Research Fund for Coal & Steel

Comportamento ao fogo de lajes mistas aço-betão

Estudo paramétrico numérico do método de cálculo simplificado

Conteúdos da apresentação

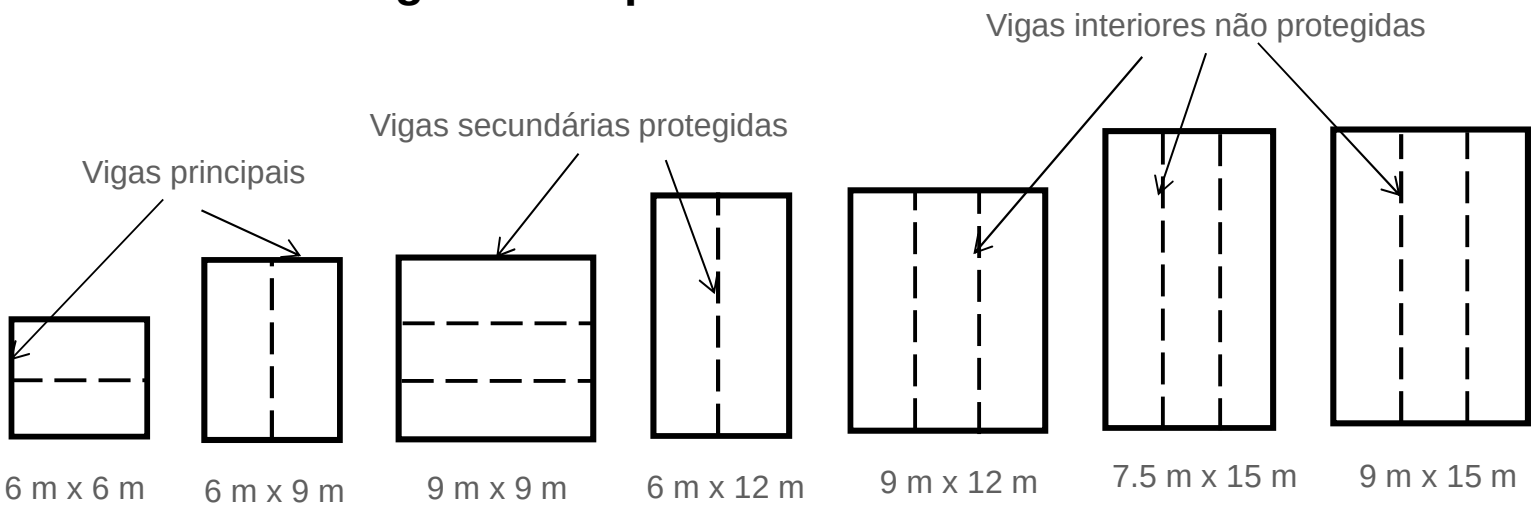
- Objetivos do estudo paramétrico
- Propriedades do estudo paramétrico
- Análises de elementos finitos
- Validação do modelo numérico
- Efeito de continuidade na fronteira do painel
- Resultados do estudo paramétrico
- Conclusão

Objetivos do estudo paramétrico

- **Bases de cálculo**
  - **FRACOF (Ensaio 1)- COSSFIRE (Ensaio 2) ensaios ao fogo padrão à escala real**
    - **Excelente desempenho ao fogo dos sistemas de pavimento misto (presença de ação de membrana de tração)**
    - **Max θ do aço $\approx$ 1000 ℃, duração do fogo $>$ 120 min**
    - **Detalhes construtivos Franceses**
    - **Deformação $\approx$ 450 mm**
  - **FICEB (Ensaio 3) ensaio ao fogo natural à escala real com Vigas Alveoladas**
- **Objetivo**
  - **Verificação do Método de Cálculo Simplificado em todo o seu domínio de aplicação (usando modelos de cálculo avançados)**
    - **Limite de deformação do piso**
    - **Extensão da armadura em aço**

Propriedades do estudo paramétrico (1/3)

- **Dimensão da grelha do pavimento**



- **Níveis de carga**

Combinação de cargas em situação de incêndio para edifícios de escritório, de acordo com o EC0:

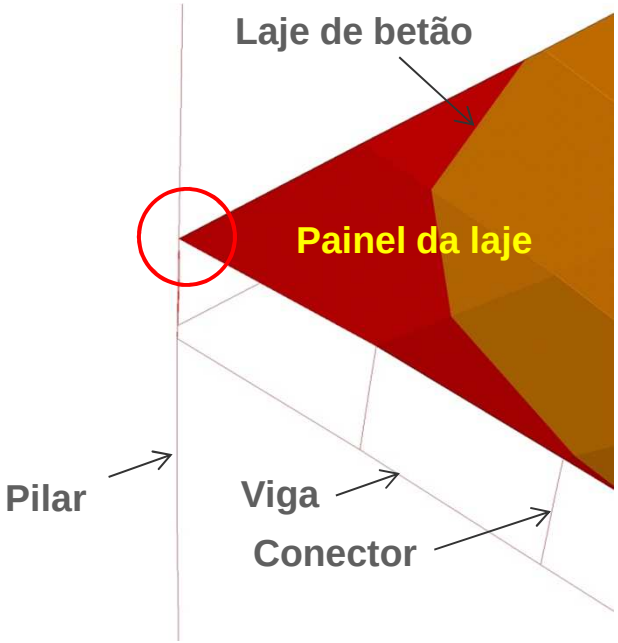
G (Carga permanente) + 0.5 Q (Carga imposta)

G= Peso Próprio+ 1.25 kN/m²

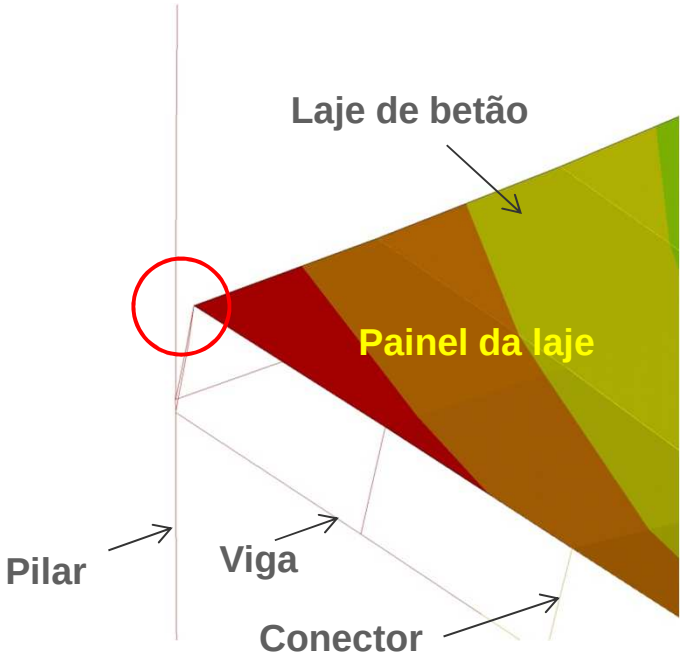
Q= 2.5 & 5 kN/m²

Propriedades do estudo paramétrico (2/3)

- **Condição de ligação entre o pavimento e os pilares de aço**



Com ligação mecânica entre a laje e os pilares



Sem ligação mecânica entre a laje e os pilares

Propriedades do estudo paramétrico (3/3)

Objetivos

Propriedades do estudo paramétrico

Análises de elementos finitos

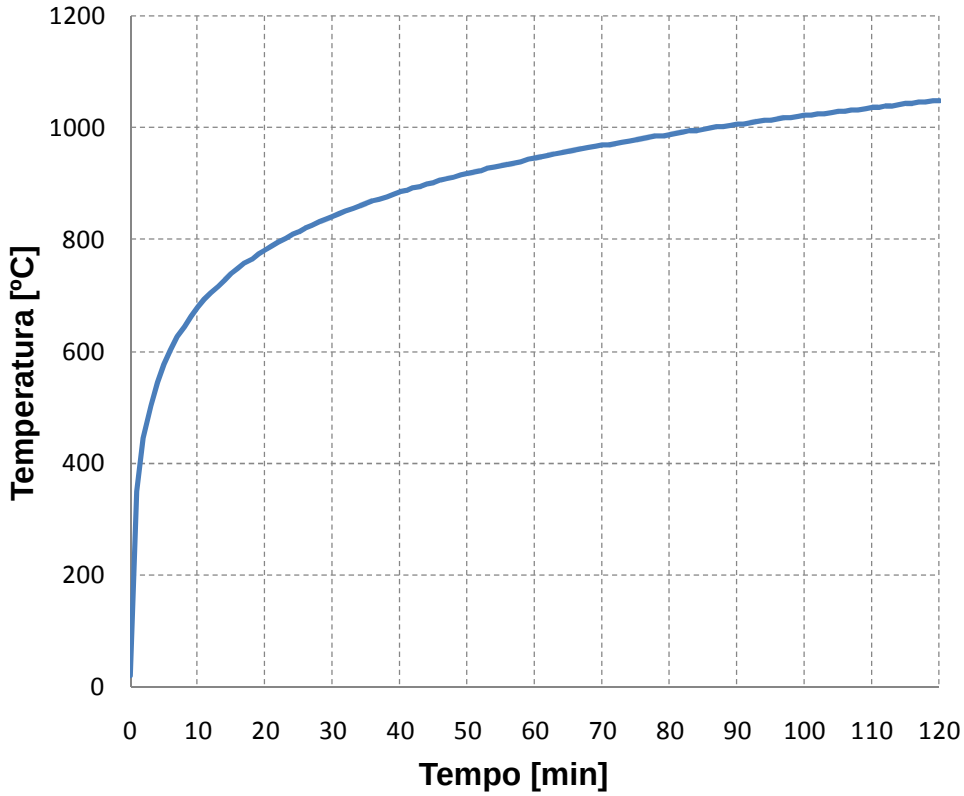
Validação do modelo numérico

Efeito das condições fronteira

Resultados do estudo paramétrico

Conclusão

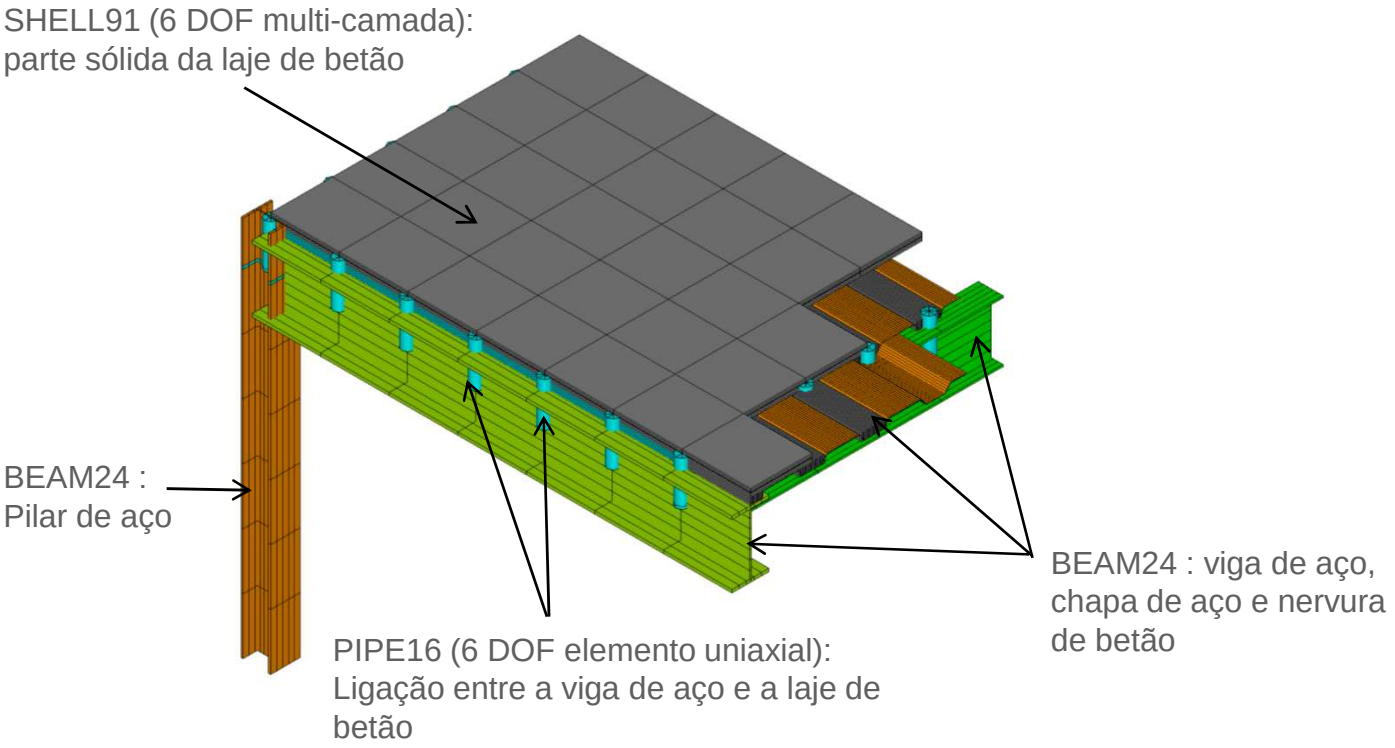
- **Classificação ao fogo: R30, R60, R90 e R120**



Aquecimento das vigas fronteira (Max. 550 °C)

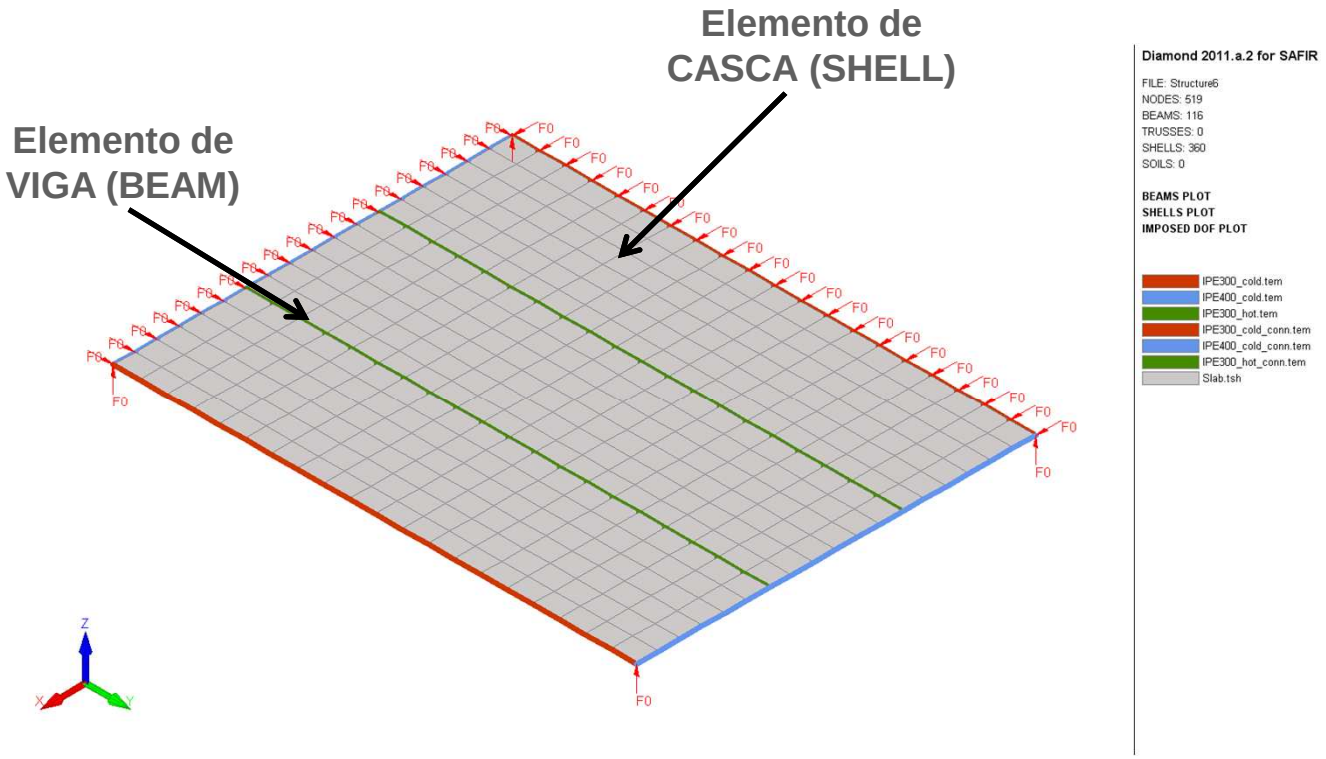
Modelo de elementos finitos

- **Modelo híbrido baseado em vários tipos de Elementos Finitos com o programa ANSYS**



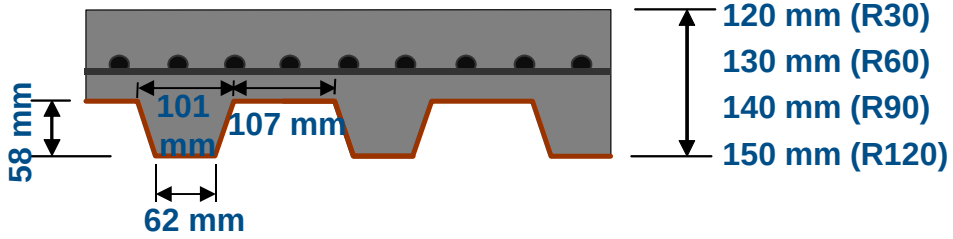
Modelo de elementos finitos

- **Modelo híbrido baseado em vários tipos de Elementos Finitos com o programa SAFIR**



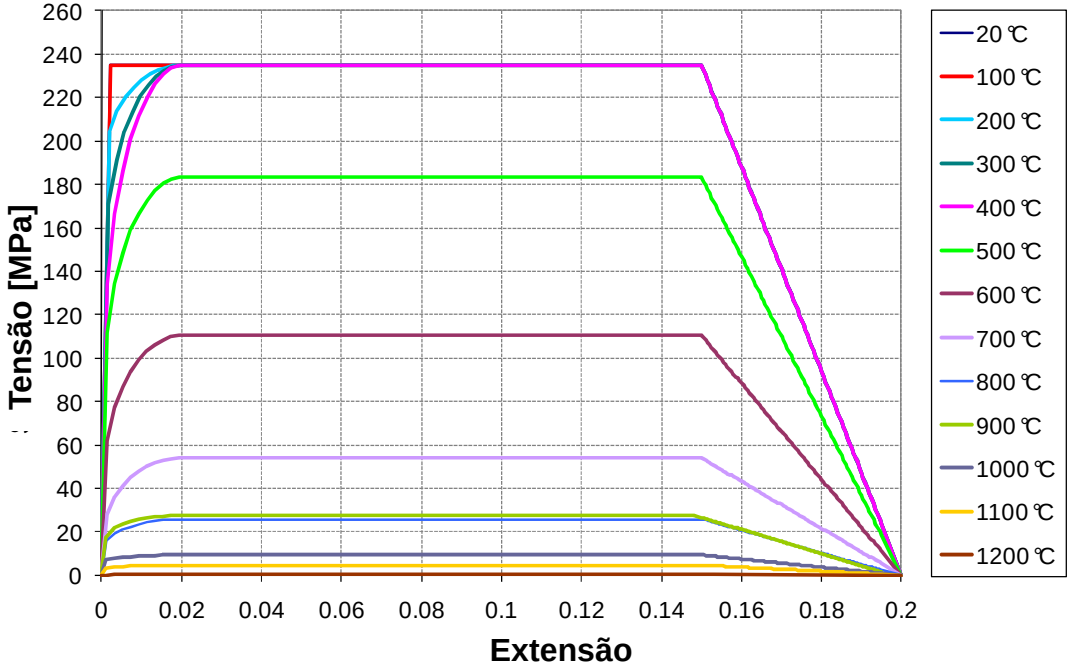
Propriedades do painel da laje

- **Vigas de aço S235**
- **Chapa de aço perfilada COFRAPLUS60 (0.75 mm de espessura)**
- **Betão normal C30/37**
- **Rede de armadura S500**
- **Posição média da rede de armadura (a partir do topo da superfície) = 45 mm**



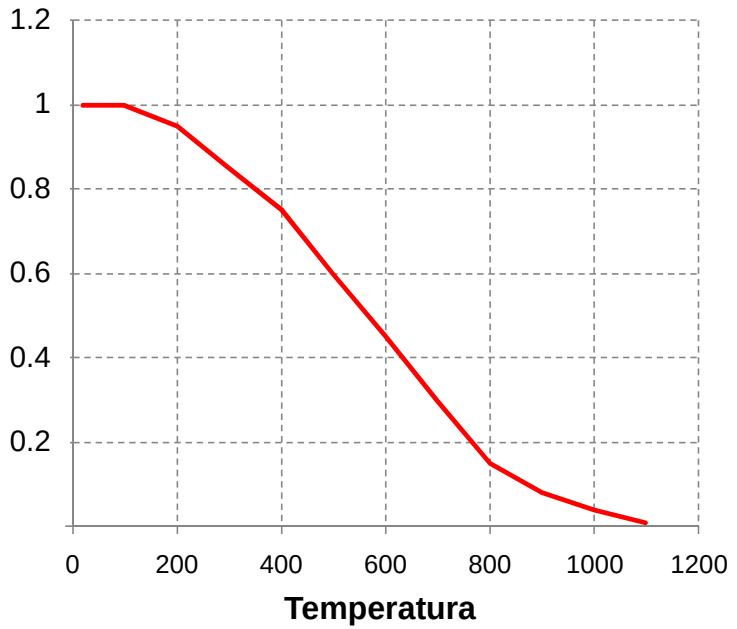
Propriedades termo-mecâncias (1/2)

- **Propriedades termo-mecânicas do aço:**
  - **Propriedades térmicas a partir do EC4-1-2**
  - **Densidade independente da temperatura (ρ_a = 7850 kg/m^3)**
  - **Relações Tensão-Extensão:**



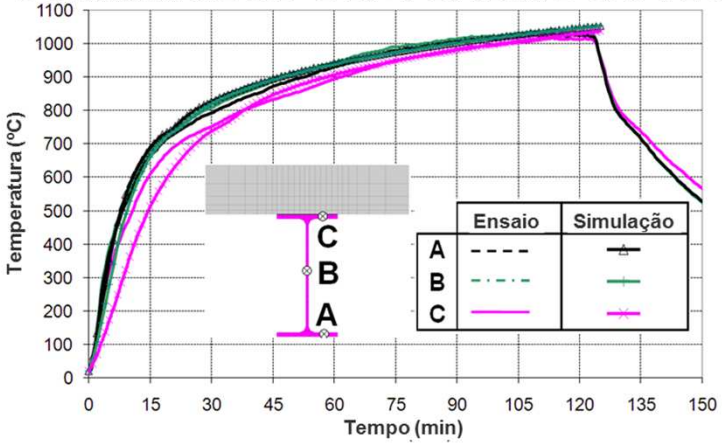
Propriedades termo-mecâncias (2/2)

- **Propriedades termo-mecânicas do betão:**
  - **Propriedades térmicas a partir do EC4-1-2**
  - **Densidade em função da temperatura de acordo com o EC4-1-2**
  - **Critério de rotura Drucker-Prager**
  - **Fatores de redução de compressão a partir do EC4-1-2:**

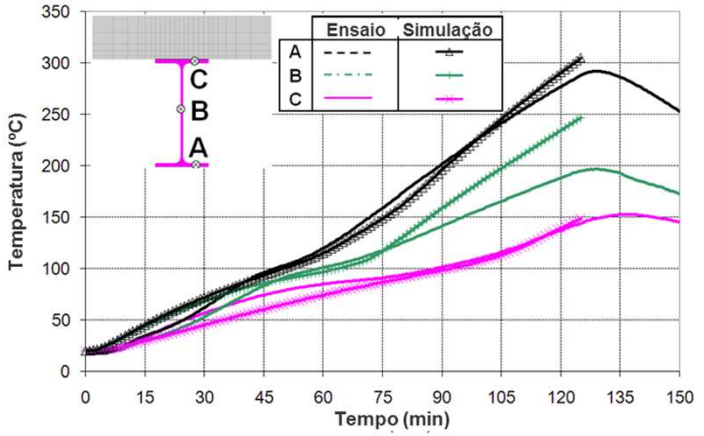


Validação do modelo numérico ANSYS vs Ensaio 1 (1/2)

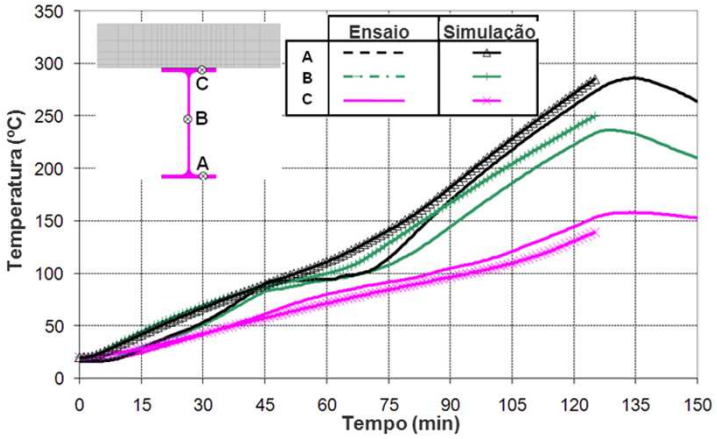
- **Comparação com ensaio ao fogo (análise de transferência de calor)**



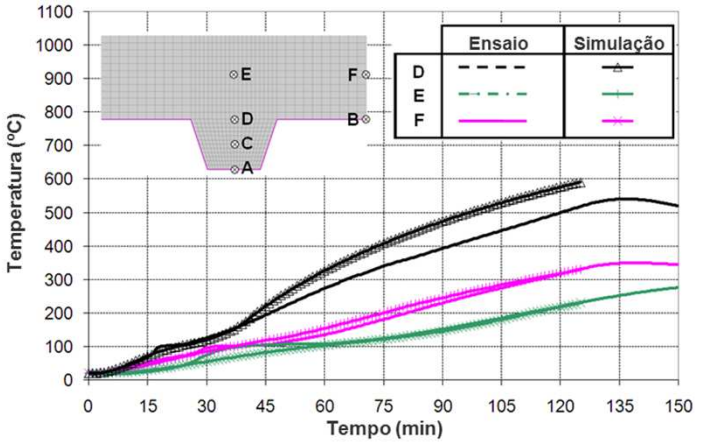
Vigas de aço não protegidas



Vigas secundárias protegidas



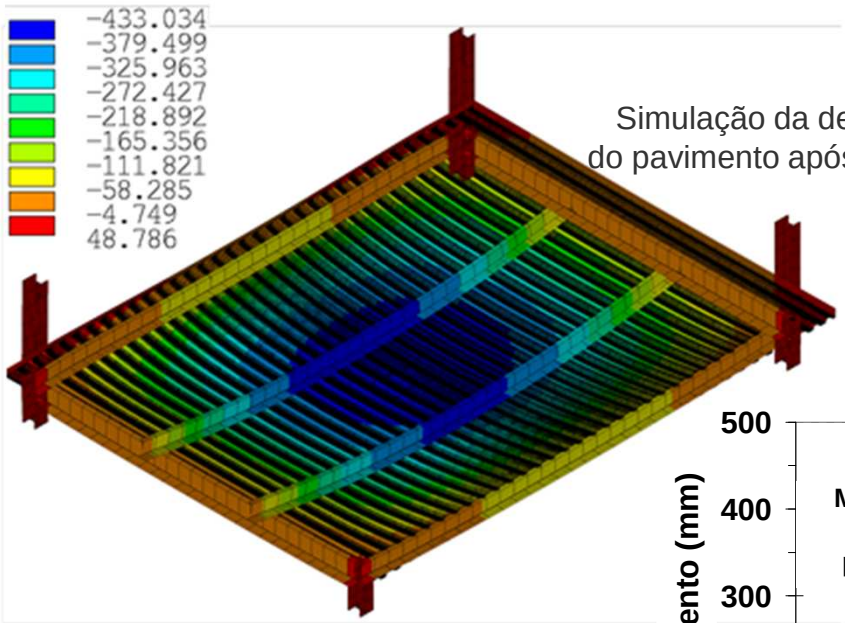
Vigas principais protegidas



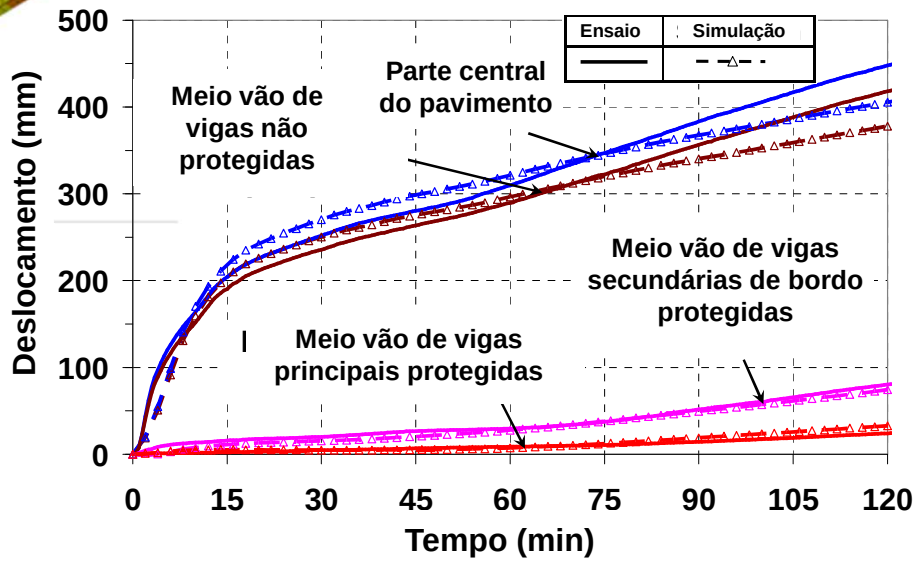
Laje mista

Validação do modelo numérico ANSYS vs Ensaio 1 (2/2)

- **Comparação com ensaio ao fogo (deformação)**



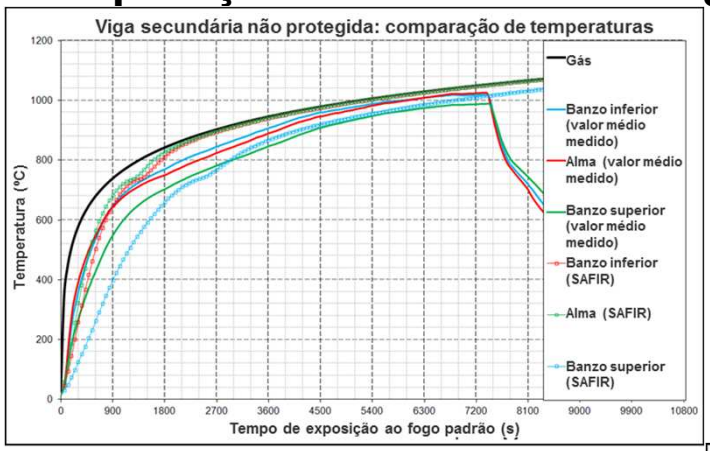
Simulação da deformação do pavimento após o ensaio

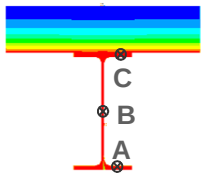


Comparação da deformação (laje e vigas)

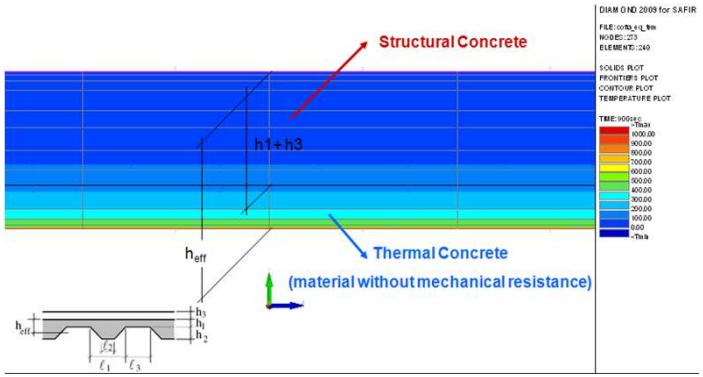
Validação do modelo numérico SAFIR vs Ensaio 1 (1/2)

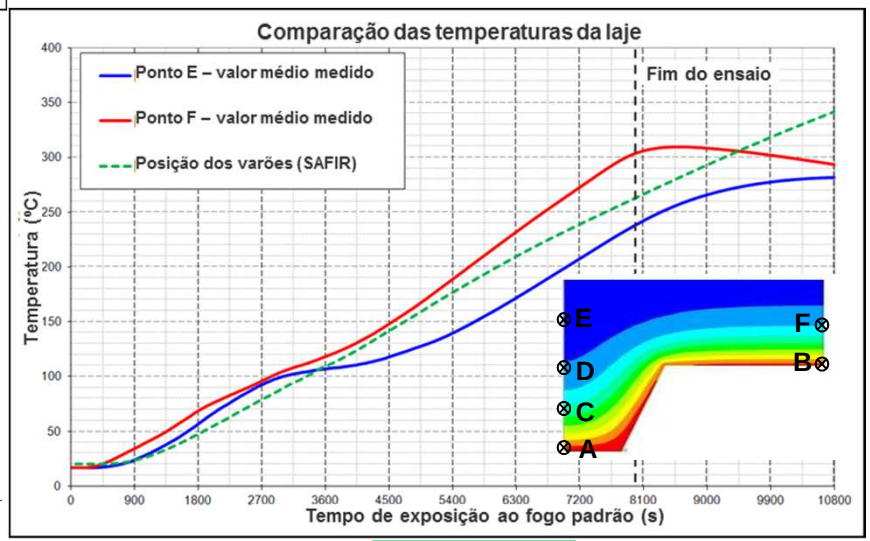
- **Comparação com ensaio ao fogo (análise de transferência de calor)**





Vigas de aço não protegidas

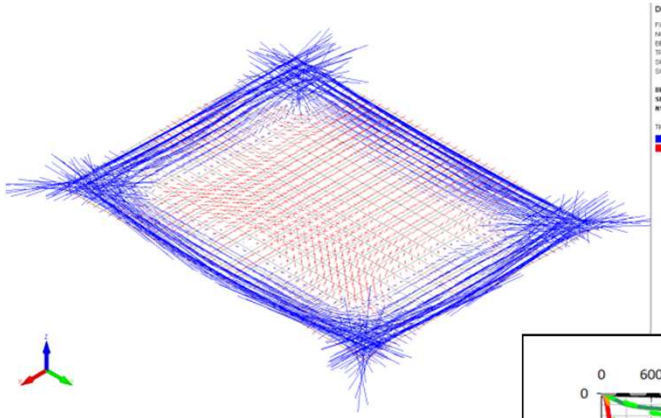




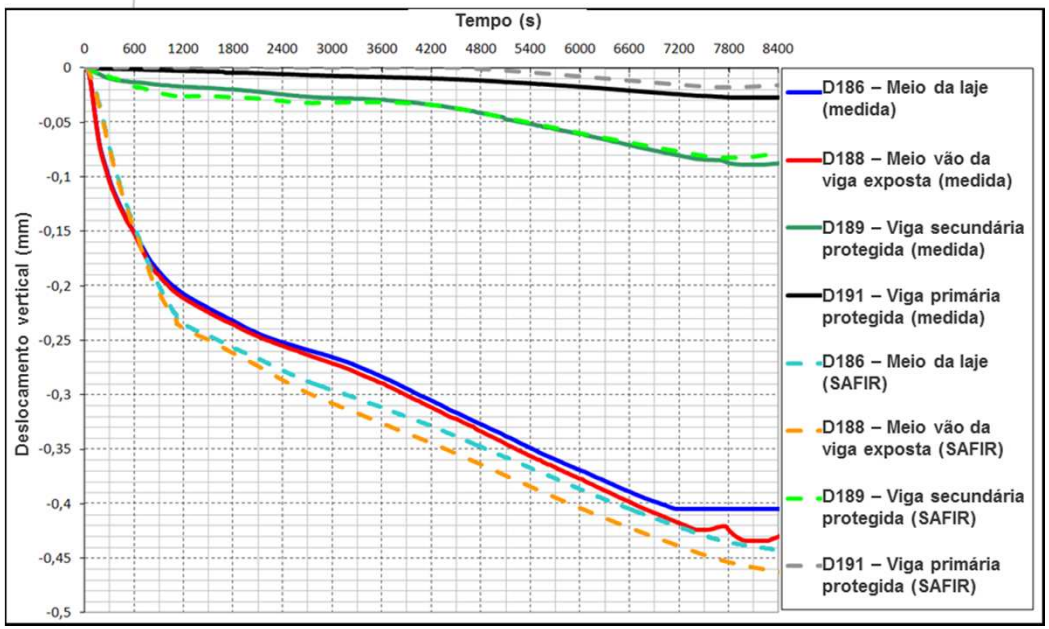
Laje mista

Validação do modelo numérico SAFIR vs Ensaio 1 (2/2)

- **Comparação com ensaio ao fogo (deformação)**



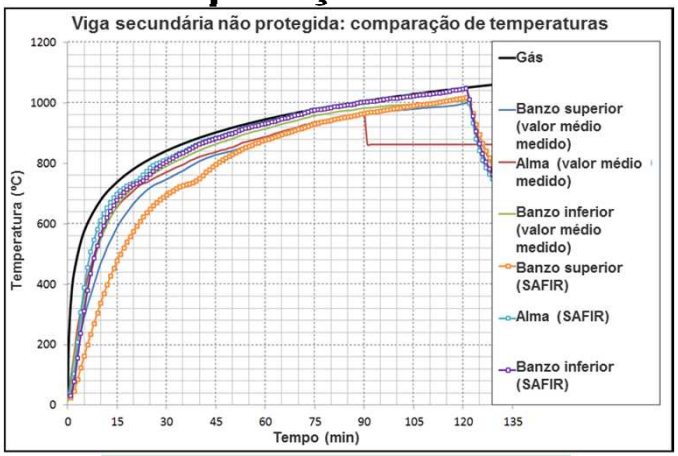
Simulação das tensões na extremidade da laje ensaiada



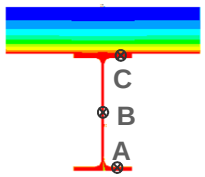
Comparação da deformação (laje e vigas)

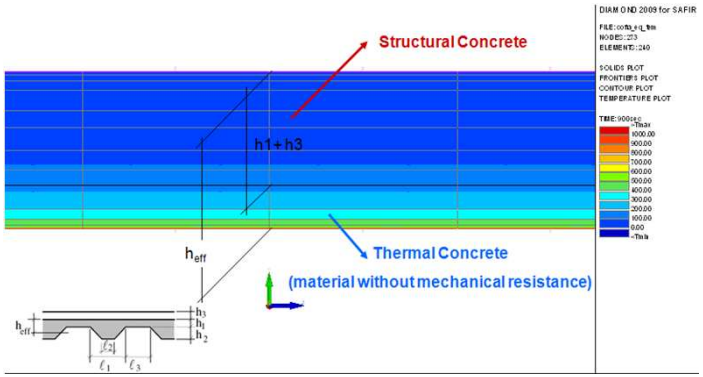
Validação do modelo numérico SAFIR vs Ensaio 2 (1/2)

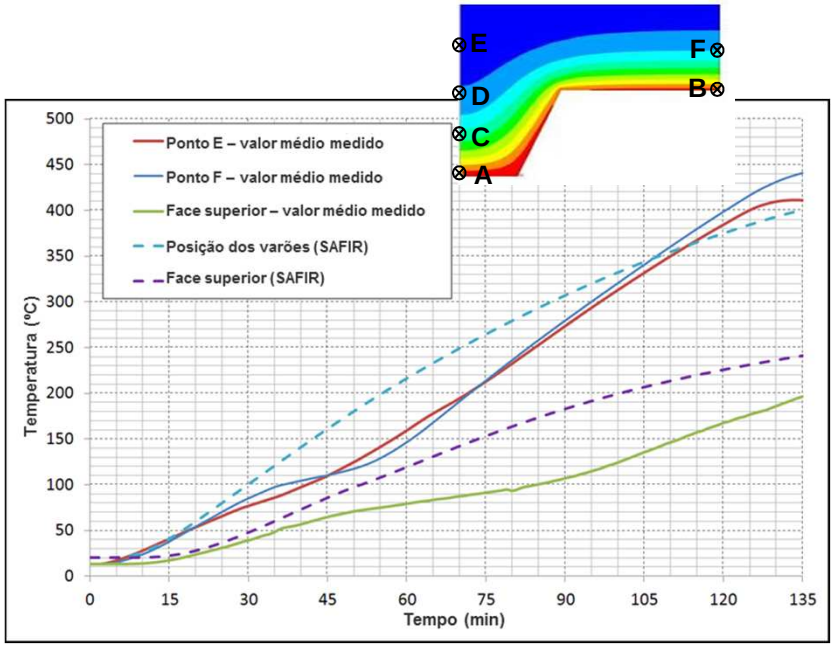
- **Comparação com ensaio ao fogo (deformação)**



Vigas de aço não protegidas



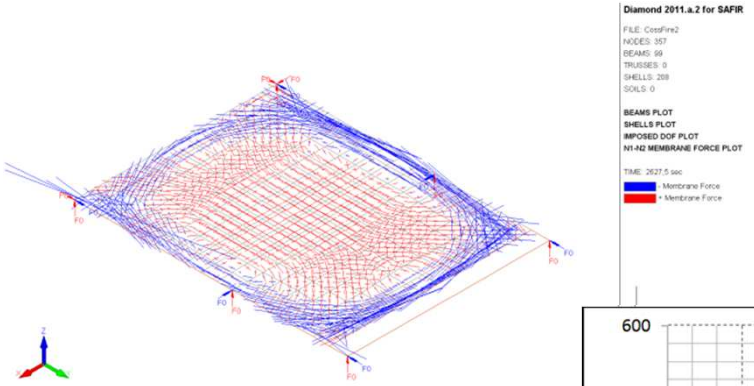




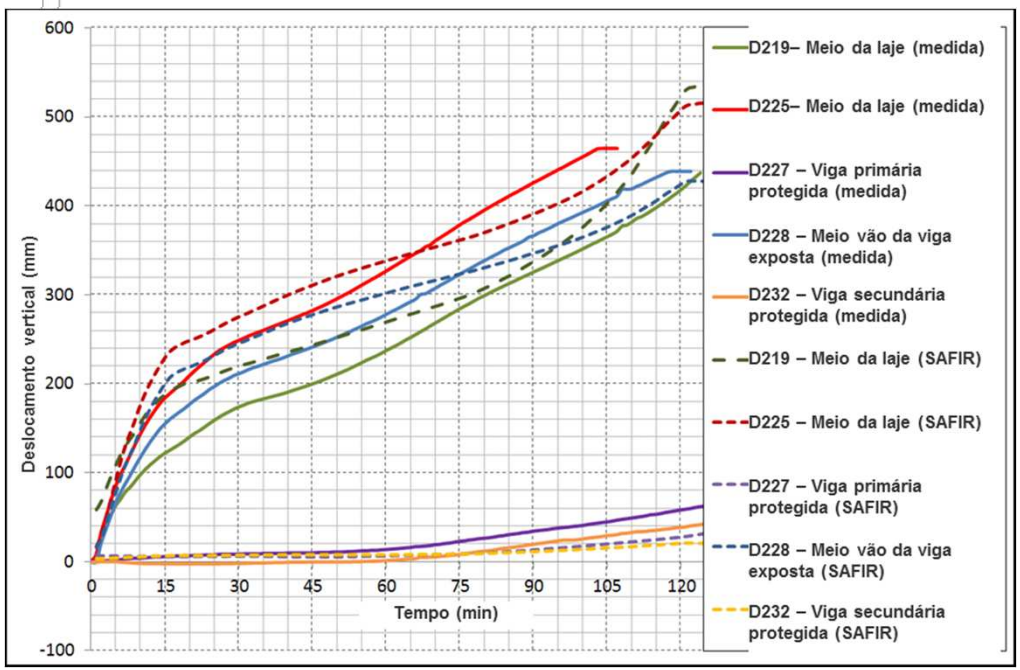
Laje mista

Validação do modelo numérico SAFIR vs Ensaio 2 (2/2)

- **Comparação com ensaio ao fogo (deformação)**



Simulação das tensões na extremidade da laje ensaiada



Comparação da deformação (laje e vigas)

Validação do modelo numérico SAFIR vs Ensaio 3 (1/3)

Objetivos

Propriedades do estudo paramétrico

Análises de elementos finitos

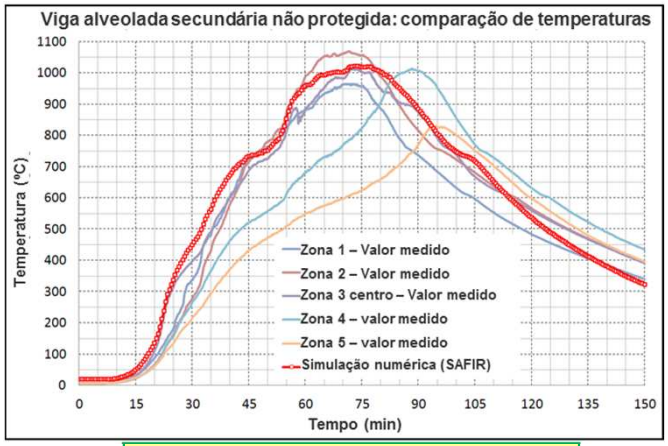
Validação do modelo numérico

Efeito das condições fronteira

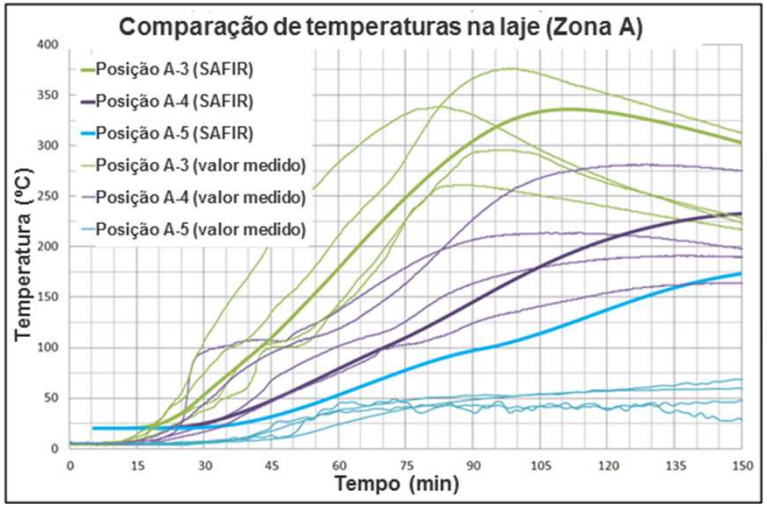
Resultados do estudo paramétrico

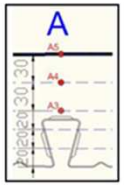
Conclusão

- **Comparação com ensaio ao fogo (análise de transferência de calor)**



Vigas de aço não protegidas



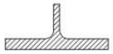


Laje mista

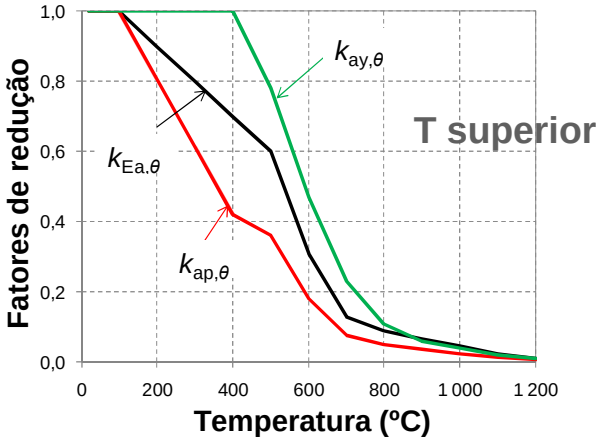
Validação do modelo numérico SAFIR vs Ensaio 3 (2/3)

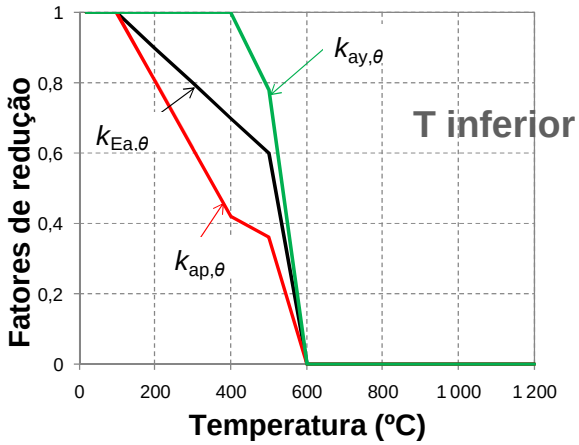
- **Modelo híbrido para ter em consideração a WPB (pós encurvadura da alma) com o elemento de VIGA**

Antes da pós-encurvadura da alma



Depois da pós-encurvadura da alma





Validação do modelo numérico SAFIR vs Ensaio 3 (3/3)

Objetivos

Propriedades do estudo paramétrico

Análises de elementos finitos

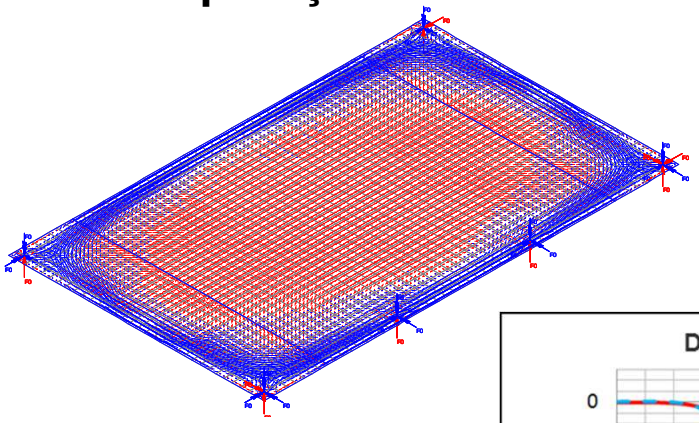
Validação do modelo numérico

Efeito das condições fronteira

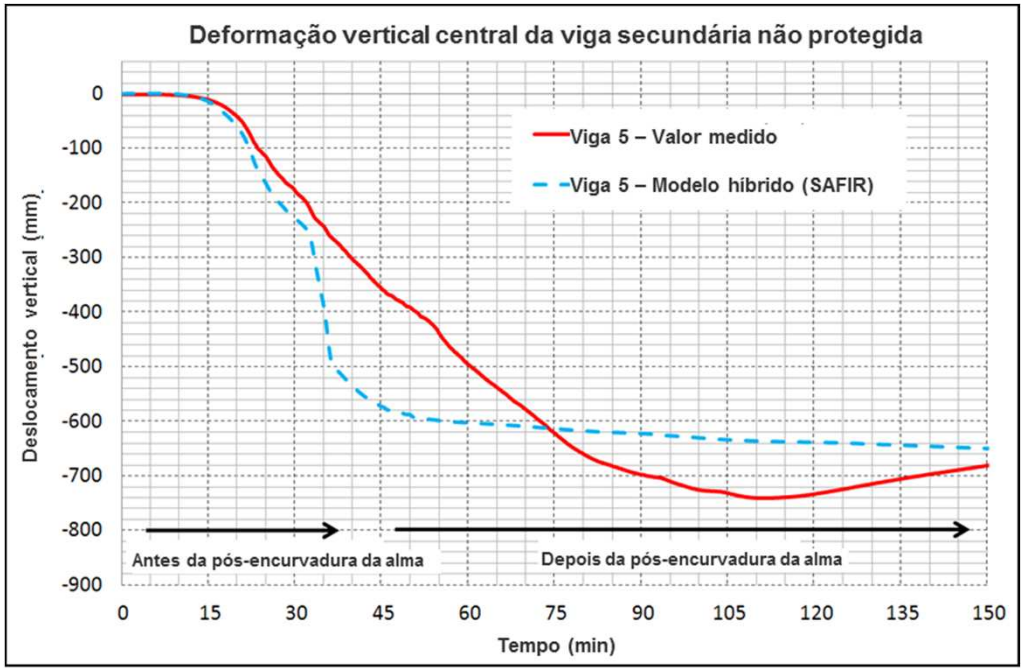
Resultados do estudo paramétrico

Conclusão

- **Comparação com ensaio ao fogo (deformação)**



Simulação das tensões na extremidade da laje ensaiada



Comparação da deformação

Efeito das condições fronteira

Objetivos

Propriedades do estudo paramétrico

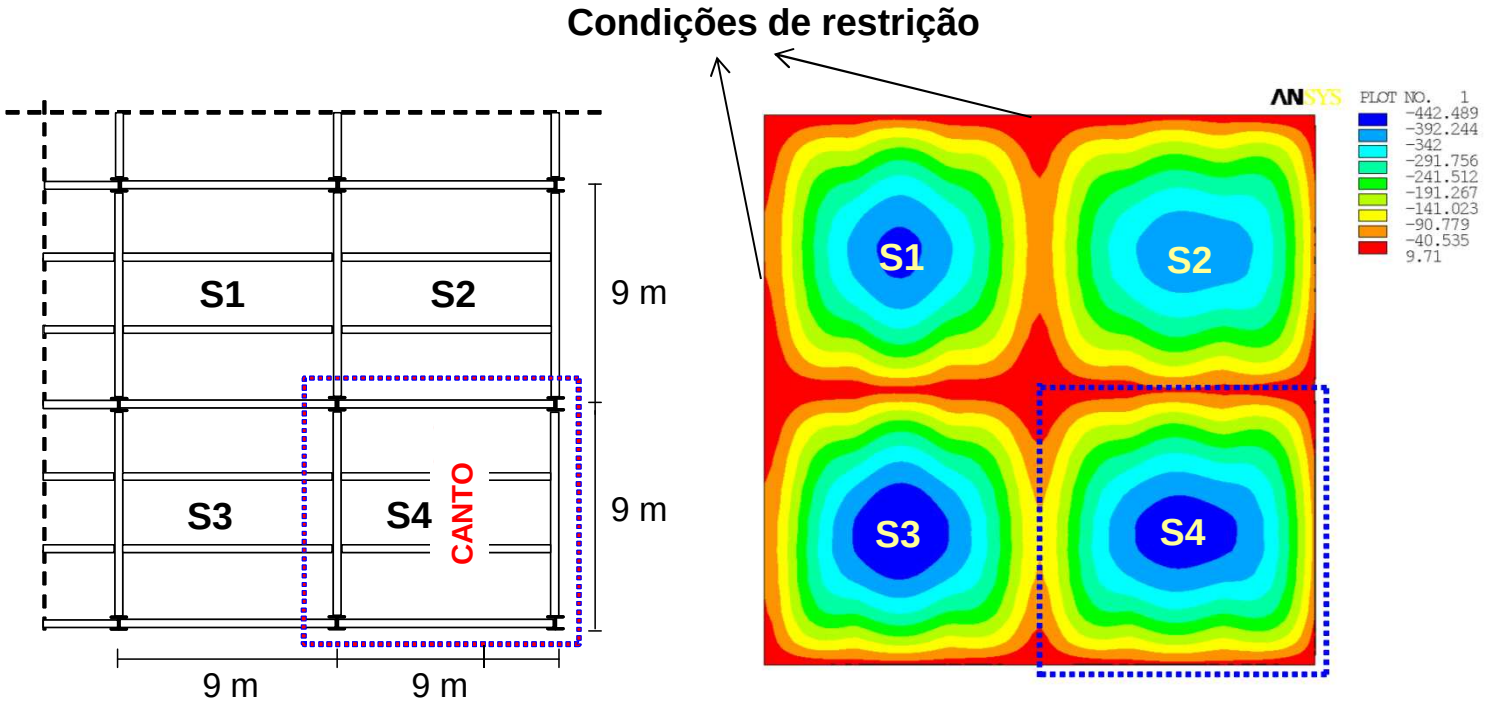
Análises de elementos finitos

Validação do modelo numérico

Efeito das condições fronteira

Resultados do estudo paramétrico

Conclusão



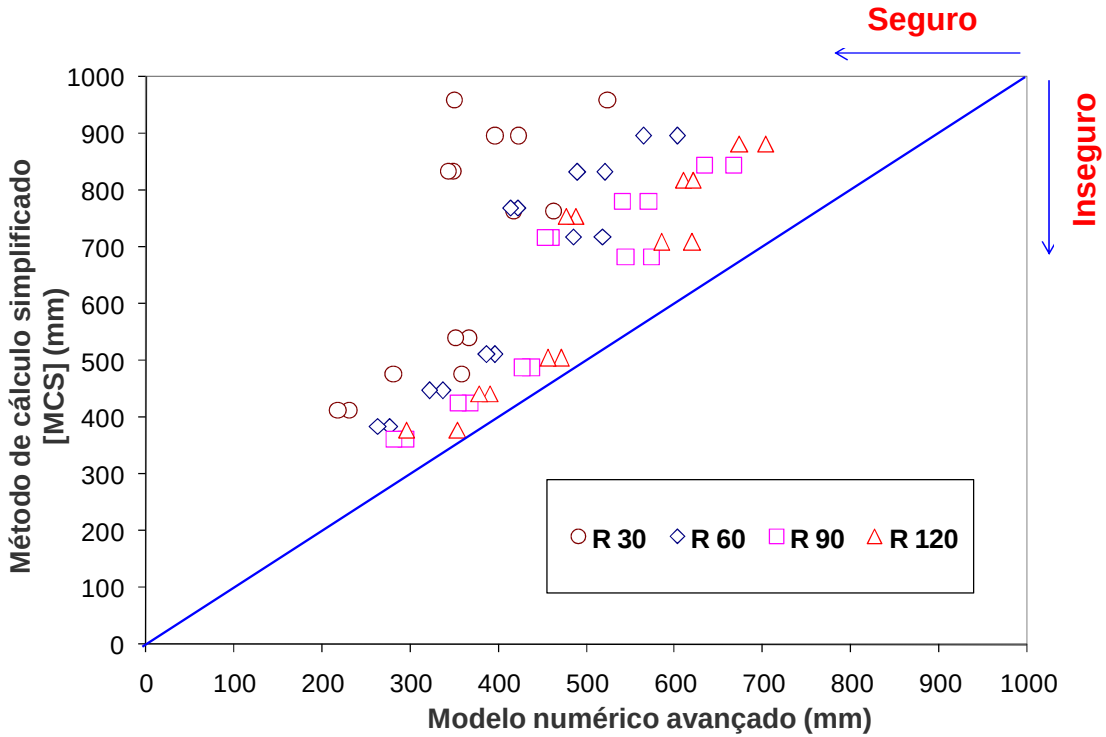
Grelha da estrutura de um edifício real

Modelo ANSYS

- **Conclusão**
  - **É mais importante prever a deformação no canto da grelha com 2 bordos contínuos no que nas outras 3 grelhas com 3 ou 4 bordos contínuos.**

Resultados do estudo paramétrico (1/4)

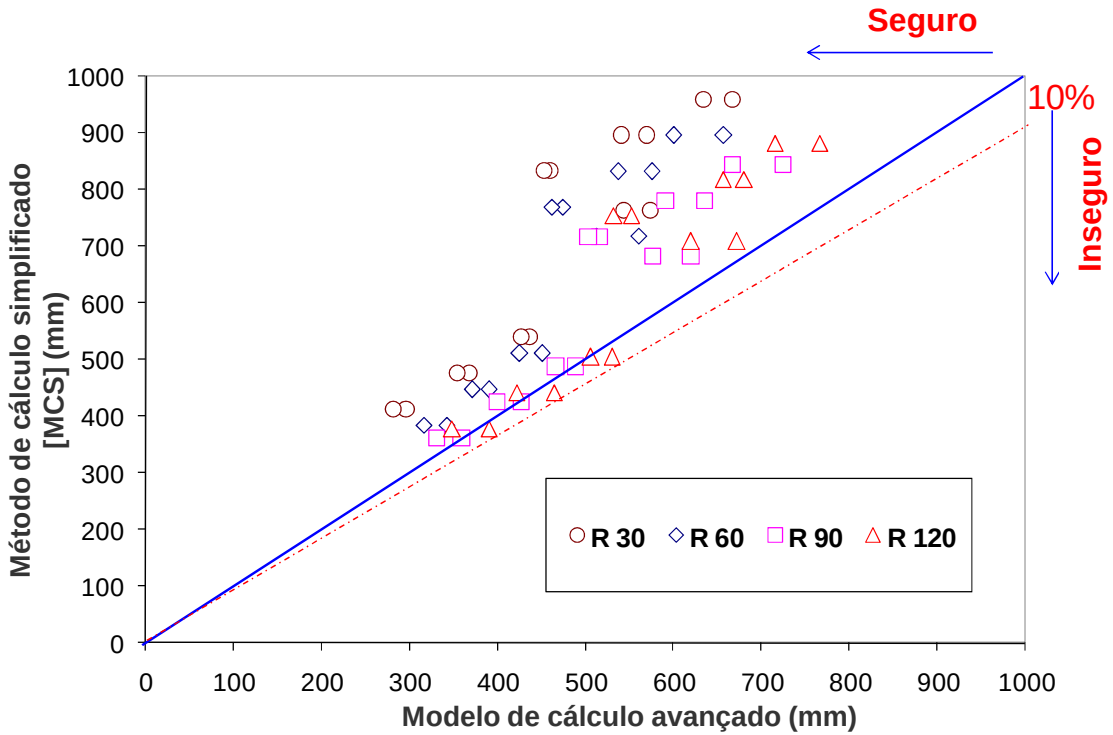
- **Comparação da deformação FEA com a deformação máxima permitida de acordo com o MCS (Método de Cálculo Simplificado)**



Com ligação mecânica entre a laje e os pilares em cálculos avançados

Resultados do estudo paramétrico (2/4)

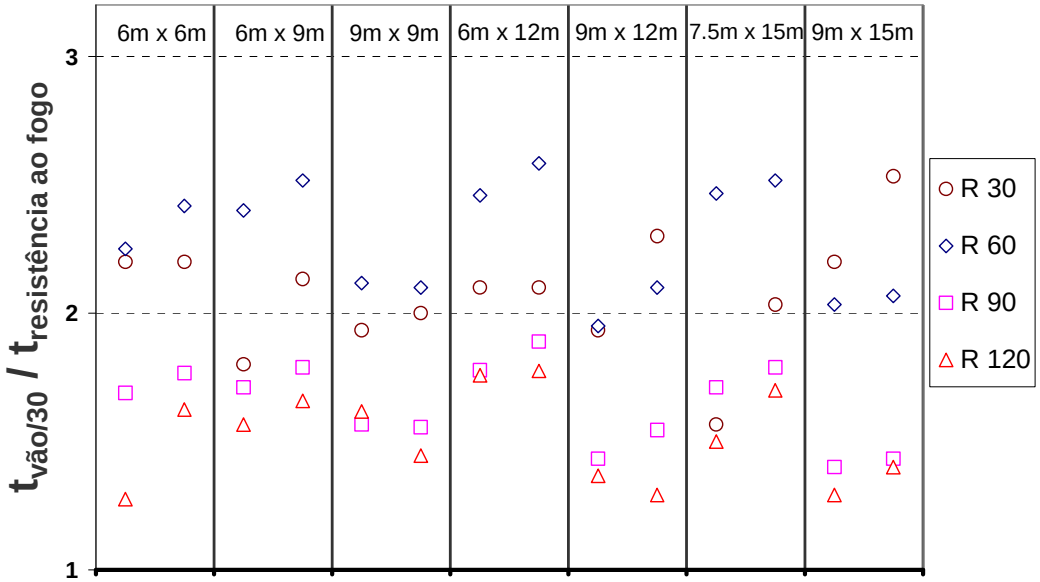
- **Comparação da deformação FEA com a deformação máxima permitida de acordo com o MCS (Método de Cálculo Simplificado)**



Sem ligação mecânica entre a laje e os pilares em cálculos avançados

Resultados do estudo paramétrico (3/4)

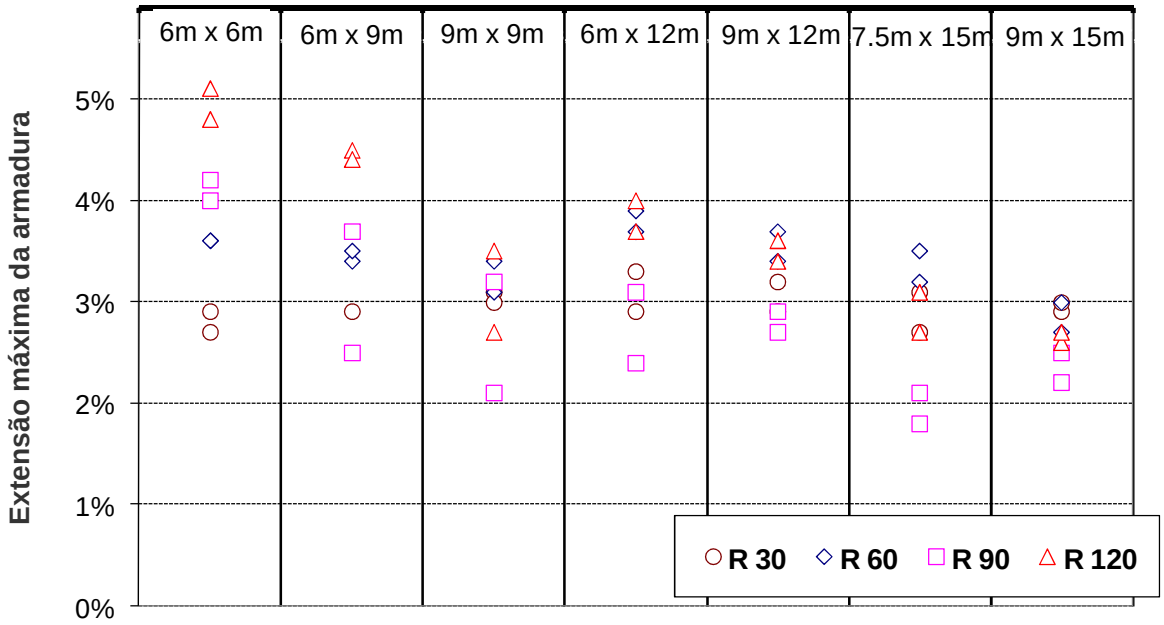
- **Comparação do tempo a que a deformação da FEA (análise de elementos finitos) atinge vão/30 com a resistência ao fogo de acordo com o MCS (Método de Cálculo Simplificado)**



- **Conclusão**
  - **O critério vão/30 não é atingido na FEA durante toda a duração da resistência ao fogo prevista pelo MCS**

Resultados do estudo paramétrico (4/4)

- **Capacidade de extensão da armadura**



- **Conclusão**
  - **Extensão da armadura < 5 % = Min. capacidade de extensão permitida de acordo com o EC4-1-2.**

Conclusão

- **O MCS (Método de Cálculo Simplificado) está do lado da segurança em comparação com os resultados de cálculos avançados;**
- **No que diz respeito à extensão da rede da armadura, esta permanece geralmente abaixo de 5 %;**
- **As ligações mecânicas entre a laje e os pilares podem reduzir a deformação de um sistema de pavimento misto em situação de incêndio, mas não são necessárias como um detalhe construtivo;**
- **O MCS é capaz de prever de forma segura o comportamento estrutural de um pavimento misto de aço e betão sujeito ao fogo padrão.**