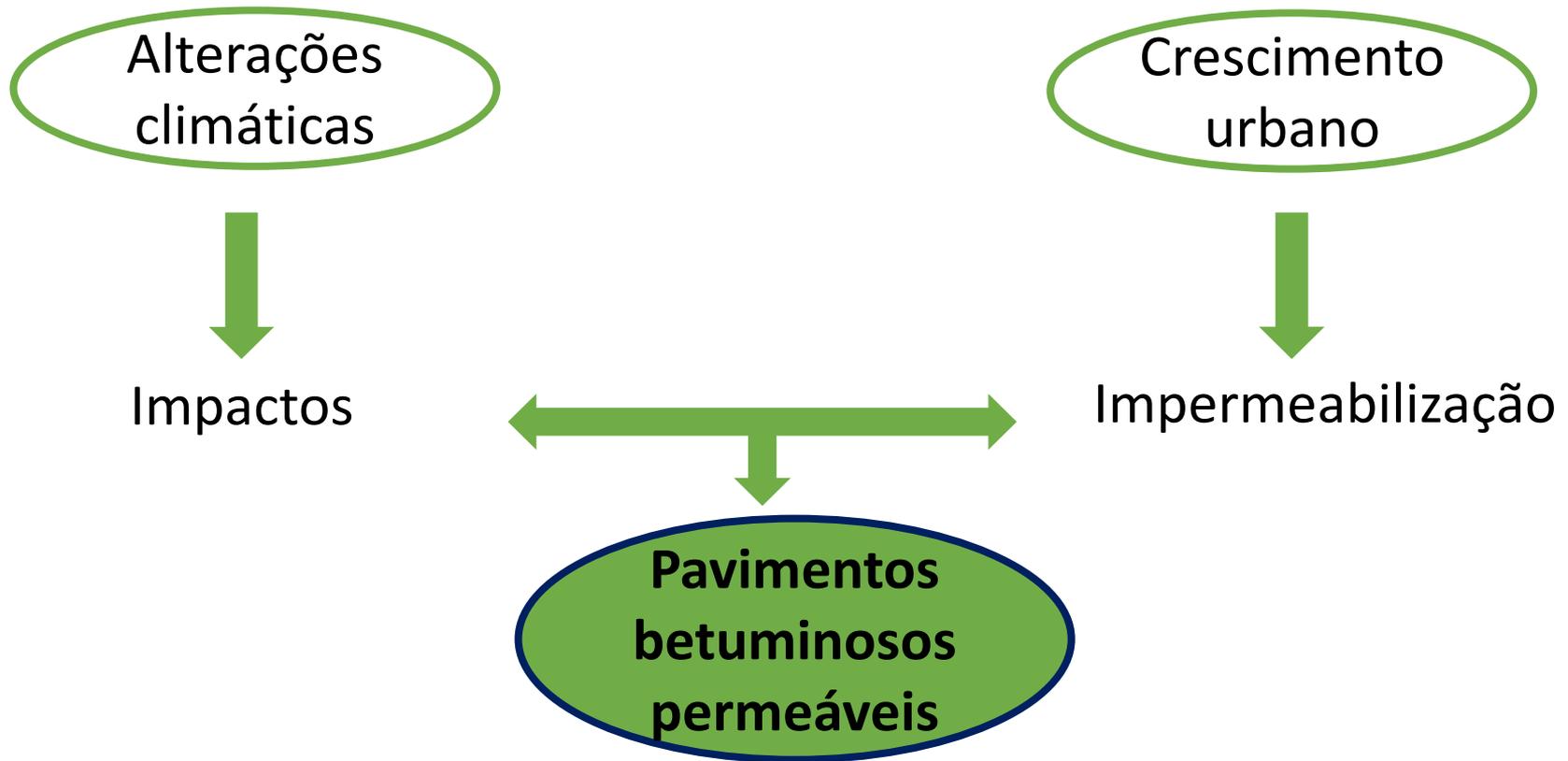


# **Materiais betuminosos eficientes: Sustentabilidade e desempenho**

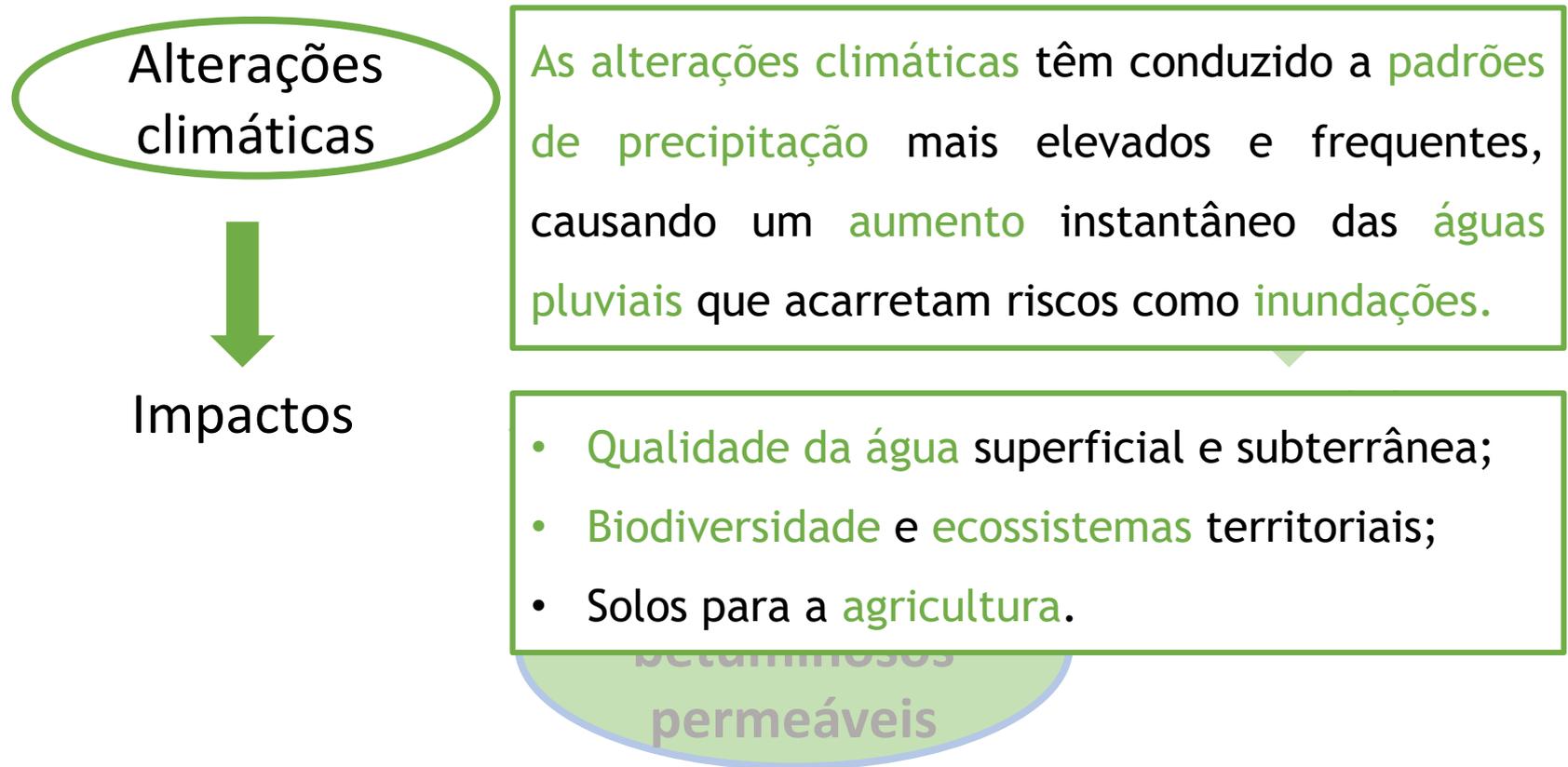
## **Pavimentos betuminosos permeáveis Formulação e Aplicação**

**Márcia Isabel Lopes Afonso  
Marisa Sofia Dinis de Almeida  
Cristina Maria Sena Fael**

## Enquadramento



## Enquadramento



## Enquadramento

Nas últimas décadas, a construção excessiva como consequência do crescimento demográfico tem levado ao aumento do número de edificações e de vias rodoviárias.

Crescimento urbano

Consequência: Diminuição da quantidade de água no solo

Impermeabilização

- Menos água disponível para as plantas
- Maior probabilidade de secas
- Necessidade de irrigação



## Enquadramento

Propriedades de elevada permeabilidade e porosidade (16-25%) na sua estrutura → permitem reduzir a taxa de escoamento superficial e aumentar da infiltração da água para o solo.



## Enquadramento

### Tipos de aplicação

- ✓ Parques de estacionamento
- ✓ Estradas residenciais e comerciais, zonas de descanso
- ✓ Acessos e caminhos pedonais
- ✓ Trilhos de BTT
- ✓ Percursos dos carros de golfe e equestres



Universidade de Rhode Island  
Kingston



Maine Mall Road in South Portland  
Oregon



Grey Towers National Historic Site  
Pensilvânia



Upper Darby,  
Pensilvânia

## Áreas de investigação

Objetivo: Analisar o desempenho de um **pavimento betuminoso permeável**, na mitigação às alterações climáticas, com aplicação em **zonas urbanas**.

### **Materiais - Pavimentos**

Formulação das misturas betuminosas e ensaios de desempenho mecânico e funcional.

### **Hidrologia Qualidade da água**

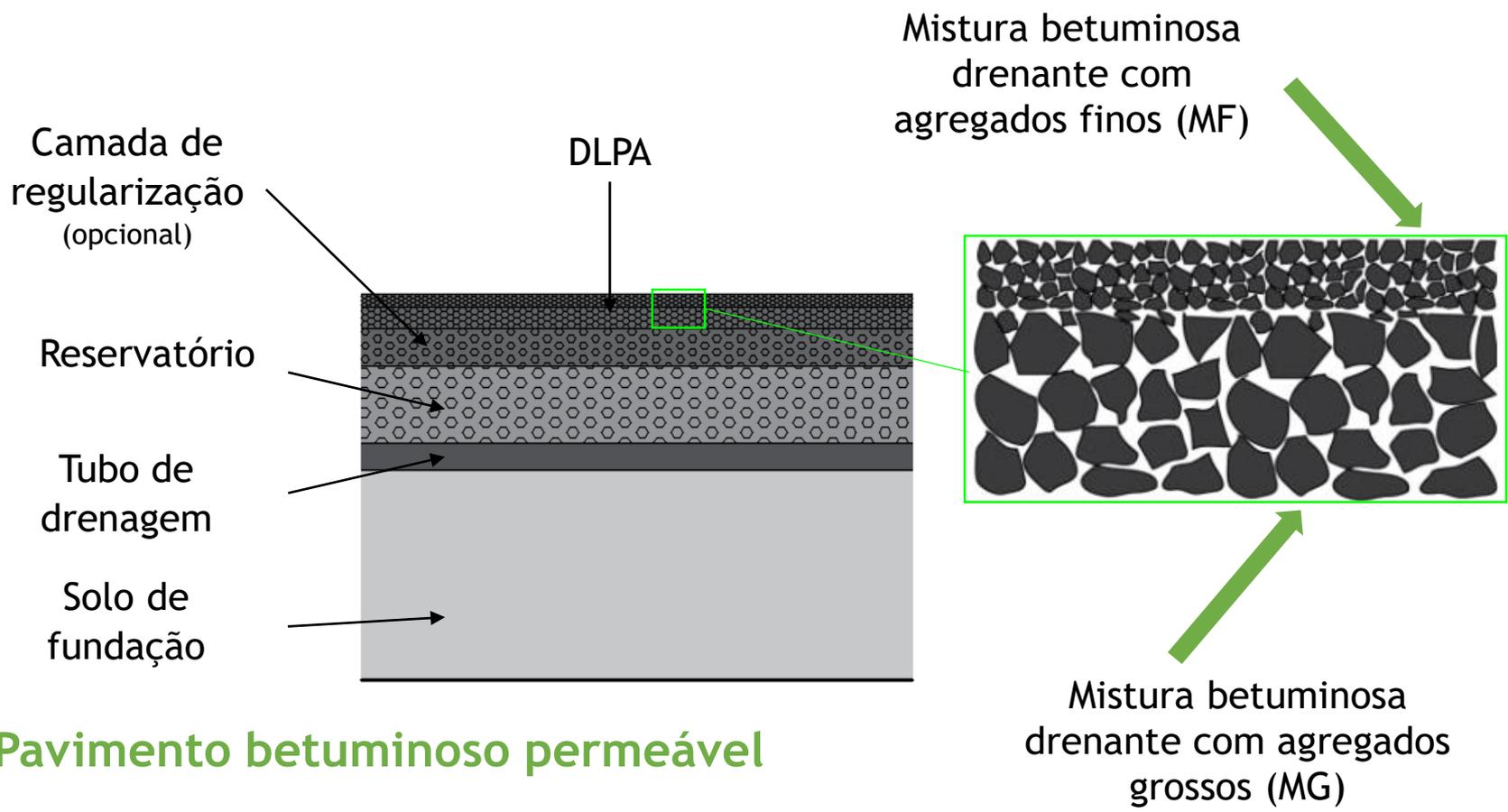
Estudo hidrológico da capacidade de infiltração e análise da qualidade da água.

# Metodologia



# Estrutura dos pavimentos permeáveis

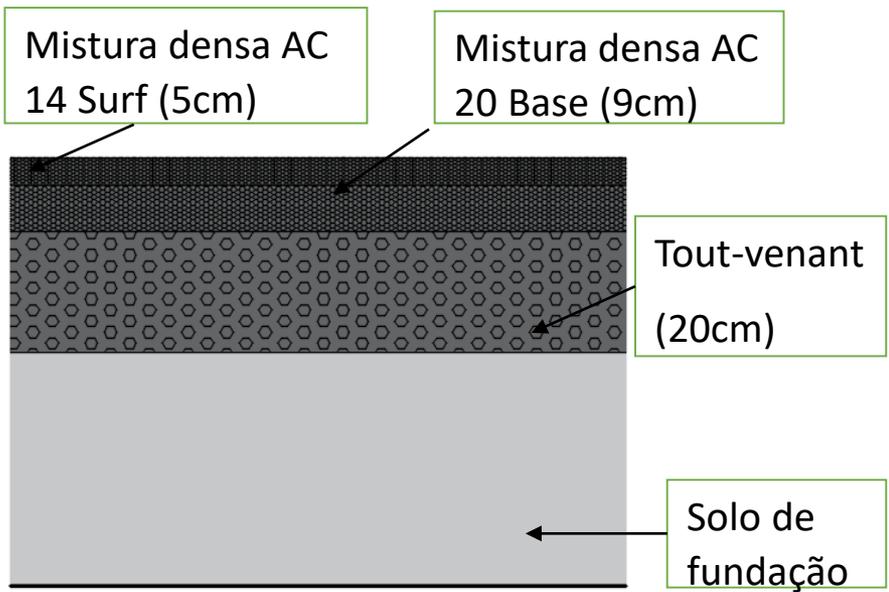
## Com dupla camada betuminosa drenante (DLPA)



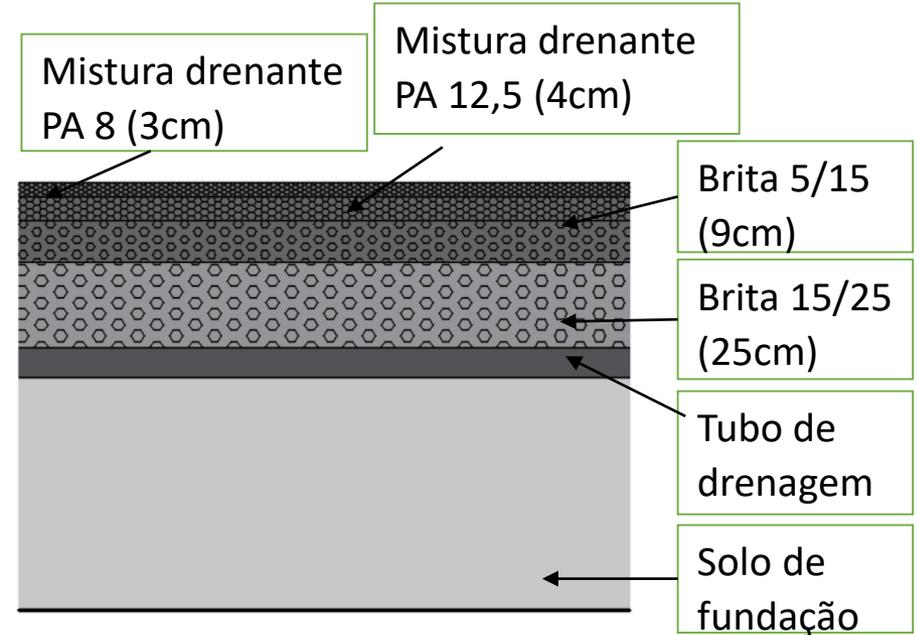
## Pavimento betuminoso permeável

# Estrutura dos pavimentos permeáveis

## Flexível convencional vs Permeável



Pavimento betuminoso **denso**



Pavimento betuminoso **permeável**

## Estrutura dos pavimentos permeáveis

### Flexível convencional vs Permeável

O desempenho da superfície dos pavimentos é um dos fatores mais importantes para os utilizadores, a saber:

- ✓ Resistência ao atrito
- ✓ Redução do ruído
- ✓ Boa visibilidade à noite
- ✓ Boa visibilidade durante períodos de chuva

Algumas vantagens conhecidas das misturas betuminosas drenantes estão relacionadas com:

- ✓ Boa resistência ao atrito
- ✓ Redução do ruído pelo contacto pneu/pavimento
- ✓ Redução dos efeitos de pulverização e spray sob condições húmidas

Misturas  
betuminosas  
densas



Misturas  
betuminosas  
drenantes



## Caracterização dos materiais

### Betumes

Ensaio	Norma	Betume tradicional 50/70	Betume modificado PMB 45/80 (Elaster 13/60, CEPSA)
Penetração (0,1 mm) 25 °C, 100g, 5 s	EN 1426	53	53
Temperatura de amolecimento (°C)	EN 1427	49,7	63,2
Recuperação elástica (%) 25 °C	EN 13398	—	> 70

Misturas betuminosas densas

Misturas betuminosas drenantes

Misturas betuminosas drenantes

## Caracterização dos materiais

### Fibras celulósicas



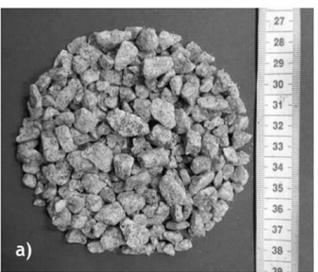
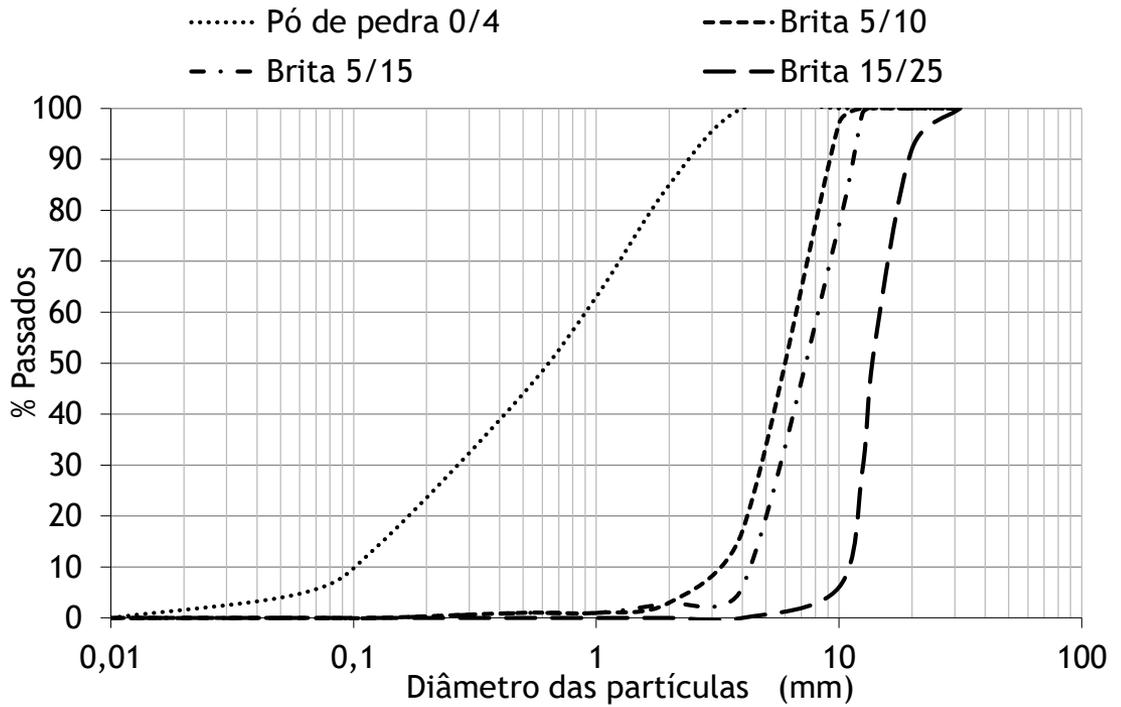
Viatop Premium, JRS

Misturas  
betuminosas  
drenantes

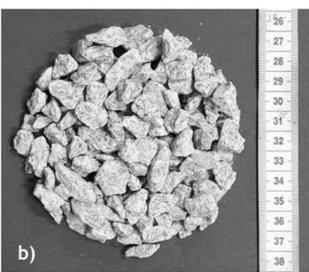
Características do granulado	
Aspeto	Grânulos cilíndricos
Conteúdo de fibras	87 a 93 %
Comprimento médio dos grânulos	2 a 8 mm
Diâmetro médio dos grânulos	5 ± 1 mm
Densidade aparente	440 a 520 g/l
Análise granulométrica, # < 4,5 mm	máx. 10 %
Características do betume incluído no granulado	
Penetração (EN 1426) a 25 °C	50/70 (0,1 mm)
Temperatura de amolecimento (EN 1427)	46/54 °C
Características da fibra	
Composição básica	Fibra de celulose técnica
Conteúdo em celulose	80 ± 5 %
Valor do pH (5 g/100 ml)	7,5 ± 1,0
Comprimento médio da fibra	1100 µm
Diâmetro médio da fibra	45 µm

# Caracterização dos materiais

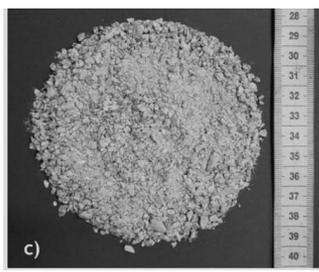
## Agregados



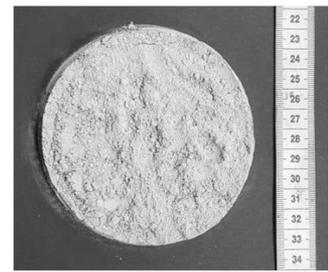
Brita 5/10



Brita 5/15



Pó de pedra 0/4



Cal hidráulica

## Trabalhos laboratoriais

### Formulação das misturas betuminosas - Composição das misturas

#### Misturas betuminosas densas



Material	MD (AC 14 Surf)	MB (AC 20 Base)
Betume 50/70	<b>5,3 %</b>	<b>4,8 %</b>
Cal hidráulica	3 %	3 %
Pó de pedra 0/4	35 %	35 %
Brita 5/15	62 %	37 %
Brita 15/25	—	25 %

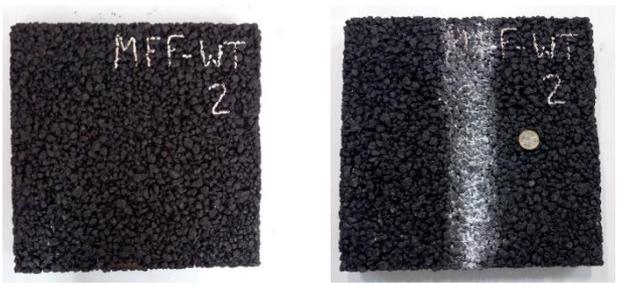
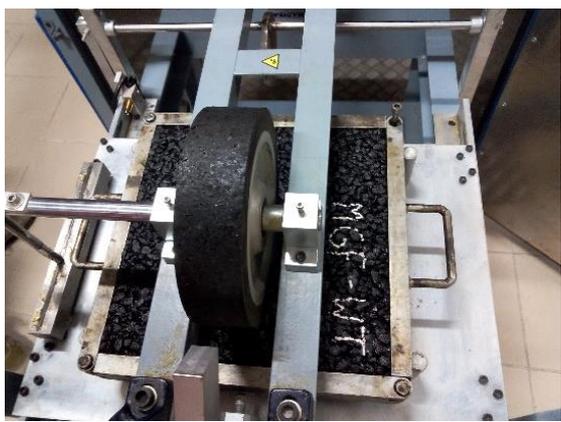
#### Misturas betuminosas drenantes



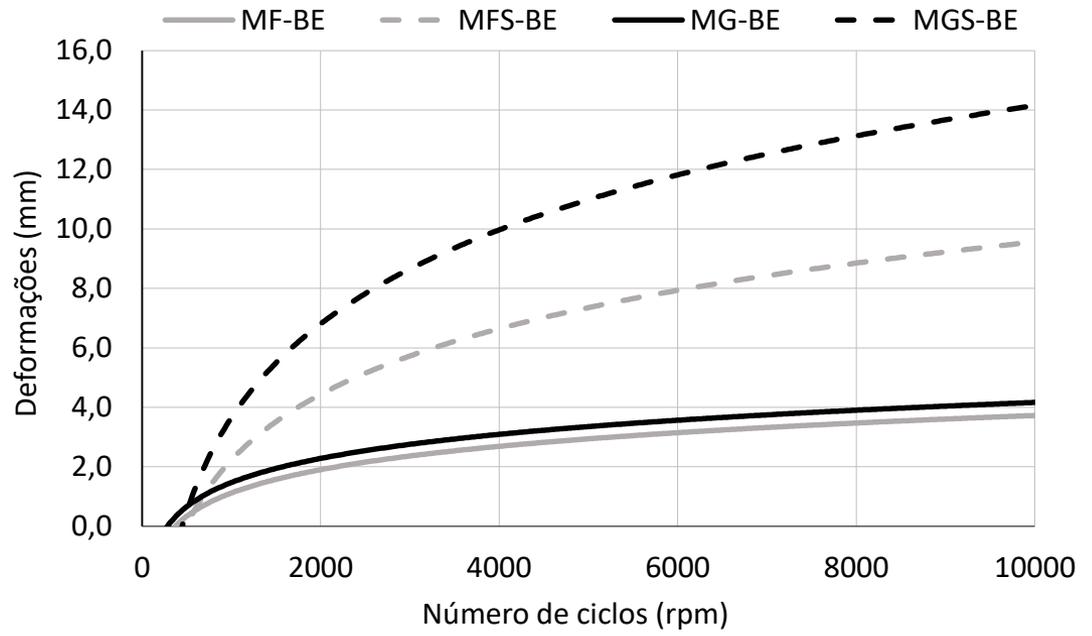
Material	MF-BE	MF	MG-BE	MG
<b>Betume Elaster PMB 45/80-60</b>	<b>5,2 %</b>	—	<b>5,1%</b>	—
Betume 50/70	—	<b>5,2 %</b>	—	<b>4,6 %</b>
Cal hidráulica	2 %	2 %	2 %	2 %
Pó de pedra 0/4	8 %	8 %	4 %	4 %
Brita 5/15	—	—	94 %	94 %
Brita 5/10	90 %	90 %	—	—
<b>Fibras Viatop Premium</b>	0,5 %	0,5 %	0,5 %	0,5 %
<b>Porosidade</b>	<b>16,6 %</b>	<b>16,6 %</b>	<b>18,6 %</b>	<b>19,0 %</b>

# Trabalhos laboratoriais

## Desempenho mecânico - Ensaio de deformação permanente



Wheel tracking e lajetas antes e depois do ensaio



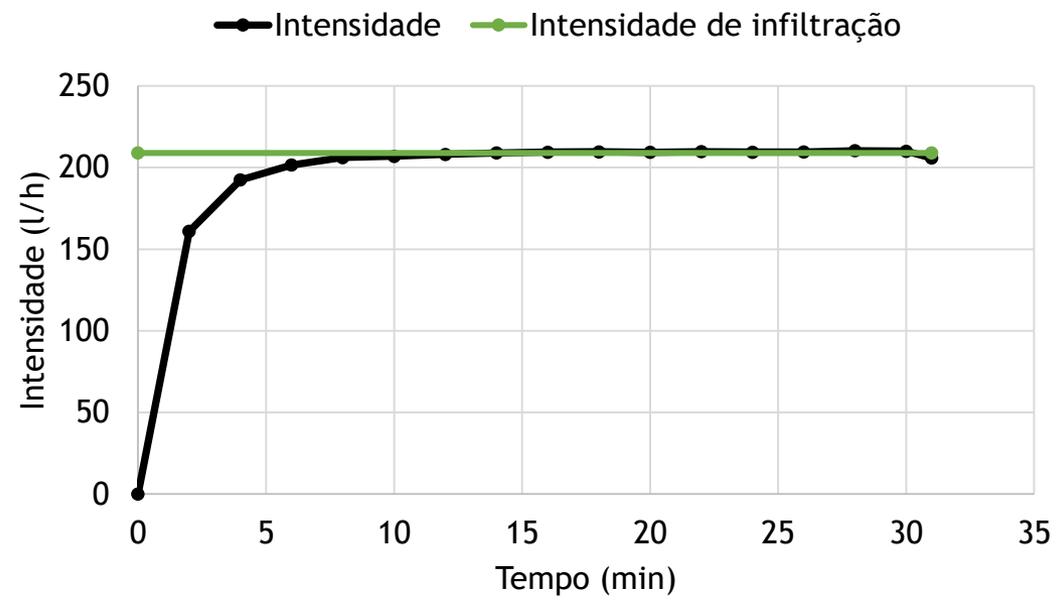
Deformação máxima das lajetas

# Trabalhos laboratoriais

## Desempenho hidrológico - Ensaio de infiltração



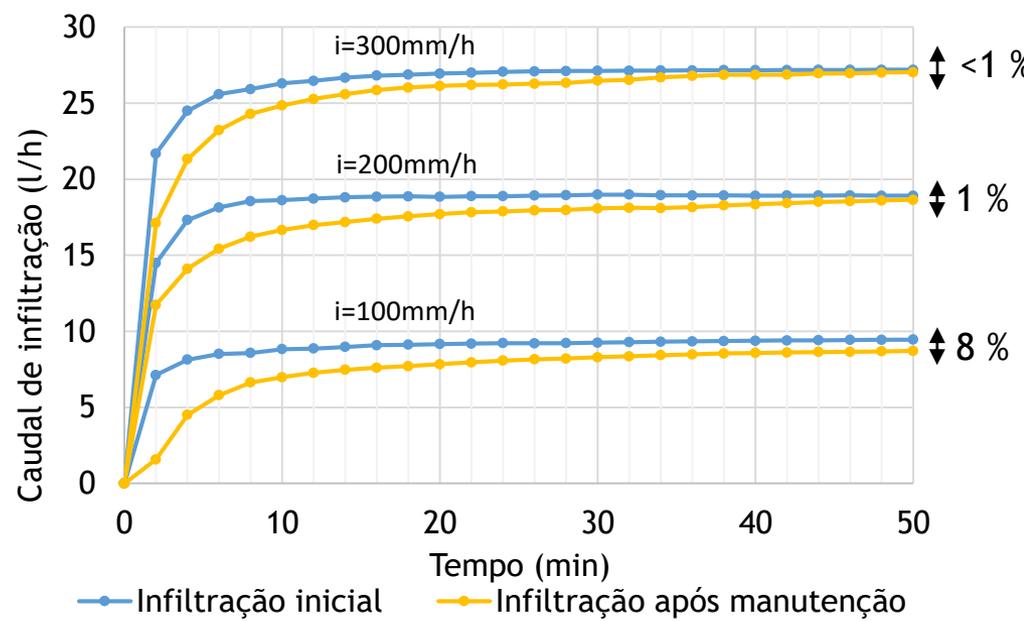
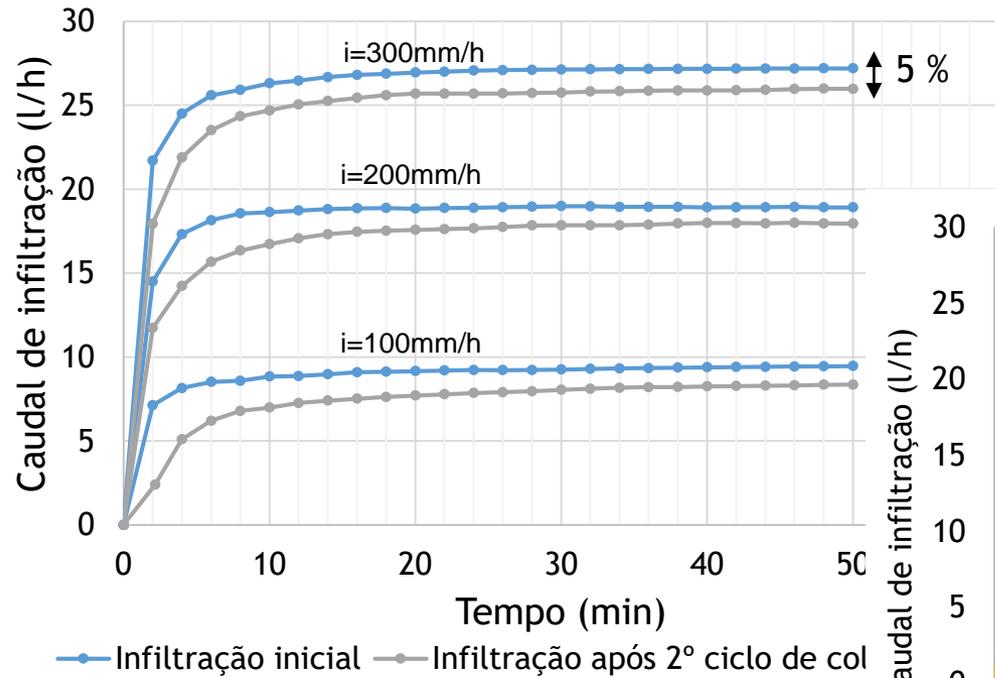
Molde desenvolvido para ensaio de infiltração



Hidrograma de infiltração para uma precipitação de 200 mm/h

# Trabalhos laboratoriais

## Desempenho hidrológico - Ensaio de infiltração



# Troços experimentais

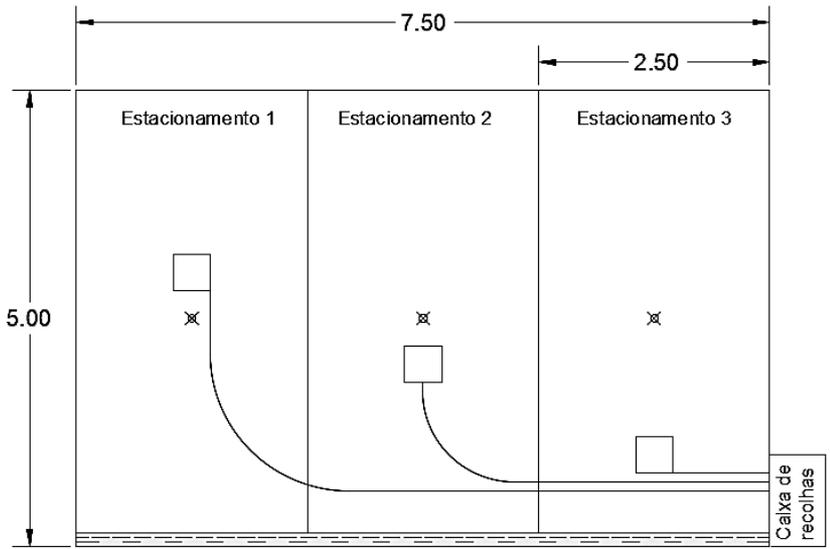
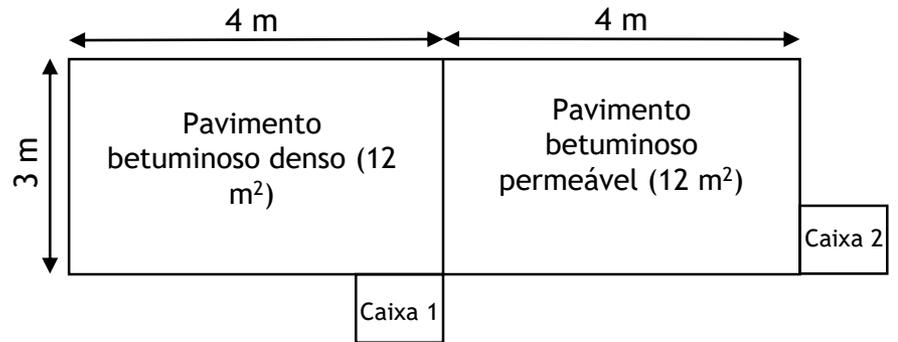
## Apreciação da área - Localização



Capinha

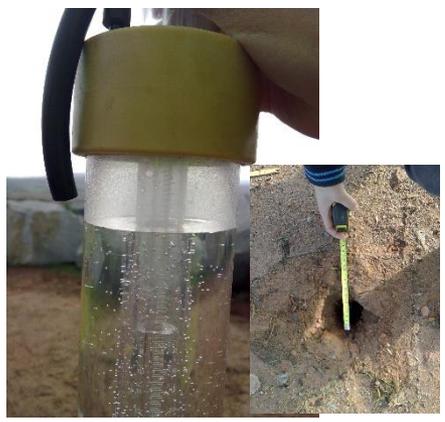


Boidobra



# Troços experimentais

## Solo de fundação - Caracterização in situ



Ensaio *in situ* com o Permeômetro de *Guelph*



Ensaio *in situ* com o Permeômetro de carga variável

## Troços experimentais

### Construção do troço experimental 2 na Boidobra



Escavação do terreno



Colocação do dreno



Colocação dos tubos de PVC de ligação à caixa de recolhas

## Troços experimentais

### Construção do troço experimental 2 na Boidobra



Aplicação das camadas de agregados soltos



Compactação das camadas de agregados



Aplicação das camadas de misturas betuminosas drenantes

## Troços experimentais

### Construção do troço experimental 2 na Boidobra



Compactação das camadas betuminosas drenantes



Construção da caixa de recolhas de águas



Aplicação de caneleta com grelha para águas do escoamento superficial

## Troços experimentais

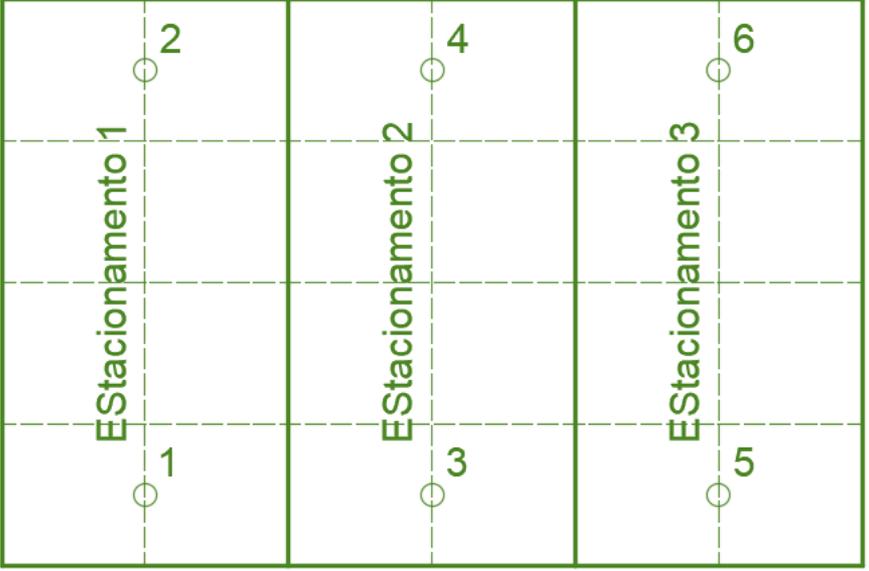
### Construção do troço experimental 2 na Boidobra



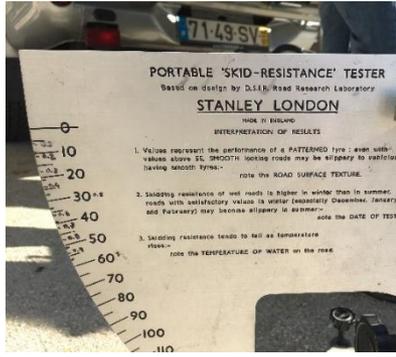
Vista geral do troço experimental

# Desempenho em campo do pavimento

## Ensaio de resistência ao atrito e textura

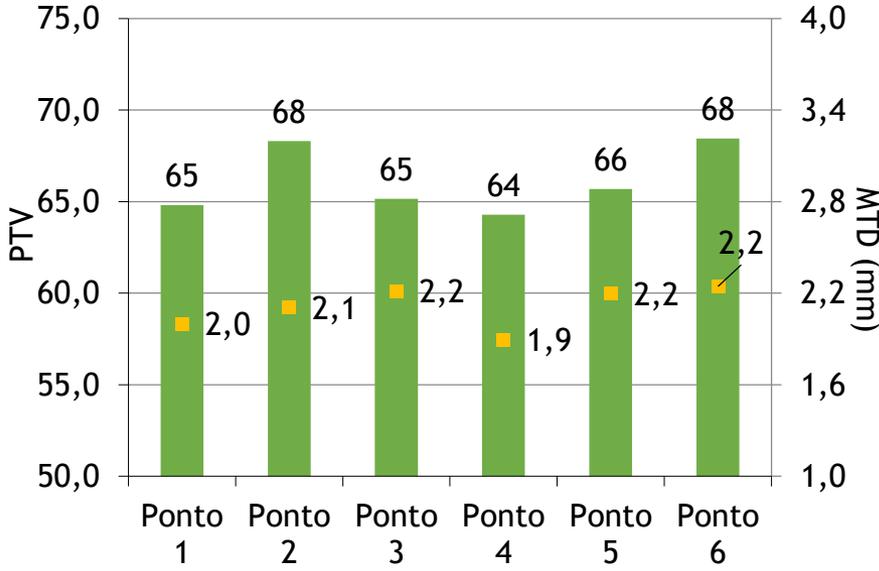
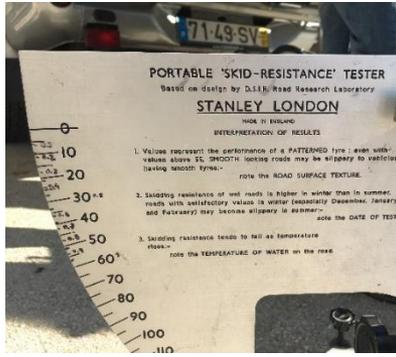


Pontos de ensaio nos três estacionamentos



# Desempenho em campo do pavimento

## Ensaio de resistência ao atrito e textura



PTV ≥ 60 ✓

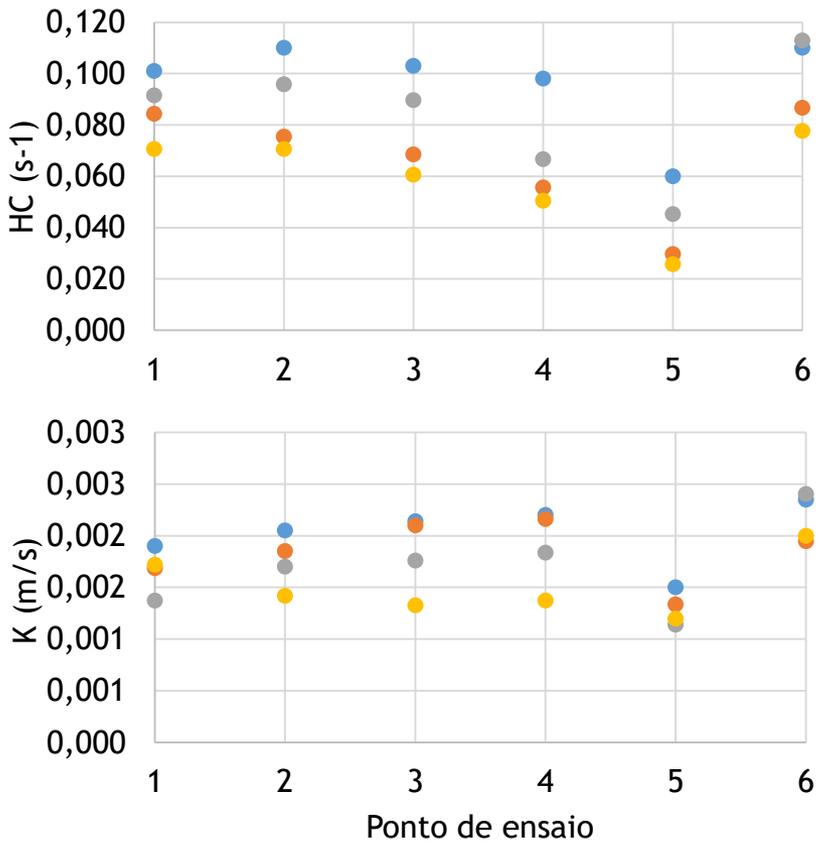
MTD > 1,2 mm ✓

# Desempenho em campo do pavimento

## Ensaio de permeabilidade



Permeâmetro LCS NLT 327



Permeâmetro EN 12697-40

## Desempenho em campo do pavimento

### Ensaio de qualidade da água



Recolha do escoamento superficial



Recolha da água infiltrada

#### Pontos de recolha

- ✓ Infiltração do dreno
- ✓ Escoamento superficial
- ✓ Caixa de recolha A
- ✓ Caixa de recolha B
- ✓ Caixa de recolha C

#### Valores para descargas de águas residuais

Decreto-Lei n.º 236/98 de 1  
de Agosto (1998)

#### Parâmetros analisados

- Valor do pH
- Temperatura
- Oxigénio dissolvido
- Condutividade
- TOC, CQO, N-NH<sub>4</sub>, N-NO<sub>3</sub>,  
P-PO<sub>4</sub>, ST, SST E SVT
- Metais pesados
- Compostos inorgânicos
- Hidrocarbonetos totais
- Azoto total

## Comparação de custos

### Pavimentos aplicados nesta investigação

	Pavimento tradicional		Pavimento Betuminoso Permeável			
	MD	MB	MFS	MF	MGS	MG
	AC14Surf	AC20Base	PA8	PA8	PA12,5	PA12,5
Espessura (m)	0,05	0,09	0,03	0,03	0,04	0,04
* CUSTO €/m <sup>2</sup>	6,45	10,83	3,36	3,77	3,85	4,37

\* Para todas as misturas foram considerados: matéria-prima, mão-de-obra e custos gerais de fabrico.



Márcia Isabel Lopes Afonso

