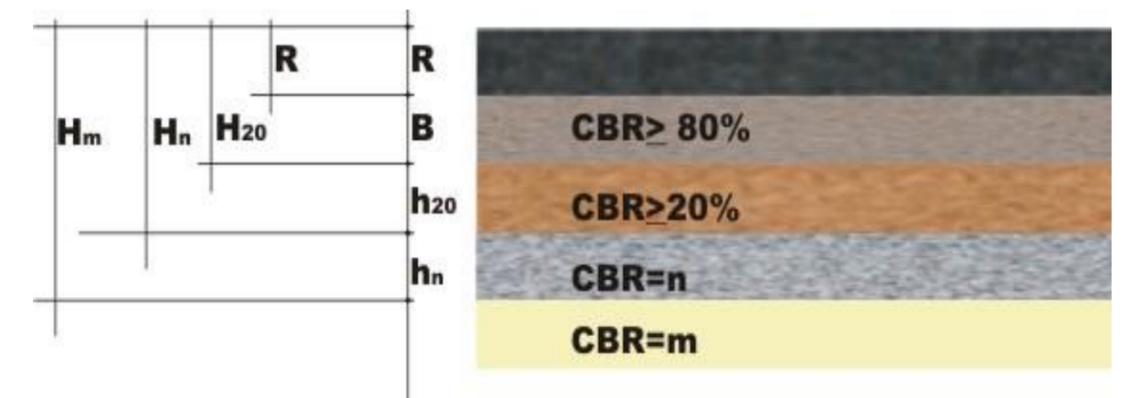
$$RK_R + BK_B + h_{20} K_S \geq H_n \quad (2)$$

$$RK_R + BK_B + h_{20} K_S + h_n K_{Ref} \geq H_m \quad (3)$$

Sendo:

R, B, h₂₀, h_n = Espessuras das camadas de revestimento, base, sub-base e reforço do subleito, respectivamente.

K_R, K_B, K_S, K_{ref} = Coeficientes estruturais do revestimento betuminoso, base, sub-base e reforço do subleito, respectivamente.



Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis

Principais limitações do método do DNER (1966):

- Desenvolvido p/ condições ambientais do EUA
- Não permite incluir/considerar novos materiais e tecnologias
- Subestima as propriedades mecânicas dos solos brasileiros
- Superestima condições de umidade locais
- Incerteza quanto aos fatores de segurança utilizados
- Equações e ábacos a partir de dados empíricos do EUA
- Não considera fadiga
- Limitado a E+09 solicitações
- Limitado a veículos com eixo tandem triplo

Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis

Principais limitações do método do DNER (1966):



Anos 50 (Fonte: F.P.Franco, 2007)



Atualidade
(Fonte: internet)



Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis

Principais limitações do método do DNER (1966):

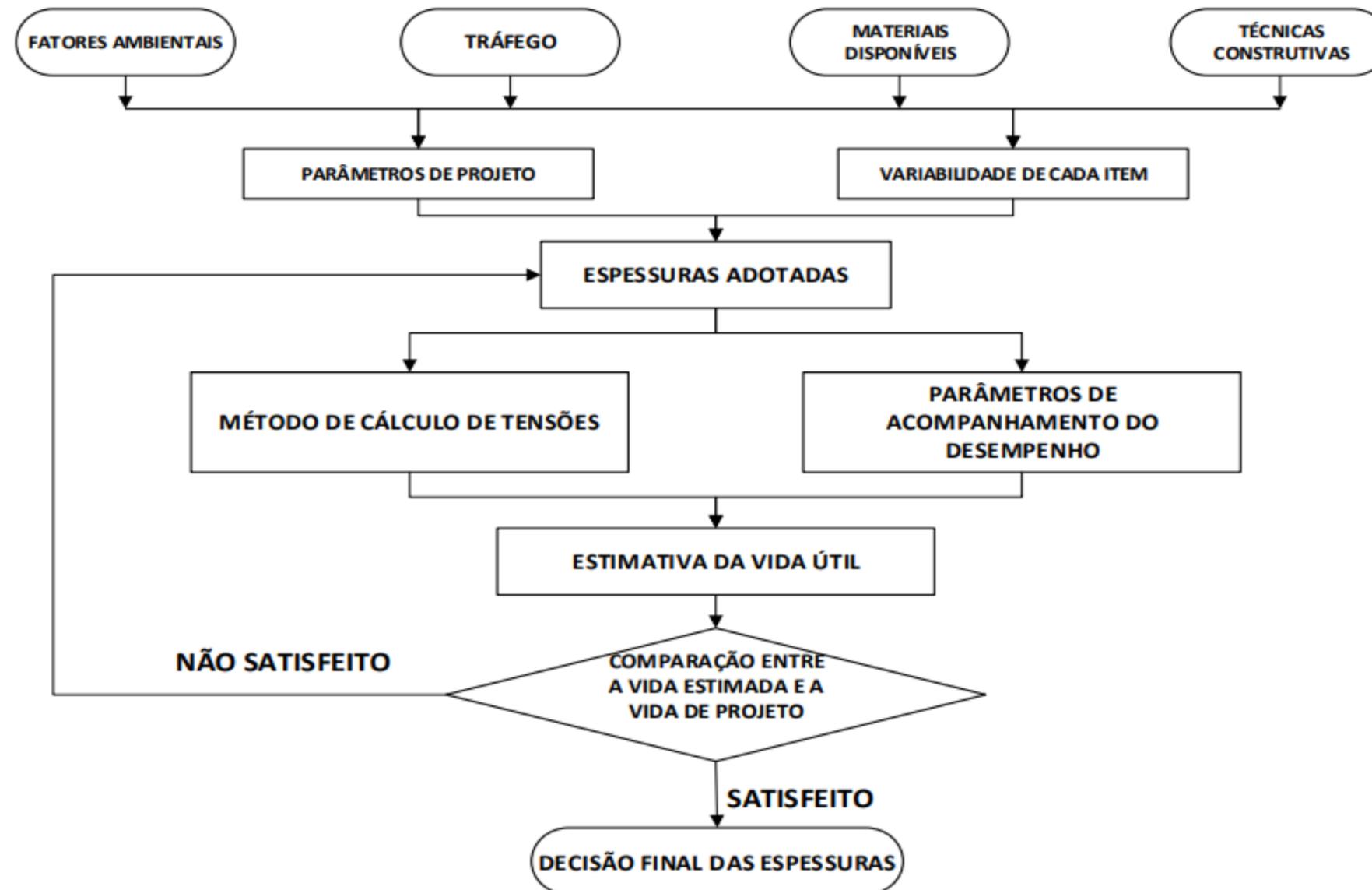


Anos 50 (Fonte: F.P.Franco, 2007)



Atualidade
(Fonte: internet)

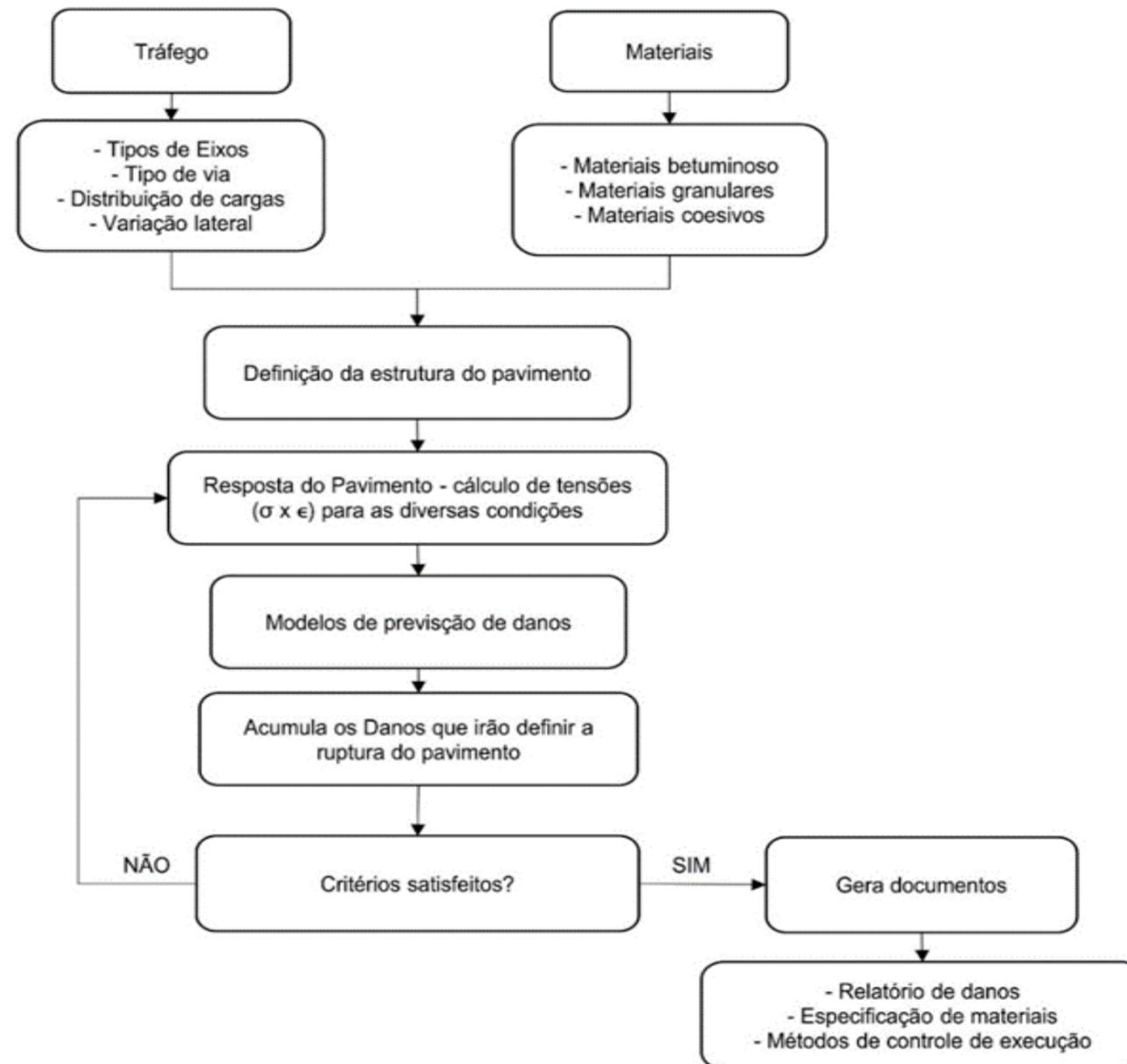
Fluxograma de dimensionamento **Mecanístico-Empírico**



MeDiNa

Método de Dimensionamento Nacional de Pavimentos

Fluxograma Software MeDiNa



MeDiNa

Método de Dimensionamento Nacional de Pavimentos

Framework para MeDiNa - v.1.1.5.0 - dezembro/2020



AEMC

Projeto Editar Análise Ajuda

RESPONSÁVEL: EMPRESA:

PROJETO: MODOS:

Alterar Estrutura >>

CAMADA	DESCRIÇÃO DO MATERIAL	TIPO	ESPESSURA (cm)	MÓDULO (MPa)	COEFICIENTE DE POISSON
>> 1 <<	CONCRETO ASFÁLTICO	RJ CAP 30/45 #12,5mm Sepetiba	10,0	9000	0,30
2	MATERIAL GRANULAR	Brita Graduada - Gnaisse C5	20,0	381	0,35
3	SOLO FINO, SILTOSO OU ARGILOSO	Solo Argiloso LG'(1)	20,0	250	0,45
SL	SUBLEITO	Solo Siltoso NS'	0,0	189	0,45

EIXO PADRÃO RODOVIÁRIO

DADOS DO TRÁFEGO

Tipo de Via:	Sistema Arterial Primário
VMD (1º ano):	1370
FV:	1,000
N anual (1º ano):	5,00e+05
% Veículos na faixa de projeto:	100
N Anual da faixa:	5,00e+05
Taxa de crescimento (%):	0,0
Período de projeto (anos):	10
N Total:	5,00e+06

Projeto novo NÍVEL <A>

Projeto novo NÍVEL <A>

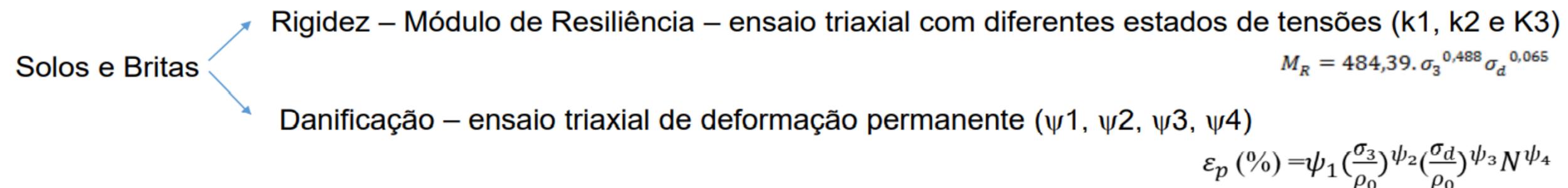
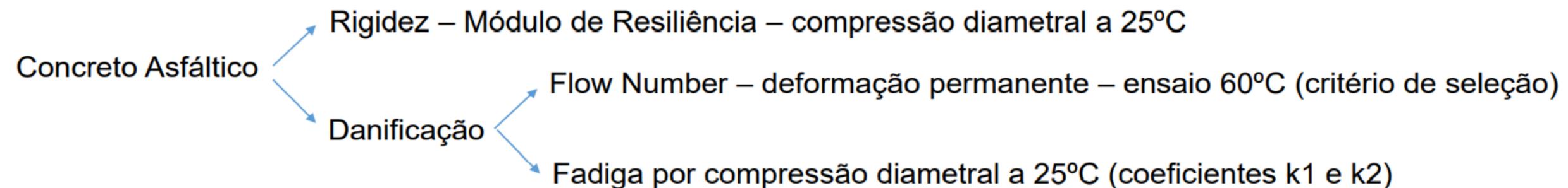
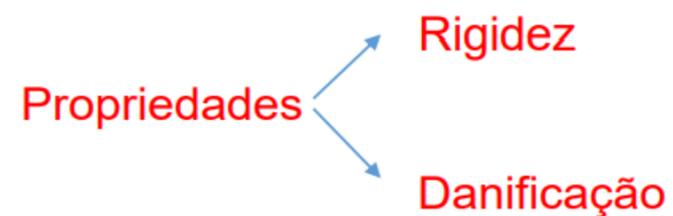
k2	k3	k4	COEF. POISSON	ADERÊNCIA
0,0	0,0	0,0	0,30	0,0
0,0	0,0	0,0	0,35	0,0
0,0	0,0	0,0	0,45	0,0
0,0	0,0	0,0	0,45	0,0

ESPESSURA (cm)	MÓDULO (MPa)	COEFICIENTE DE POISSON
10,0	9000	0,30
20,0	381	0,35
20,0	250	0,45
0,0	189	0,45

MeDiNa

Método de Dimensionamento Nacional de Pavimentos

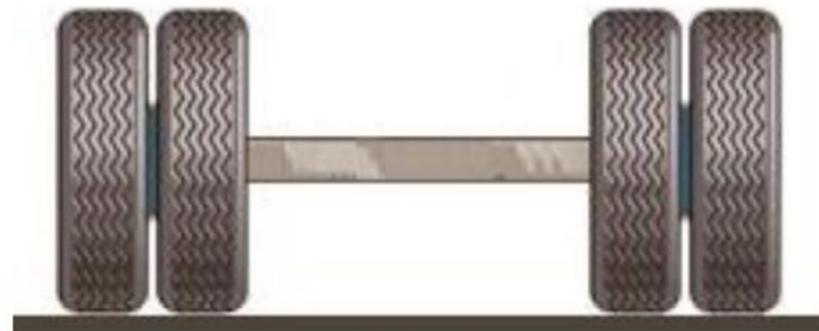
Dados de Entrada - MeDiNa



Método de Dimensionamento Nacional de Pavimentos

Carregamento da Estrutura

O **Eixo Padrão Rodoviário** é usado no MeDiNa como configuração de rodas para analisar a solicitação de tráfego.



Dados do Eixo Padrão:

Carga de Eixo: 8,2 tonf

Pressão de Pneus: 0,56 MPa

Distância entre rodas: 32,4cm

$$A_c = \frac{F}{P} = \frac{8,2\text{tf}/4}{0,56\text{MPa}} = 0,0366\text{m}^2$$

ÁREA DE CONTATO

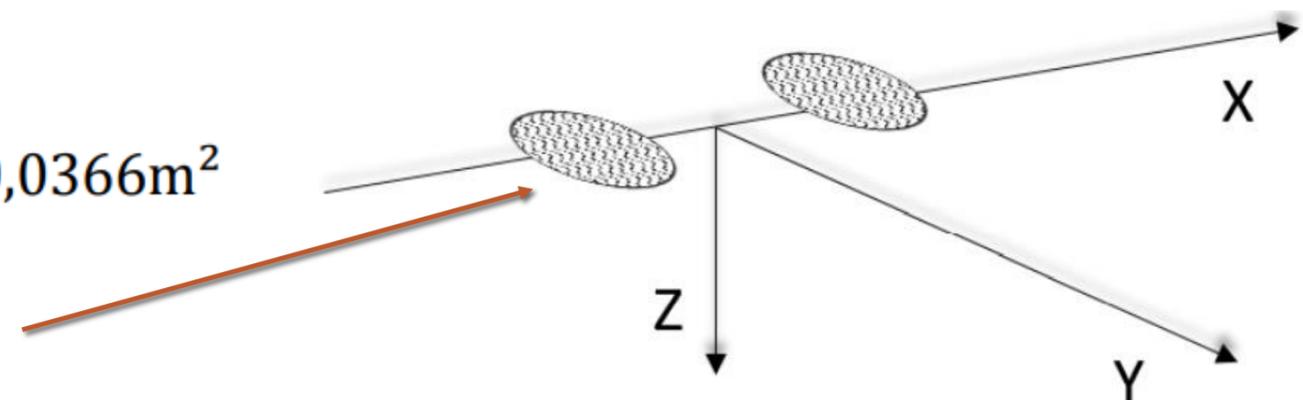
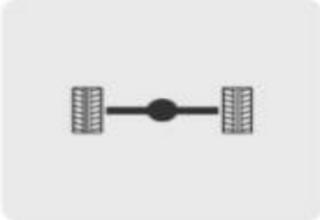
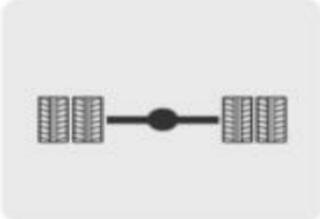
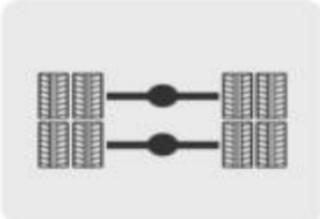
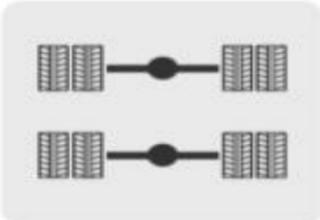
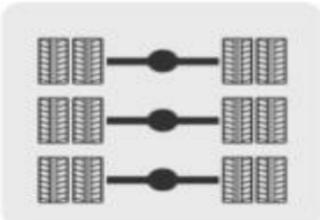
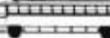
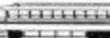
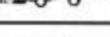
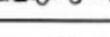
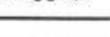
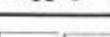


Diagrama de orientação espacial usado no MeDiNa

Tipos de Eixos

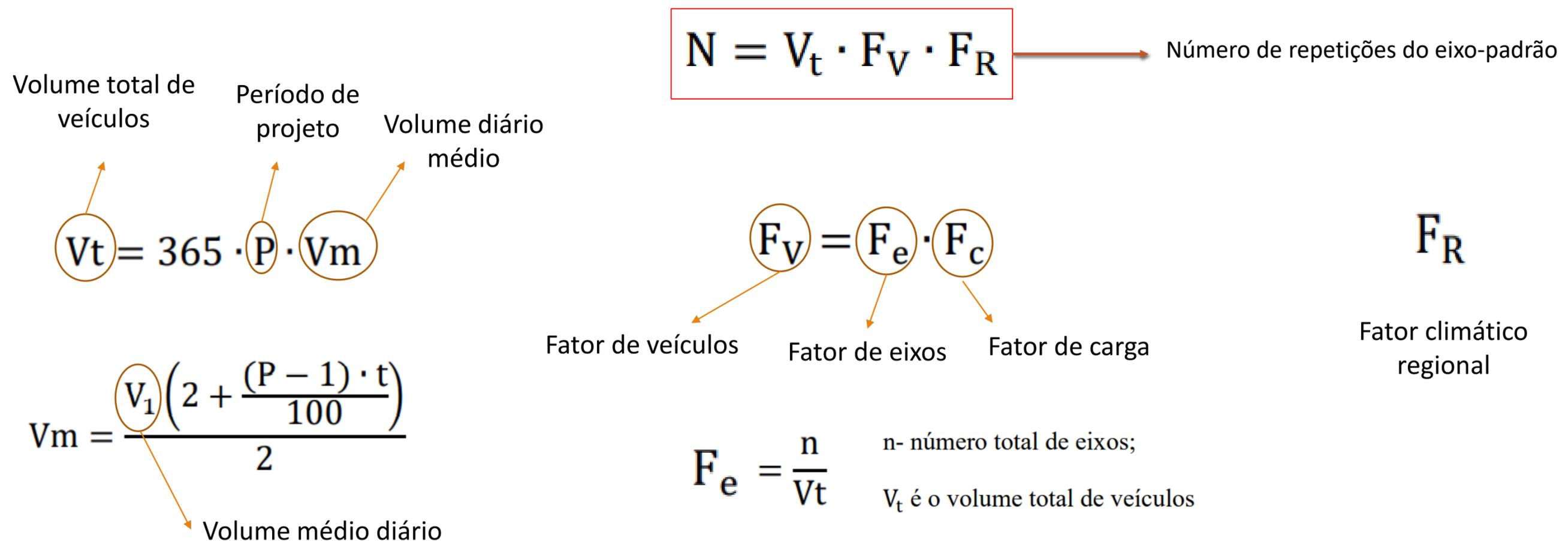
<p>EIXO SIMPLES COM RODAGEM SIMPLES Um pneu em cada ponta do eixo</p> 
<p>EIXO SIMPLES COM RODAGEM DUPLA Dois pneus em cada ponta do eixo</p> 
<p>EIXO DUPLO TANDEM Dois eixos e dois pneus em cada extremidade</p> 
<p>EIXO DUPLO NÃO EM TANDEM Rodas duplas em cada eixo</p> 
<p>EIXO TRIPLO Três eixos e dois pneus em cada extremidade</p> 

TIPOS DE VEÍCULOS										
CLASSE / TIPO	CONFIGURAÇÃO	TIPOS DE EIXOS				Nº EIXOS	Nº PNEUS	Nº UNIDADES		
		1º	2º	3º	4º					
VEÍCULOS LEVES	CARROS DE PASSEIO		SIMPLES DE RODAS SIMPLES	SIMPLES DE RODAS SIMPLES			02	04	01	
	UTILITÁRIOS (PICK-UPS E FURGÕES)	 	SIMPLES DE RODAS SIMPLES	SIMPLES DE RODAS SIMPLES			02	04	01	
ÔNIBUS	ÔNIBUS ≅ 2C		SIMPLES DE RODAS SIMPLES	SIMPLES DE RODAS DUPLAS			02	06	01	
	TRIBUS		SIMPLES DE RODAS SIMPLES	DUPLO ESPECIAL			03	08	01	
VEÍCULOS COMERCIAIS	CAMINHÃO LEVE (608 e F4000)	2C LEVE		SIMPLES DE RODAS SIMPLES	SIMPLES DE RODAS DUPLAS			02	06	01
		2C		SIMPLES DE RODAS SIMPLES	SIMPLES DE RODAS DUPLAS			02	06	01
	CAMINHÕES MÉDIOS E PESADOS	3C		SIMPLES DE RODAS SIMPLES	DUPLO TANDEM			03	10	01
		4C		SIMPLES DE RODAS SIMPLES	TRIPLO TANDEM			04	14	01
		CAMINHÕES COM SEMI-REBOQUE (CARRETAS)	2S1		SIMPLES DE RODAS SIMPLES	SIMPLES DE RODAS DUPLAS	SIMPLES DE RODAS DUPLAS		03	10
	2S2			SIMPLES DE RODAS SIMPLES	SIMPLES DE RODAS DUPLAS	DUPLO TANDEM		04	14	01
	2S3			SIMPLES DE RODAS SIMPLES	SIMPLES DE RODAS DUPLAS	TRIPLO TANDEM		05	18	01
	3S2			SIMPLES DE RODAS SIMPLES	DUPLO	DUPLO TANDEM		05	18	01
	3S3			SIMPLES DE RODAS SIMPLES	DUPLO	TRIPLO TANDEM		06	22	01
	CAMINHÕES COM REBOQUE (ROMEU E JULIETA)		2C2		SIMPLES DE RODAS SIMPLES	SIMPLES DE RODAS DUPLAS	SIMPLES DE RODAS DUPLAS	SIMPLES DE RODAS DUPLAS	04	14
		2C3		SIMPLES DE RODAS SIMPLES	SIMPLES DE RODAS DUPLAS	SIMPLES DE RODAS DUPLAS	DUPLO	05	18	02
		3C2		SIMPLES DE RODAS SIMPLES	DUPLO	SIMPLES DE RODAS DUPLAS	SIMPLES DE RODAS DUPLAS	05	18	02
		3C3		SIMPLES DE RODAS SIMPLES	DUPLO	SIMPLES DE RODAS DUPLAS	DUPLO	06	22	02
	"TREMINHÃO"	3C4		SIMPLES DE RODAS SIMPLES	DUPLO	DUPLO	DUPLO	07	26	02

Método de Dimensionamento Nacional de Pavimentos

Análise do tráfego

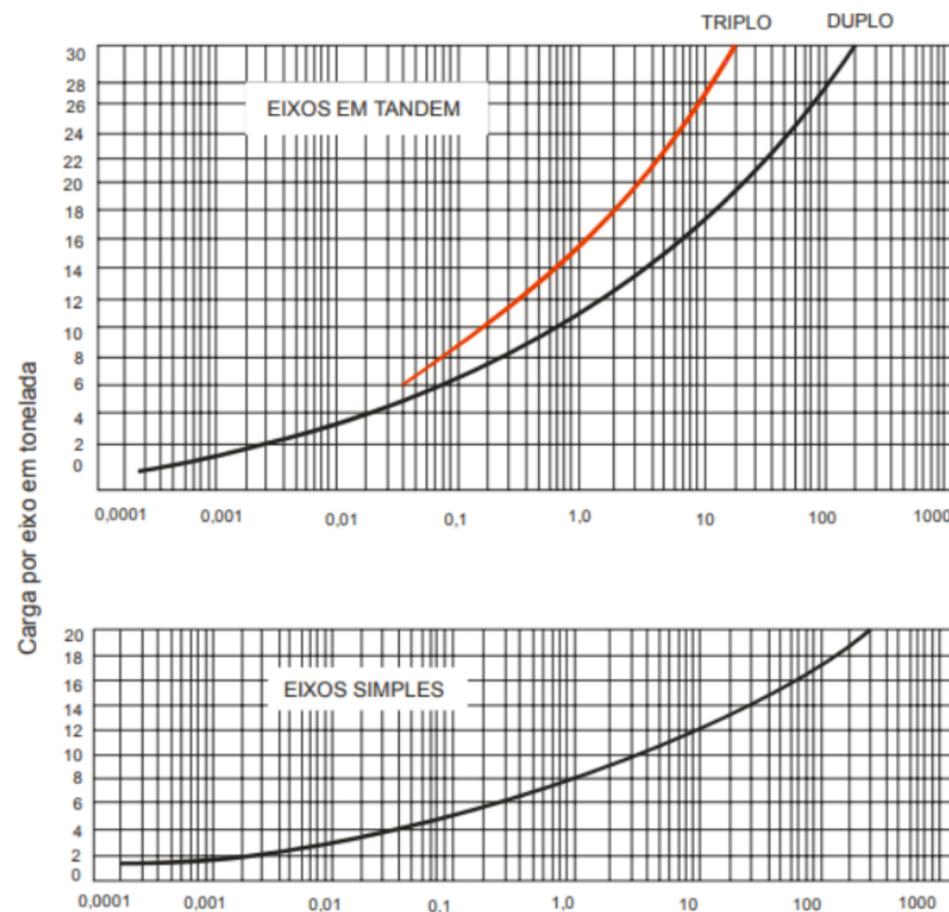
Para avaliar o tráfego, as solicitações do tráfego esperadas no horizonte de projeto P , são expressas em termos do Número equivalente N .



Método de Dimensionamento Nacional de Pavimentos

Determinação do Fator de Carga (Fc)

Transforma o poder de dano dos eixos dos vários tipos de veículos que compõem o tráfego em dano equivalente ao eixo padrão.



Cargas / eixo (t)	F. Equivalência
6	0,04
8	0,08
10	0,18
12	0,29
14	0,58
16	0,92
18	1,50

MeDiNa

Método de Dimensionamento Nacional de Pavimentos

Determinação do Fator Climático Regional (Fr)

➔ Um mesmo pavimento apresentará resistências diferentes em diferentes condições climáticas.

Altura média de Chuva (mm)	Fator Climático Regional (FR)
Até 800 mm	0,7
De 800 a 1.500	1,4
Mais de 1.500	1,8

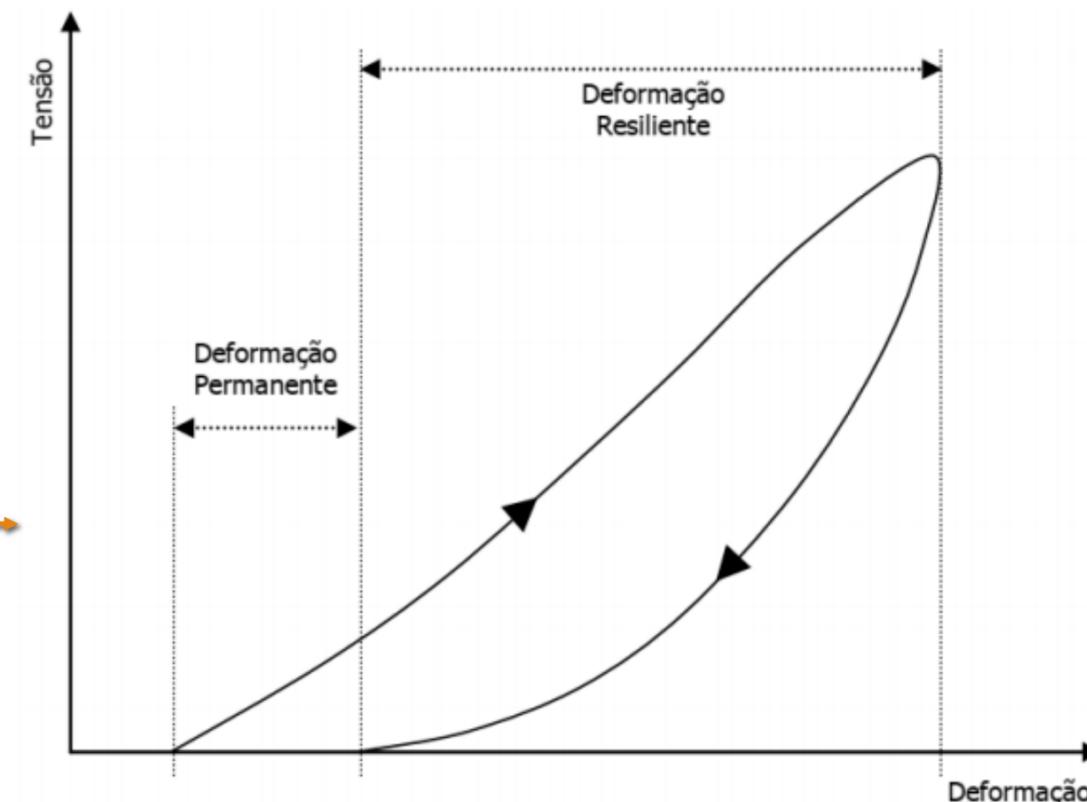
Método de Dimensionamento Nacional de Pavimentos

Propriedades dos Materiais de Pavimentação

A maioria dos materiais de pavimentação **não têm comportamento elástico puro**. Há uma parcela de **deformações permanentes** com a aplicação de cargas.



No entanto, é comum assumir a simplificação de elasticidade linear!

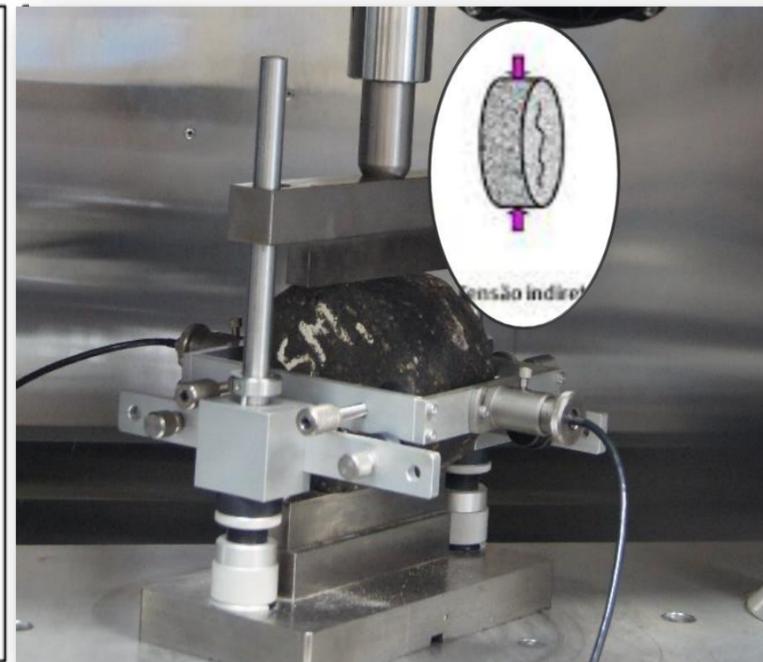
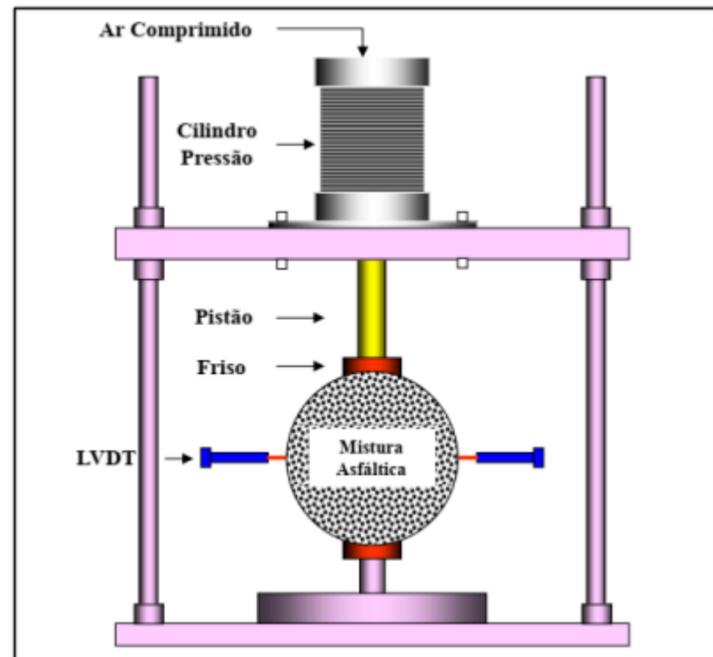


Método de Dimensionamento Nacional de Pavimentos

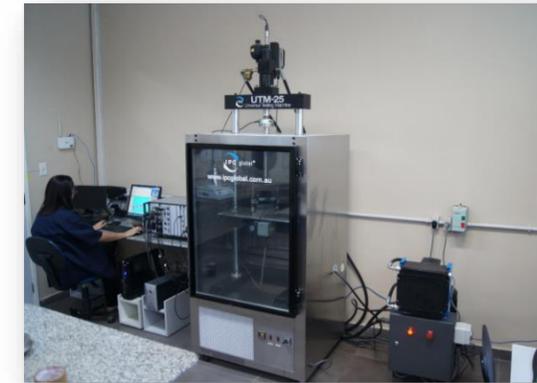
Propriedades dos Materiais de Pavimentação

➤ Materiais Asfálticos

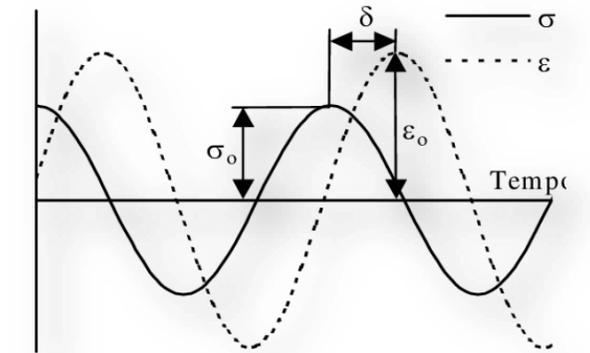
MÓDULO DE RESILIÊNCIA (MR)



Ensaio de compressão diametral de cargas repetidas



Poisson



$$\mu = \frac{-0,23 + 1,07 \left| \frac{\Delta H_t}{\Delta V_t} \right|}{0,78 - 0,31 \left| \frac{\Delta H_t}{\Delta V_t} \right|}$$

$$MR = \frac{P}{|\Delta H| \cdot t} (0,2692 + 0,9976)\mu$$

Método de Dimensionamento Nacional de Pavimentos

Estimativas de MR para diversos materiais

Camada	Material	Valores sugeridos para estudos e projetos (MPa)
Subleitos	Laterítico (ILA' e LG)	$MR = 22 \cdot CBR^{0,8}$
	Não laterítico (NS' NG')	$MR = 18 \cdot CBR^{0,64}$
	Arenoso pouco ou não coesivo (LA, NA e NA')	$MR = 14 \cdot CBR^{0,7}$
Reforço	Laterítico (NA e NG)	$MR = 22 \cdot CBR^{0,8}$
	Não laterítico (NS e NG')	$MR = 18 \cdot (CBR_{REF})^{0,64} \cdot \sqrt[3]{\frac{3 \cdot CBR_{SL}}{CBR_{REF}}}$
Sub-base	Granular	$MR = 18 \cdot (CBR_{REF})^{0,64} \cdot \sqrt[3]{\frac{3 \cdot CBR_{SL}}{CBR_{REF}}}$
Base	Granular	$100 \leq MR \leq 500$
	Asfáltica	$800 \leq MR \leq 1.000$
	Cimentada-BGTC	$5.000 \leq MR \leq 15.000$
Revestim entos asfálticos	Concreto Asfáltico CAUQ	$3.000 \leq MR \leq 5.000$
	Pré-misturado à quente -PMQ Binder	$2.000 \leq MR \leq 2.500$
	Pré-misturado à frio-PMF ou macadame betuminoso	$1.400 \leq MR \leq 1.800$
	Selado-MB	$1.000 \leq MR \leq 1.400$

Fonte BALBO (2007)

Valores típicos de Poisson

Material	Faixa de variação
Concretos asfálticos	0,32- 0,38
Concreto de cimento Portland	0,15 – 0,20
BGS, MH, BC	0,35 – 0,40
CCR, BGTC	0,15-0,20
SC, SMC	0,20 – 0,30
SCA	0,25 – 0,30
Solos arenosos	0,30 – 0,35
Areias compactadas	0,35 - 0,40
Solos finos	0,40 – 0,45

Fonte: BALBO (2007)

Método de Dimensionamento Nacional de Pavimentos

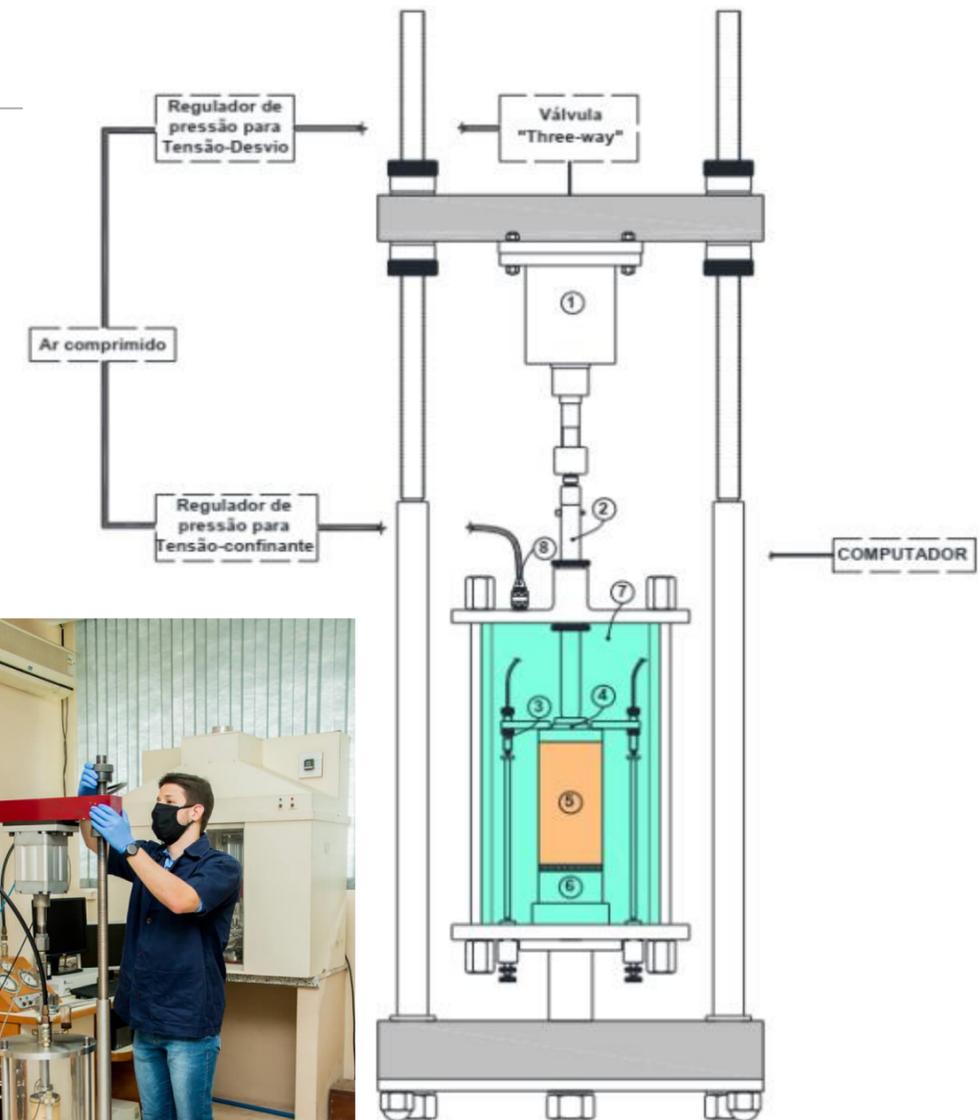
Propriedades dos Materiais de Pavimentação

➤ Materiais de Solos

Em um material de solo em que é assumida a aplicação da Lei de Hooke generalizada, os valores do **Módulo de Resiliência (MR)** são obtidos pelo **ensaio triaxial cíclico**.

$$MR = \frac{\sigma_d}{\epsilon_r}$$

O programa MeDiNa em sua sub-rotina EAMC de cálculo de estado de tensões dá ao projetista a seu critério, a opção de simular com **MR constante ou variável**



MeDiNa

Método de Dimensionamento Nacional de Pavimentos

➔ Cabe ao projetista informar se a condição de aderência é satisfeita ou não.

Critérios de Aderência entre camadas adotados pelo MeDiNa

CAMADA	CONDIÇÃO
Camada asfáltica sobre outra camada asfáltica	Aderido
Camada asfáltica sobre camadas estabilizadas	Não aderido
Camada asfáltica sobre camadas de solos ou granulares	Não aderido
Camada estabilizada sobre outra camada estabilizada	Não aderido
Camada estabilizada sobre camadas de solos ou granulares	Não aderido
Camadas de solos ou granulares sobre camadas asfálticas, cimentadas, de solos ou granulares	Não aderido

Fonte: Adaptado de Franco & Motta, 2020

Método de Dimensionamento Nacional de Pavimentos

Modelos de Desempenho dos Pavimentos Asfálticos

A **ruptura do pavimento**, no método MeDiNa, está associada aos seguintes danos:

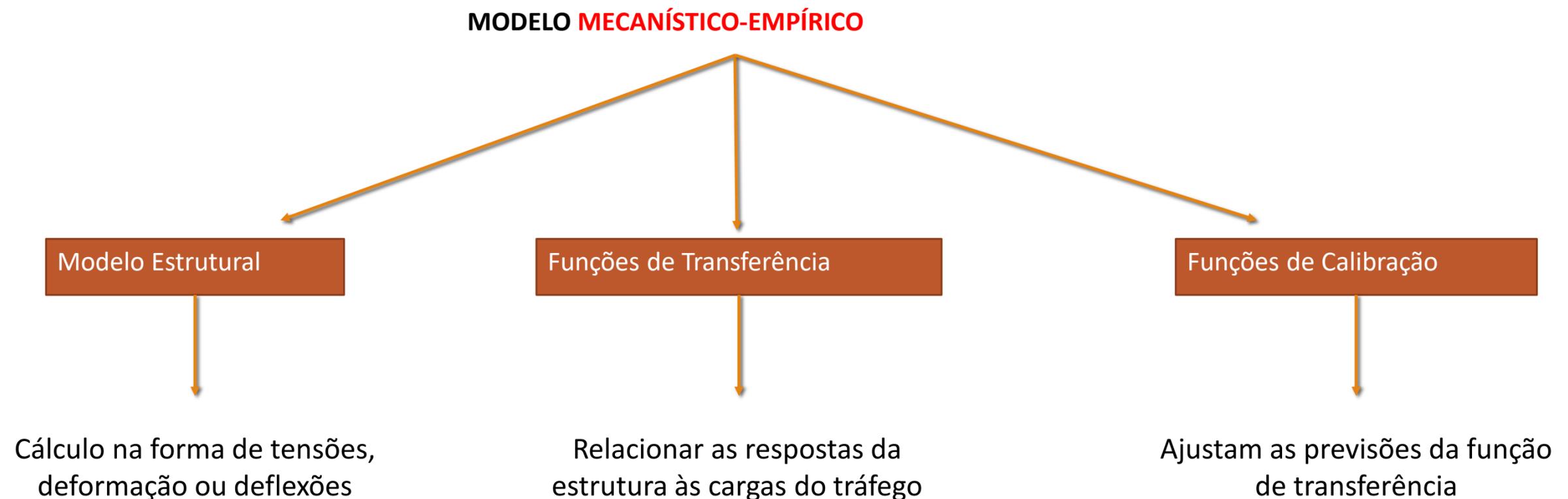
- **Deformação permanente**, ou afundamento de trilha de roda;
- **Dano de fadiga**



MeDiNa

Método de Dimensionamento Nacional de Pavimentos

O entendimento desses processos de deterioração (fadiga e def. permanente) é feito através de modelos de previsão de desempenho.



Método de Dimensionamento Nacional de Pavimentos

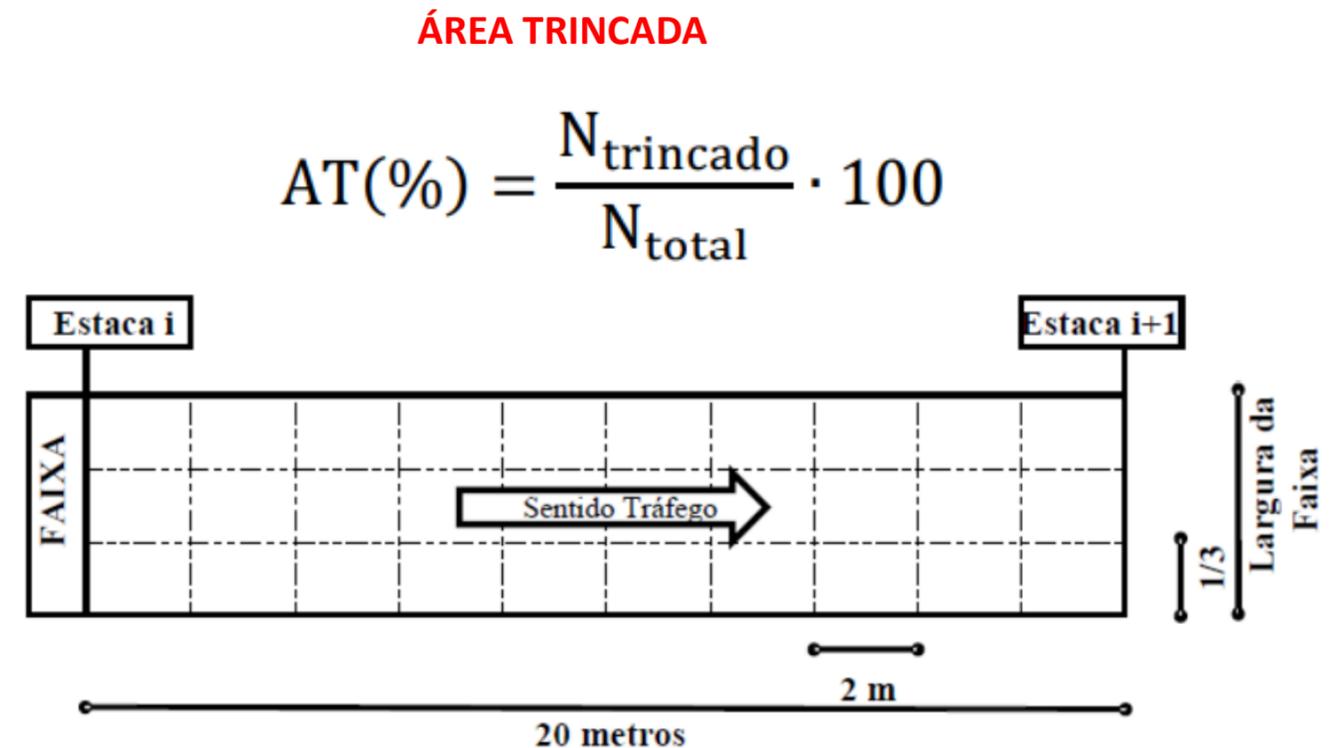
Modelos de Desempenho dos Pavimentos Asfálticos

➤ **Fadiga** do Revestimento Asfáltico

Na metodologia **MeDiNa** o revestimento asfáltico é dimensionado unicamente à base dos danos por fadiga.

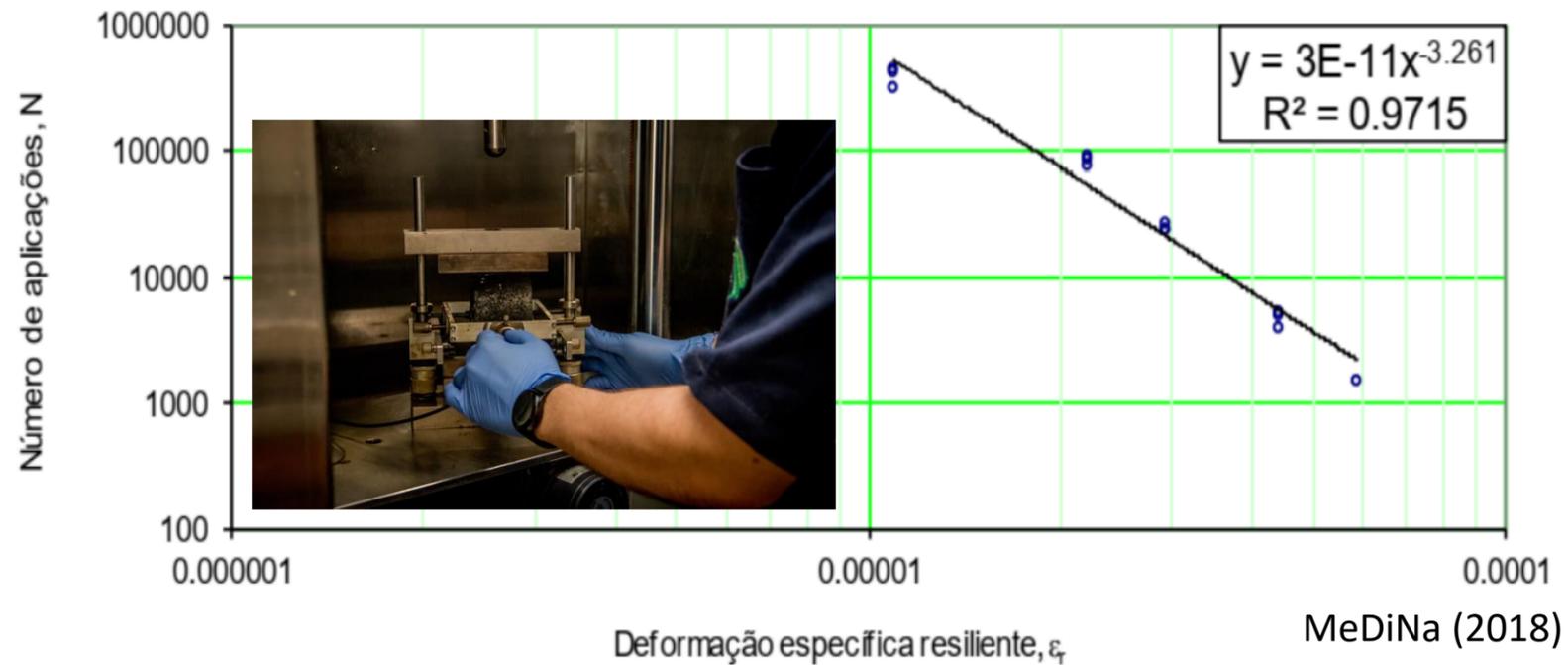


Degradação provocada por solicitações repetidas ou oscilantes



Método de Dimensionamento Nacional de Pavimentos

CURVA DE FADIGA

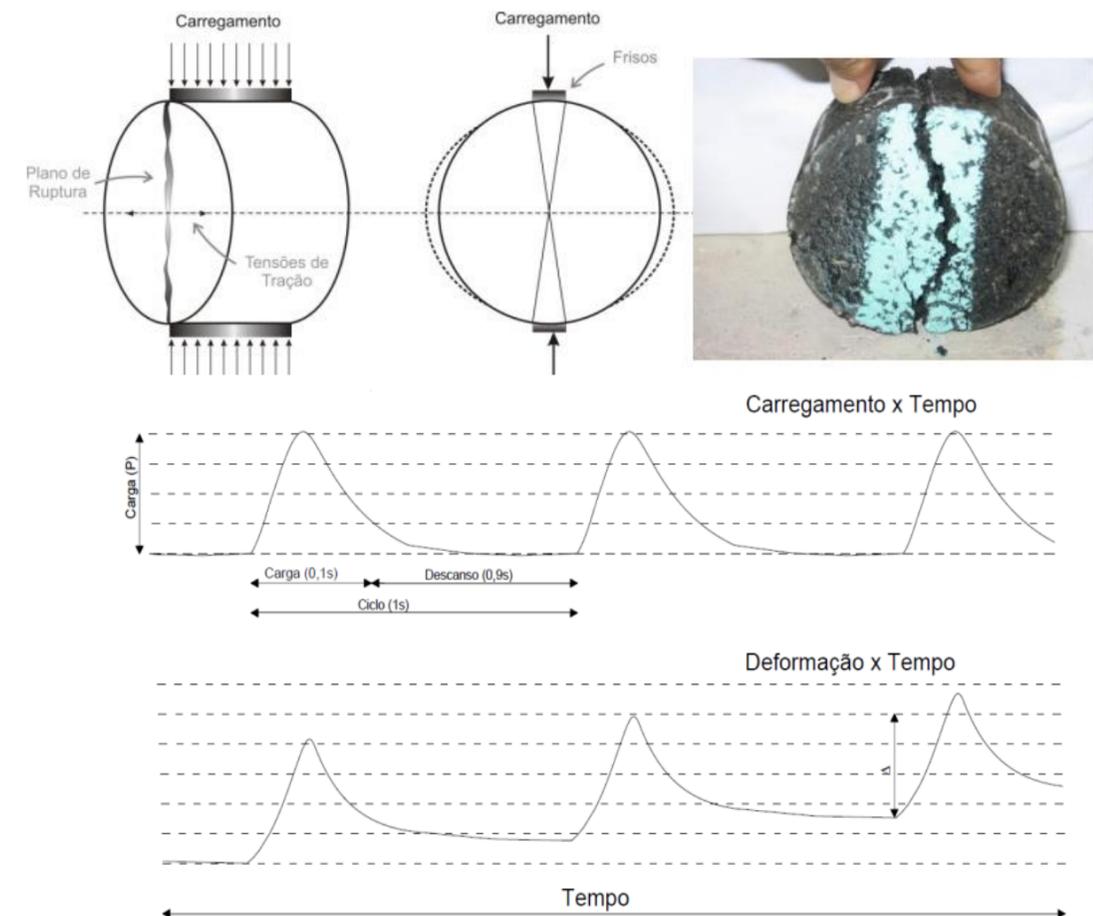


$$N_f = K_1 \cdot \epsilon_t^{K_2}$$



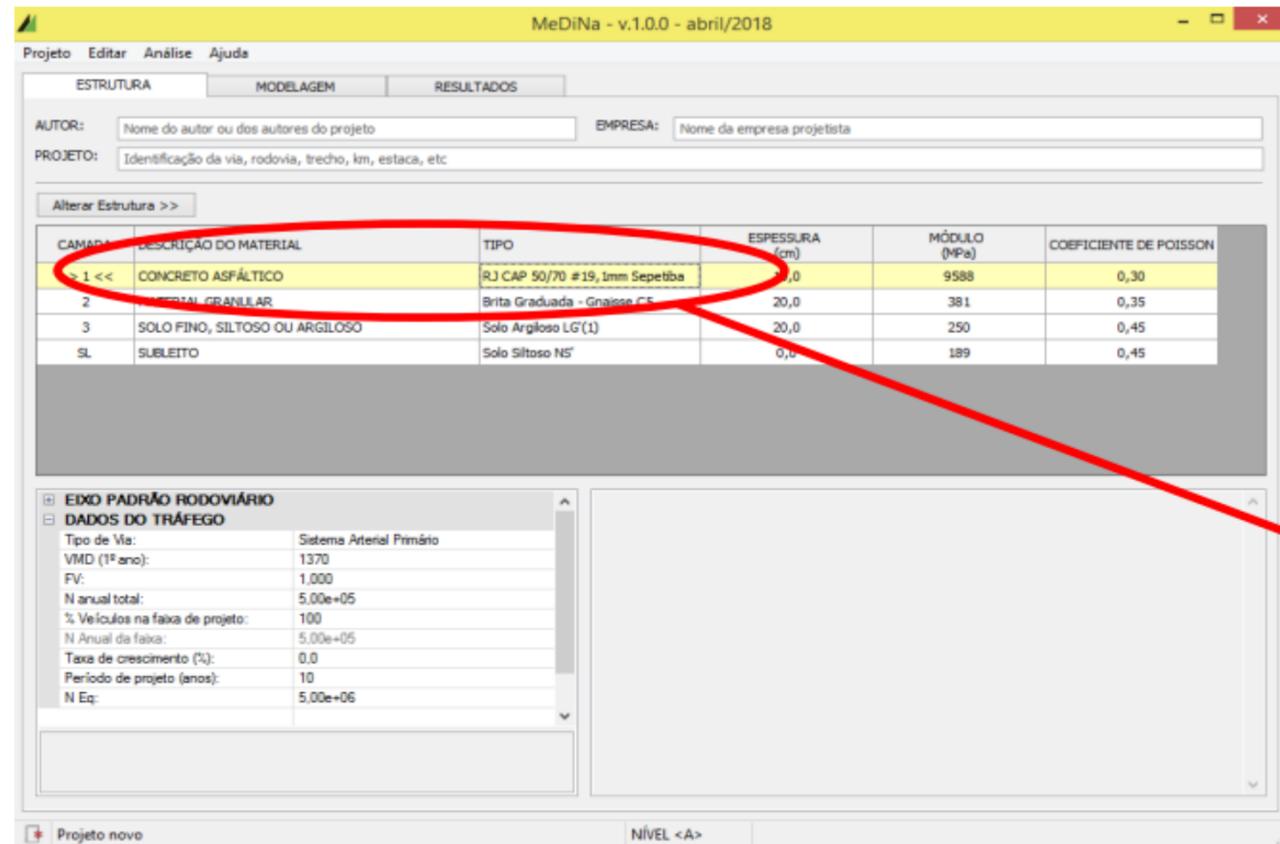
Função Curva de Fadiga

Ensaio de fadiga por compressão diametral a tensão controlada



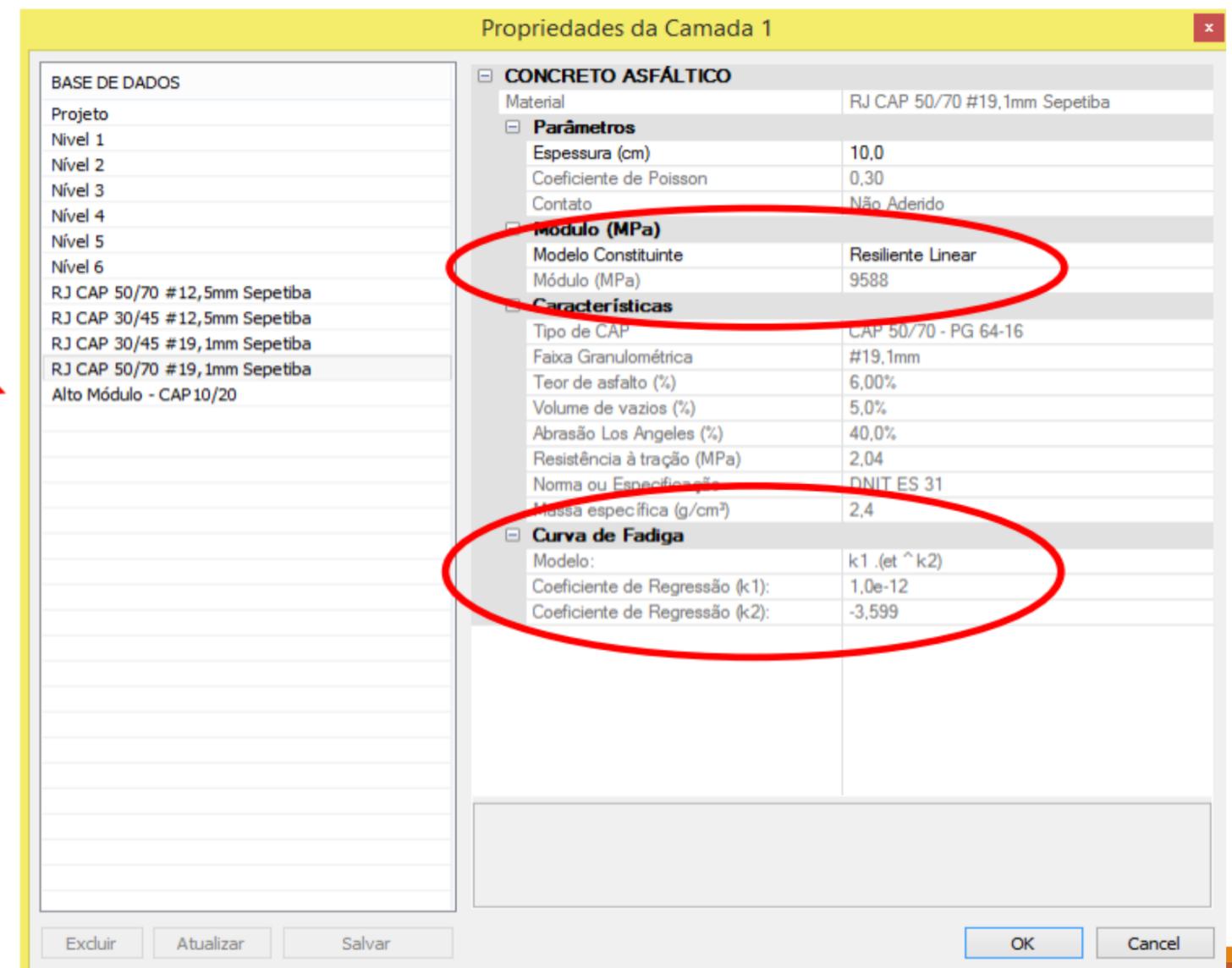
MeDiNa

Método de Dimensionamento Nacional de Pavimentos



Entrada de dados das camadas no programa MeDiNa

Entrada de dados das propriedades do CA no programa MeDiNa



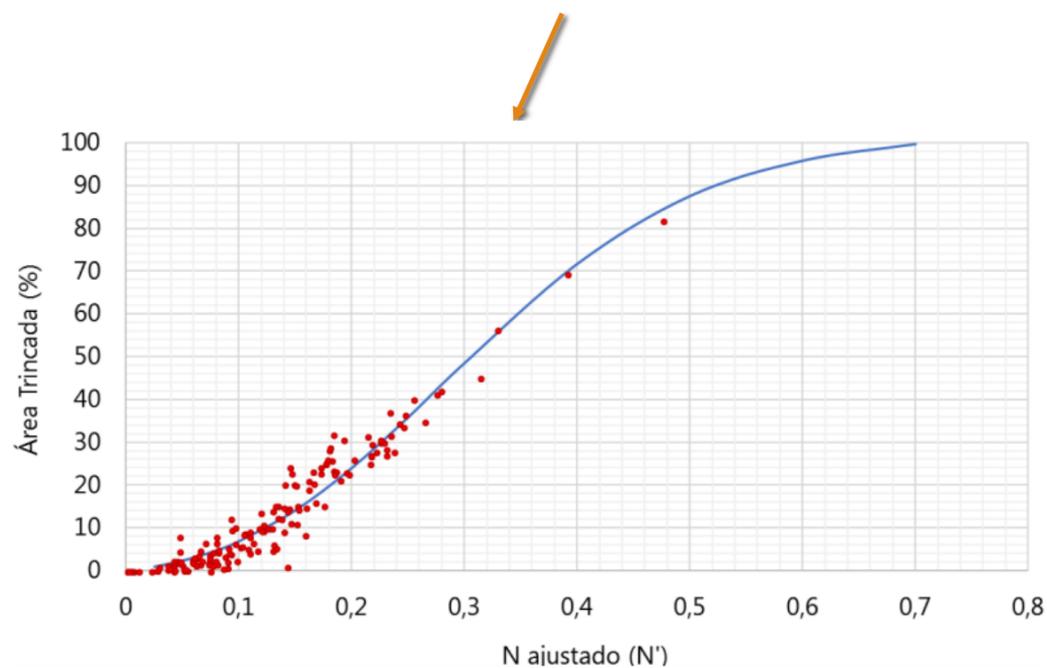
Método de Dimensionamento Nacional de Pavimentos

CALIBRAÇÃO DA FUNÇÃO TRANSFERÊNCIA



É preciso relacionar as tensões que se desenvolvem no interior do pavimento e a capacidade resistiva a fadiga do material asfáltico com a área trincada.

O padrão de evolução da área trincada segue uma **curva sigmodal**



Curva da função de transferência



$$AT(\%) = \frac{e^{-A} \cdot e^{-B}}{1 - e^{-B}}$$

$$A = \left(\frac{N'-1}{Z-1}\right)^n \quad B = \left(\frac{-1}{Z-1}\right)^n$$

Z e n - Parâmetros da curva sigmoide;

AT (%) - Área trincada estimada em percentual;

$$N' = (N \cdot fS) \cdot 10^{-10}$$

N' - Número equivalente deslocado.

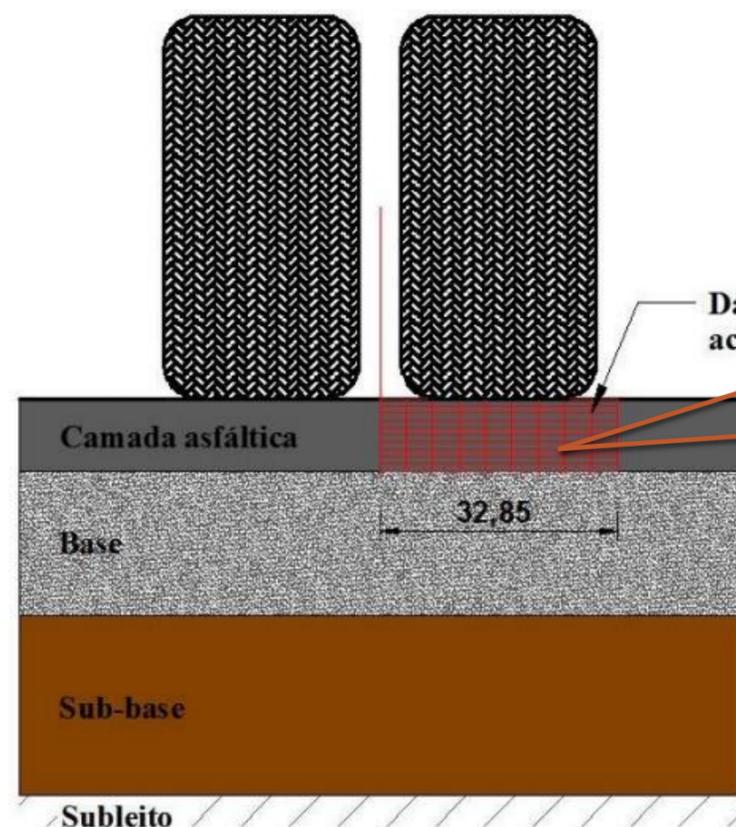
Calibração do número N para minimizar o erro com a evolução da área trincada

N - Número de repetições do eixo padrão quando foi realizada a medição da área trincada;

fS - Fator de deslocamento atribuído de forma aleatória até minimizar o erro entre a evolução da área trincada com a curva sigmoide padrão;

Método de Dimensionamento Nacional de Pavimentos

De posse da **tensão solicitante da passagem do eixo padrão**, **espessura do revestimento**, e suas **propriedades elásticas**, o *software* MeDiNa calcula o estado de tensões em 10 pontos na face superior e 10 pontos na face inferior da camada de revestimento.



Grade com 10 pontos dispostos a partir do centro do carregamento

De cada ponto é extraído a deformação específica, e com uso da curva de fadiga é determinado a sua vida de fadiga (N_f)

$$D_{\text{médio}} = \frac{1}{20} \sum \left(\frac{1}{N_f} \right)$$



Dano médio acumulado

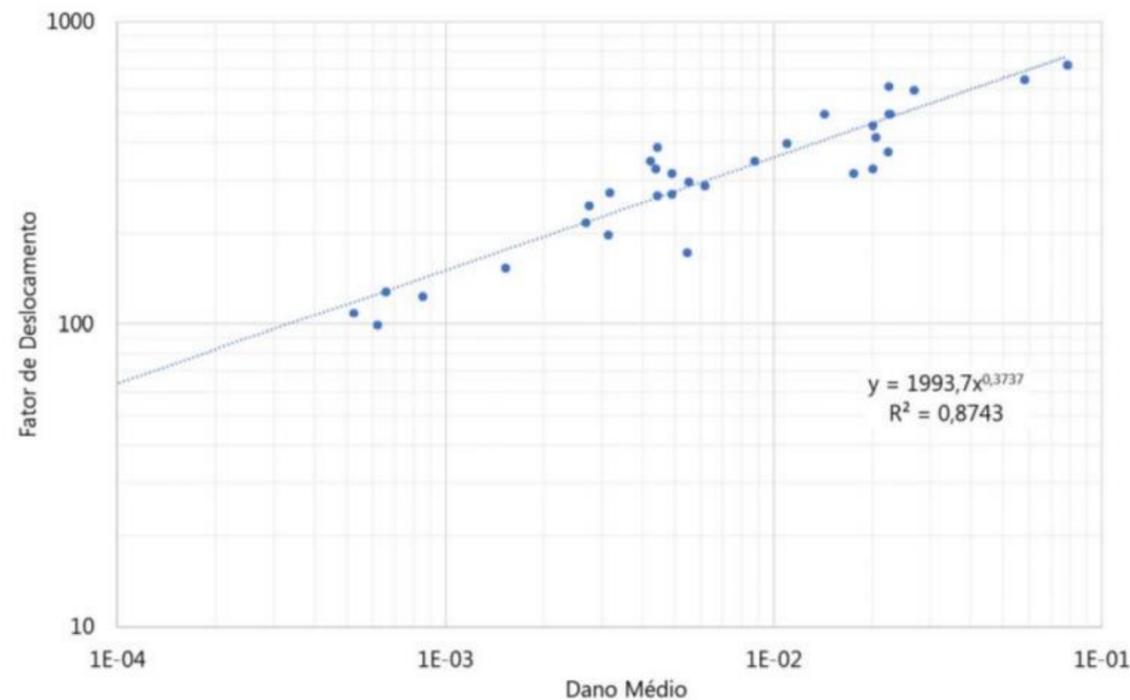
Método de Dimensionamento Nacional de Pavimentos

A informação do dano médio é levado à função de transferência por meio da expressão da **Função Deslocamento**:

$$fS = C1 \cdot (D_{\text{médio}})^{C2}$$

$$C1 = 1993,7$$

$$C2 = 0,3737$$



$$AT(\%) = \frac{\left\{ e^{-\left[\frac{N \cdot \left(1,993 \cdot \left(\frac{1}{20} \sum \frac{1}{N_f} \right)^{0,3737} \right) \cdot 10^{-10}}{0,25-1} \right]^5} \right\}}{1 - \left\{ e^{-\left[\frac{-1}{0,25-1} \right]^5} \right\}}$$

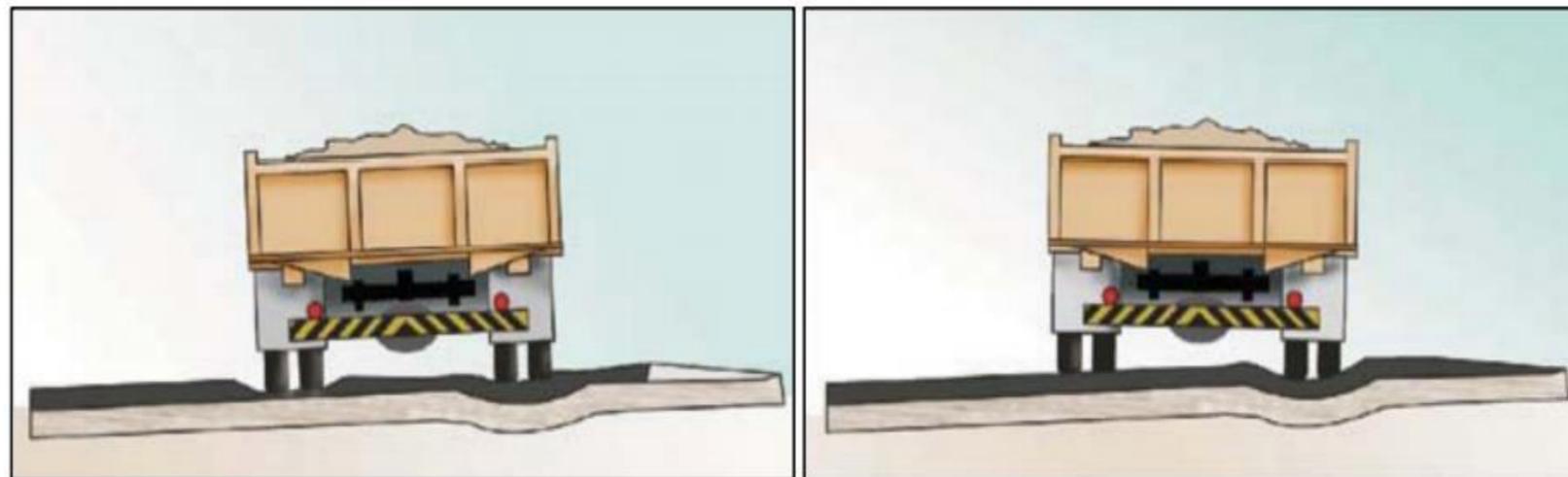
EXPRESSÃO FINAL DA MODELAGEM DA FADIGA

Método de Dimensionamento Nacional de Pavimentos

Modelos de Desempenho dos Pavimentos Asfálticos

➤ Deformação Permanente

Deformações plásticas, de caráter irreversível, que se acumulam a cada operação dos veículos e geram o **afundamento de trilha de roda**.



OBJETIVO:

Discretizar o mecanismo de deformação de cada um dos materiais componentes das camadas do pavimento

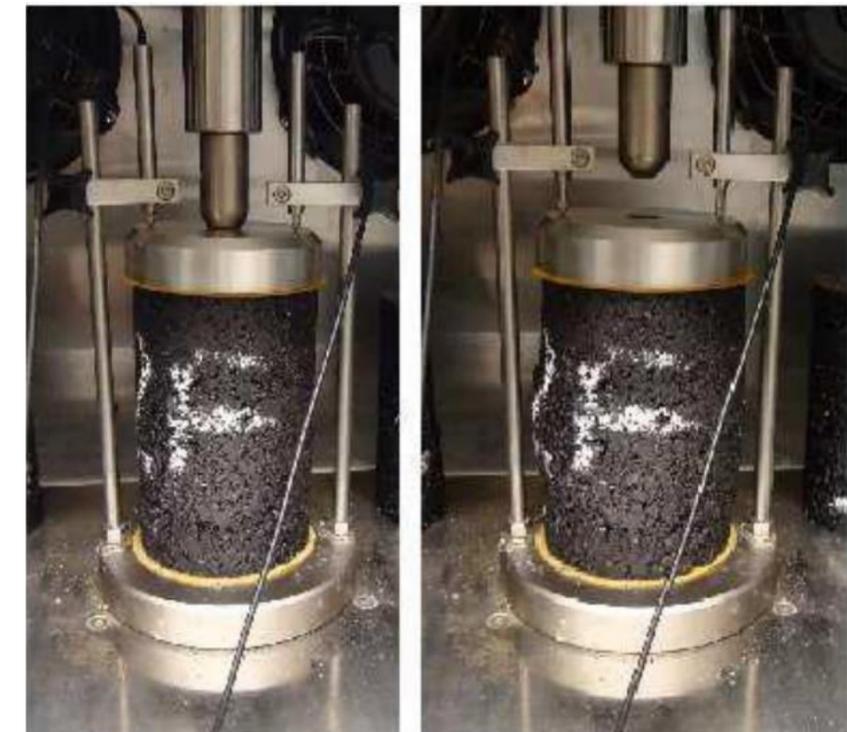
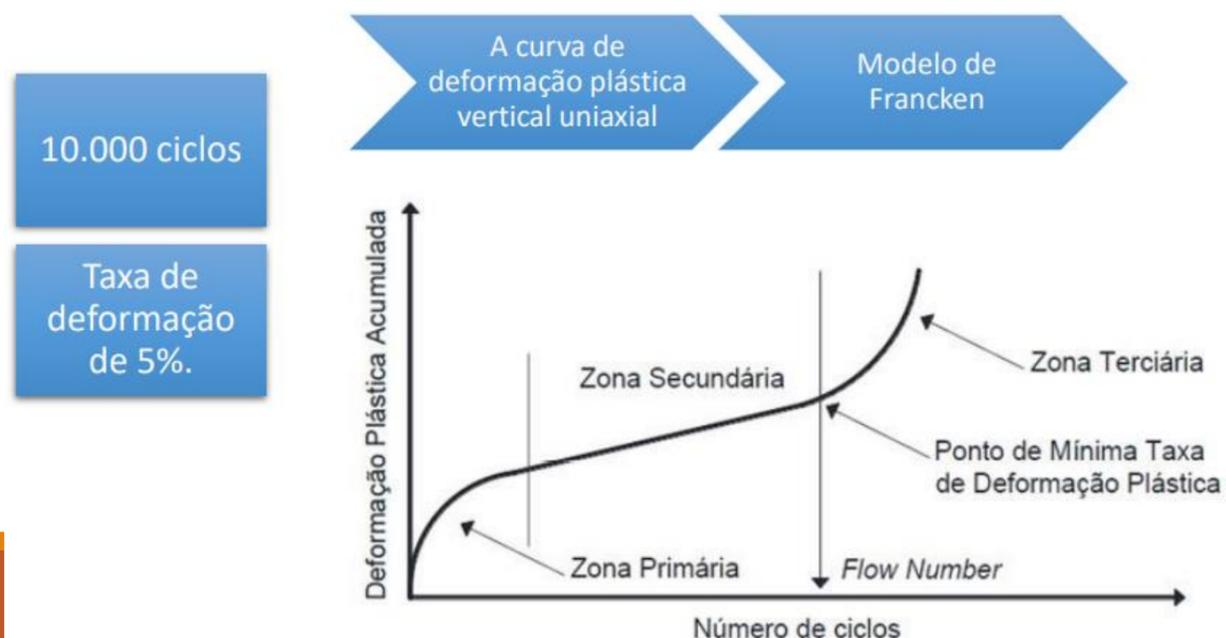
Método de Dimensionamento Nacional de Pavimentos

Modelos de Desempenho dos Pavimentos Asfálticos

➤ Deformação Permanente

- **CAMADA ASFÁLTICA:** A deformação permanente na camada asfáltica é significativa, contudo no programa MeDiNa sua consideração é simplificada ao atendimento do parâmetro **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 $102 \pm 2\text{mm}$.

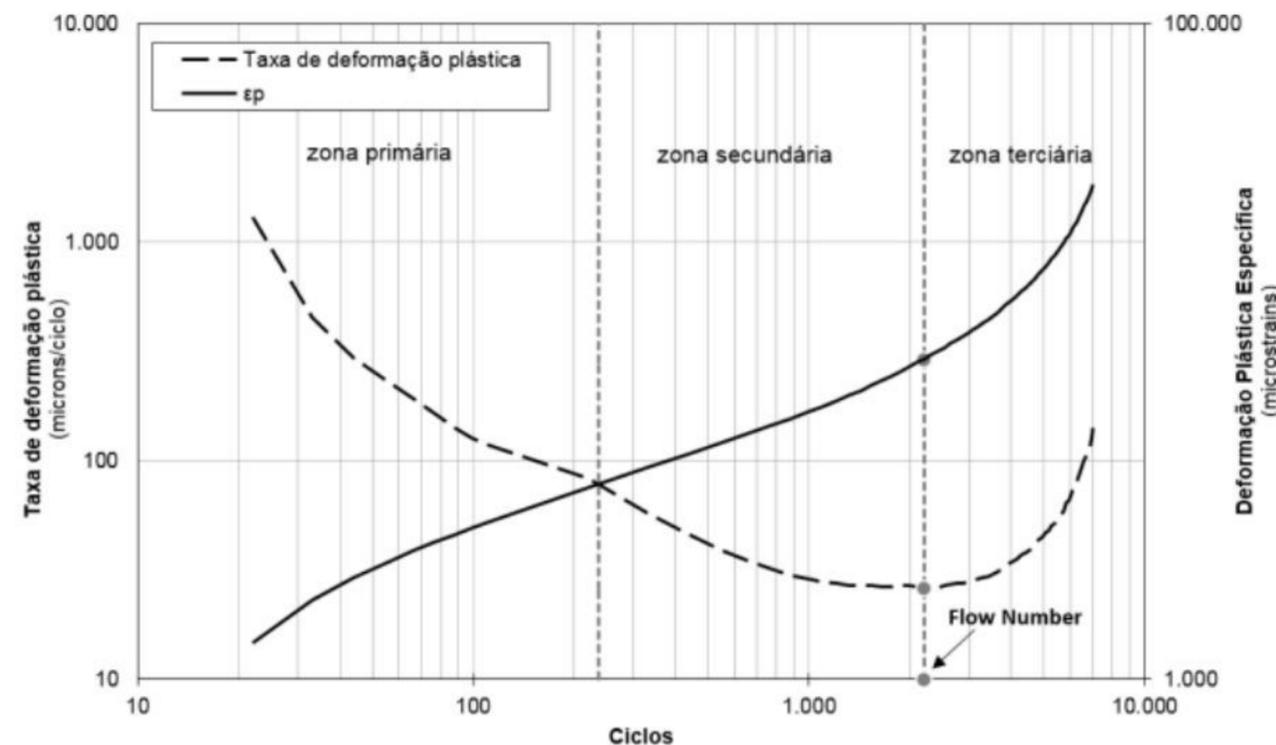


Método de Dimensionamento Nacional de Pavimentos

Modelos de Desempenho dos Pavimentos Asfálticos

➤ Deformação Permanente

O ensaio de Flow Number é traduzido em gráficos de **deformação permanente vertical uniaxial** e **taxa de deformação plástica vertical** versus **números de ciclos**.



Flow Number para cada condição de operação do eixo padrão

Classe	Flow Number (FN)	N recomendado Condições Normais	N recomendado Condições Severas
1	FN ≥ 100 CICLOS	N < 1e6	Não recomendado
2	100 CICLOS ≤ FN < 300 CICLOS	1e6 ≤ N < 1e7	N < 1e6
3	300 CICLOS ≤ FN < 750 CICLOS	1e7 ≤ N < 1e8	1e6 ≤ N < 1e7
4	750 CICLOS ≤ FN < 2000 CICLOS	N ≥ 1e8	1e7 ≤ N < 1e8
5	FN ≥ 2000 CICLOS	-	Nser ≥ 1e8

Fonte: MeDiNa (2018)

Método de Dimensionamento Nacional de Pavimentos

Modelos de Desempenho dos Pavimentos Asfálticos

➤ Deformação Permanente

- **CAMADAS DE SOLO:** Para o MeDiNa a deformação permanente total do pavimento é a soma da contribuição das deformações de cada camada de solo. A deformação nessas camadas é avaliada pela modelagem proposta por Guimarães (2009).

$$\varepsilon_p(\%) = \Psi_1 \cdot \left(\frac{\sigma_3}{\rho_0}\right)^{\Psi_2} \cdot \left(\frac{\sigma_d}{\rho_0}\right)^{\Psi_3} \cdot N^{\Psi_4}$$

Onde:

$\varepsilon_p(\%)$: Deformação Permanente Específica;

Ψ_1, Ψ_2, Ψ_3 e Ψ_4 : parâmetros de regressão do modelo obtidos por ensaio;

σ_3 : tensão confinante em kgf/cm²;

σ_d : tensão desvio em kgf/cm²;

ρ_0 : tensão de referência, considerada com a pressão atmosférica igual a 1 kgf/cm²;

N: número de ciclos de aplicação de carga

Principais fatores que afetam a deformação permanente em solos:

- ✓ **Tensão:** estado de tensões, rotação das tensões principais com o deslocamento da carga de roda e história de tensões;
- ✓ **Carregamento:** magnitude, número de aplicações, etc;
- ✓ **Umidade:** percentual, permeabilidade do material, etc;
- ✓ **Agregado:** tipo de agregado, granulometria, massa específica, etc.

Método de Dimensionamento Nacional de Pavimentos

DEFORMAÇÃO PERMANENTE – Solos e Britas

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



ATR

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

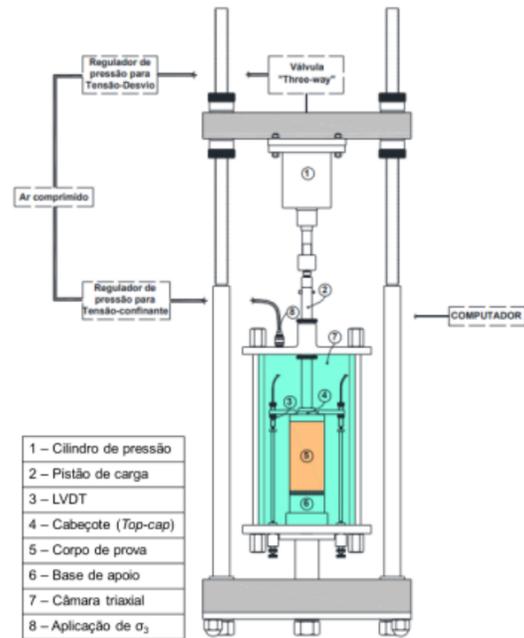
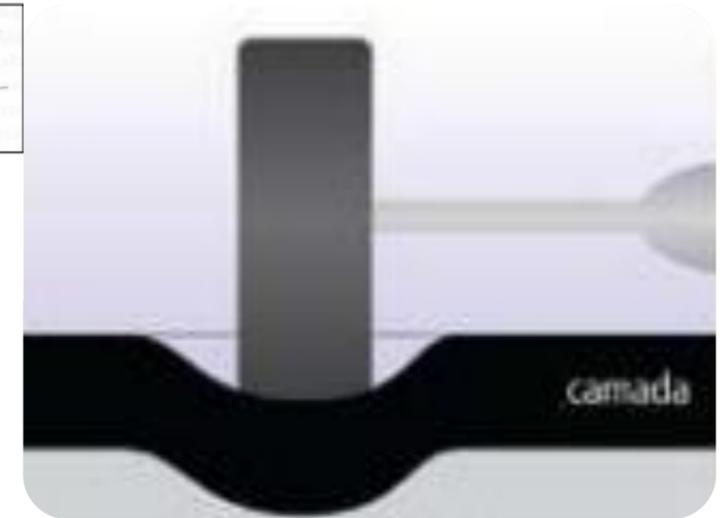
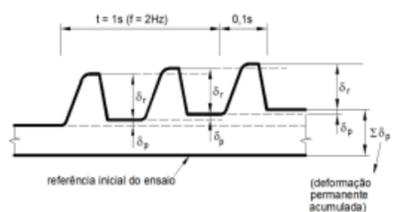
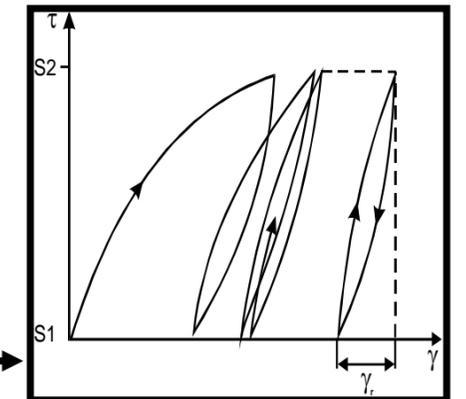
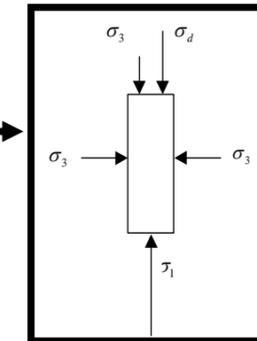
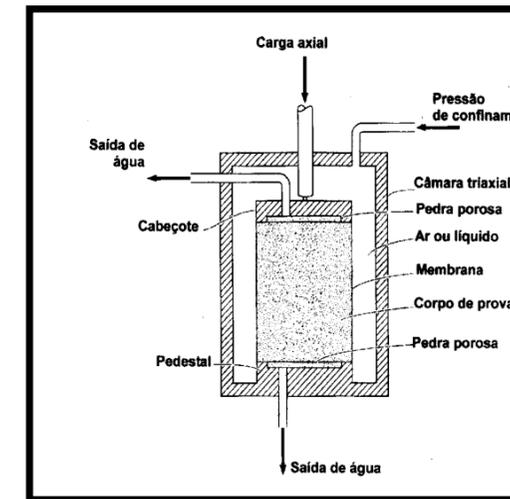
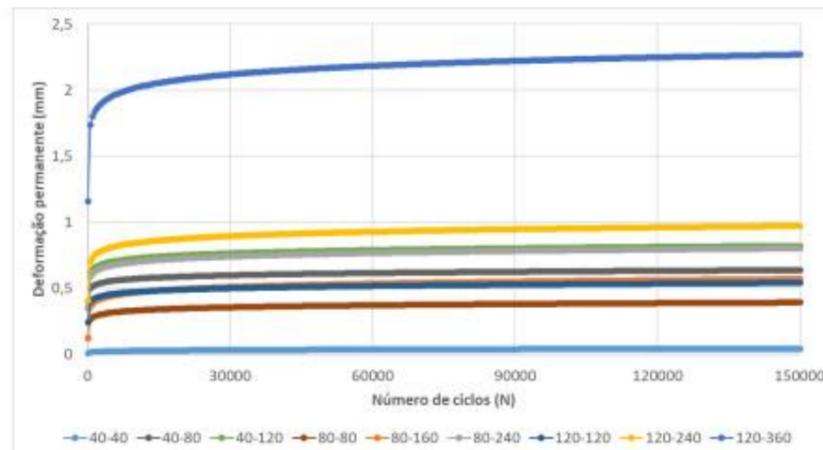


Figura 56 – Ensaio de deformação permanente



$$\epsilon_p = \frac{\delta_p}{H_0}$$



Método de Dimensionamento Nacional de Pavimentos

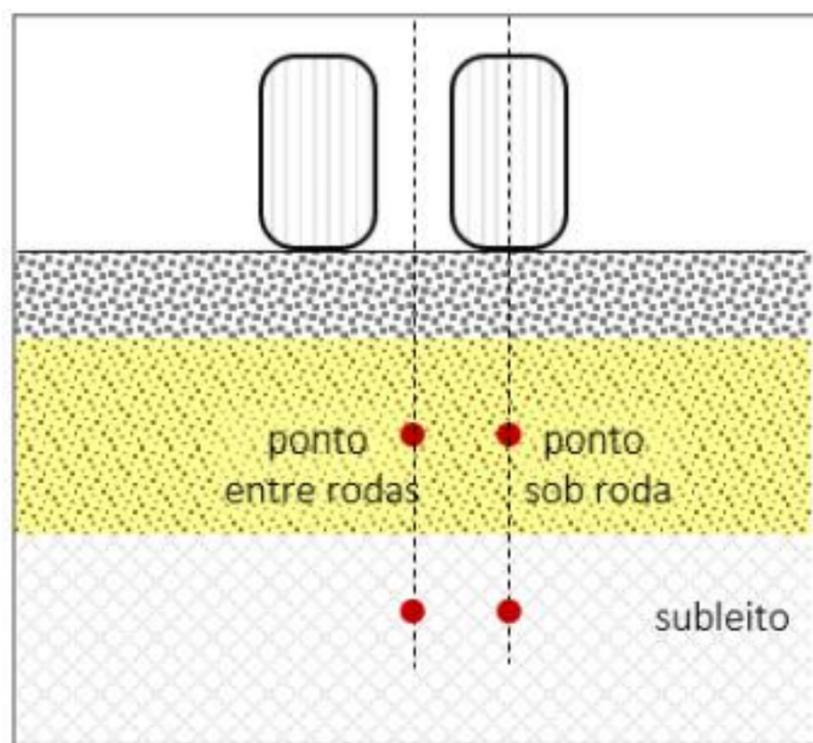
A TABELA abaixo reúne alguns parâmetros do modelo $\epsilon_p^{esp}(\%) = \psi_1(\sigma_3)^{\psi_2} \cdot (\sigma_d)^{\psi_3} \cdot (N)^{\psi_4}$ para diversos materiais, bem como os respectivos coeficientes de correlação obtidos e a classificação dos materiais.

Parâmetros do modelo de Previsão da Deformação Permanente

Item	Material	Classificação	$\epsilon_p^{esp}(\%) = \psi_1(\sigma_3)^{\psi_2} \cdot (\sigma_d)^{\psi_3} \cdot (N)^{\psi_4}$				R ²
			ψ_1	ψ_2	ψ_3	ψ_4	
1	Laterita Acre	Pedregulho	0,105	0,839	-0,014	0,041	0,939
2	Brita Graduada Chapécó	Pedregulho	0,079	-0,598	1,243	0,081	0,951
3	Cascalho Corumbaíba	Pedregulho	0,180	-0,212	0,840	0,443	0,898
4	Laterita de Porto Velho	Pedregulho	0,180	0,470	0,336	0,047	0,809
5	Argila de Ribeirão Preto	LG'	0,206	-0,24	1,34	0,038	0,986
6	Areia Argilosa do ES	LG'	0,643	0,093	1,579	0,055	0,909
7	Solo Papucaia	NS'/NA'	0,244	0,419	1,309	0,069	0,946
8	Areia Fina de Campo Azul/MG	NA	0,050	-1,579	1,875	0,064	0,868
9	Tabatinga Acre	NG'	Não recomendado				

Método de Dimensionamento Nacional de Pavimentos

Para o cálculo da deformação permanente, o programa **MeDiNa** utiliza o estado de tensões calculado nos pontos sob a roda e entre as rodas, no centro das camadas conforma mostrado abaixo:



$$\delta_{Ptotal} = \sum_i^n (\epsilon_{p(i)} \cdot h_i)$$

δ_{Ptotal} – Deformação permanente total;

$\epsilon_{p(i)}$ – Deformação específica da camada (i);

h_i – Espessura da camada (i).

Deformação Total = Soma das deformações de cada camada

Método de Dimensionamento Nacional de Pavimentos

Tipos de Vias, Limites de Danos e Confiabilidade

Estabelecido como quantificar os danos na estrutura, o MeDiNa estabelece **limites máximos toleráveis** de danos em área trincada e deformação permanente. A tolerância está condicionada à **hierarquia da rodovia analisada**.

Critérios de Dimensionamento do MeDiNa

Demais Critérios

TIPO DE VIA	CONFIABILIDADE	ÁREA TRINCADA	DEF. PERMANENTE
Sistema Arterial Principal	95%	30%	10mm
Sistema Arterial Primário	85%	30%	13mm
Sistema Arterial Secundário	75%	30%	20mm
Sistema Coletor Primário	85%	30%	13mm
Sistema Coletor Secundário	75%	30%	20mm
Sistema Local	65%	30%	20mm

Fonte: MeDiNa (2018)

- ✓ Def. Permanentes específicas por camada não maiores que 5%;
- ✓ Espessura da camada de revestimento asfáltico com valores entre 5 cm e 15 cm;
- ✓ Espessura das camadas de solos com valores entre 10 cm e 40 cm.

MeDiNa

Método de Dimensionamento Nacional de Pavimentos

MeDiNa - v.1.1.5.0 - dezembro/2020

Projeto Editar Análise Ajuda

ESTRUTURA MODELAGEM RESULTADOS

RESPONSÁVEL: leonardo rodrigues guedes EMPRESA: ufcg

PROJETO: Identificação da via, rodovia, trecho, km, estaca, etc MODO: Pavimento Novo (Nível A)

Alterar Estrutura >>

CAMADA	DESCRIÇÃO DO MATERIAL	TIPO	ESPESSURA (cm)	MÓDULO (MPa)	COEFICIENTE DE POISSON
>> 1 <<	CONCRETO ASFÁLTICO	RJ CAP 30/45 #12,5mm Sepetiba	10,0	9000	0,30
2	MATERIAL GRANULAR	Brita Graduada - Gnaisse C5	20,0	381	0,35
3	SOLO FINO, SILTOSO OU ARGILOSO	Solo Argiloso LG'(1)	20,0	250	0,45
SL	SUBLEITO	Solo Siltoso NS'	0,0	189	0,45

⊕ EIXO PADRÃO RODOVIÁRIO

⊖ DADOS DO TRÁFEGO

Tipo de Via:	Sistema Arterial Primário
VMD (1º ano):	1370
FV:	1.000
N anual (1º ano):	5,00e+05
% Veículos na faixa de projeto:	100
N Anual da faixa:	5,00e+05
Taxa de crescimento (%):	3,0
Período de projeto (anos):	10
N Total:	5,73e+06

Taxa de crescimento (%):
Taxa de crescimento do tráfego

Projeto novo NÍVEL <A>

ATÉ A PRÓXIMA AULA!

Conrado Cesar Vitorino Pereira
83 99604-7161