

MODELAÇÃO NUMÉRICA DISCRETA DE MATERIAIS COM O VIRTUALPM3DLAB

Eng.º Gustavo Câmara, Investigador Auxiliar no LNEC – Departamento de Transportes

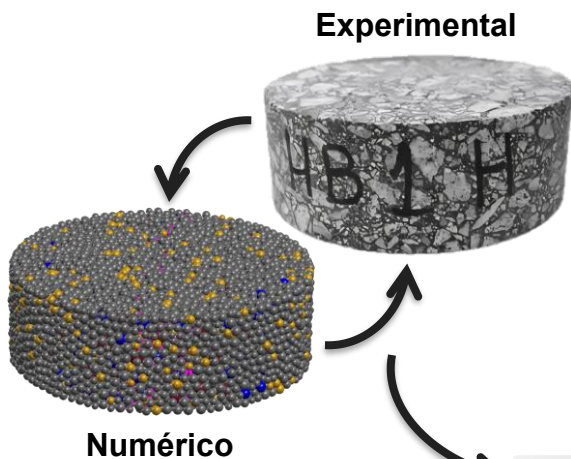


Introdução



Desenvolvimento e desafios

Ferramenta numérica



→ Representação de modelos mais complexos

→ Representação realista de materiais (ex. agregados)

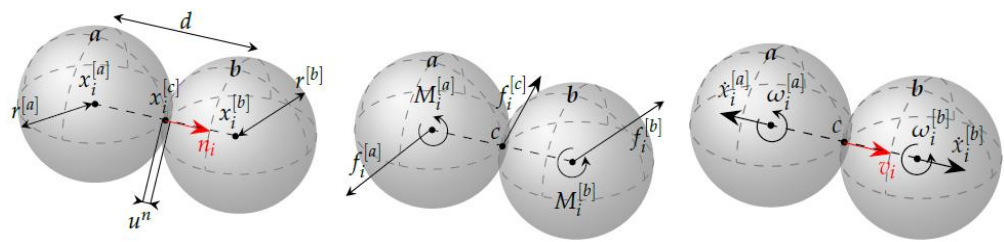
→ Número de partículas para representar os materiais

→ Busca de novas interações durante simulações

→ 2D vs. 3D

→ Resultados experimentais para validação dos modelos

Atuação em conjunto ?



Tridimensional

VirtualPM3DLab

Classes

- Melhorar a caracterização dos materiais
- Desenvolver tecnologias sustentáveis
- Melhorar a representação das interações dos materiais

---> **DEM Model:** Ciclo operacional

---> **Particle3D:** Propriedades das partículas

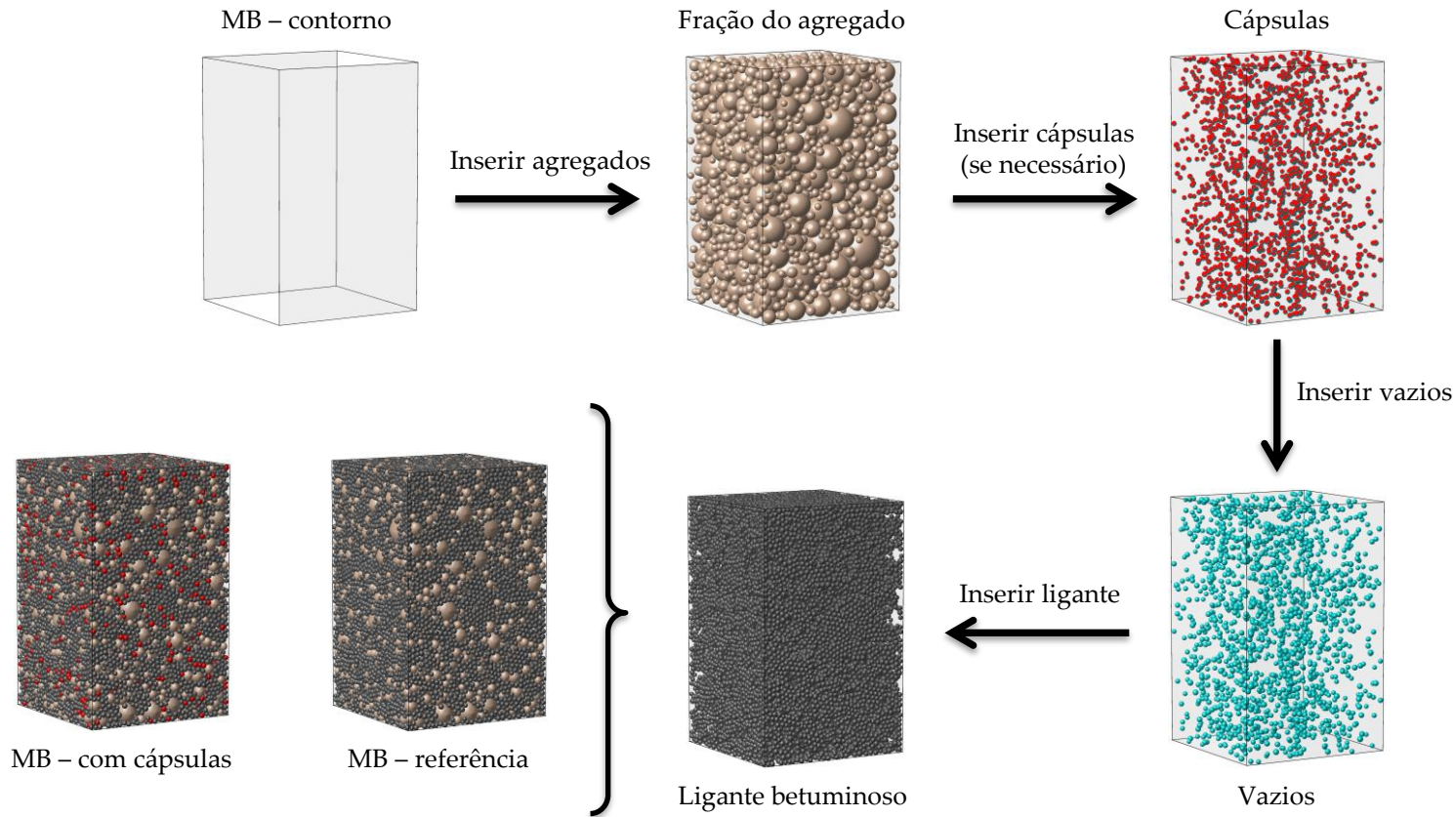
---> **Polyhedral Particle3D:** Propriedades das paredes

---> **Particle-Particle Contact:** Contactos entre partículas

---> **Particle-Wall Contact:** Contactos entre partículas e paredes

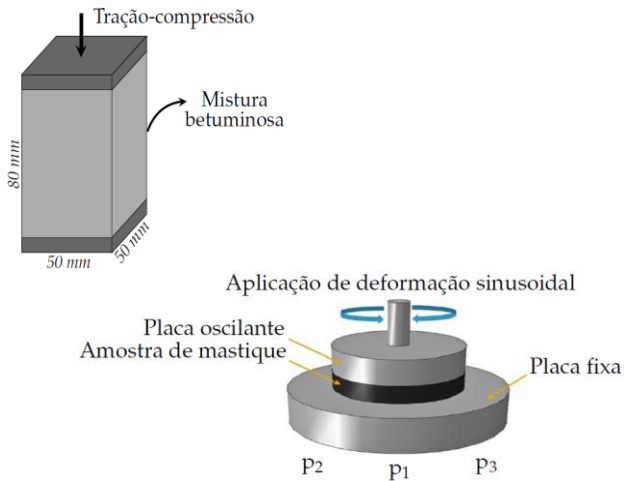
---> **Input and Output:** Leitura de dados do modelo MED e geração de ficheiros de saída

Geração das misturas betuminosas



Comportamento viscoelástico

VirtualPM3DLab



Casos:

→ **Caso 1:** Mistura betuminosa em ensaios tração-compressão

→ **Caso 2:** Mastiques betuminosos envelhecidos com e sem rejuvenescedor (óleo de girassol) em ensaios reómetro de corte dinâmico

→ Validação experimental

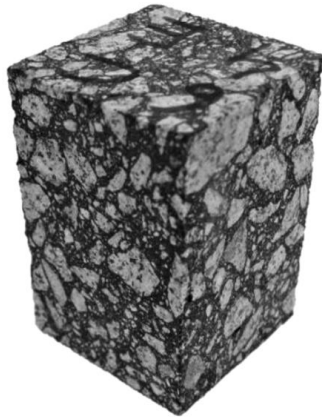
→ Análise comparativa com modelos tradicionalmente adotados

Comportamento viscoelástico

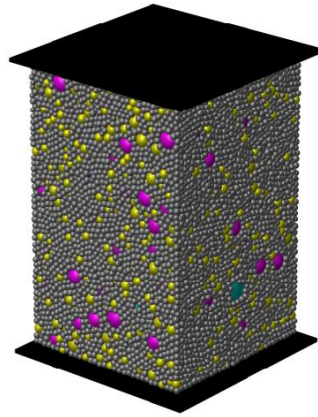
→ **Caso 1:** Mistura betuminosa em ensaios tração-compressão



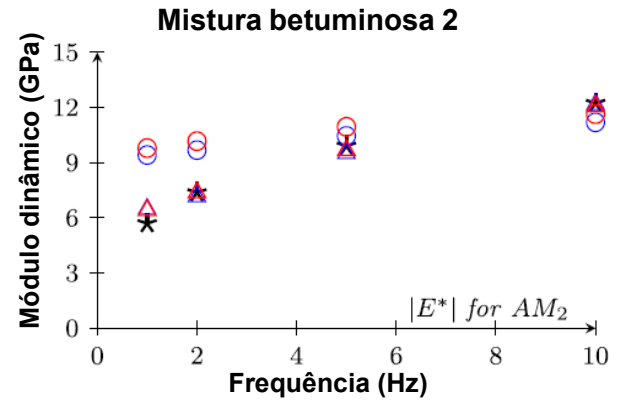
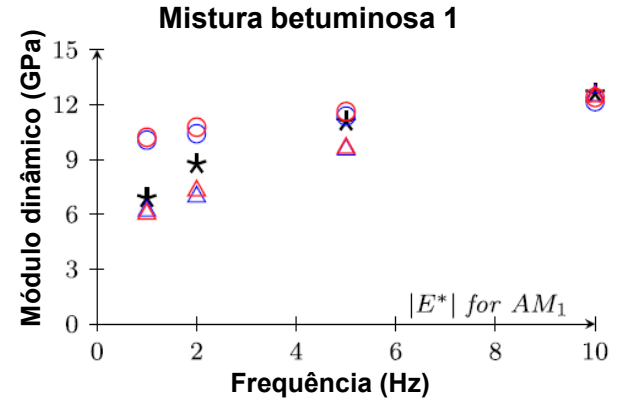
→ Análise das interações entre agregados e ligante



MB – provete experimental



MB – provete numérico

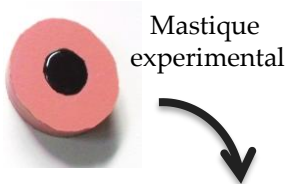


★ Experimental △ GK model △ Burgers model
 ○ Elastic model (κ_m - Burgers) ○ Elastic model (κ_m - GK)

Comportamento viscoelástico

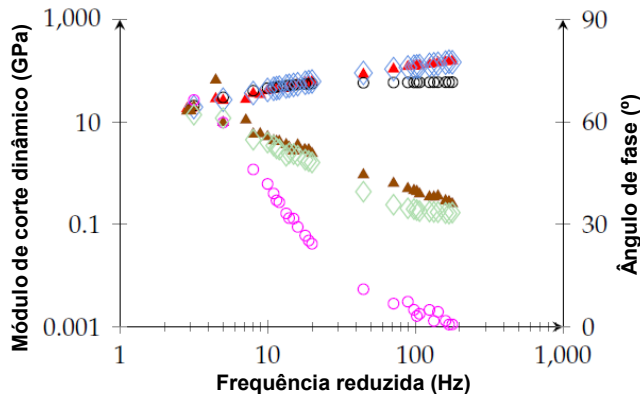
0; 2.5; 5; 10; 20 wt.%

→ **Caso 2:** Mastiques envelhecidos com/sem rejuvenescedor em reômetro

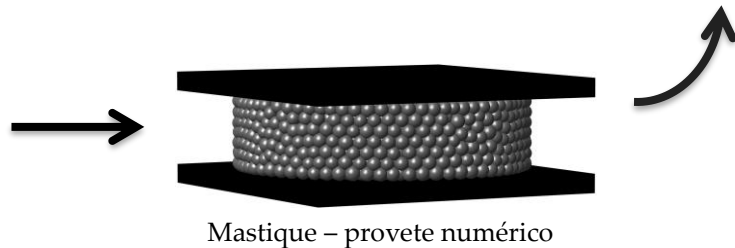
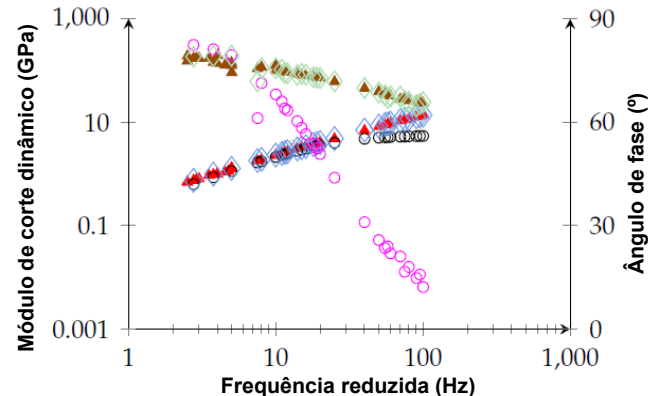


DSR - equipamento

Mastique – 0% óleo



Mastique – 10% óleo



- ▲ Laboratório - $|G^*|$
- MED modelo Burgers - $|G^*|$
- ◇ MED modelo Kelvin generalizado - $|G^*|$
- ▲ Laboratório - ϕ
- MED modelo Burgers - ϕ
- ◇ MED modelo Kelvin generalizado - ϕ

Comportamento do dano

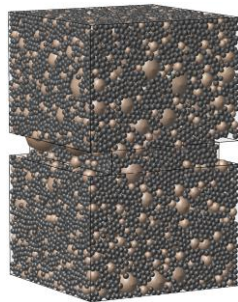
→ Mistura betuminosa em ensaios de tração



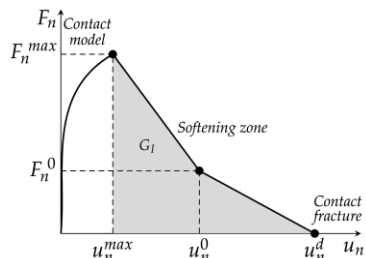
→ Análise das interações entre agregados e ligante



MB – experimental



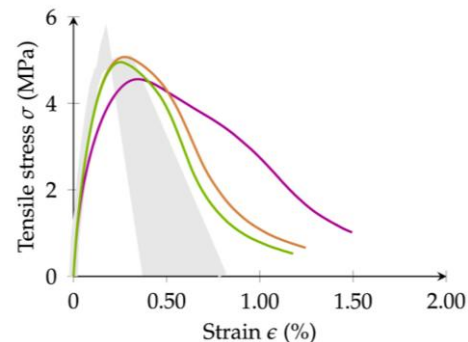
MB – numérico



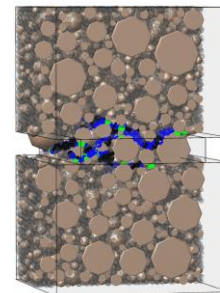
Modelo de enfraquecimento bilinear



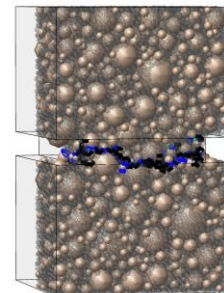
MB após teste



Tensão x deformação



Secção 1

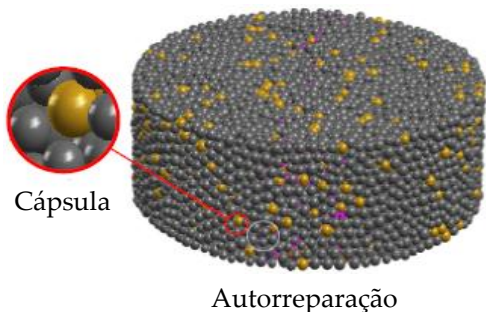


Secção 2

MB numérico após simulação

Tecnologia e sustentabilidade

VirtualPM3DLab

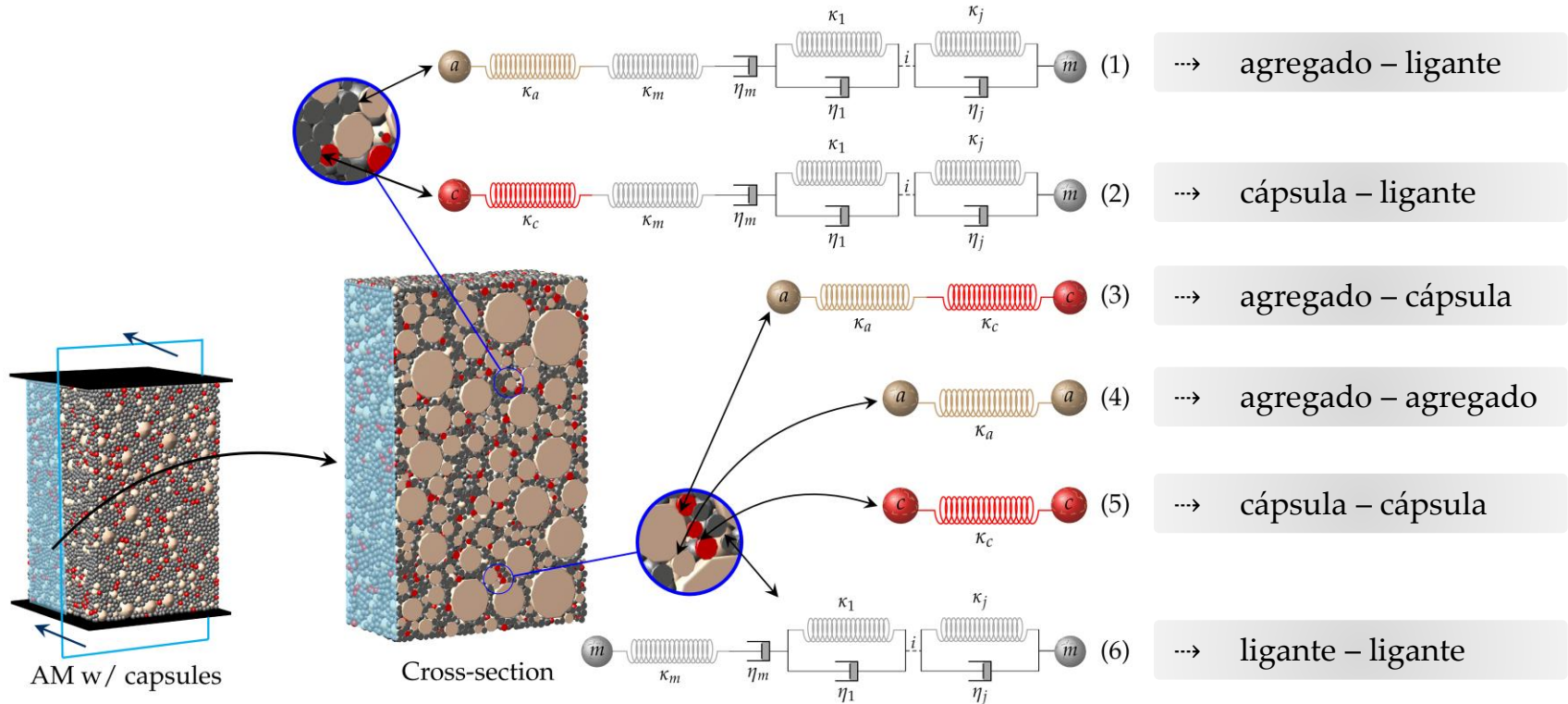


Misturas betuminosas autorreparáveis com cápsulas

→ **Caso 1: Estado reparado:** rejuvenescedor reparou qualquer dano existente na mistura betuminosa (diferentes percentuais de capsulas) – rigidez

→ **Caso 2: Pré-ativação:** impacto da incorporação de cápsulas em misturas betuminosas, sem atuação de rejuvenescedor – rigidez e tensão de tração

Tecnologia e sustentabilidade

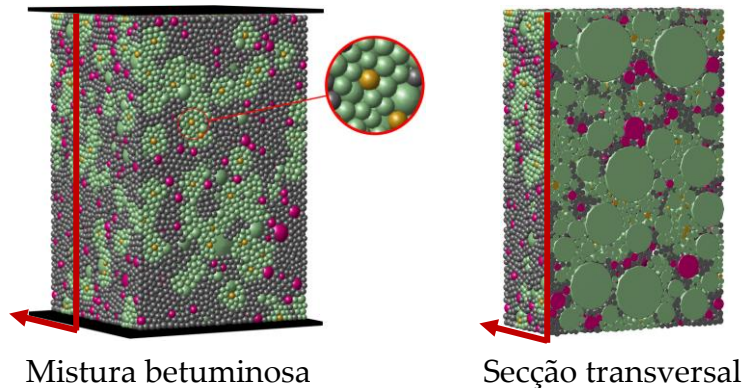


Representação dos contactos adotados para as diferentes interações numa mistura betuminosa com cápsulas

Tecnologia e sustentabilidade

→ Caso 1

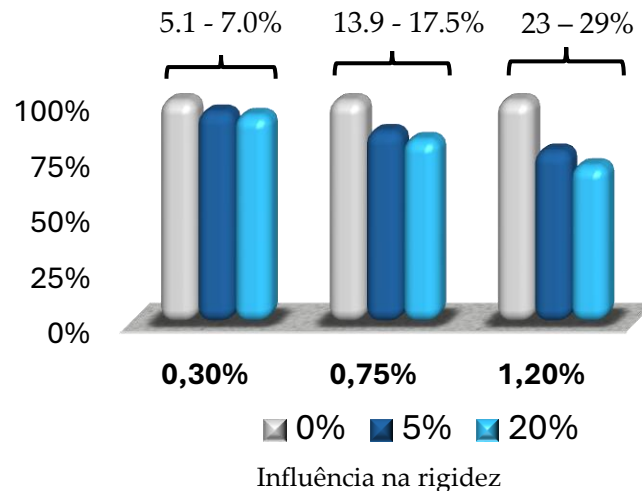
→ Cápsulas ativadas: 0.30, 0.75, 1.20 wt.%



● Partícula afetada pela cápsula ativada.

● Partícula de mastique modificada (cápsula ativada).

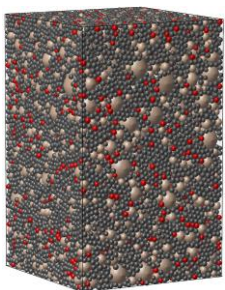
MB com partículas de mastique modificadas – 0.75 wt.%



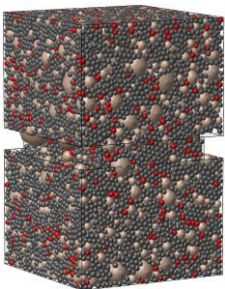
Tecnologia e sustentabilidade

→ Caso 2

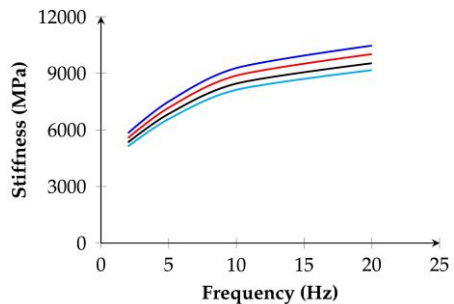
→ Cápsulas: 0.30, 0.75, 1.25 wt.%



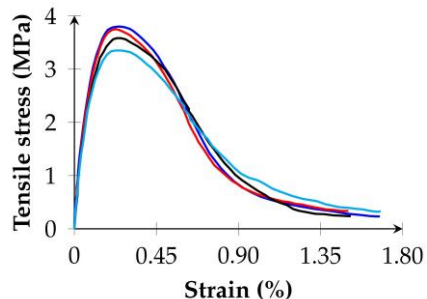
MB com cápsulas



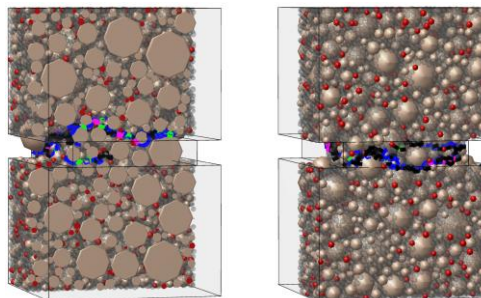
MB com cápsulas



Influência na rigidez



Influência na tensão de tração

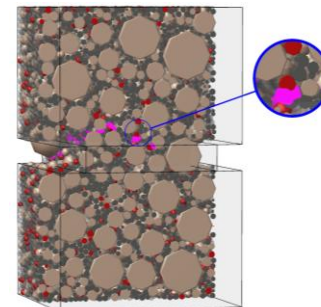


Secção 1

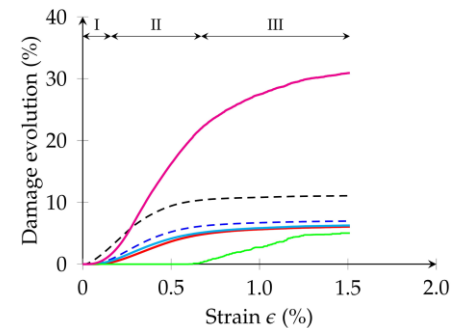
Secção 2

MB 0.75 wt. %

MB após simulação: evolução do dano



MB 0.75 wt. % - dano nas cápsulas



MB 0.75 wt. %

- aggregate-mastic
- capsule contacts
- aggregate-aggregate
- Overall damage
- mastic-mastic
- Notch zone damage

Próximos desafios

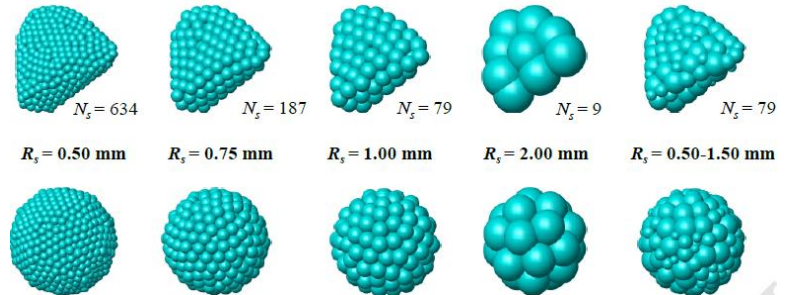
VirtualPM3DLab

---> Análise crítica do sistema mistura betuminosa com cápsulas

---> Aprofundar a modelação do seu efeito

---> Representação dos agregados (ex. geometria)

---> Custo computacional vs. melhores resultados



OBRIGADO!

CONTACTOS

gcamara@lnec.pt

+351 218 443970

[linkedin.com/gustavofmcamara](https://www.linkedin.com/gustavofmcamara)



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

