



ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE  
SÃO PAULO

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE  
TRANSPORTES

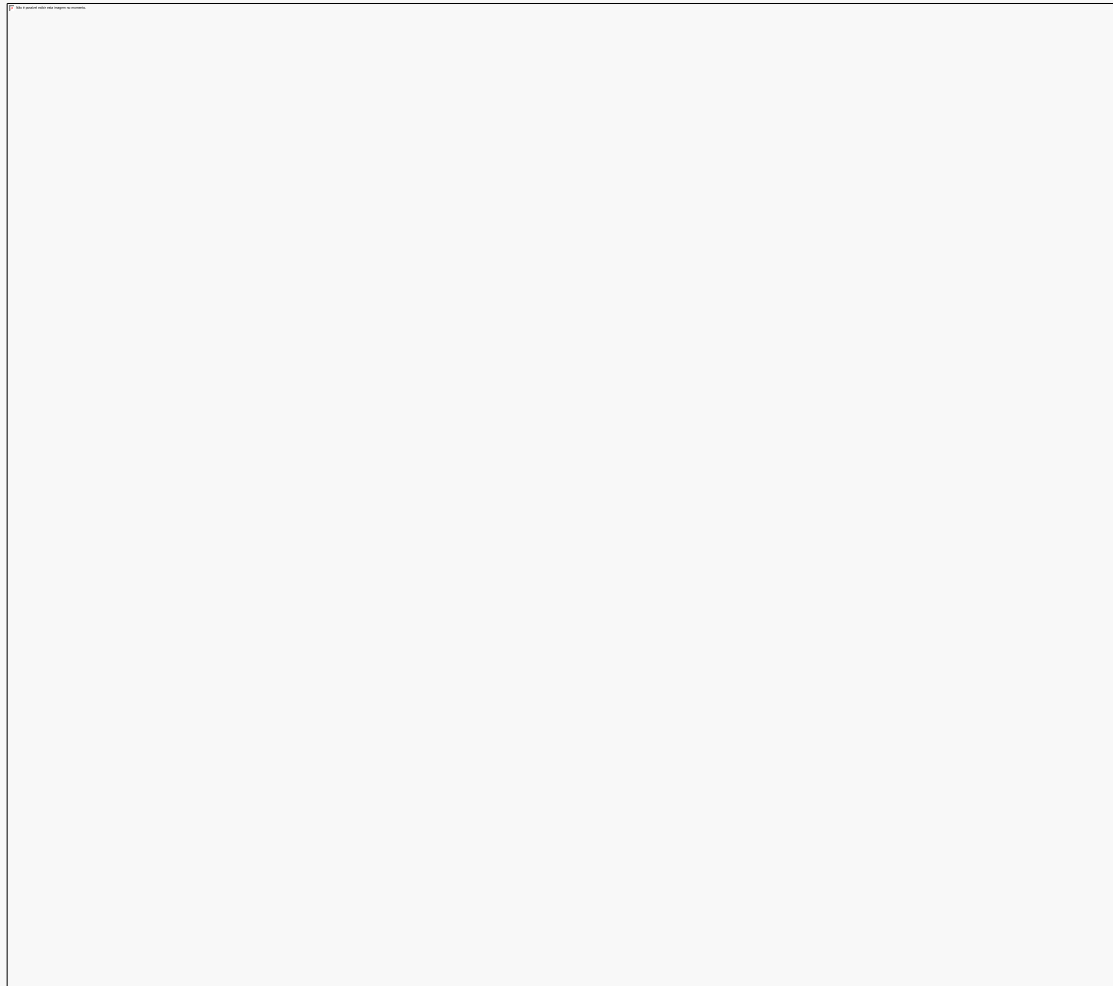


# REVESTIMENTOS ASFÁLTICOS: CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS

Profa. Dra. Kamilla Vasconcelos  
Profa. Dra. Liedi Bernucci



# PAVIMENTO ASFÁLTICO





# **CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DE MISTURAS ASFÁLTICAS**



# INTRODUÇÃO



**Carga**

**Clima**



# INTRODUÇÃO

AS MISTURAS ASFÁLTICAS SÃO DOSADAS PARA RESISTIR AOS ESFORÇOS DO TRÁFEGO/CLIMA DURANTE O PERÍODO DE PROJETO, CONSIDERANDO PRINCIPALMENTE:

- **DEFORMAÇÕES PERMANENTES POR FLUÊNCIA DEVIDO A ELEVADAS TEMPERATURAS E À INSTABILIDADE DAS MISTURAS;**







# INTRODUÇÃO

AS MISTURAS ASFÁLTICAS SÃO DOSADAS PARA RESISTIR AOS ESFORÇOS DO TRÁFEGO/CLIMA DURANTE O PERÍODO DE PROJETO, CONSIDERANDO PRINCIPALMENTE:

- **DEFORMAÇÕES PERMANENTES POR FLUÊNCIA DEVIDO A ELEVADAS TEMPERATURAS E À INSTABILIDADE DAS MISTURAS;**
- **TRINCAMENTO POR FADIGA E DESAGREGAÇÃO;**





# INTRODUÇÃO

**AS MISTURAS ASFÁLTICAS SÃO DOSADAS PARA RESISTIR AOS ESFORÇOS DO TRÁFEGO DURANTE O PERÍODO DE PROJETO, CONSIDERANDO PRINCIPALMENTE:**

- **DEFORMAÇÕES PERMANENTES POR FLUÊNCIA DEVIDO À ELEVADAS TEMPERATURAS E À INSTABILIDADE DAS MISTURAS;**
- **TRINCAMENTO POR FADIGA E DESAGREGAÇÃO;**
- **TRINCAMENTO TÉRMICO (NÃO RELEVANTE NO BRASIL)**





# PRINCIPAIS DEFEITOS EM REVESTIMENTOS ASFÁLTICOS

## USINA DE ASFALTO



## EXCESSO DE CAP



## FALTA DE CAP







# ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA

## Ensaio de Ruptura

- Resistência à tração (RT)
- Vida de fadiga



## Ensaio de Deformação Permanente

- Simuladores de tráfego



## Ensaio Não-Destrutivo

- Módulo de Resiliência (MR)





## MÓDULO DE RESILIÊNCIA

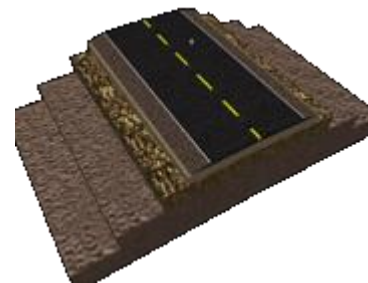
MÓDULO ELÁSTICO USADO NO CÁLCULO DE  $\sigma$  E  $\varepsilon$  EM DIFERENTES PONTOS DO PAVIMENTO.

O MR DA MISTURA ASFÁLTICA DEPENDE DA TEMPERATURA, ENQUANTO QUE OS MÓDULOS DOS MATERIAIS DE BASE, SUB-BASE E SUBLEITO VARIAM MAIS COM A UMIDADE.

$$\text{MR} = \left( \frac{\sigma_t}{\varepsilon_t} \right)$$

$$\sigma_t = \frac{2P}{\pi b d}$$

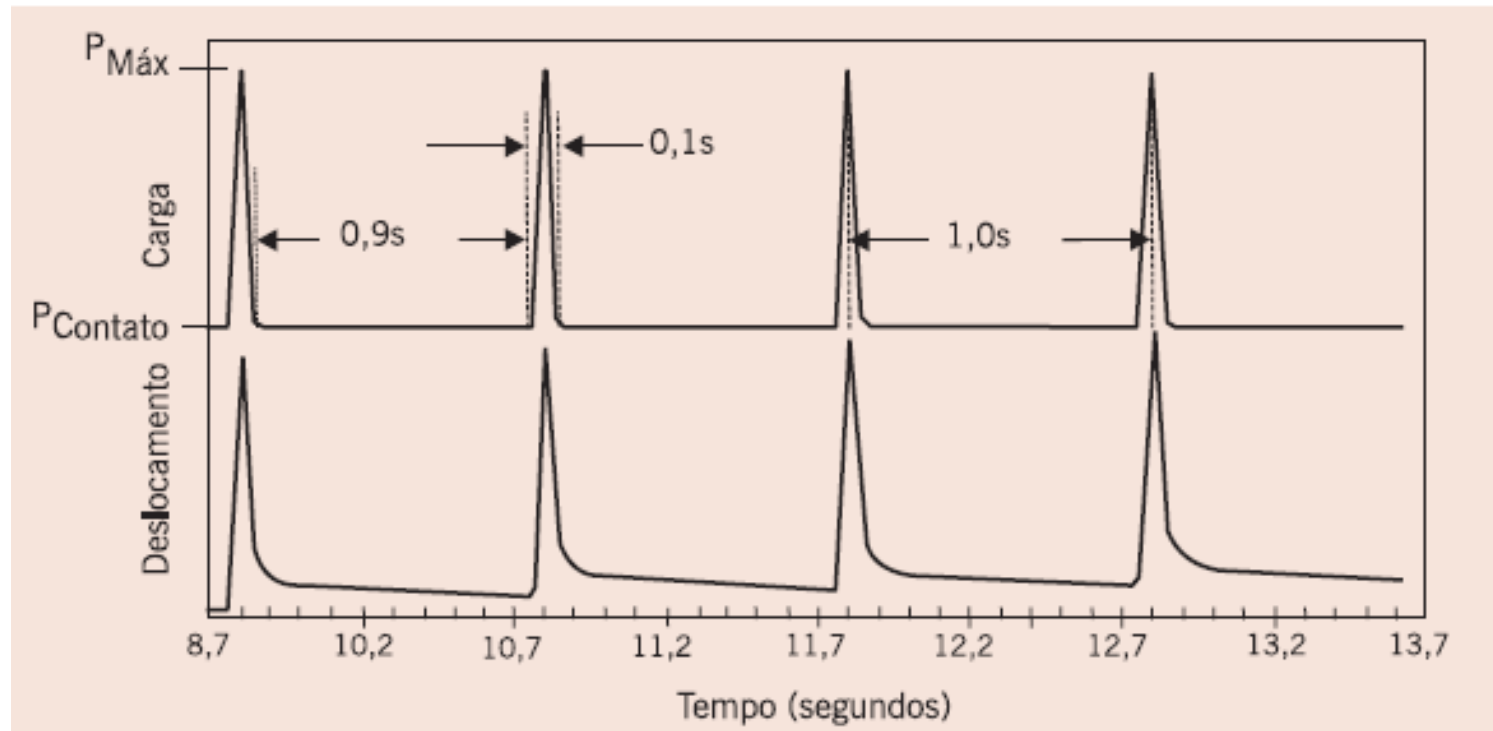
$\Delta l/L$  = medido com LVDT





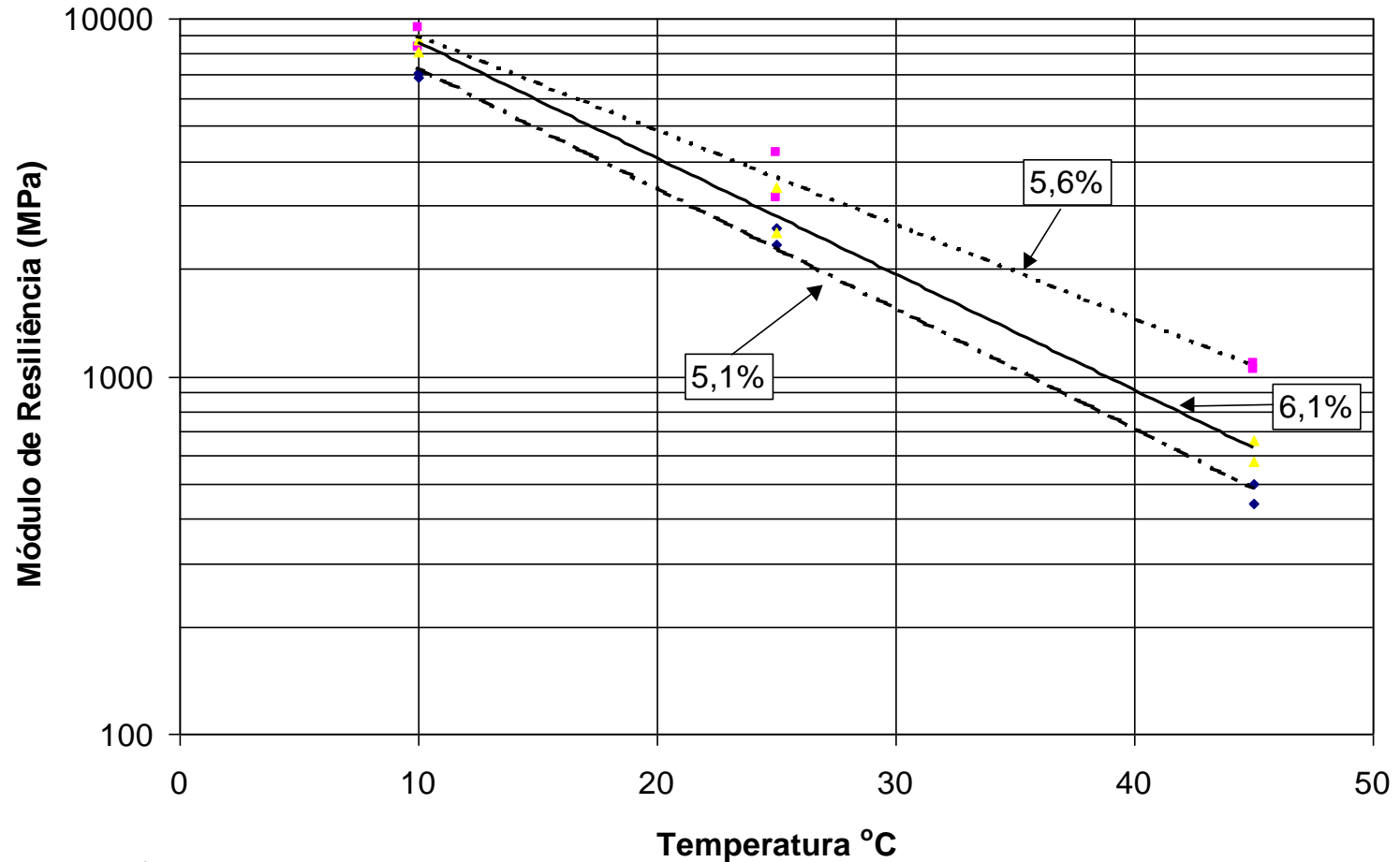
## MÓDULO DE RESILIÊNCIA

### CONDIÇÕES DE ENSAIO E REGISTROS





## MÓDULO DE RESILIÊNCIA



Bernucci et al, 2000





## RESISTÊNCIA À TRAÇÃO

DETERMINA A RESISTÊNCIA À TRAÇÃO DE CORPOS DE PROVA CILÍNDRICOS DE MISTURAS BETUMINOSAS POR COMPRESSÃO DIAMETRAL.

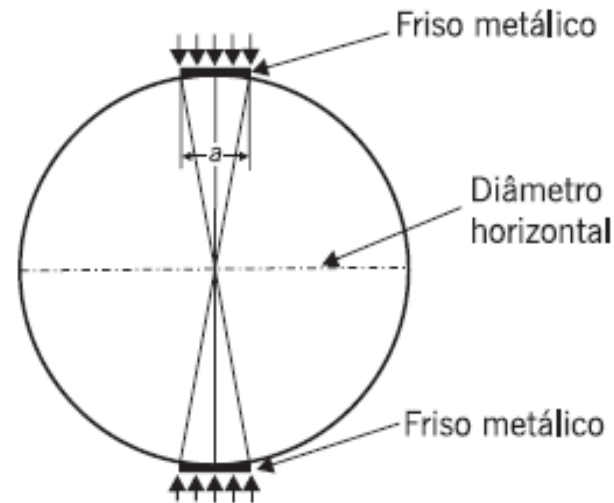
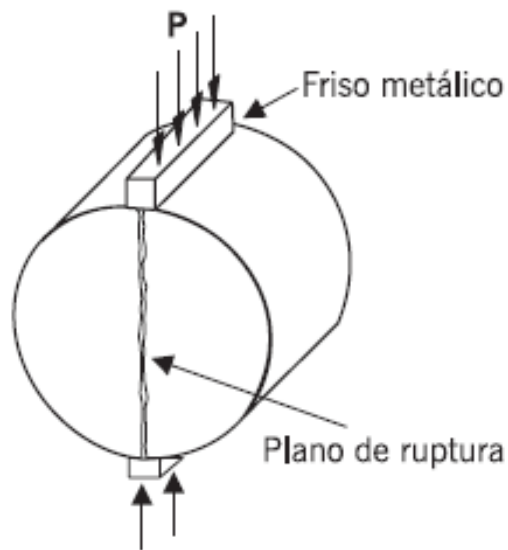
O ENSAIO DE COMPRESSÃO DIAMETRAL PARA DETERMINAÇÃO DA RT, CONHECIDO COMO ENSAIO BRASILEIRO, FOI DESENVOLVIDO PELO PROFESSOR LOBO CARNEIRO NA COPPE PARA CONCRETO-CIMENTO (1953).





## RESISTÊNCIA À TRAÇÃO

### MÉTODO INDIRETO



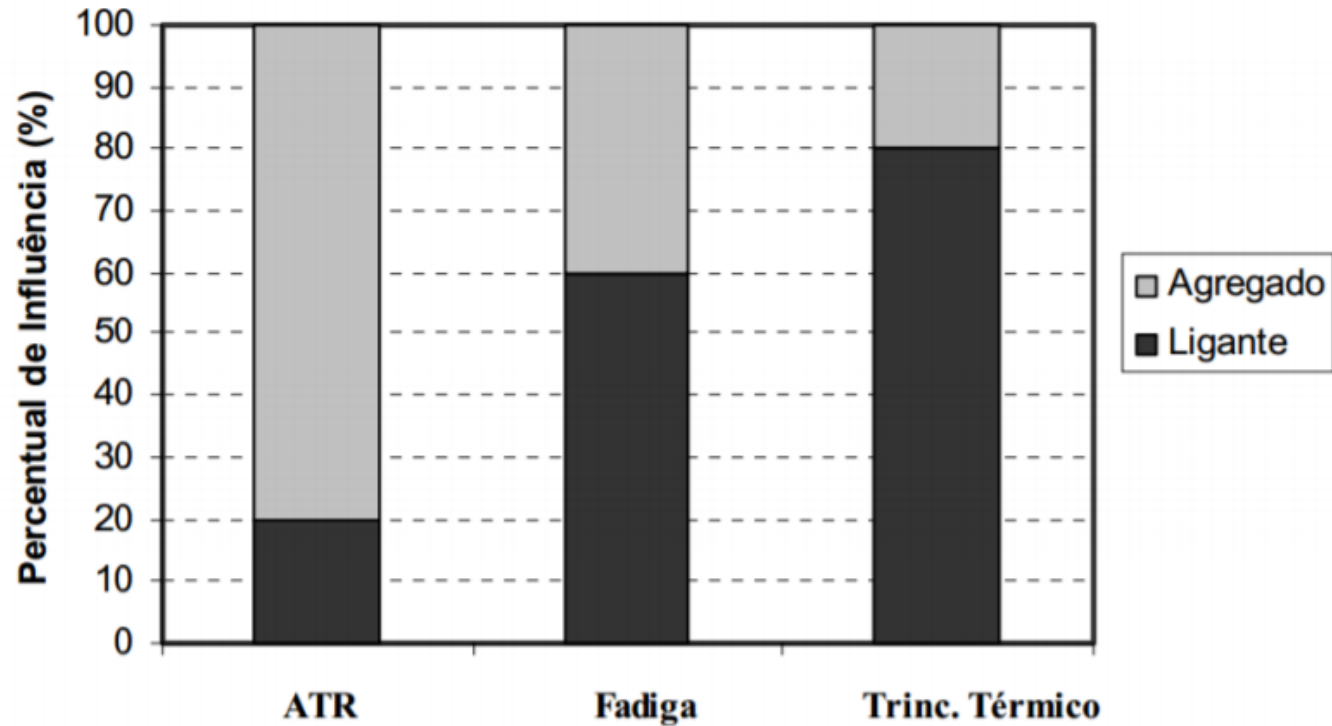
$a$  – Corda do friso (12,7mm)  
 $P$  – Carga aplicada

$$RT = \frac{2 F}{\pi D H}$$



# ENSAIOS DE RUPTURA

Figura 17 - Influência dos agregados e do ligante nos defeitos de misturas asfálticas



Fonte: FHWA (2002).



## VIDA DE FADIGA

### TRINCAMENTO

- AFETA SIGNIFICATIVAMENTE A RESISTÊNCIA DA CAMADA DE ROLAMENTO
- ENTRADA DE ÁGUA NA ESTRUTURA DO PAVIMENTO
- GERA DESCONFORTO
- EVOLUI PARA BURACOS

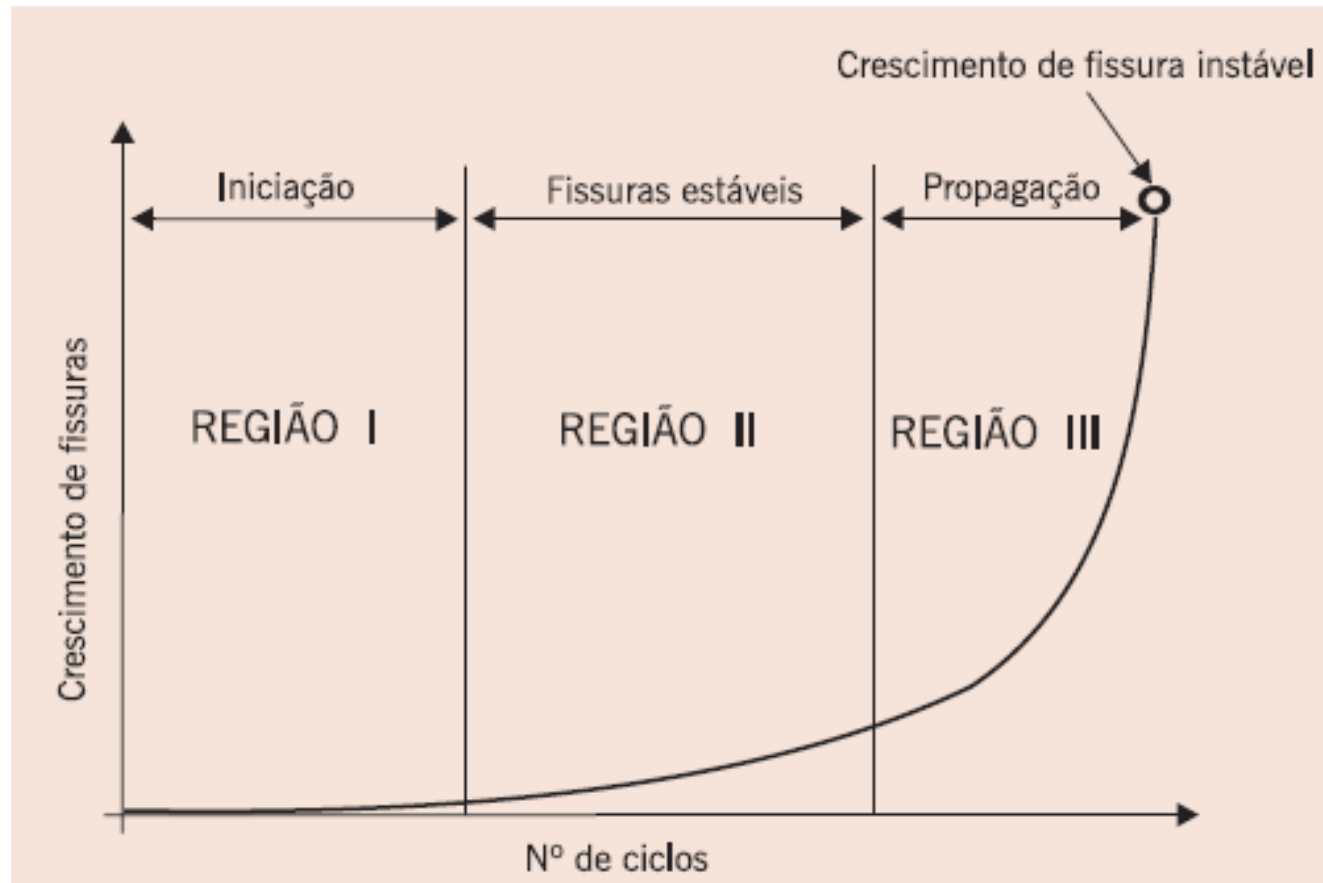






# ENSAIOS DE RUPTURA

## VIDA DE FADIGA

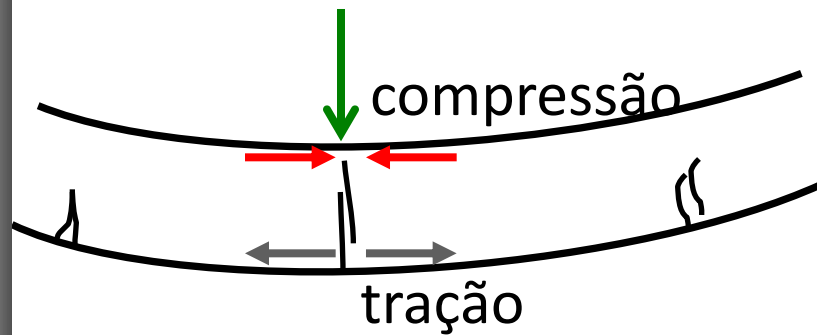


**Estágios existentes num processo de fadiga**



## VIDA DE FADIGA

### TRINCAMENTO POR FADIGA (REPETIÇÃO DE CARGA)



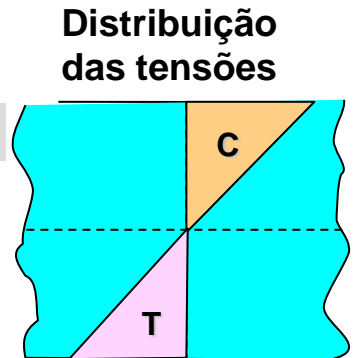
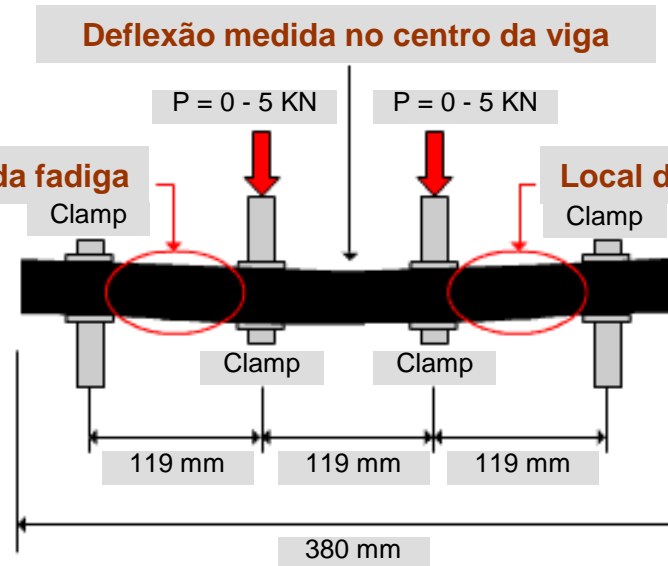


# ENSAIOS DE RUPTURA

## VIDA DE FADIGA

### ENSAIO DE FADIGA EM VIGOTAS

ENSAIOS EM VIGAS



**TENSÃO CONTROLADA**  
**FREQUENCIA DE 1Hz**  
**EQUIPAMENTO PNEUMÁTICO**



# ENSAIOS DE RUPTURA

## VIDA DE FADIGA

### ENSAIO DE FADIGA EM VIGOTAS



2008 by Joe Jenkins



TENSÃO CONTROLADA  
FREQUENCIA DE 1Hz  
EQUIPAMENTO PNEUMÁTICO



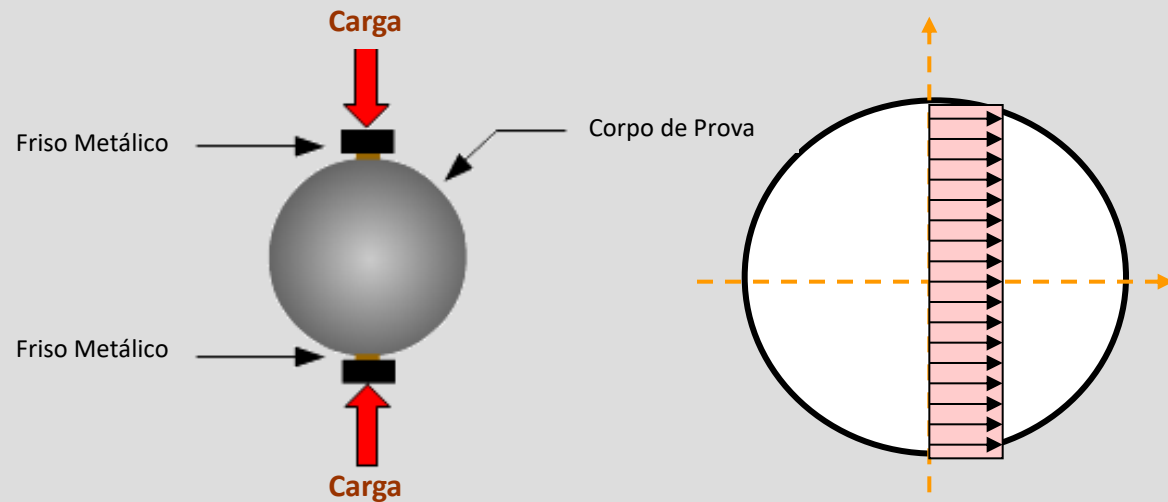


# ENSAIOS DE RUPTURA

## VIDA DE FADIGA

### ENSAIO DE FADIGA USUAL NO BRASIL

ENSAIOS EM  
CORPOS DE PROVA  
CILÍNDRICOS

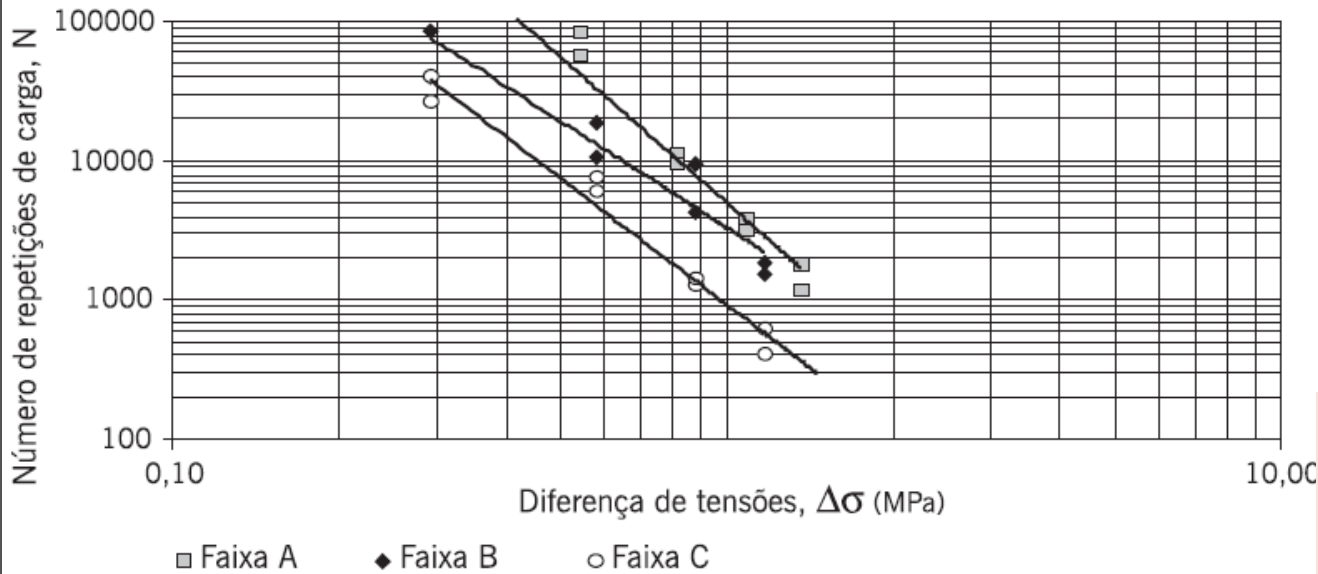


COMPRESSÃO DIAMETRAL À TENSÃO CONTROLADA  
FREQUENCIA DE 1Hz  
EQUIPAMENTO PNEUMÁTICO

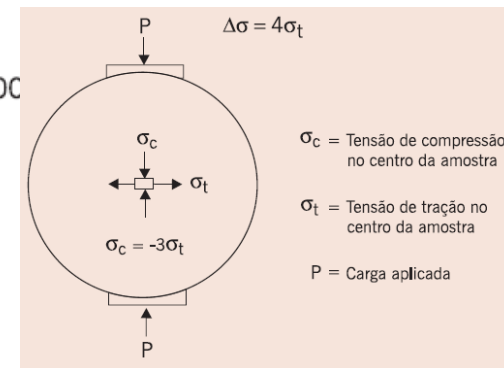


# ENSAIOS DE RUPTURA

## VIDA DE FADIGA



$$N = k \left( \frac{1}{\Delta\sigma} \right)^n$$



### TENSÃO CONTROLADA



Diferença de Tensão ( $\Delta\sigma$ ) =  $\sigma_t - \sigma_c = 4\sigma_t$

$$\sigma_t = \frac{2 \cdot F}{\pi \cdot D \cdot H}$$

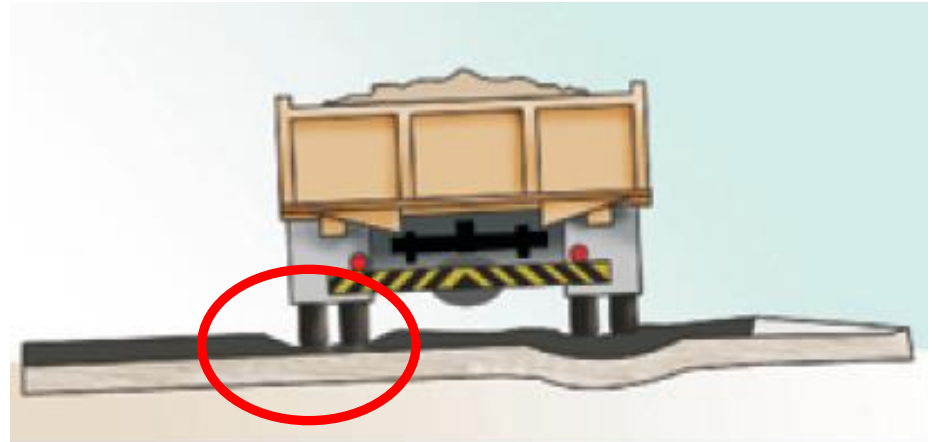
$$\sigma_c = \frac{-6 \cdot F}{\pi \cdot D \cdot H}$$



# ENSAIOS DE RUPTURA

## DEFORMAÇÃO PERMANENTE

**NO REVESTIMENTO**



**NO SISTEMA**





## CAUSAS

- **COMPACTAÇÃO COMPLEMENTAR DE CAMADAS MAL COMPACTADAS OU RUPTURA POR CISALHAMENTO**
- **AFUNDAMENTO POR “STRIPPING” (MELHORAR ADESIVIDADE)**
- **AFUNDAMENTO POR FLUÊNCIA DO REVESTIMENTO ASFÁLTICO**
  - **PROBLEMA DE GRADUAÇÃO E DE FORMA DE AGREGADOS**
  - **TIPO DE LIGANTE**
  - **TEOR DE LIGANTE**



# DEFORMAÇÃO PERMANENTE

- AFETA O **CONFORTO DOS USUÁRIOS**, AUMENTANDO CONSIDERAVELMENTE OS CUSTOS OPERACIONAIS
- AFETA A **SEGURANÇA DO USUÁRIO**: DIRIGIBILIDADE EM QUALQUER CONDIÇÃO E NA PERDA DE ADERÊNCIA EM PERÍODOS DE CHUVA (HIDROPLANAGEM)
- REFLETE **PROBLEMAS ESTRUTURAIS E/OU DE PROJETO DE REVESTIMENTOS ASFÁLTICOS**
- DIFICULTA **MANUTENÇÃO/REABILITAÇÃO DE PAVIMENTOS**







# DEFORMAÇÃO PERMANENTE

## COMPACTAÇÃO POR AMASSAMENTO



LTP/ EPUSP

## SIMULADORES DE TRÁFEGO

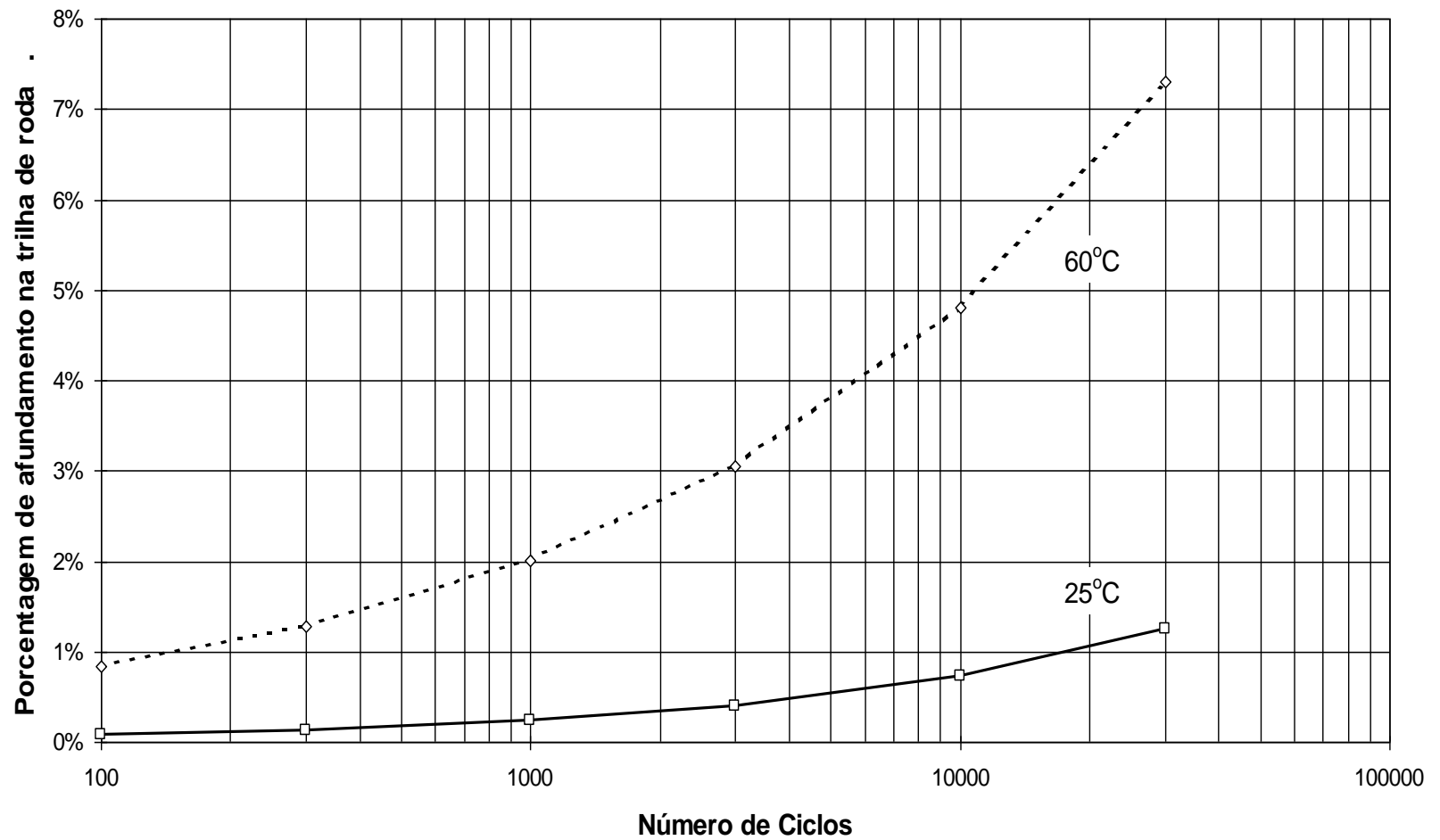


EQUIPAMENTO FRANCES - LCPC



# DEFORMAÇÃO PERMANENTE

## EFEITO DA TEMPERATURA



Merighi et al, 1996



# Reflexões

- **VALORES DE LABORATÓRIO SE CORRELACIONAM COM O CAMPO? SÃO OS MESMOS VALORES?**
- **QUE OUTROS FATORES INFLUENCIAM?**
- **COMO PREVER OS DEFEITOS DE PISTA?**
- **COMO MEDIR OS DEFEITOS REAIS EM PISTA?**
- **ENTÃO, PARA QUE SERVEM OS ENSAIOS?**