

2º ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA-PROJETO-PRODUÇÃO  
EM CONCRETO PRÉ-MOLDADO

2º EN  
P P Produção  
P Projeto  
P Pesquisa CPM

SÃO CARLOS - SP / BRASIL

03/04 DE NOVEMBRO DE 2009

# *Lajes pré-fabricadas em situação de incêndio*

**Ms. Kleber Aparecido Gomide**

**Prof. Dr. Armando Lopes Moreno Jr**

Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP

Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo – FEC



**UNICAMP**

# objetivos

Discutir a segurança estrutural de lajes  
pré-fabricadas em situação de incêndio  
(EUROCODE 2 parte 1.2)

# *justificativas*

Alguns casos de incêndios levam a estrutura ao colapso parcial ou total, colocando em risco as operações de combate e salvamento, bem como, ocasionam prejuízos materiais e a perda de vidas humanas.

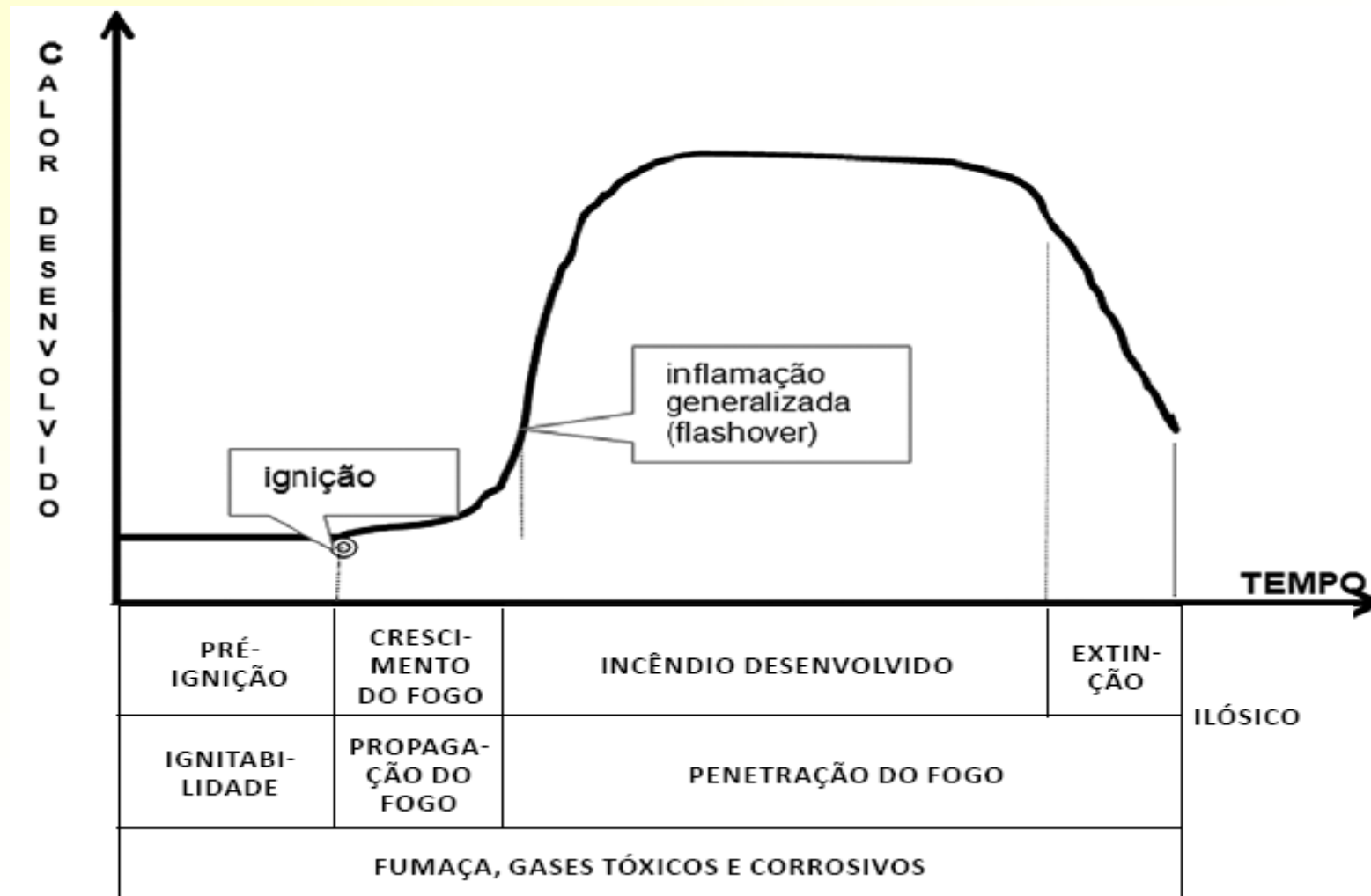
**NORMATIZAÇÃO NACIONAL !!**

Incêndio do edifício sede da  
CESP, ocorrido em 1987



# o incêndio

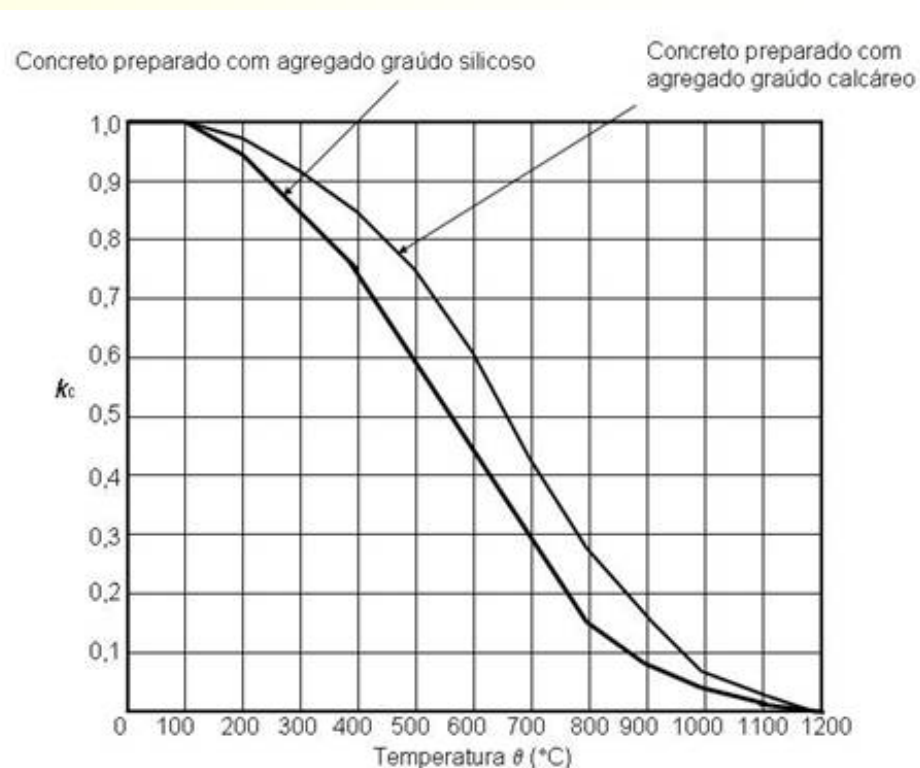
## FASES:



# comportamento dos materiais

## Concreto:

- Perdas acentuadas de resistência e rigidez;
- Spalling;

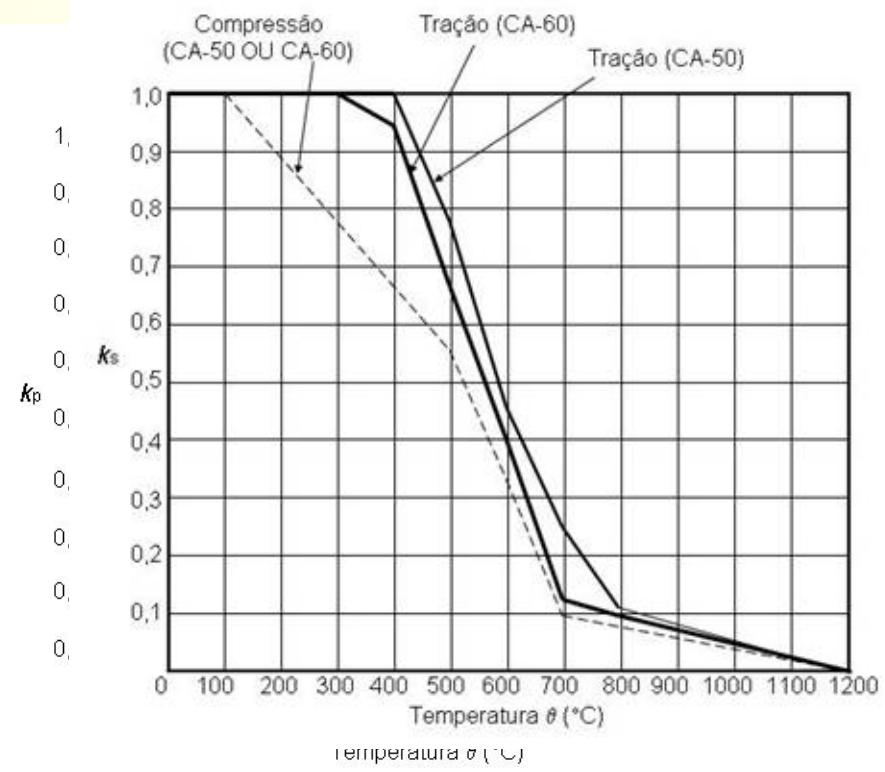
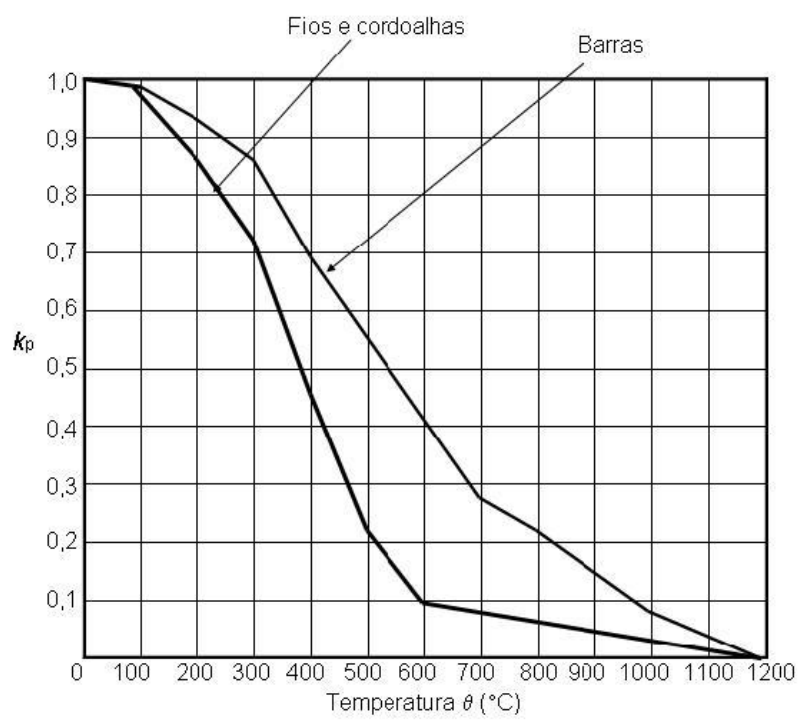


Fator de redução da resistência característica do concreto

# comportamento dos materiais

## Aço:

- Perdas acentuadas de resistência, rigidez e aderência



**Fator de redução da resistência característica do aço**

## *comportamento das lajes*

As lajes exercem papel de fundamental importância na compartimentação das estruturas, tendo como funções: segurança estrutural, estanqueidade e isolamento térmico.



## *modelo de dimensionamento*

- Lajes nervuradas biapoiadas com 4 m de vão;
- Sem carregamento de alvenaria;
- Considerando edifício comercial para escritórios:
  - Sobrecarga de 2,00 kN/m<sup>2</sup>;
- TRRFs de 30, 60, 90 e 120 minutos;
  - Utilização do Método Simplificado de Hertz – Eurocode 2.



# verificação estrutural

## Esforços Atuantes:

$$F_{di} = \gamma_g F_{gk} + F_{qexc} + \gamma_q \sum \psi_{2j} F_{qjk}$$

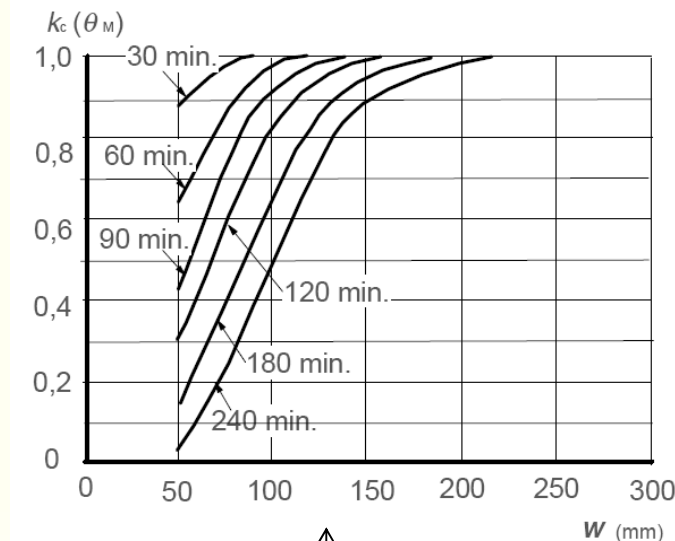
## Esforços Resistentes:

$$M_{R,fi} = A_s \cdot f_{yd,\theta} \cdot (d - 0,4 \cdot x_{fi}) \rightarrow \text{momentos positivos}$$

$$\rightarrow x_{fi} = \frac{K_{s,\theta} \cdot f_{yd} \cdot A_s}{0,68 \cdot b \cdot f_{cd}}$$

$$M_{R,fi} = A_s \cdot f_{yd} \cdot (d - 0,4 \cdot x_{fi}) \rightarrow \text{momentos negativos}$$

$$\rightarrow x_{fi} = \frac{K_{s,\theta} \cdot f_{yd} \cdot A_s}{0,68 \cdot b \cdot f_{cd,\theta M}} \rightarrow f_{cd,\theta M} = \frac{K_{c\theta M} \cdot f_{ck}}{\gamma_c}$$



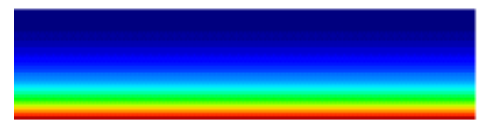
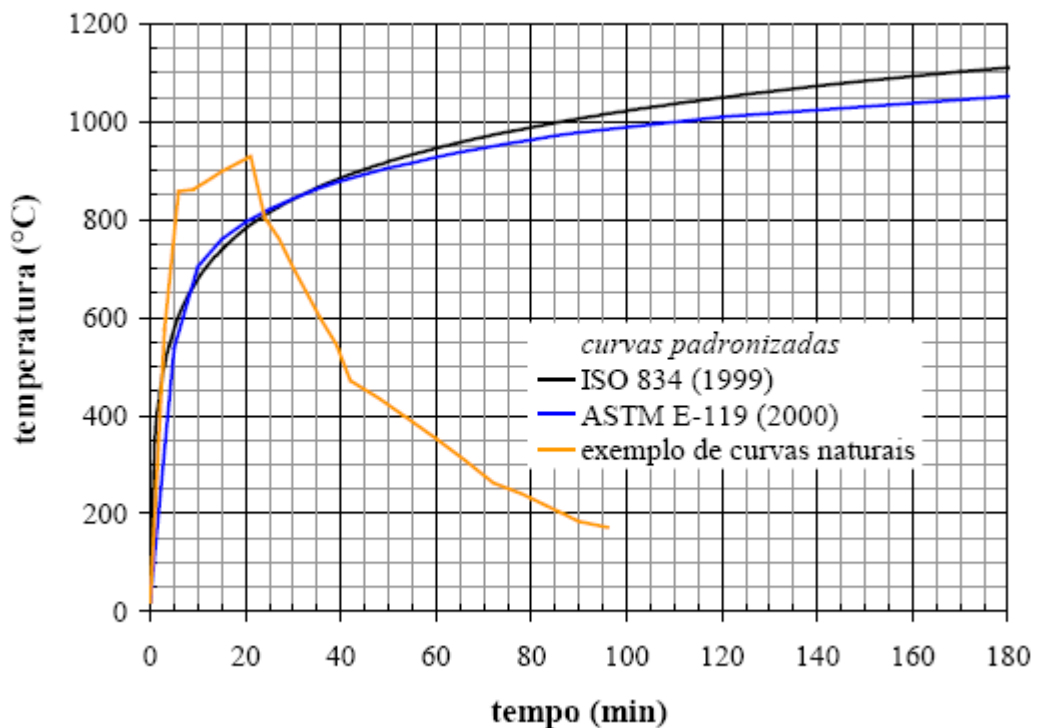
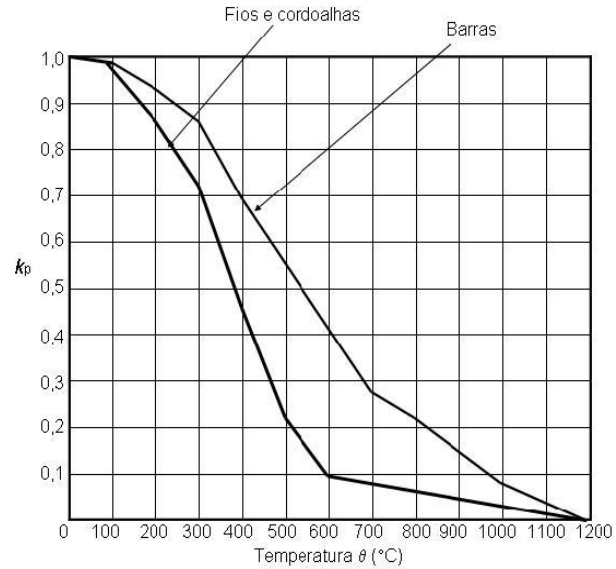
**Esforços Atuantes < Esforços Resistentes → OK!!!**

# verificação

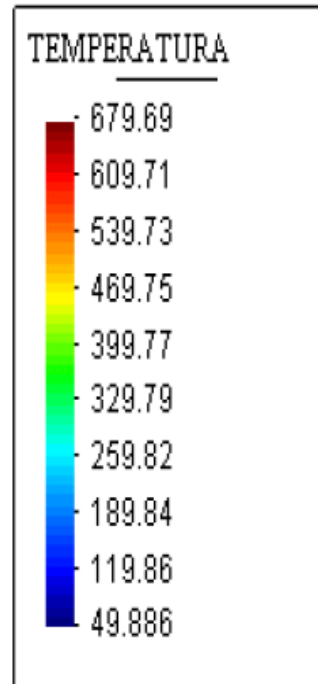
## Esforços Resistentes:

$$M_{R,fi} = A_s \cdot f_{yd,\theta} \cdot (d - 0,4 \cdot x_{fi}) \rightarrow \text{momentos positivos}$$

$$x_{fi} = \frac{K_{s,\theta} \cdot f_{yd} \cdot A_s}{0,68 \cdot b^* \cdot f_{cd}}$$



**TRRF = 30 min**



## Lajes Trelaçadas:

## modelo

- $f_{ck} = 25 \text{ MPa}$
- Aço: 4  $\varnothing 6,0 \text{ mm}$  – CA 60
- $H_{\text{total}} = 16 \text{ cm}$
- $H_{\text{capa}} = 4 \text{ cm}$
- Intereixo: 42 cm



Dimensionamento da Laje Nerv. Trelaçada, em situação ambiente

Carregamentos	Valores (kN/m <sup>2</sup> )	Características Geométricas		Dimensionamento	
				Momentos (kN.m)	
Peso Próprio (g):	2,3	vão	4,00 m	$M_{d,máx}$ (faixa de 1m)	14,840
Revestimento (g):	1,0	intereixo	0,42 m	$M_{d,máx}$ (nervura)	6,233
Sobrecarga (q):	2,0	$h_{\text{Total}}$	0,16 m	$A_s$ (cm <sup>2</sup> )	1,13
<b>Total (g+q)</b>	<b>5,3</b>	$h_{\text{Capa}}$	0,04 m	$A_s$ adotada	4 $\varnothing 6,0 \text{ mm}$

Notas: Carregamento de peso próprio obtido considerando-se recomendações de fabricantes nacionais e utilização de lajotas cerâmicas;

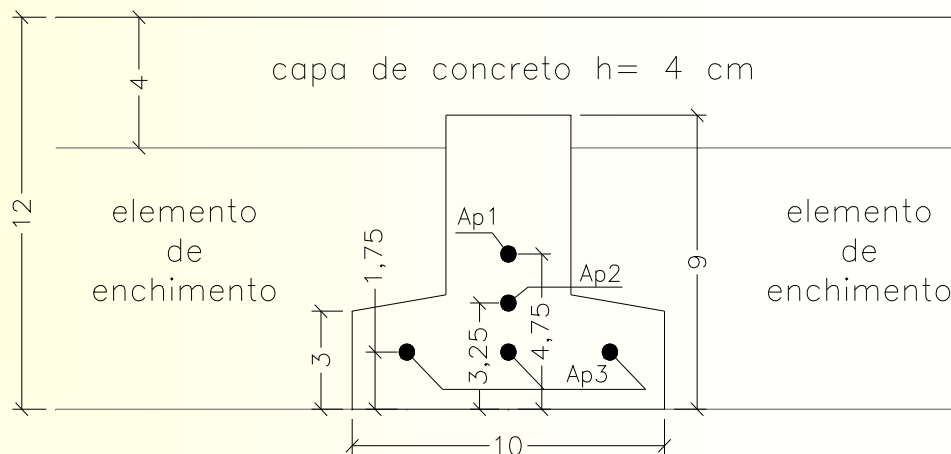
Carregamento de revestimento obtido considerando-se revestimento de piso cerâmico;

Sobrecarga obtida considerando-se edificação para escritório.

## Lajes Protendidas:

- $f_{ck} = 25 \text{ MPa}$
- Aço: 5  $\varnothing 4,0 \text{ mm}$  – CP 150 RN
- $H_{\text{total}} = 12 \text{ cm}$
- $H_{\text{capa}} = 4 \text{ cm}$
- Intereixo: 50 cm

## modelo



### Dimensionamento da Laje Nerv. Protendida, em situação ambiente

Carregamentos	Valores (kN/m <sup>2</sup> )	Características Geométricas		Dimensionamento	
				Momentos (kN.m)	
Peso Próprio (g):	1,75	vão	4,00 m	$M_{d,máx}$ (faixa de 1m)	13,30
Revestimento (g):	1,00	intereixo	0,50 m	$M_{d,máx}$ (nervura)	6,65
Sobrecarga (q):	2,00	$h_{\text{Total}}$	0,12 m	$A_p$ (cm <sup>2</sup> )	0,63
<b>Total (g+q)</b>	<b>4,75</b>	$h_{\text{Capa}}$	0,04 m	$A_p$ adotada	5 $\varnothing 4,0 \text{ mm}$

*Notas: Carregamento de peso próprio obtido considerando-se recomendações de fabricantes nacionais e utilização de lajotas cerâmicas;*

*Carregamento de revestimento obtido considerando-se revestimento de piso cerâmico;*

*Sobrecarga obtida considerando-se edificação para escritório.*

# resultados: concreto armado

Resistência dos Materiais, em situação de incêndio – lajes nerv. treliçadas

TRRF	Armadura Positiva			Concreto			
	$\theta$ (°C)	$k_{s,\theta}$	$f_{yd,\theta}$ (kN/cm <sup>2</sup> )	w (cm)	$f_{cd}$ (kN/cm <sup>2</sup> )	$k_{c,\theta M}$	$f_{cd,\theta M}$ (kN/cm <sup>2</sup> )
30	370	0,960	57,60	16	2,08	1,00	2,08
60	550	0,540	32,40			1,00	2,08
90	720	0,118	7,08			1,00	2,08
120	800	0,110	6,60			1,00	2,08

**Temperaturas obtidas por meio de isothermas (EUROCODE 2 part. 1.2)**

# resultados: concreto armado

Comparação entre momentos atuantes e resistentes – lajes treliçadas

Mom. Atuante (kN.m)		Momentos Resistentes (kN.m)							
		TRRF 30		TRRF 60		TRRF 90		TRRF 120	
		$x_{fi}$ (cm)	$M_{fi}$	$x_{fi}$ (cm)	$M_{fi}$	$x_{fi}$ (cm)	$M_{fi}$	$x_{fi}$ (cm)	$M_{fi}$
$M_{dx}$	3,80	1,09	9,15	0,62	5,22	0,13	<b>1,16</b>	0,13	<b>1,08</b>

Nota: Momento atuante obtido a partir do cálculo do momento de laje bi-apoiada com o carregamento especificado na Tab. 1, para a faixa de 0,42 m correspondente ao entreixo, devidamente calculado com os coeficientes dados na Eq. 1.

**Contra a segurança**  
**Momento resistente <<< Momento atuante**

# resultados: concreto protendido

Resistência dos Materiais, em sit. de incêndio – lajes nervuradas protendidas

TRRF	Armadura Positiva			Concreto				
	$\theta$ (°C)	$k_{s,\theta}$	$f_{yd,\theta}$ (kN/cm <sup>2</sup> )	w (cm)	$f_{cd}$ (kN/cm <sup>2</sup> )	$k_{c,\theta M}$	$f_{cd,\theta M}$ (kN/cm <sup>2</sup> )	
30	A <sub>p1</sub>	100	0,98	125,44	12	2,08	1,00	2,08
	A <sub>p2</sub>	220	0,92	117,76				
	A <sub>p3</sub>	350	0,78	99,84				
60	A <sub>p1</sub>	250	0,89	113,92				
	A <sub>p2</sub>	400	0,69	88,32				
	A <sub>p3</sub>	550	0,24	30,72				
90	A <sub>p1</sub>	400	0,69	88,32				
	A <sub>p2</sub>	500	0,26	33,28				
	A <sub>p3</sub>	700	0,15	19,20				
120	A <sub>p1</sub>	450	0,48	61,44				
	A <sub>p2</sub>	600	0,21	26,88				
	A <sub>p3</sub>	750	0,12	15,36				

**Temperaturas obtidas por meio de isotermas (EUROCODE 2 part. 1.2)**

# resultados: concreto protendido

Comparação entre momentos atuantes e resistentes – lajes protendidas

Mom. Atuante (kN.m)		Momentos Resistentes (kN.m)							
		TRRF 30		TRRF 60		TRRF 90		TRRF 120	
		X <sub>fi</sub> (cm)	M <sub>fi</sub>	X <sub>fi</sub> (cm)	M <sub>fi</sub>	X <sub>fi</sub> (cm)	M <sub>fi</sub>	X <sub>fi</sub> (cm)	M <sub>fi</sub>
M <sub>dx</sub>	3,86	0,97	6,05	0,52	<b>3,13</b>	0,32	<b>1,89</b>	0,24	<b>1,44</b>

*Nota: Momento atuante obtido a partir do cálculo do momento de laje bi-apoiada com o carregamento especificado na Tab. 4, para a faixa de 0,50 m correspondente ao entreixo, devidamente calculado com os coeficientes dados na Eq. 1.*

**Contra a segurança**  
**Momento resistente <<< Momento atuante**



# conclusões

## Lajes Treliçadas:

- Resultados favoráveis até TRRF de 60 minutos;

## Lajes Protendidas:

- Resultados favoráveis somente para TRRF de 30 minutos;
- Avaliação da aderência (400°C)

## Para TRRF de 90 e 120 minutos:

- Resultados contra segurança nos dois tipos de lajes adotados;

## Alternativas:

- Aplicação de revestimentos isolantes sob as lajes;
- Incremento nos valores de cobrimentos;

## Metodologia Empregada:

- Somente obtém-se resultados da resistência estrutural da seção;
- Para **estanqueidade** e **isolamento térmico** deve ser aplicada outra metodologia (experimental).