



# Reabilitação Estrutural de Pavimentos Flexíveis

Maria de Lurdes Antunes, Investigadora Coordenadora do LNEC

Simona Fontul, Investigadora Auxiliar do LNEC

Vânia Marecos, Bolseira de Doutoramento

### Caso de estudo de reabilitação estrutural de pavimento flexível

- Camadas de fundação / base com fracas características mecânicas
- Pavimento original com fendilhamento tipo pele de crocodilo
- Zona sujeita a baixas temperaturas no Inverno
- Obras de reabilitação: fresagem e substituição de camadas betuminosas
- Dimensionamento do reforço para 10 anos
- Fendilhamento precoce do pavimento reabilitado

- Análise das causas de degradação do pavimento reabilitado
- Efeito da variabilidade da construção no comportamento estrutural
- Contributos para análise de custo ao longo do ciclo de vida / análise de risco

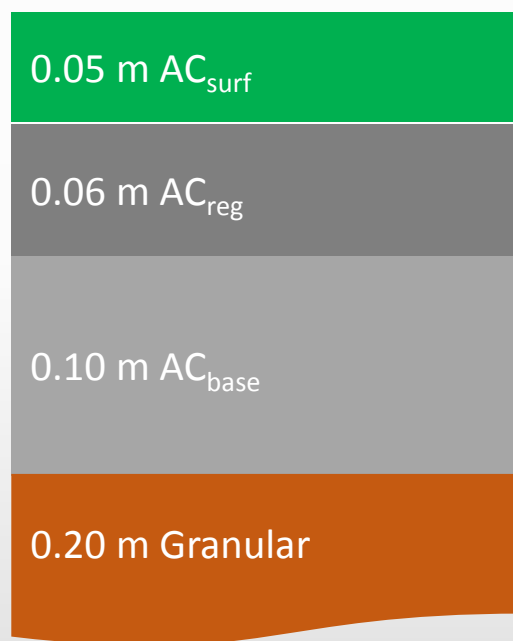
### Estrutura prevista para o pavimento reabilitado

a) Antes da Reabilitação



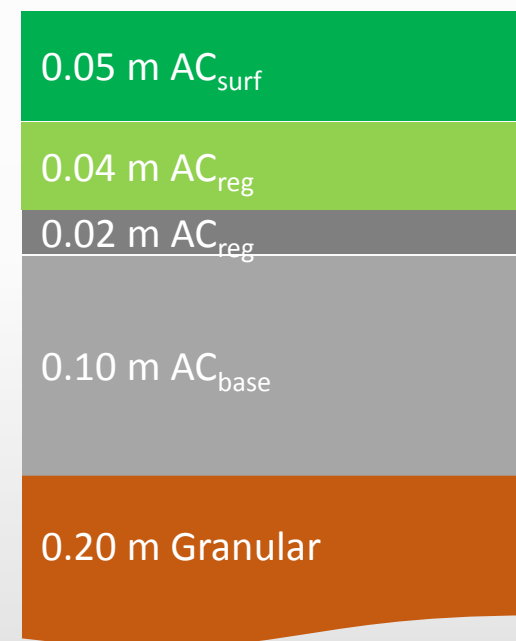
Idade do pavimento: 10 anos

b) Reabilitação Tipo I



Período de vida: 10 anos; NAEP<sub>130kN</sub> ~ 5,3 x 10<sup>5</sup>

c) Reabilitação Tipo II



Camadas Betuminosas Existentes

Camadas betuminosas novas



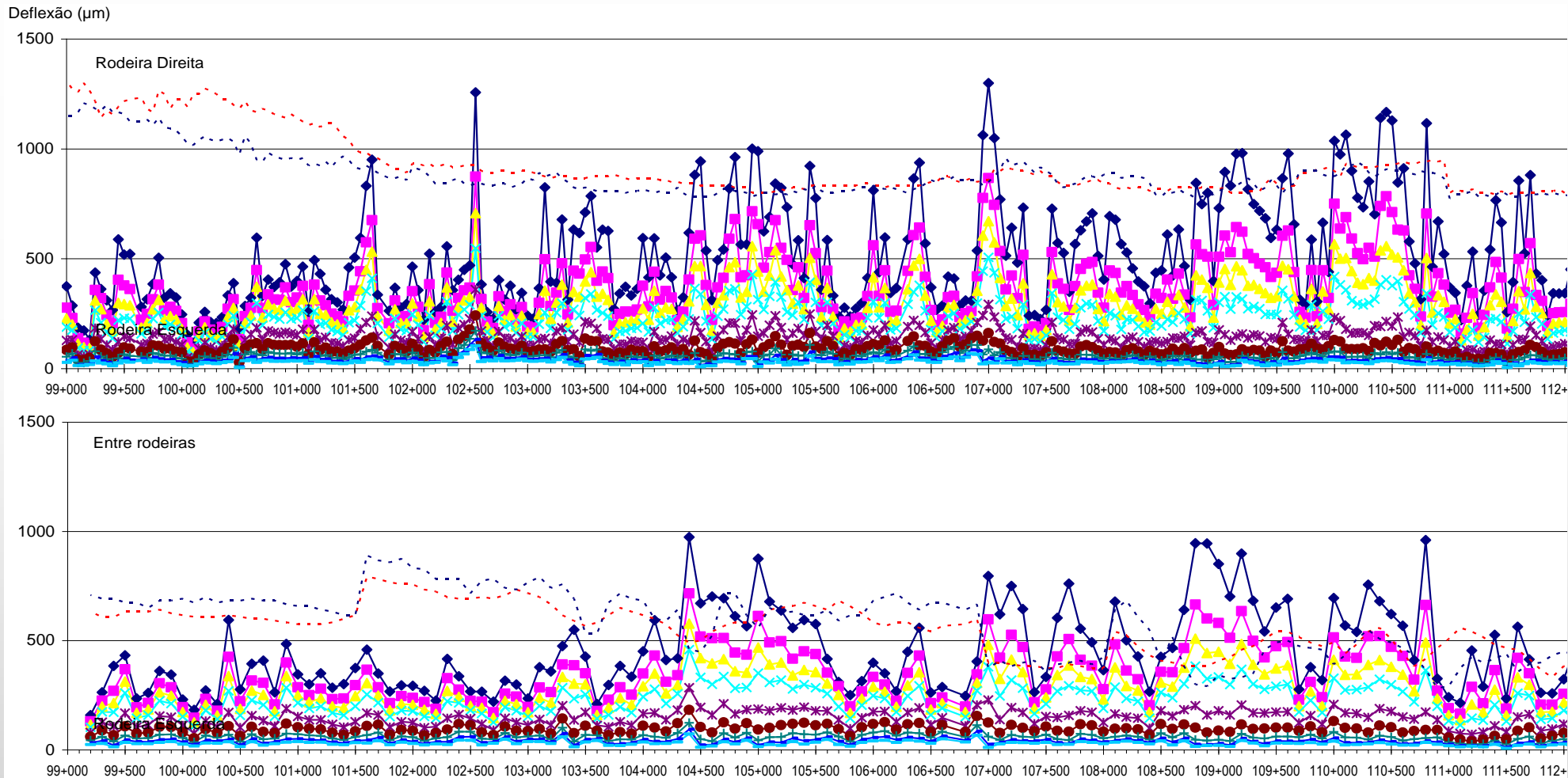
### Estado do pavimento 1 ano após reabilitação



Fendilhamento longitudinal / pele de crocodilo nas rodeiras

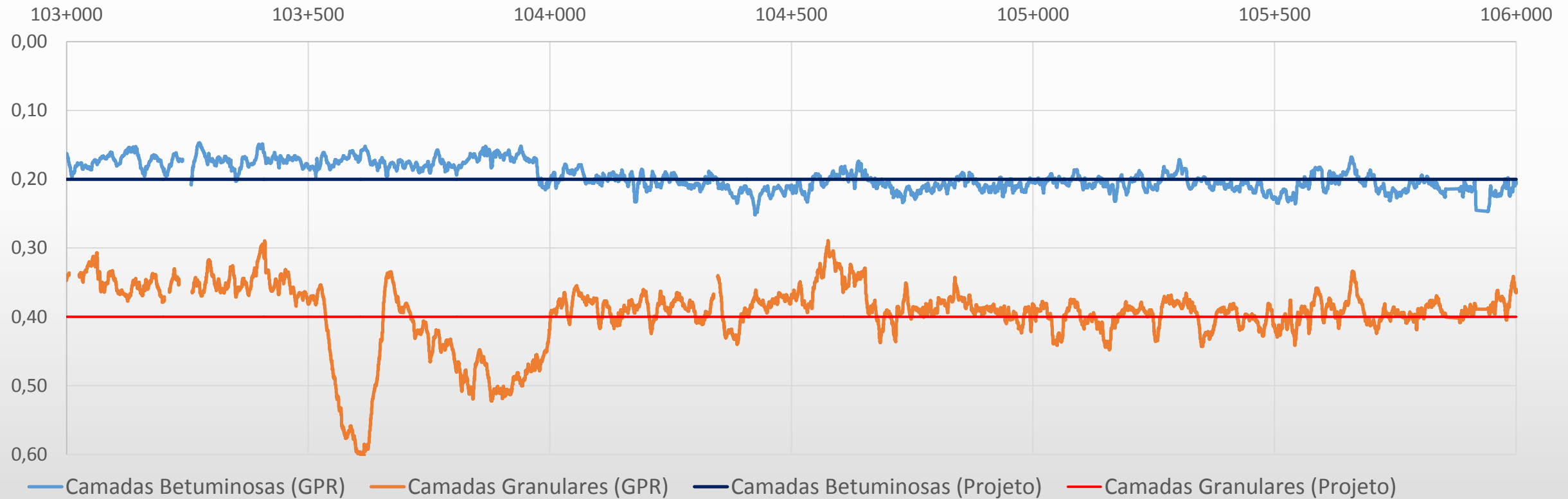
Degradação mais significativa numa das faixas

### Caracterização estrutural dos pavimentos - FWD





### Caracterização estrutural dos pavimentos - GPR



### Camadas betuminosas

#### Desgaste:

- $W_b$  – 4,1% a 4,5% (exceto zona com BBR)
- Pen – 17% a 22%

#### Regularização:

- $W_b$  – 4,1% a 5,5%
- Pen – 17% a 39%

#### Camadas do pavimento original:

- Espessuras variáveis
- Número significativo de carotes fendilhadas nas camadas inferiores

## Camadas não ligadas e fundação do pavimento

### Solos de fundação:

- Em geral graníticos
- Algumas formações xistosas
- Perfil misto (faixa em pior estado escavação)

### Leito do pavimento:

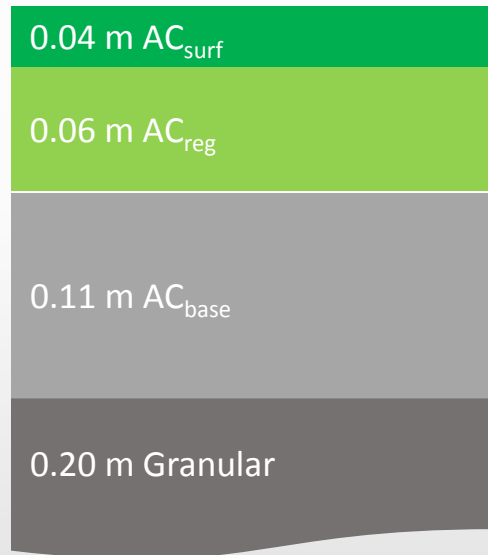
- Solos A-1-b (0)
- $W_{in-situ}$  – 14 a 17%

### Camada granular (ABGE):

- IP- NP
- LL – 24,3% a 26,9%
- EA – 34% a 42%
- $W_{in-situ}$  – 3,8% a 5,3%
- CR ~ 90%

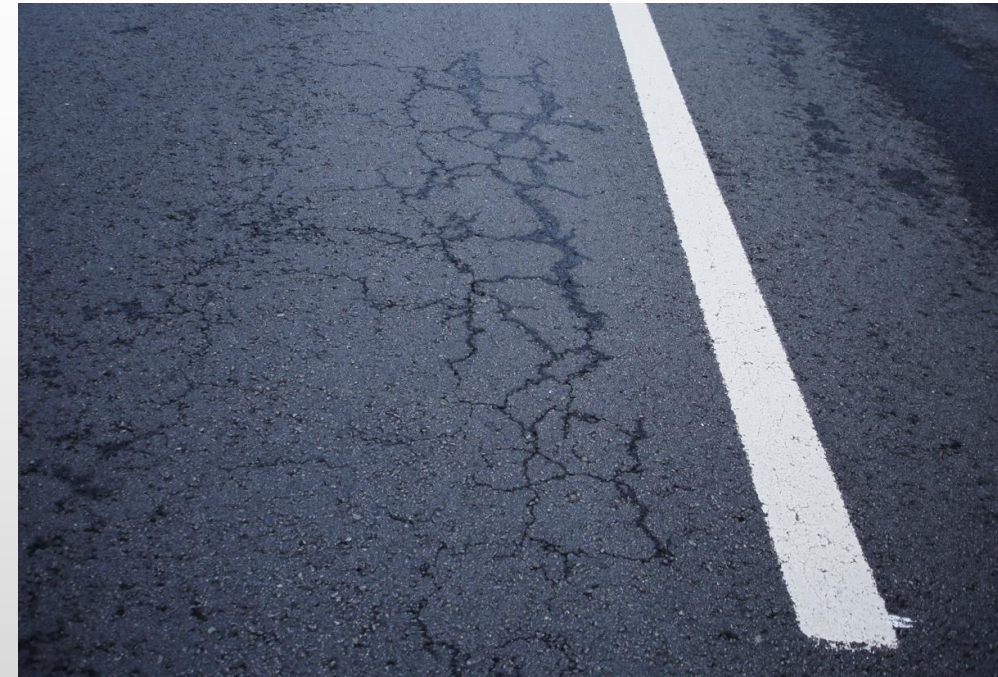


### Análise de sensibilidade para uma Estrutura de Referência

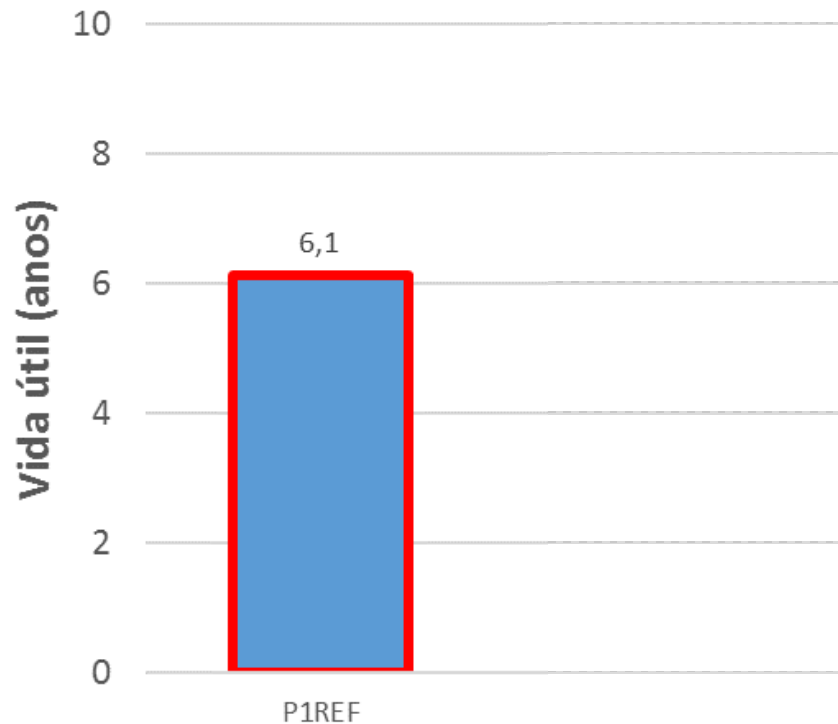


Camadas de Reforço

Camadas Existentes



Variação da vida útil do pavimento

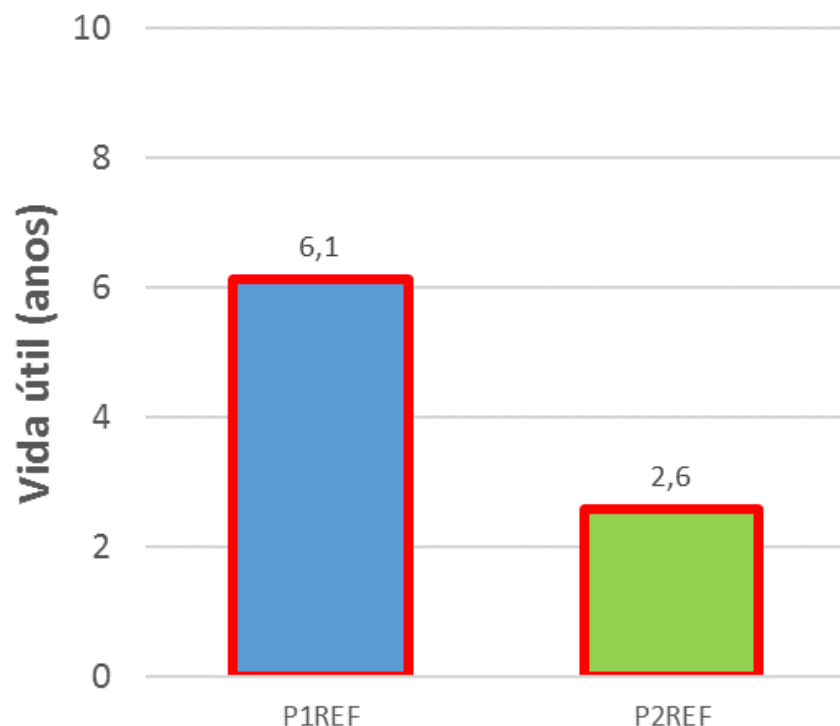


**P1 = Considerando os dados de “partida”**

## Modelos Estruturais de Referência

P1	
$E_1 = 6200 \text{ MPa}$	$h_1 = 10 \text{ cm}$
$E_2 = 1450 \text{ MPa}$	$h_2 = 11 \text{ cm}$
$E_3 = 100 \text{ MPa}$	$h_3 = 20 \text{ cm}$
$E_4 = 40 \text{ MPa}$	$h_4 = 50 \text{ cm}$

Variação da vida útil do pavimento



## Modelos Estruturais de Referência

P1		P2
$E_1 = 6200 \text{ MPa}$	$h_1 = 10 \text{ cm}$	$E_1 = 6200 \text{ MPa}$
$E_2 = 1450 \text{ MPa}$	$h_2 = 11 \text{ cm}$	$E_2 = 500 \text{ MPa}$
$E_3 = 100 \text{ MPa}$	$h_3 = 20 \text{ cm}$	$E_3 = 100 \text{ MPa}$
$E_4 = 40 \text{ MPa}$	$h_4 = 50 \text{ cm}$	$E_4 = 40 \text{ MPa}$

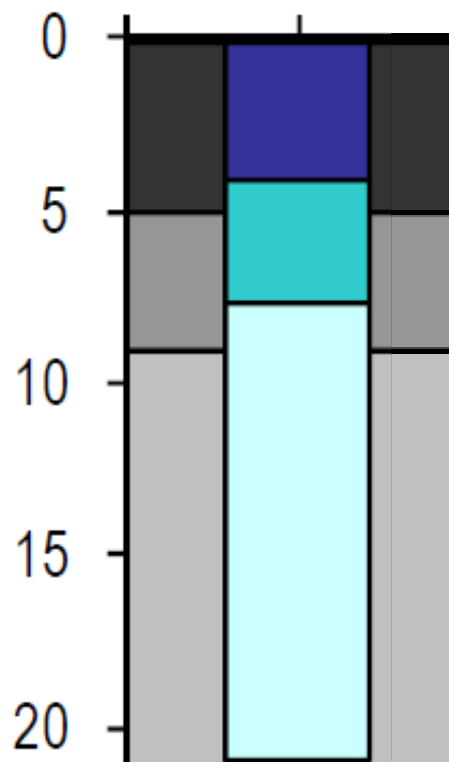
P1 = Considerando os dados de “partida”

P2 = Considerando uma redução do módulo da camada de mistura betuminosa do pavimento existente devido ao fendilhamento



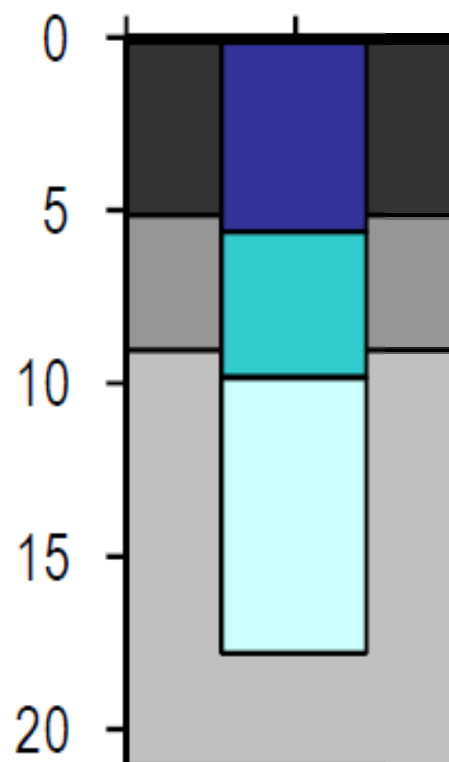
Esp [cm]

S6A



Esp [cm]

S15A



PROJETO REAL

Desgaste



Regularização

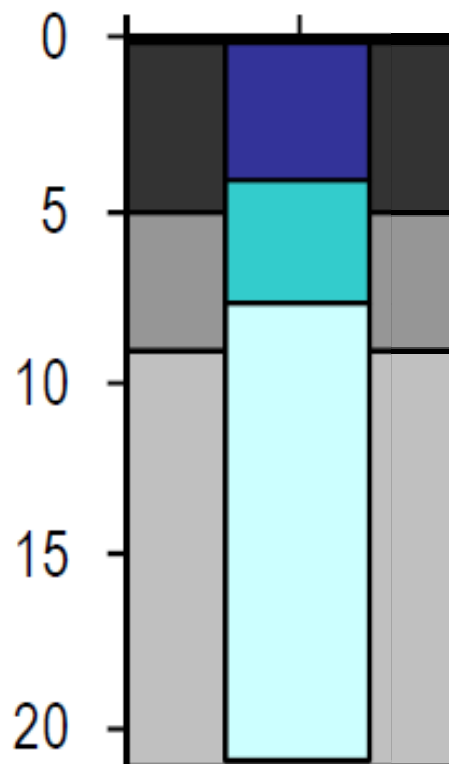


Existente



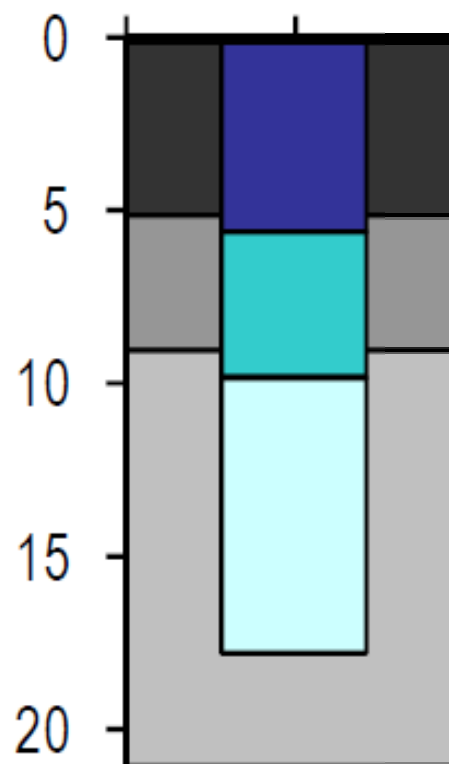
Esp [cm]

S6A



Esp [cm]

S15A



### PROJETO REAL

Desgaste



Regularização



Existente



hreforço = 8 a 12 cm

hexistente = 9 a 12 cm

Ebase/Efund =  
75/30 a 150/60 MPa

Vb = 9 a 12 %

### Influência da espessura do reforço na vida útil do pavimento

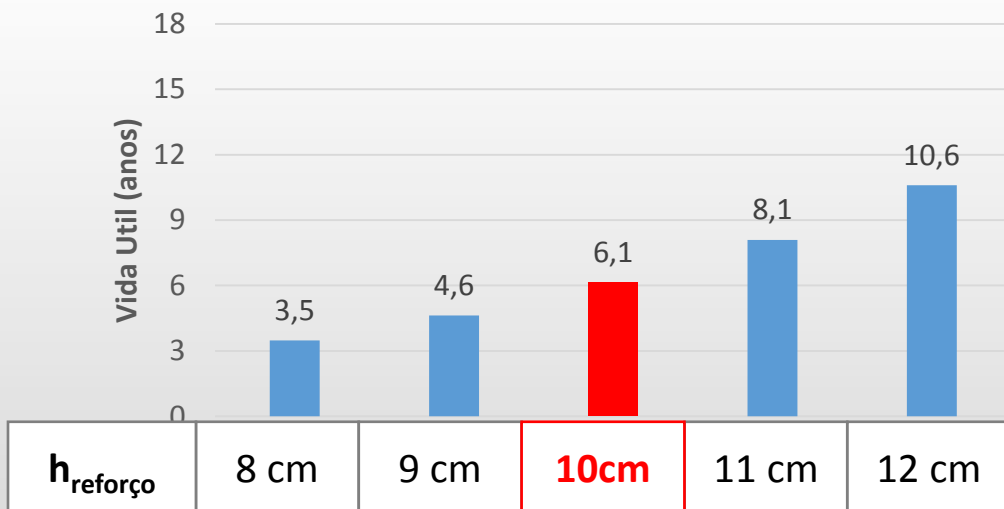
Critério de Dimensionamento: Limitação da extensão vertical de compressão na fundação

$\Delta$ Vida Útil = 7,1 anos

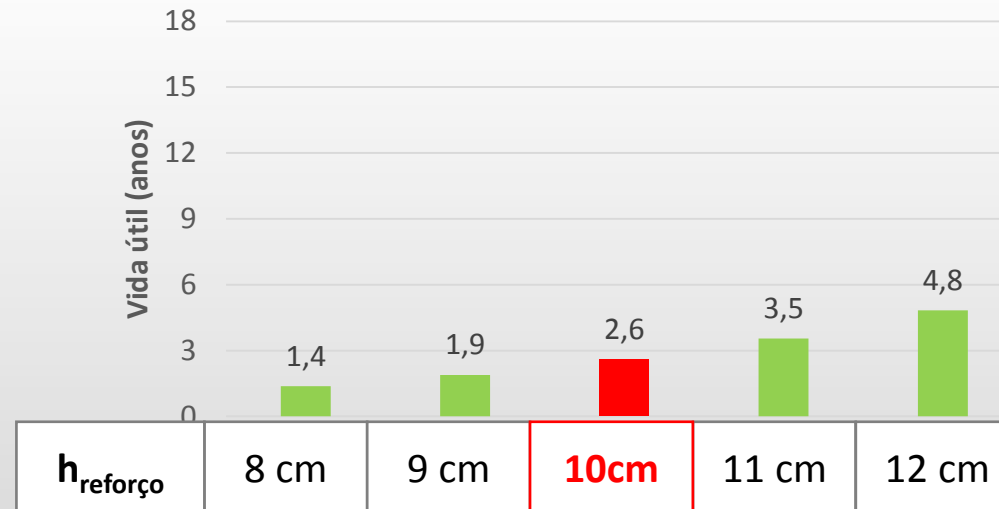
$h_{\text{reforço}} = 8 \text{ a } 12 \text{ cm}$

$\Delta$ Vida Útil = 3,4 anos

Variação da vida útil do pavimento função da espessura da camada de reforço



Variação da vida útil do pavimento função da espessura da camada de reforço





### Influência da espessura das camadas betuminosas existentes na vida útil do pavimento

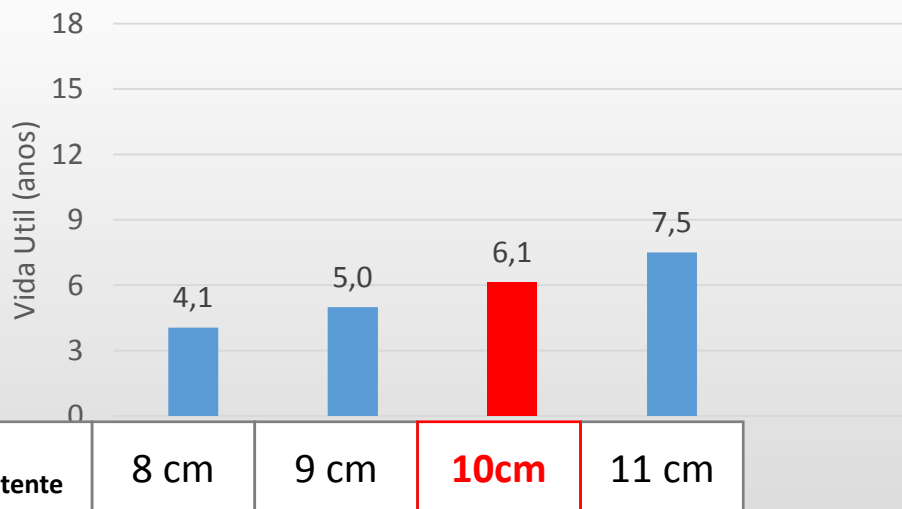
Critério de Dimensionamento: Limitação da extensão vertical de compressão na fundação

$\Delta$ Vida Útil = 3,4 anos

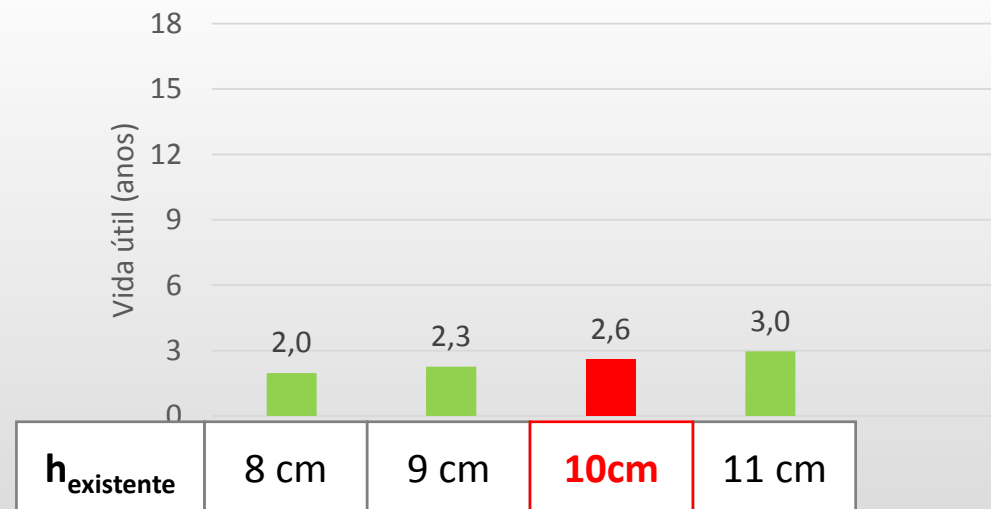
$h_{\text{existente}} = 9 \text{ a } 12 \text{ cm}$

$\Delta$ Vida Útil = 1,0 anos

Variação da vida útil do pavimento função da espessura da camada betuminosa existente



Variação da vida útil do pavimento função da espessura da camada betuminosa existente



## Influência dos módulos da base e da fundação na vida útil do pavimento

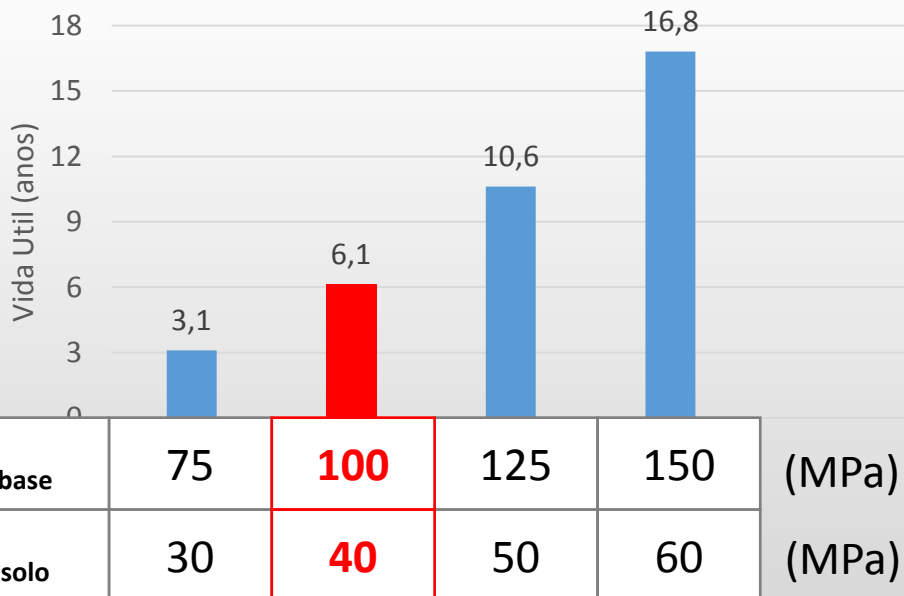
Critério de Dimensionamento: Limitação da extensão vertical de compressão na fundação

$\Delta$ Vida Útil = 13,7 anos

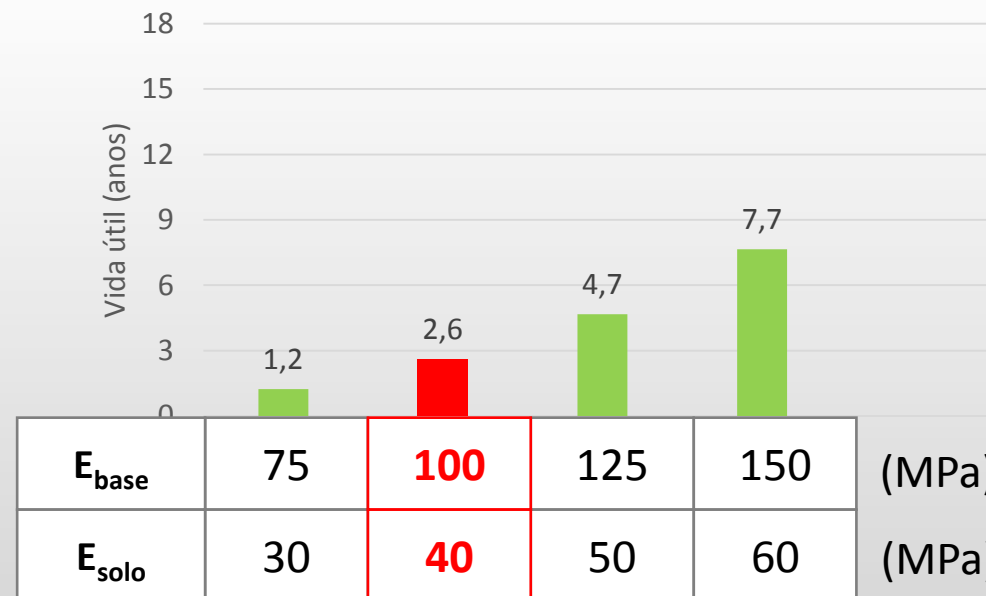
Ebase 75 a 150 MPa  
Efund = 30 a 60 MPa

$\Delta$ Vida Útil = 6,5 anos

Variação da vida útil do pavimento função dos módulos da base e solo de fundação

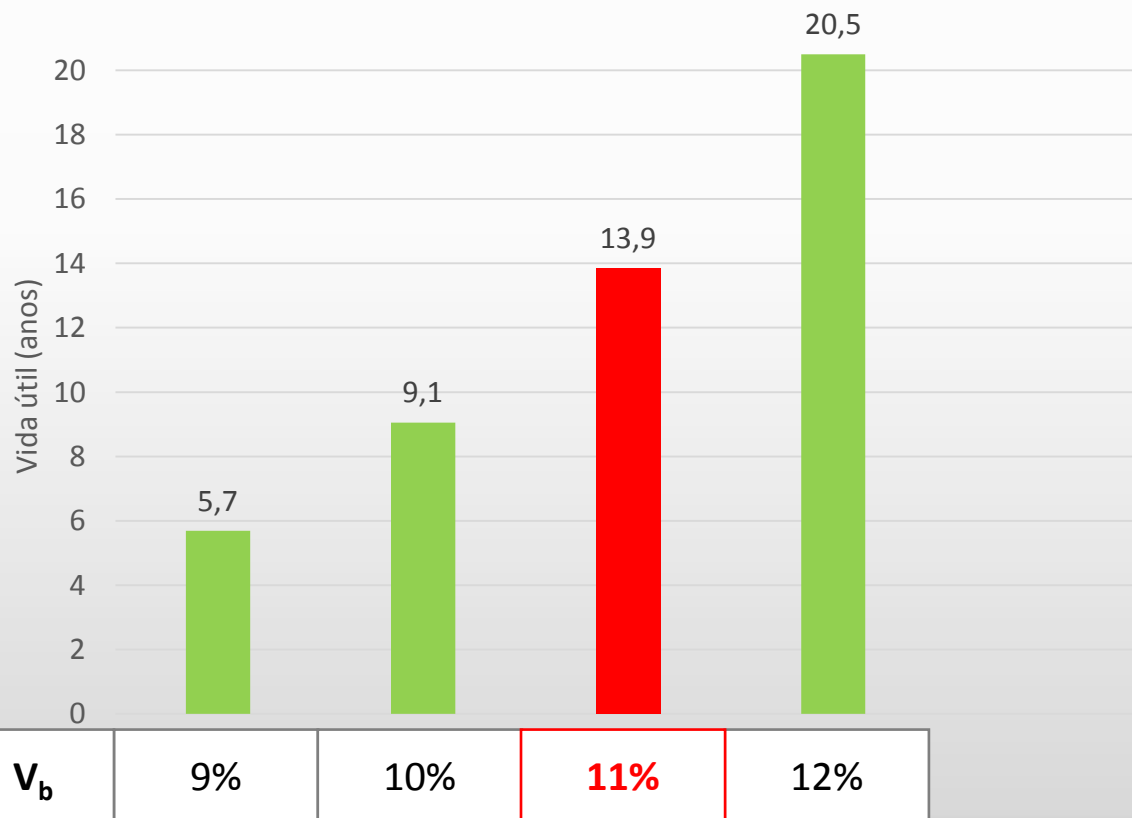


Variação da vida útil do pavimento função dos módulos da base e solo de fundação



### Influência da composição da mistura (reforço) na vida à fadiga

Variação da vida à fadiga da camada de reforço em função da % de betume



V<sub>b</sub> = 9 a 12 %

ΔVida Útil = 14,8 anos



## Conclusões

Importância da análise dos mecanismos de degradação como dado de partida para o projeto de reabilitação

Previsível evolução do comportamento mecânico das camadas degradadas do pavimento tem impactos significativos na verificação do dimensionamento

Impactos da variabilidade da construção no comportamento do pavimento reabilitado podem ser muito significativos

- Espessura das camadas de reforço
- Composição das misturas betuminosas
- Outros aspetos

## Recomendações

Estudos de sensibilidade referentes aos impactos da variabilidade na vida útil dos pavimentos:

- Avaliação dos custos ao longo do ciclo de vida para horizontes temporais superiores ao período de dimensionamento
- Aperfeiçoamento de critérios para estabelecimento de tolerâncias no fabrico e aplicação em obra
- Análise de risco para diferentes soluções