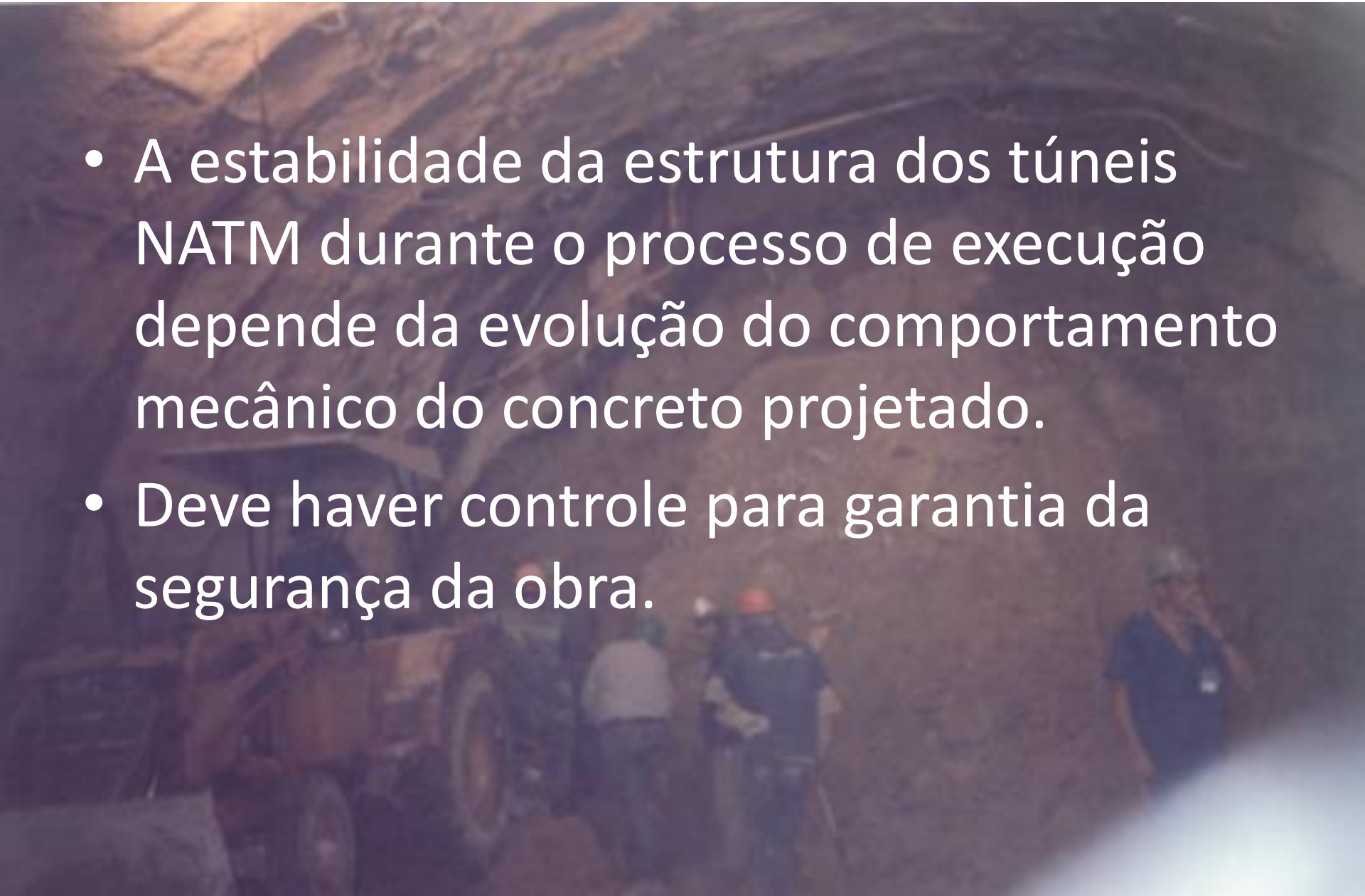


Metodologias de Avaliação do Concreto Projetado

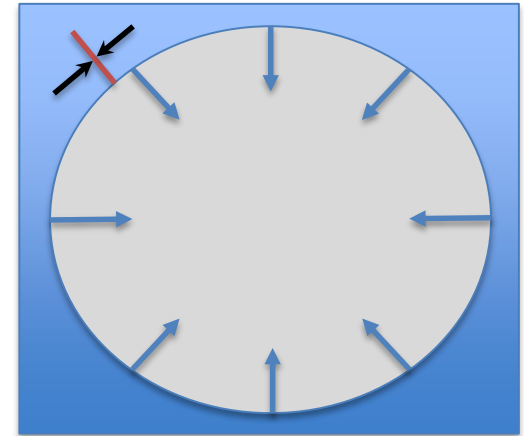
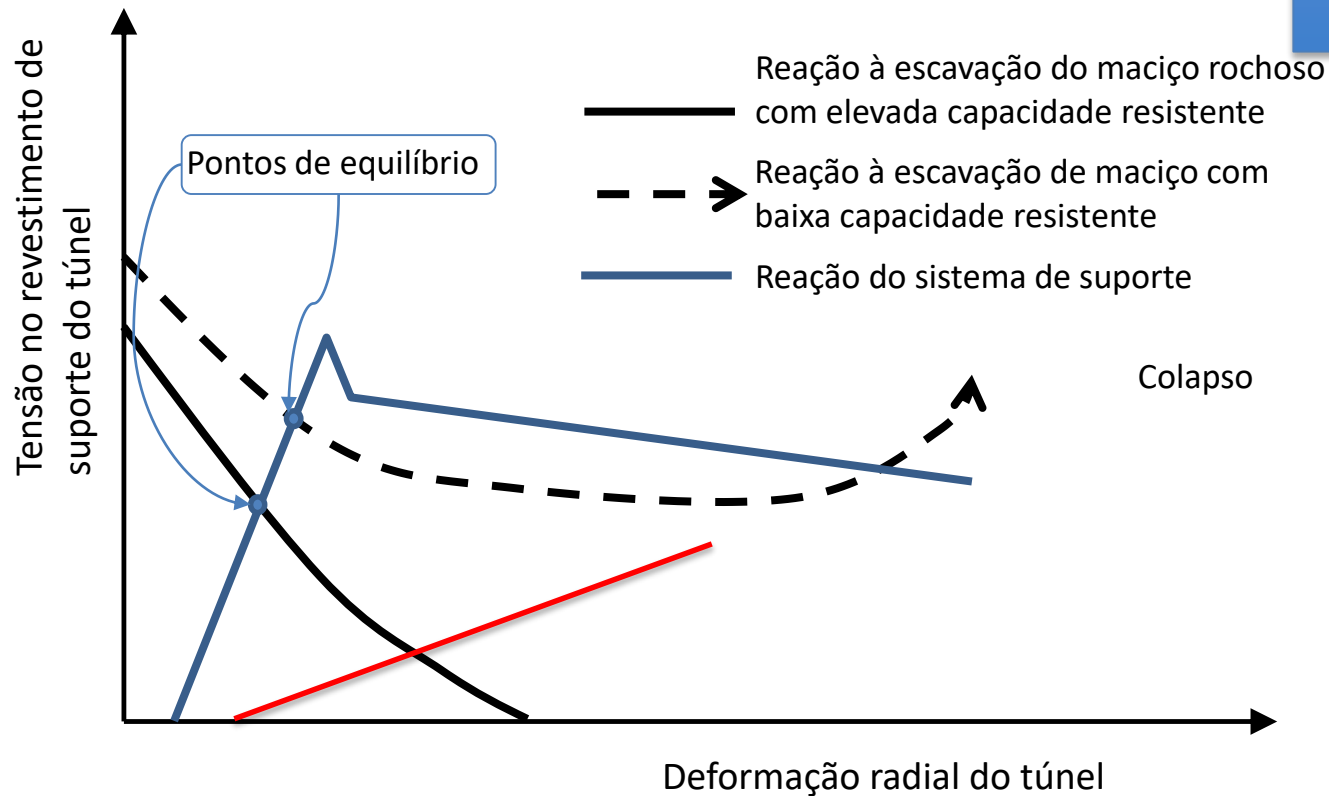
Antonio Figueiredo

Importância do tema

- A estabilidade da estrutura dos túneis NATM durante o processo de execução depende da evolução do comportamento mecânico do concreto projetado.
- Deve haver controle para garantia da segurança da obra.



Modelo de RABCEWICZ



MEDIDAS DE CONVERGENCIA

TRAMO ARCHIDONA-ARROYO DE LA NEGRA. TUNEL DE ARCHIDONA

Estación	P.K.	Escala de estabilidad
SC-51	01+841,5	Tiene a INESTABLE

Fecha de colocación:	08/05/2010
Distancia al frente:	3,1 m

Recubrimiento desde la clave:	36,8 m
RMR:	46
S.T.:	Illa M1

Calizas con tabeadas. Surgencia de agua en apoyo derecho.

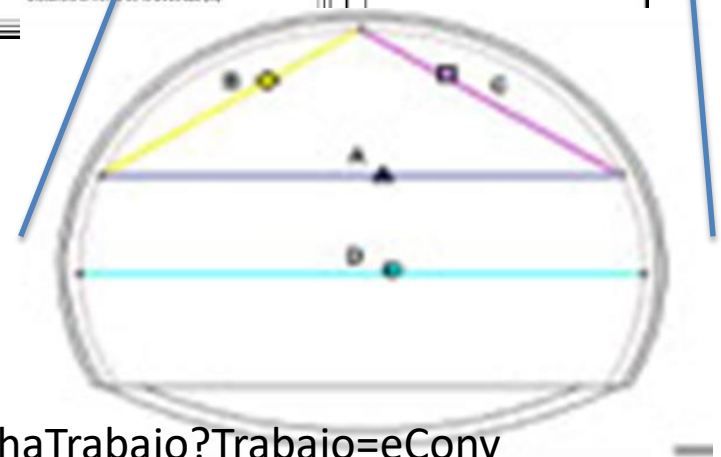
Sección de T con T.M.P. 100/10 SH H. proyectado 100/10/10 SH de 30cm de espesor.

Cancha 10.0x10.0 x 1.0m, con postes de alfileres. Refuerzo con solera provisional en avance y con botones conectorios 230 de 10m.

Observaciones:

1	Desplazamiento de losa.
2	Apilamiento de arena. Colocación de sacos de 10m y donas.
3	CAMBIO DE ANCHAS VIGA DE ALACADO
4	Rotura de arillo.

- ✓ Convergência,
- ✓ Recalques,
- ✓ Deformações em estruturas adjacentes,
- ✓ Etc.

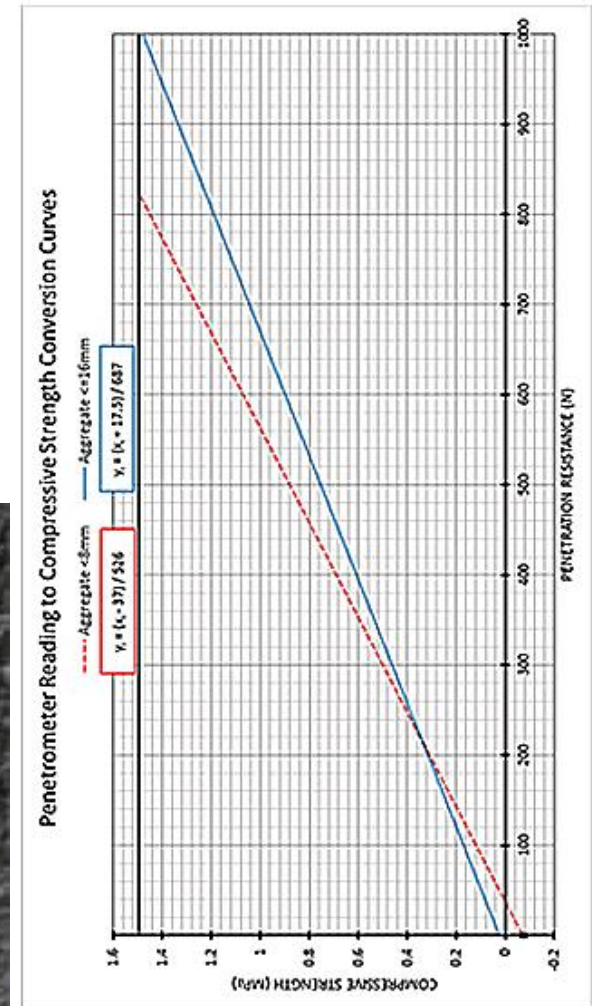


Possibilidades:

- Sistema convencional: penetrômetros e extração de testemunhos.
- Temperatura
- Ultrassom
- Outras...



Appendix A
Conversion Curves Graph





Escola de Camins
Escola Tècnica Superior d'Enginyeria de Camins, Canals i Ports
UPC BARCELONATECH



55º Congresso Brasileiro do concreto

From 10/29 to 11/01, Gramado, Brazil

ESTIMAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO EM IDADES INICIAIS DO CONCRETO PROJETADO

Isaac GALOBARDES

Sergio CAVALARO

Tomás GARCÍA VICENTE

Jorge PÉREZ CACHO

Ángel RUEDA ALBA

Antonio FIGUEIREDO

antonio.figueiredo@usp.br





Maturity method to predict the evolution of the properties of sprayed concrete

Galobardes, I., Cavalaro,
S.H., Goodier, C.I., Austin,
S., Rueda, Á.

Construction and Building
Materials.

79, pp. 357-369. 2015



Concreto projetado

→ *Interessante por:*

Conjugar duas fases separadas na tecnologia do concreto convencional:

Lançamento

Adensamento



Concreto projetado

→ *Interessante por:*

Conjugar duas fases separadas na tecnologia do concreto convencional:

Lançamento

Adensamento

Processo de projeção → *Aspectos singulares*

Mistura inicial

Projeção

Concreto lançado
(projetado)

- Injeção de ar
comprimido
- Reflexão

Elevada porosidade!
Variação da composição!

Aspectos singulares → Concreto projetado $\neq$ Concreto convencional

Concreto projetado como material estrutural

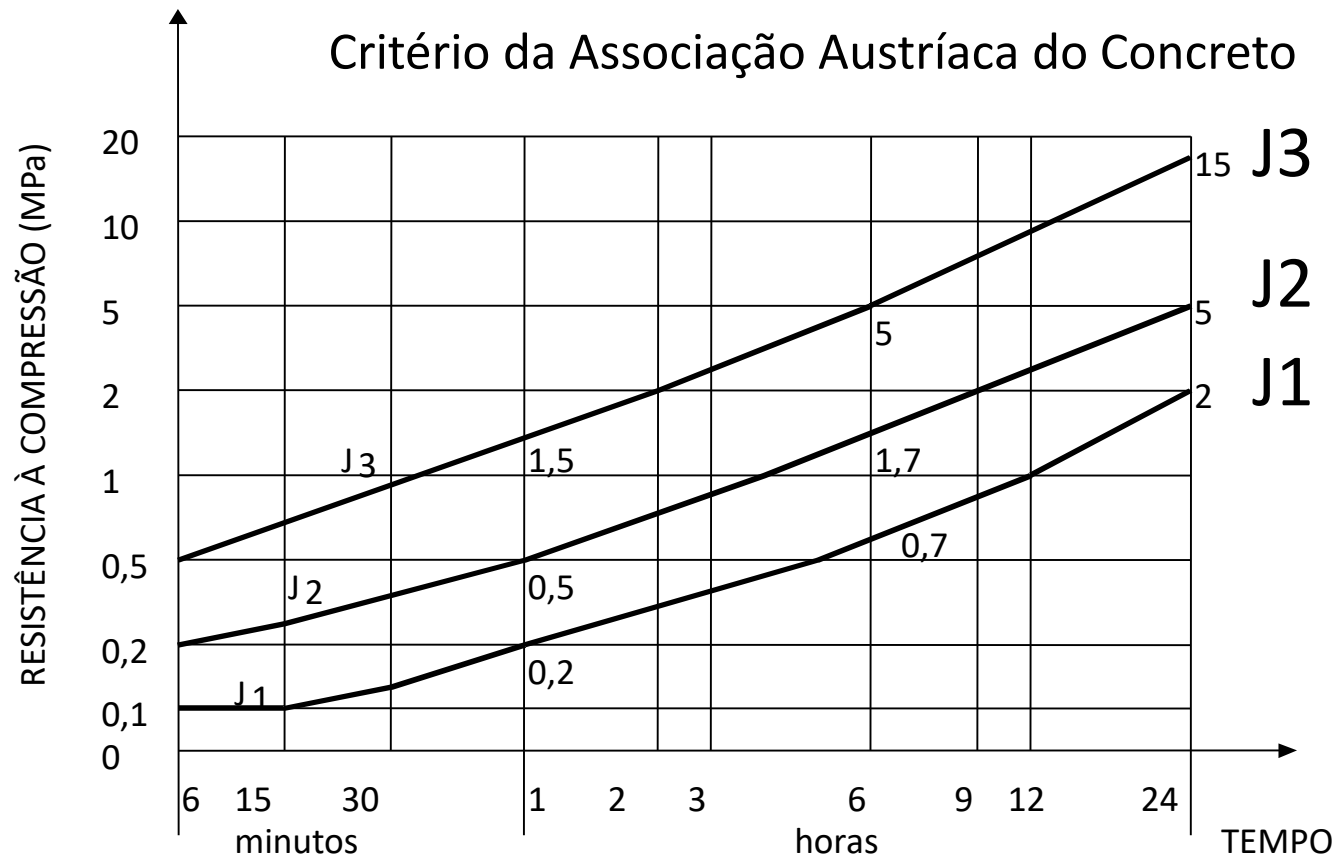


Características de resistência
Módulo de elasticidade

Dimensionamento de estruturas de
concreto

*Baixa nível de **controle de qualidade** e falta de uniformidade dos procedimentos de projeção*

Controle de qualidade → Primeiras idades: Evolução da resistência à compressão



Avaliação da evolução da resistência por curvas de maturidade

Norma ASTM C1074 – 11. Standard Practice for Estimating Concrete Strength by the Maturity Method

$$M(t) = \Sigma(T_a - T_o)\Delta t$$

M = Fator temperatura-tempo à idade t (dias ou horas)

T_a = Temperatura média medida durante o intervalo de tempo Δt (°C)

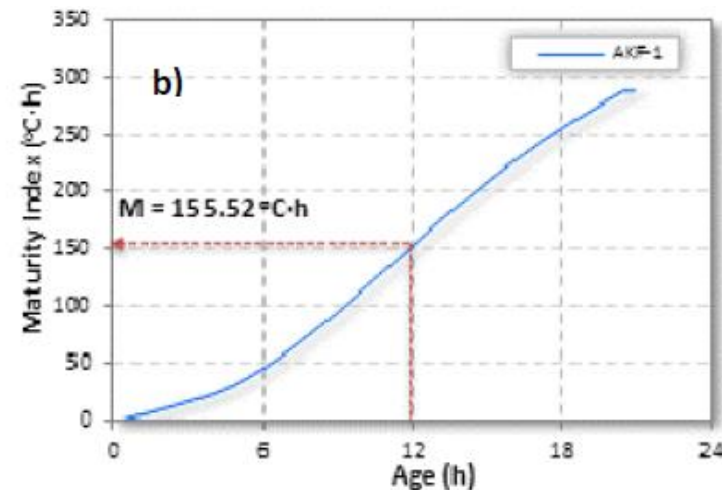
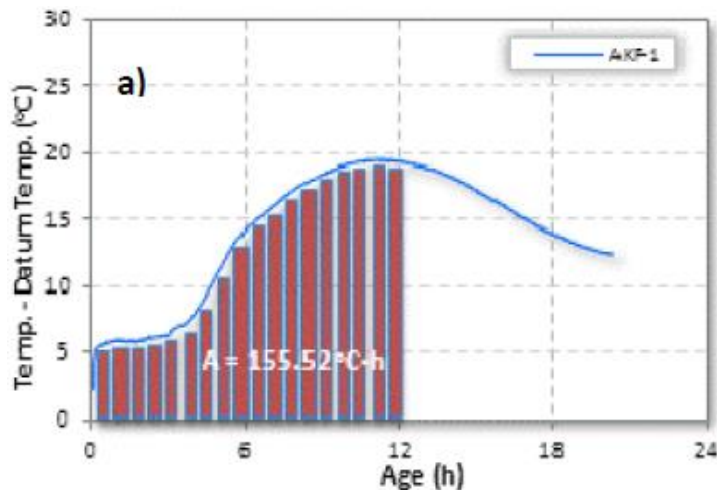
T_o = Temperatura inicial (°C)

Controle de qualidade → Primeiras idades: Evolução da resistência à compressão

- Proposta: Método da maturidade

→ Relação entre resistência inicial e índice de maturidade(M)

$$M = \sum_0^t T - T_o \cdot \Delta t$$

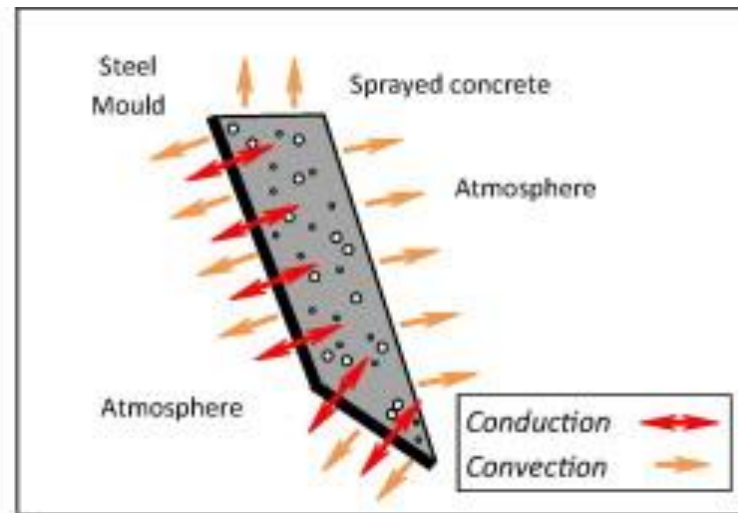
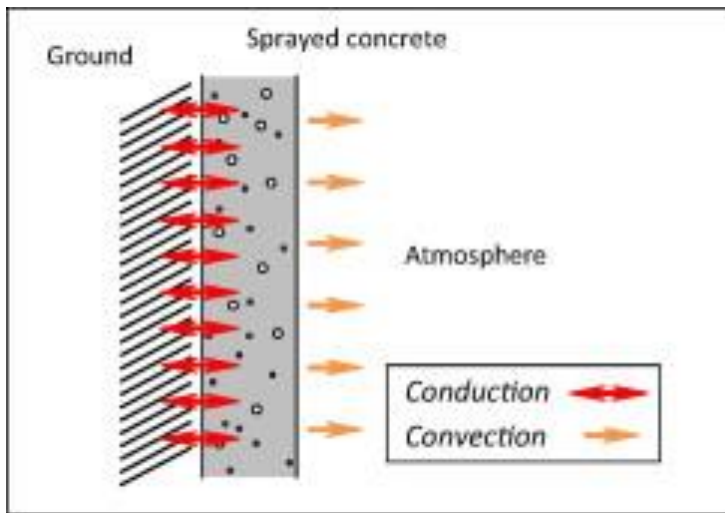


Estimativa da evolução no tempo da resistência à compressão a partir da evolução da temperatura (índice de maturidade)

Avaliação da resistência

$$S = a + b \cdot \log(M) \qquad S = \frac{A + M}{B + C \cdot M}$$

A dinâmica de transferência de calor





Principal objetivo

- ✓ Aplicar o método da maturidade para o concreto projetado.

Objetivos específicos

- ✓ Apresentar os resultados de desenvolvimento da resistência à compressão e evolução da temperatura de diferentes misturas de concreto projetado a baixas idades.
- ✓ Descrever a metodologia de aplicação do concreto projetado e sua caracterização em condições de laboratório.

Materiais

2 cimentos

CEM I 52.5 R

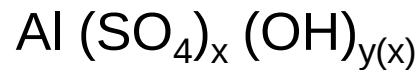
CEM II/A-L 42.5 R

3 aceleradores

AKF-1

AKF-2

AKF-3



6 CONCRETOS

Traço:

Cimento (kg/m³)	425
Aria fina : 0-2 mm (kg/m³)	380
Areia grossa: 0-5 mm (kg/m³)	900
Brita: 5-12 mm (kg/m³)	380

a/c: 0,45

Superplastificante (policarboxilato) (1% bcw)

Dosagem dos aceleradores

5% bcw 7% bcw → AKF-1 and AKF-2

9% bcw 11% bcw → AKF-3

Procedimento de projeção

Máquina compacta via úmida : MEYCO Altera

Produção: 4.4 m³/h

10 m³/min compressor portáto (diesel)

Pressão de ar: 4 bars

Local: Laboratório de Tecnologia de Estruturas da UPC

Placas

Placa A

Penetrômetro e avaliação da temperatura

Placa B

Cravação de pinos

Dispositivo para manejo do bico de projeção



Avaliação da temperatura

Sonda térmica
+
Termopares



Método de ensaio

1 medida por min
24 h

Evolução da resistência à compressão

Penetrômetro



+

Cravação de pinos

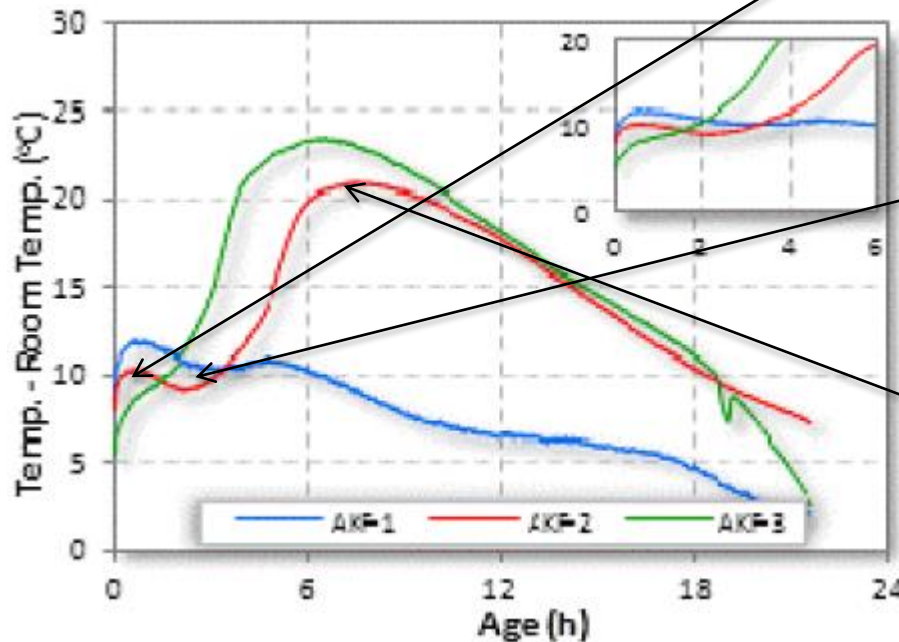


EN-14488-2

10 medidas a 3, 6, 10, 20, 30 min

10 medidas a 2, 4, 6, 12 h

Evolution of temperature



Primeira elevação

- Hidratação dos aluminatos (C_3A)
- Mais alto com aumento do teor de acelerador

Período de dormência

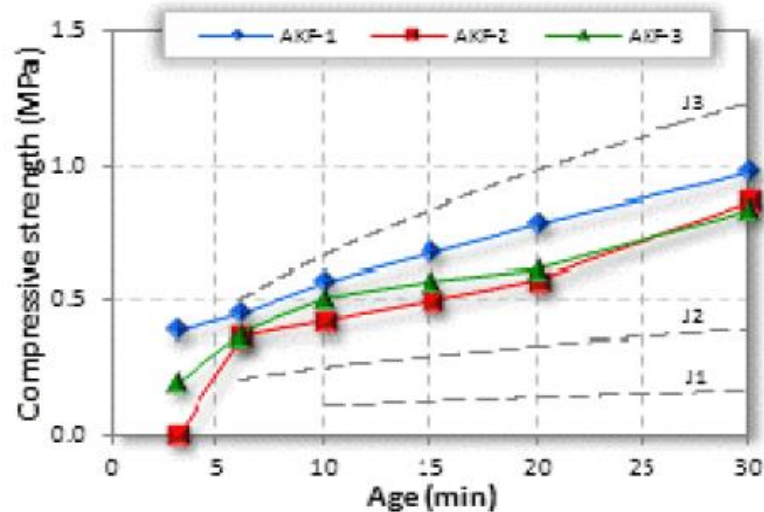
- Mais longo para baixos teores de aceleradores

Segunda elevação

- Hidratação dos silicatos (C_2S e C_3S)
- Maior para o cimento CEM I52.5 devido ao maior teor de clínquer

Misturas que apresentam temperaturas mais elevadas no primeiro pico tendem a apresentar segundo pico com temperaturas mais baixas.

Desenvolvimento da resistência à compressão

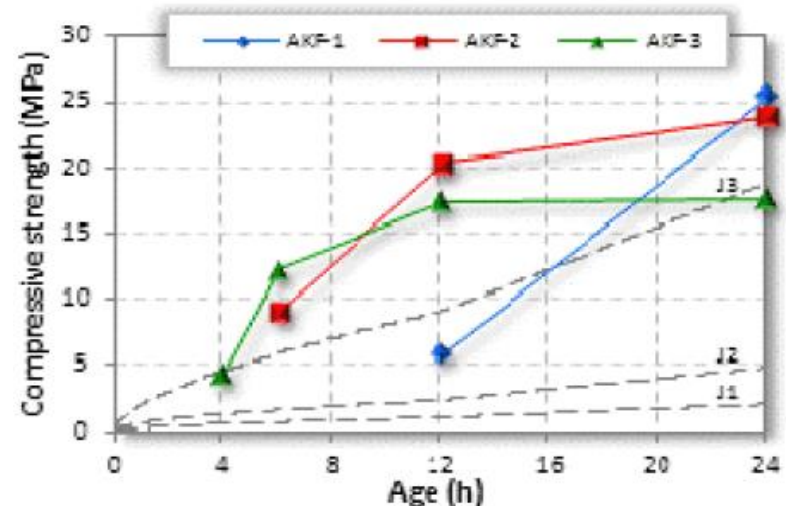


Penetrômetro

- É função do teor de acelerador
- Fenômeno associado aos aluminatos (primeiro pico de evolução da temperatura)

Cravação de pino

- Relacionado ao tipo de cimento utilizado: resistência específica
- Fenômeno relacionado à hidratação dos silicatos (Segundo pico de evolução da temperatura)



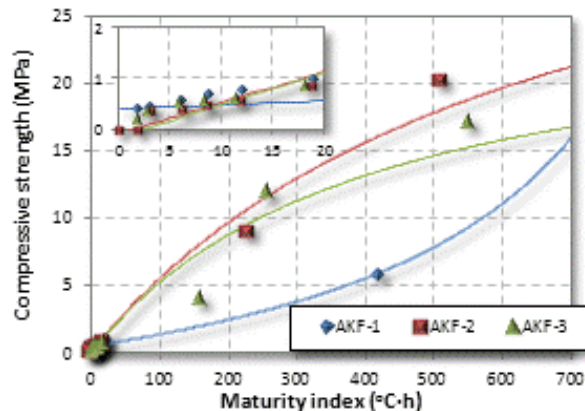
Método da maturidade para o concreto projetado

Par de valores:

Resistência à compressão – Índice de maturidade



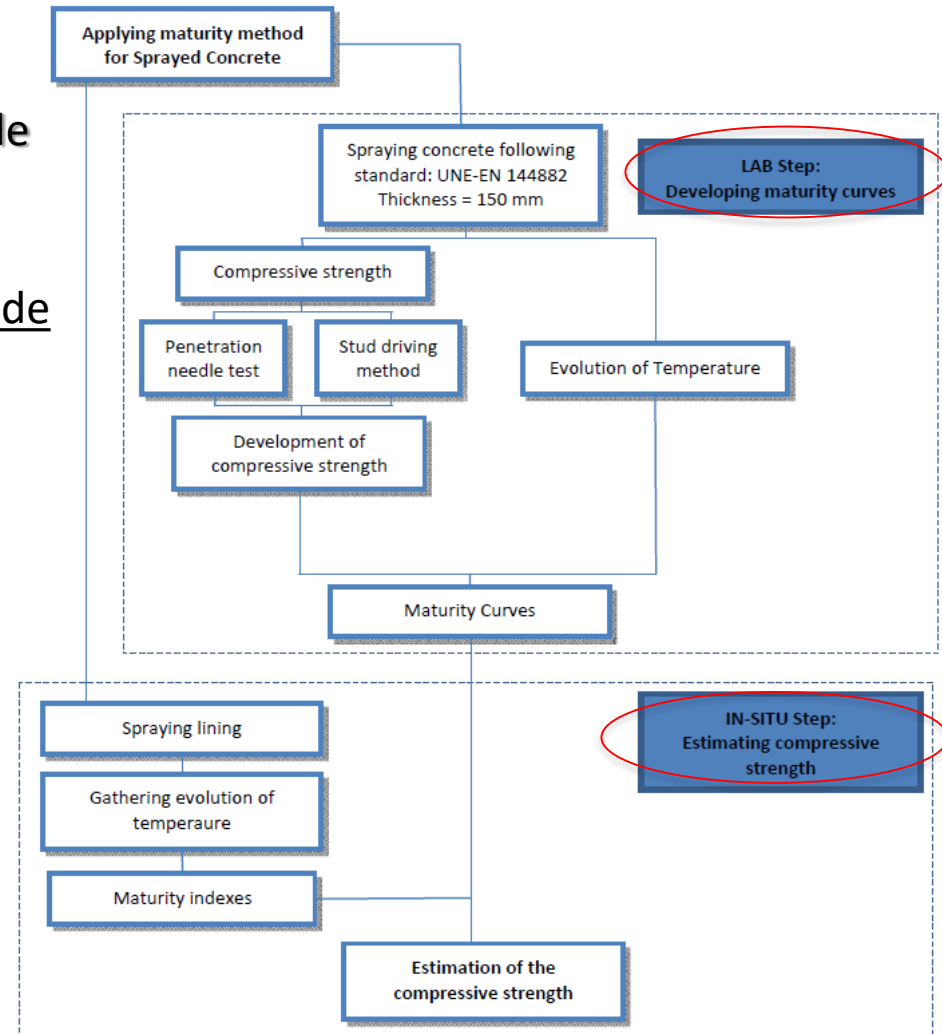
Fit LAB → Curvas de maturidade



Curvas de maturidade dependem de:

Tipo de cimento

Tipo e teor de acelerador



Método da maturidade para o concreto projetado

Par de valores:

Resistência à compressão – Índice de maturidade

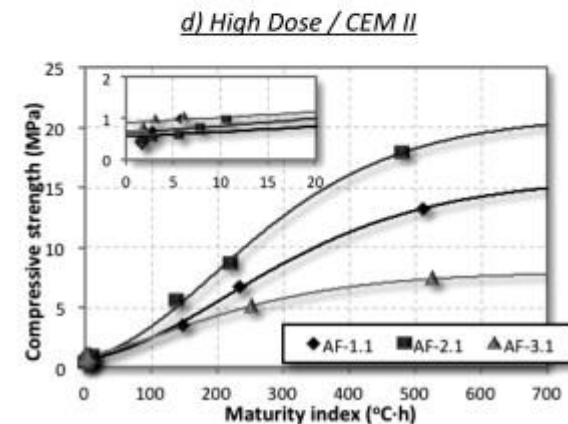
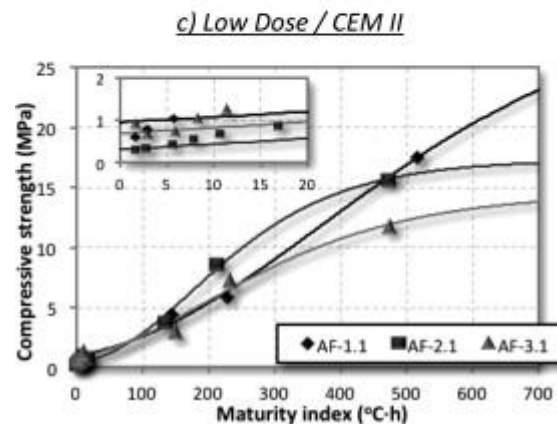
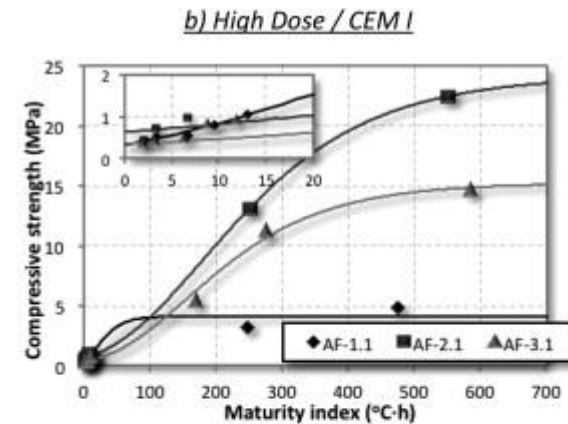
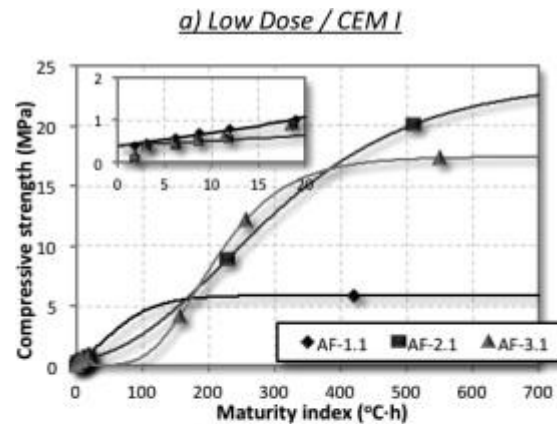


Fit LAB



Curvas de maturidade

$$S = a + b \cdot \log(M)$$



Conclusões

- ✓ Um formato claro da curva de evolução de temperatura foi obtida com os resultados: crescimento inicial (hidratação do C_3A), período de dormência seguido de uma segunda evolução da temperatura (hidratação do C_2S e C_3S).
- ✓ Os resultados obtidos com penetrômetros não conseguiram diferenciar o comportamento dos cimentos até 30 minutos.
- ✓ A classe de resistência do cimento foi mais importante após a idade de 4 horas.

Conclusões

- ✓ A avaliação da evolução da temperatura foi coerente com o padrão de evolução medida no calorímetro: pico inicial (hidratação do C_3A), período de dormência (bloqueio de dissolução/precipitação) e Segundo pico de elevação de temperatura (hidratação do C_2S e C_3S).
- ✓ Naturalmente, a evolução da temperatura e o fator de maturidade resultante são correlacionáveis com a evolução da resistência do concreto e módulo de elasticidade e o controle pode se feito de maneira continua e à distância.

V. Wallerm L. d'Aloia, F. Cussigh, S. Lecrux, **Using the maturity method in concrete cracking control at early ages**. Cement & Concrete Composites 26 (2004) 589–599



Estimation of the modulus of elasticity for sprayed concrete

[Isaac Galobardes](#)

[Sergio H. Cavalaro](#)

[Antonio Aguado](#)

[Tomàs Garcia](#)

[Construction and Building
Materials.](#)

[Volume 53](#), 28 February

2014, Pages 48-58



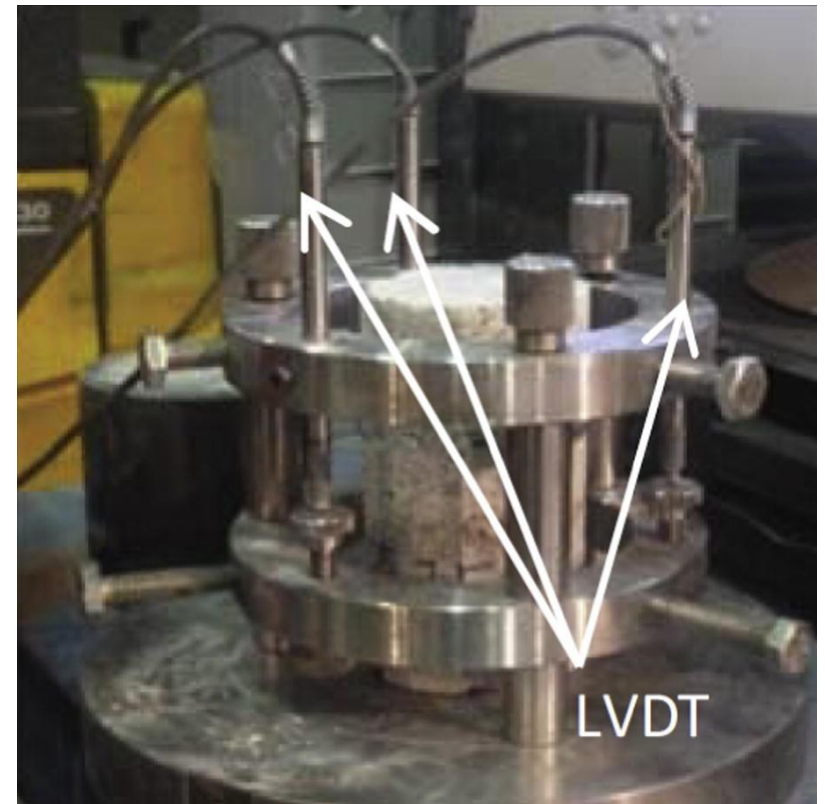
Introdução

- Há uma grande preocupação em relação ao nível de tensões à qual o concreto projetado estará sujeito em obras como poços de acesso.
- Muitos projetistas adotam a abordagem do concreto tradicional para previsão de comportamento.

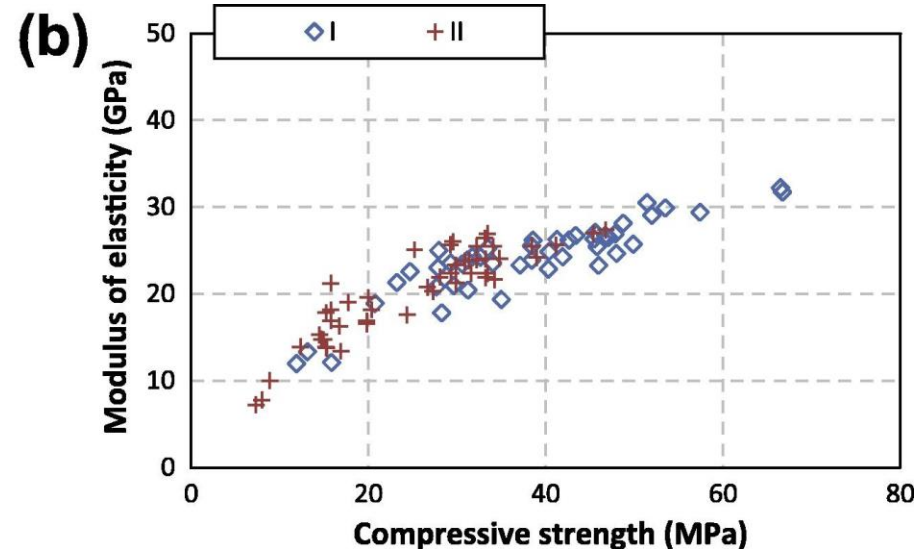
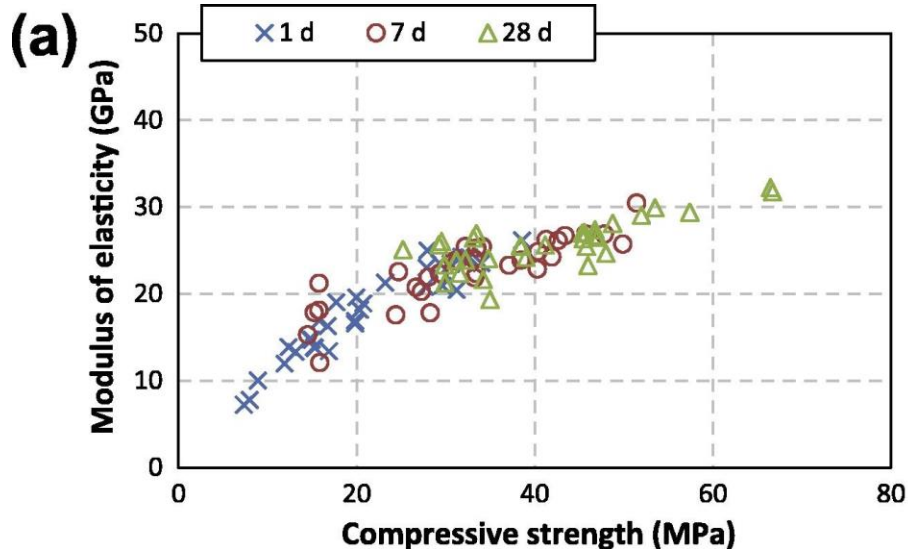


Avaliação experimental em testemunhos extraídos

- Resistência
- Porosidade
- Módulo de elasticidade



Relação entre E e resistência à compressão



- Relação entre a resistência à compressão e o módulo de elasticidade considerando a idade das amostras (a) e o tipo de cimento (b).

Modelos de previsão de comportamento

Methodologies and results

Model Code 2010

Eurocode 2

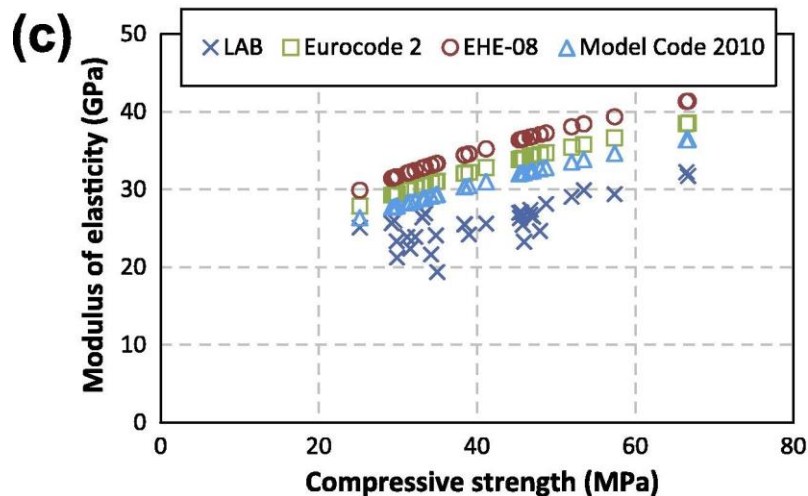
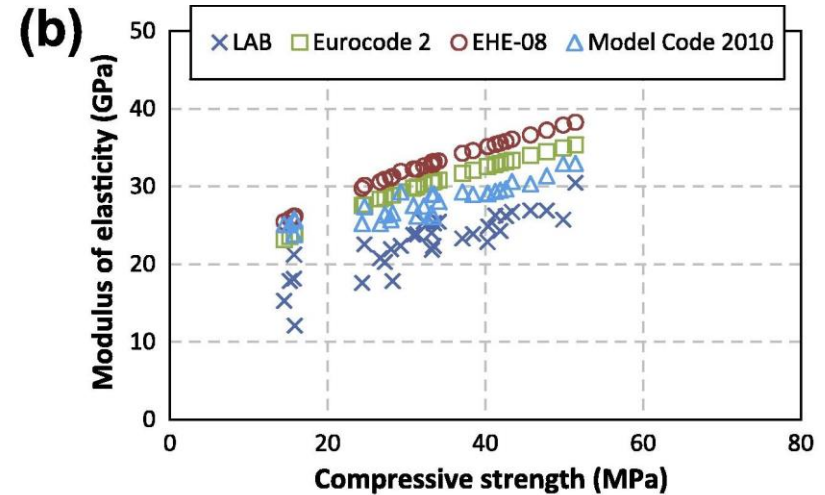
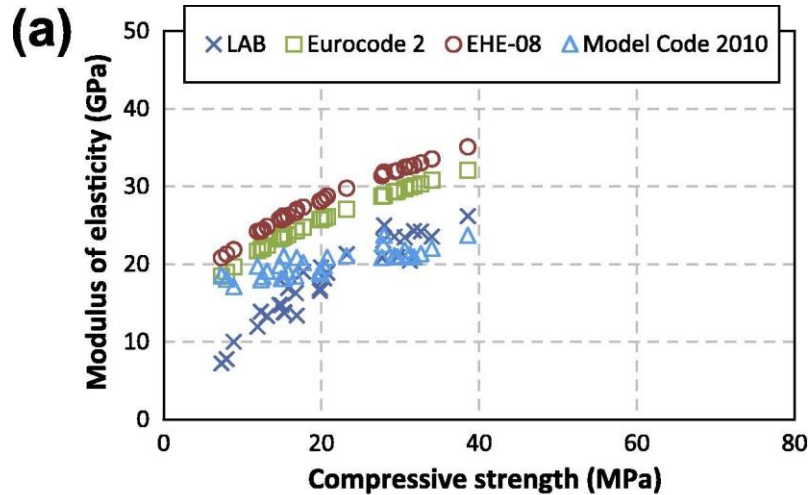
EHE-08

Equations from the literature

	Model Code 2010	Eurocode 2	EHE-08
E_{cm}	$E_{cm} = E_{co} \cdot \alpha_E \cdot \left(\frac{f_{ck} + \Delta f}{10} \right)^{1/3}$	$E_{cm,j} = 9.5 \cdot \sqrt[3]{f_{cm,j}}$	$E_{cm} = \alpha \cdot 8.5 \cdot \sqrt[3]{f_{cm}}$
	$E_{cm} = E_{co} \cdot \alpha_E \cdot \left(\frac{f_{cm}}{10} \right)^{1/3}$		
$E_{cm,j}$	$E_{cm,j} = \sqrt{\exp \left\{ s \cdot \left[1 - \left(\frac{28}{t} \right)^{0.5} \right] \right\}} \cdot E_{cm}$		$E_{cm,j} = \left(\frac{f_{cm,j}}{f_{cm}} \right)^{0.3} \cdot E_{cm}$

GALOBARDES et al., 2014

Comparando-se com os critérios internacionais



**Tendência se
superestimação
dos valores**

Comparação entre resultados laboratoriais e estimativa a partir de instruções em 1 dia (a); 7 dias (b); 28 dias (c) e avaliação do ajuste considerando todos os dados (d).

Modelos de previsão de comportamento

Mathematical deduction

Semi-analytical approach

GALOBARDES et al., 2014

Rebound $\longrightarrow$ Voigt's equation

$$E = V_a \cdot E_a + V_m \cdot E_m$$

Considering:

$$V_a + V_m = 1 \longrightarrow V_a = \frac{E - E_m}{E_a - E_m}$$

- Difference between the volumes of aggregate of conventional concrete ($V_{a,c}$) and sprayed concrete ($V_{a,s}$) is described as:

$$V_{a,s} = V_{a,c} \cdot (1 - r)$$

$$\frac{E_s}{E_c} = (1 - r) = \gamma_r$$

$$E_s = E_c \cdot (1 - r) + E_m \cdot r$$

$$\frac{E_s}{E_c} = \frac{1 - p_s}{1 - p_c} = \gamma_p$$

Eurocode 2

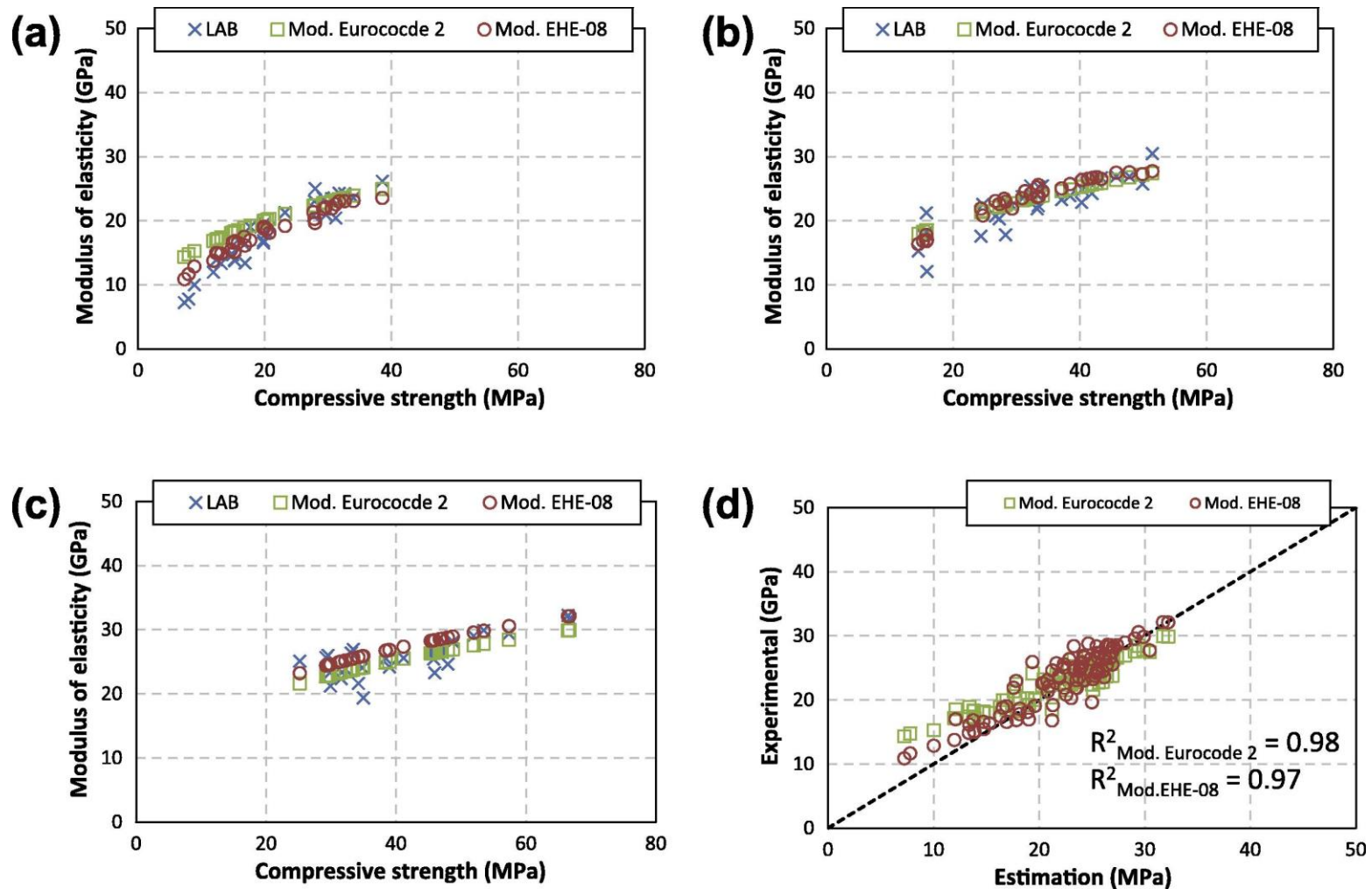
$$E_{cm,j} = \gamma_p \cdot \gamma_r \cdot 9.5 \cdot \sqrt[3]{f_{cm,j}}$$

EHE-08

$$E_{cm,28} = \gamma_p \cdot \gamma_r \cdot 8.5 \cdot \sqrt[3]{f_{cm,28}}$$

$$E_{cm,j} = \left(\frac{f_{cm,j}}{f_{cm,28}} \right)^{\frac{0.3}{\gamma_p \cdot \gamma_r}} \cdot E_{c,j}$$

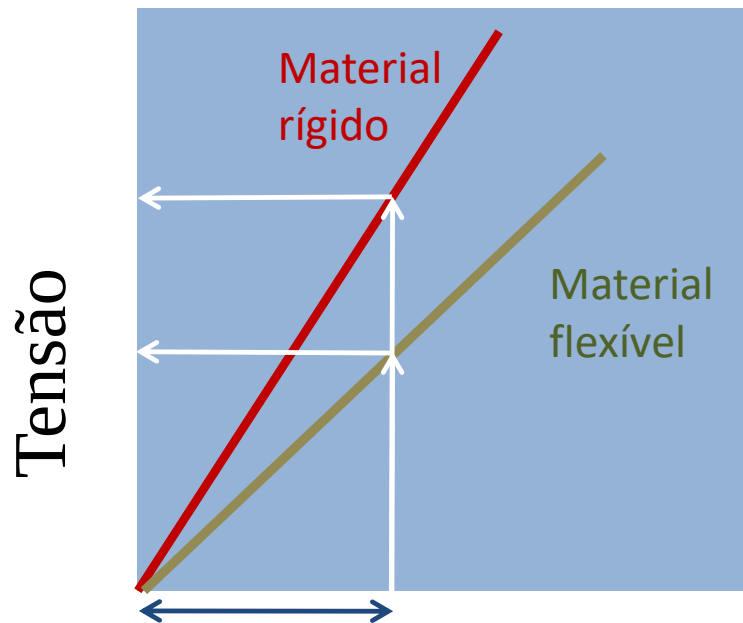
Modelos de previsão de comportamento



Comparação dos resultados da proposta semi-analítica aos 1 dia de idade (a); 7 dias (b); 28 dias (c) e avaliação do ajuste considerando todos os dados (d).

A importância do Módulo de elasticidade

- Considerando que E do concreto projetado é superestimado, deve-se avaliar as condições de tensão e fissuração dos projetos com mais cuidado.



Dada uma deformação imposta à estrutura: teremos um “nível de solicitação” distinto à medida de sua rigidez

Conclusões

- As diferentes características do concreto projetado e não são levadas em consideração nas equações disponíveis na literatura para prever o módulo de elasticidade do material.
- As previsões realizadas com essas equações levam a uma superestimação do módulo de elasticidade do concreto projetado.
 - superestimações médias de 24,22%, 37,56% e 49,59% para o Código Modelo 2010, o Eurocódigo 2 e o EHE-08.

Conclusões

- As formulações empíricas e semi-analíticas propostas levam a uma melhoria considerável na previsão do módulo de elasticidade do concreto pulverizado.
 - Aos 28 dias o erro é de cerca de 10%, em contraste com os 37,95% e 50,01% obtidos na mesma idade para a formulação original do Eurocode 2 e do EHE-08, respectivamente;

Conclusões

- As estimativas fornecidas por modelos empíricos e semi-analíticos para prever o módulo de elasticidade são semelhantes quando se considera uma porosidade do concreto projetado de 14 a 18%, uma porosidade do concreto convencional de 6 a 9% e uma reflexão volumétrica de 5 a 15%.
 - Esses parâmetros podem ser adotados como referências para concreto projetado, **caso não haja informações adicionais disponíveis;**

Conclusões

- As equações modificadas propostas foram validadas com resultados obtidos em túneis reais.
 - As previsões de módulo de elasticidade com essas equações são entre 2 e 5 vezes mais precisas do que as obtidas com a formulação original, **independentemente do tipo de cimento, tipo de acelerador e adições incorporadas.**

Conclusões gerais

- Há outras formas de controle do E como o ultrassom (checagem na estrutura)
- Há a possibilidade de associar o controle do E com a maturidade
- Há várias possibilidades de realizar controles mais precisos mas, nem sempre há “boa vontade para a implementação”