



# Estudo experimental e analítico de painéis de pré-laje submetidos à flexão

Mestrando Filipe de Lima Rocha

Doutora Bruna Catoia

Mestre Luís Augusto Bachega

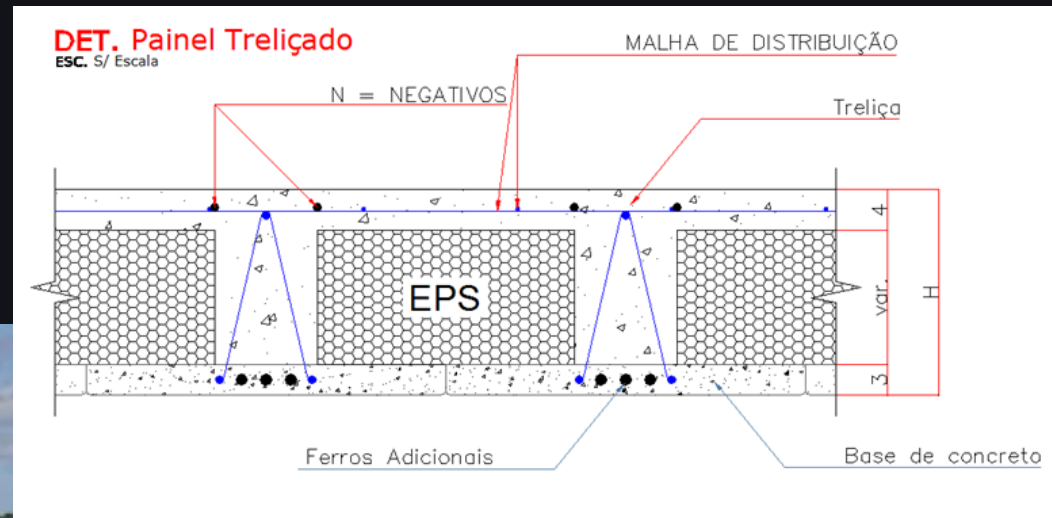
Prof.º Dr. Fernando Menezes de Almeida Filho

# Agradecimentos

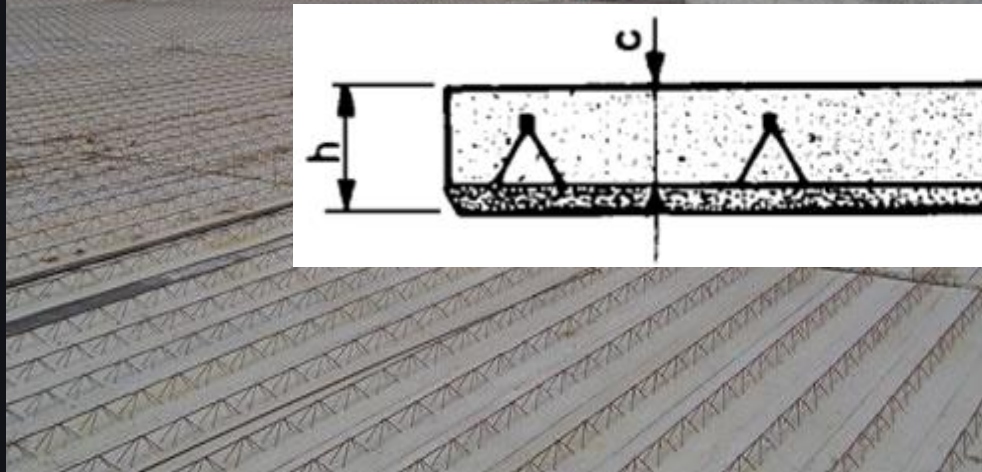
- Ao Prof. Dr. Roberto Chust Carvalho pela orientação e pelas ideias durante o desenvolvimento deste trabalho sem as quais esse trabalho não teria atingido os objetivos propostos;
- A empresa Lajes Anhanguera por patrocinar esse estudo e contribuir com o avanço tecnológico na Engenharia Civil;
- A todos as demais pessoas que colaboraram para a realização dos experimentos e a confecção deste artigo.

# O que são Pré-lajes? Auto-portância?

- Laje Painel Treliçada; ou
- Laje Painel; ou
- Pré-Laje; ou
- Painel Treliçado.



NBR 14860-1



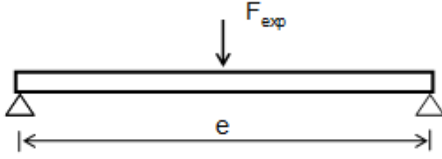
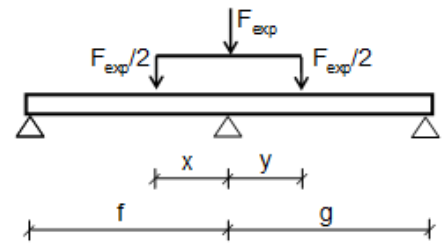
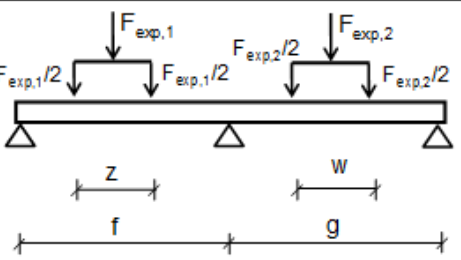


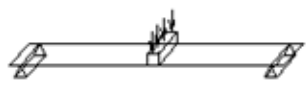
# Os Ensaio



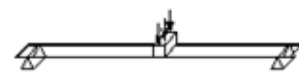
Os ensaios foram realizados no final do ano de 2011

# Descrição dos Ensaios

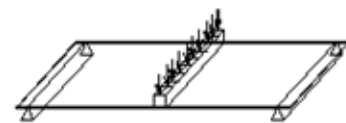
Esquema de ensaio	Laje
	L01, L02, L03, L04, L05, L06, L07, L08, L09
	L10, L11
	L12, L13



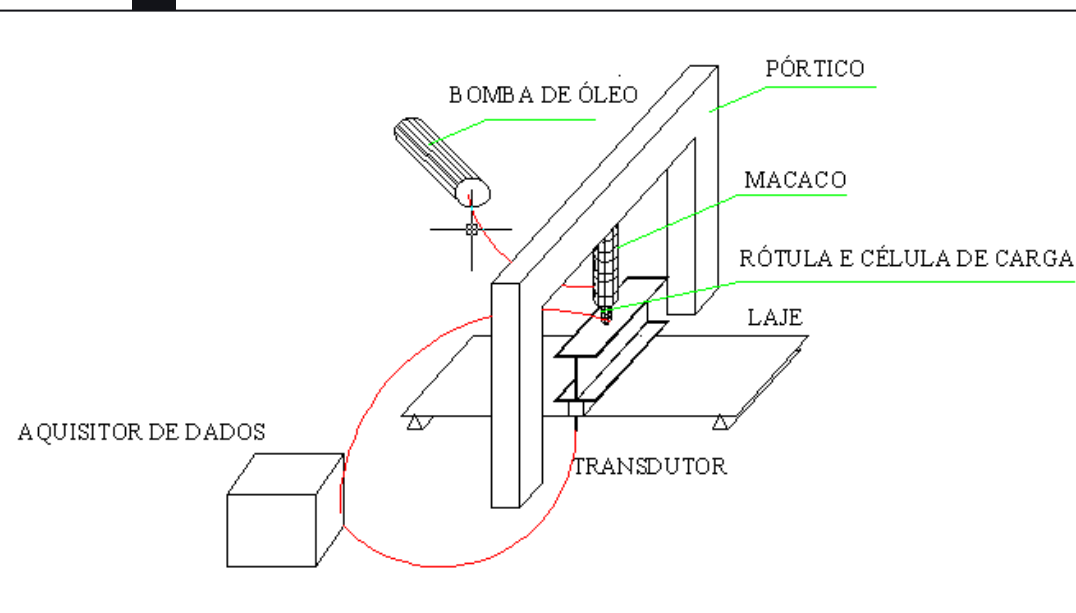
LAJES L01, L02 e L03  
painel de 0,35 m de largura  
3 treliças  
3 m



LAJES L04, L05 e L06  
painel de 0,35 de largura  
2 treliças  
3 m

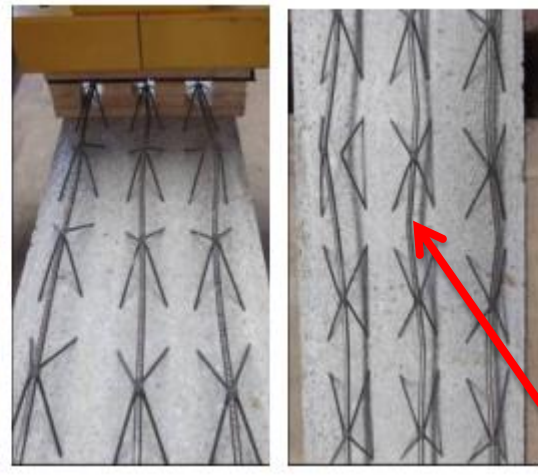


LAJES L07, L08 e L09  
painel de 1,20 m de largura  
6 treliças  
3 m

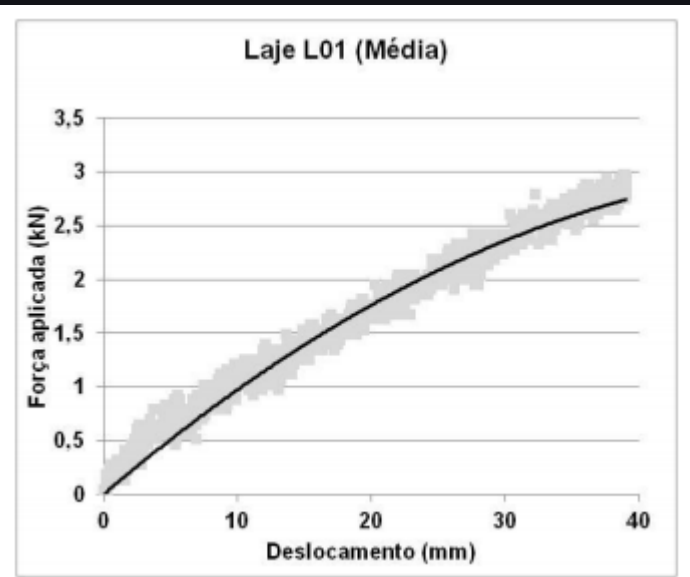


ra

# Ensaio da Laje L01



Flambagem dos banzos superiores



Laje	$F_R$ (força máxima resistente) (kN)
L01	3,1



# Ensaio da Laje L01 - Cargas

## Cargas concentradas

Peças de aço (P)  $3 \times 3,2 = 9,6$  daN

Rótula = 4 daN

Peso da célula ( $P_a$ ) 13,6 daN = 0,1 kN

Ação distribuída de peso próprio  $g = 0,025 \times 0,35 \times 25 = 0,2$  kN/m

## Momento resistido $M_R$ (ensaio)

$L_{efetivo} = 2,935$  m (distância entre os apoios)

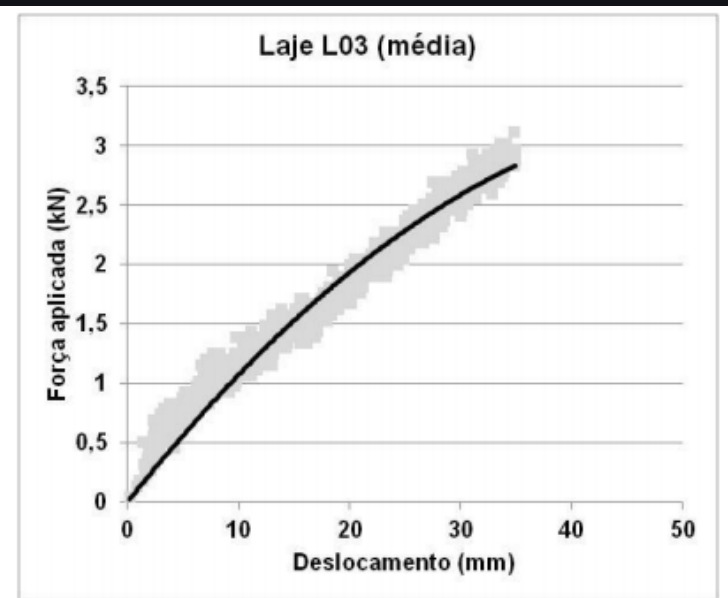
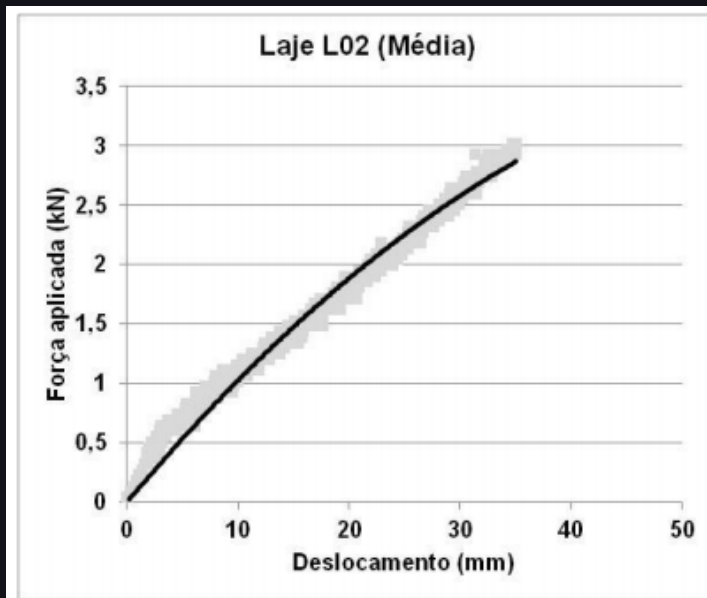
$$M_R = (P + P_a) \times \left(\frac{L_{efetivo}}{4}\right) + g \times \left(\frac{L_{efetivo}^2}{8}\right) \quad (1)$$

Onde P o valor lido na célula de carga:

$$M_R = (3,1 + 0,1) \times \left(\frac{2,935}{4}\right) + 0,2 \times \left(\frac{2,935^2}{8}\right) = 2,6 \text{ kN.m}$$

# Resultado do Ensaio das lajes L01 a L03

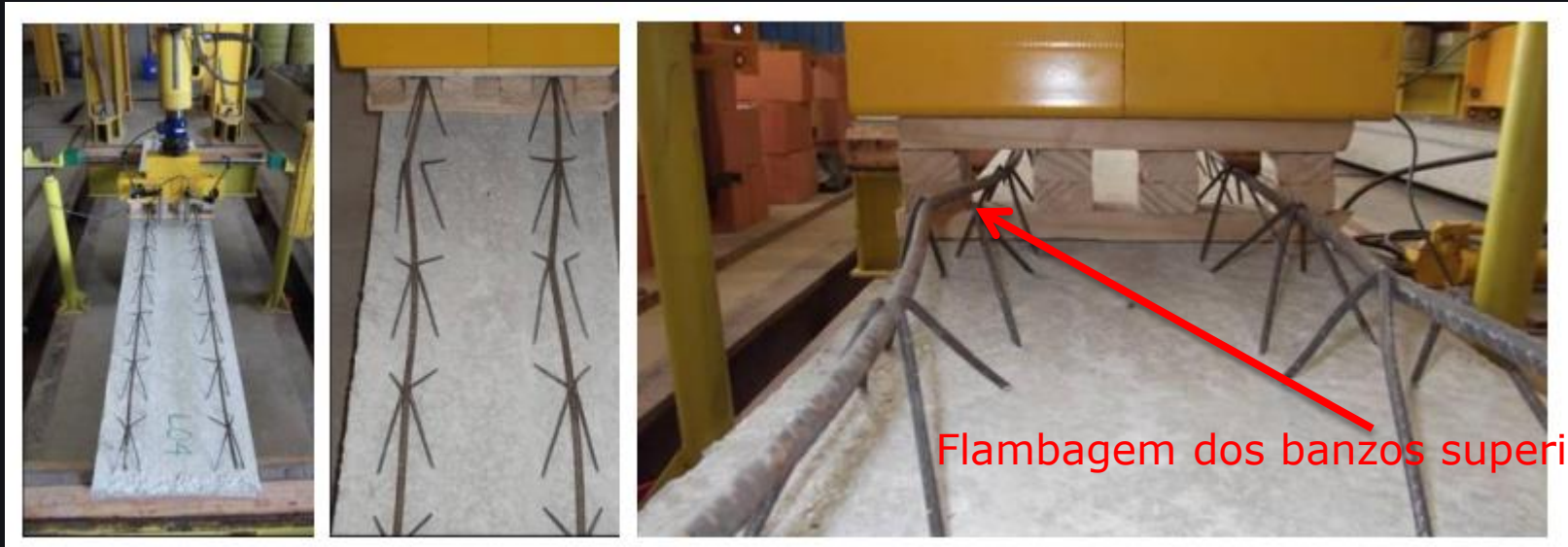
Laje	Vão Efetivo (m)	Largura da Peça (m)	Carga Concentrada (kN)	Ação Distribuída de peso próprio (kN/m)	Força Máxima Resistente (kN)	Momento Resistido (kN.m) (equação 1)
L01	2,935	0,35	0,1	0,2	3,1	2,56
L02	2,93	0,345	0,1	0,2	3,3	2,71
L03	2,928	0,35	0,1	0,2	3,4	2,78
					<b>Média</b>	<b>2,68</b>







# Ensaio das Lajes L04, L05 e L06



Flambagem dos banzos superiores



Fissuração das bordas

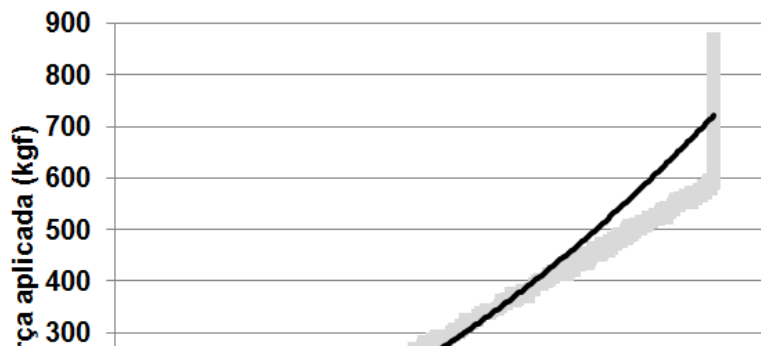


Fissuração das bordas

# Ensaio das Lajes L04, L05 e L06

Laje	Vão Efetivo (m)	Largura da Peça (m)	Carga Concentrada (kN)	Ação Distribuída de peso próprio (kN/m)	Força Máxima Resistente (kN)	Momento Resistido (kN.m) (equação 1)
L04	2,51	0,35	0,1	0,2	1,9	1,41
L05	2,508	0,35	0,1	0,2	2,7	1,91
L06	2,495	0,35	0,1	0,2	3,1	2,15
					<b>Média</b>	<b>1,83</b>

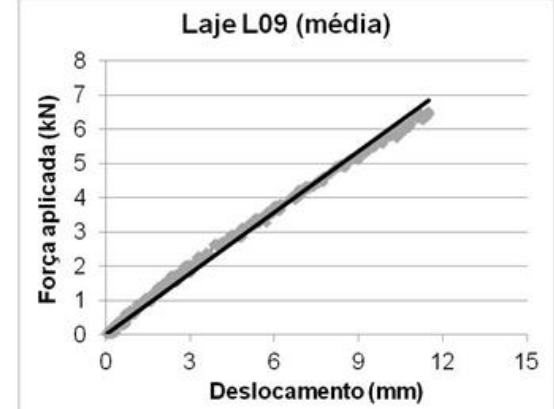
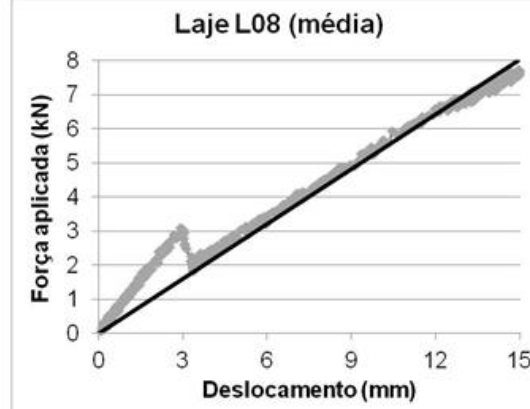
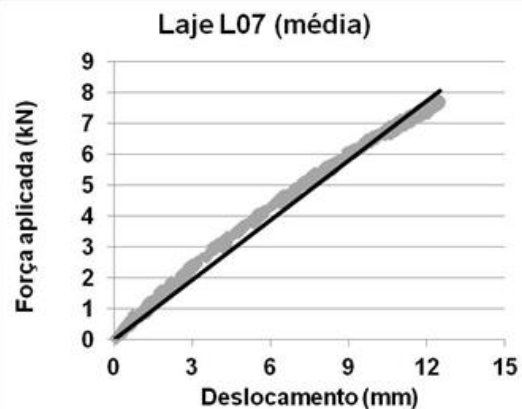
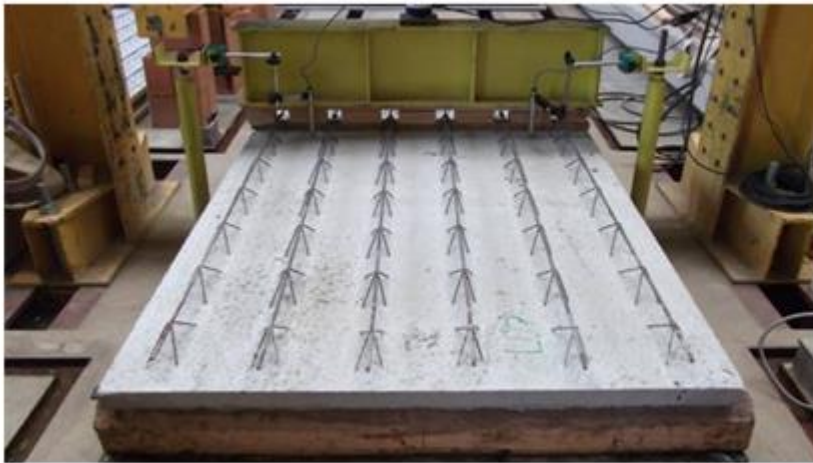
Laje L06 (ensaio 2)



Laje	Vão Efetivo (m)	Largura da Peça (m)	Carga Concentrada (kN)	Ação Distribuída de peso próprio (kN/m)	Força Máxima Resistente (kN)	Momento Resistido (kN.m) (equação 1)
L6	2,495	0,35	0,2	0,2	8,7	5,71

Deslocamento (mm)

# Ensaio das Lajes L07, L08 e L09



Rompimento por flambagem dos banzos superiores e/ou fissuração excessiva



# Ensaio das Lajes L07, L08 e L09

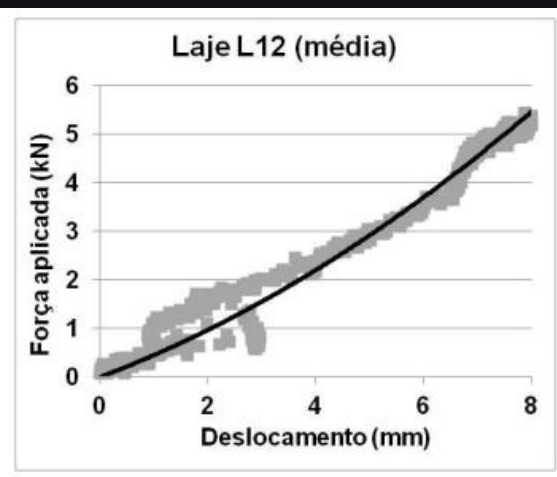
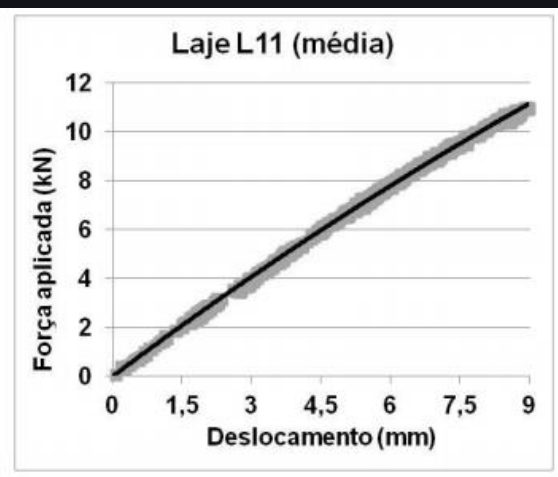
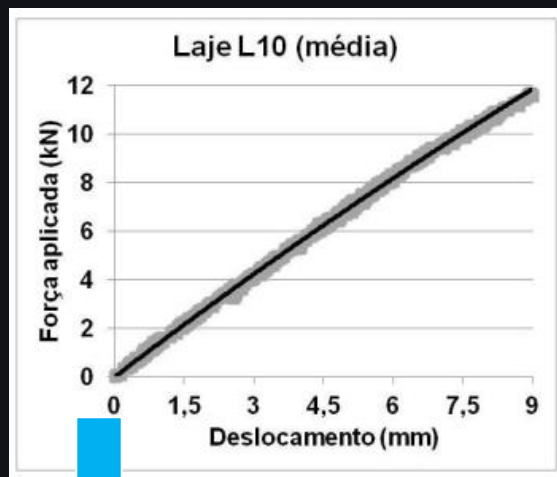
Valores das ações dos elementos de transmissão da carga concentrada:

- Viga de aço = 55,6 daN;
- Chapa = 2,6 daN;
- $P_a = 58,2 \text{ daN} = 0,6 \text{ kN};$

Ação distribuída de peso próprio (L07)  $g = 0,04 \times 1,196 \times 25 = 1,2 \text{ kN/m}.$

Laje	Vão Efetivo (m)	Largura da Peça (m)	Carga Concentrada (kN)	Ação Distribuída de peso próprio (kN/m)	Força Máxima Resistente (kN)	Momento Resistido (kN.m) (equação 1)
L07	2,52	1,196	0,6	1,2	8,8	6,87
L08	2,555	1,195	0,6	1,2	8,4	6,73
L09	2,565	1,195	0,6	1,2	8,8	7,01
					<b>Média</b>	<b>6,87</b>

# Ensaio das Lajes L10, L11 e L12



$F_R$  (força máxima resistente) \*

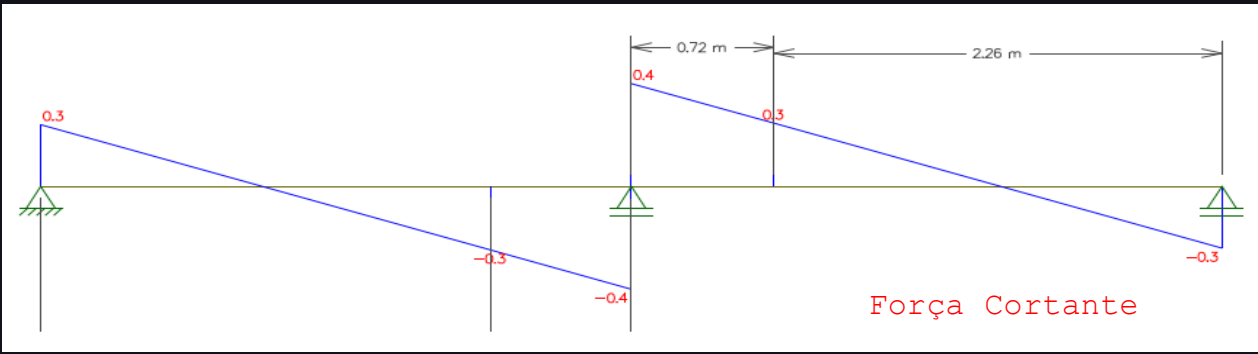
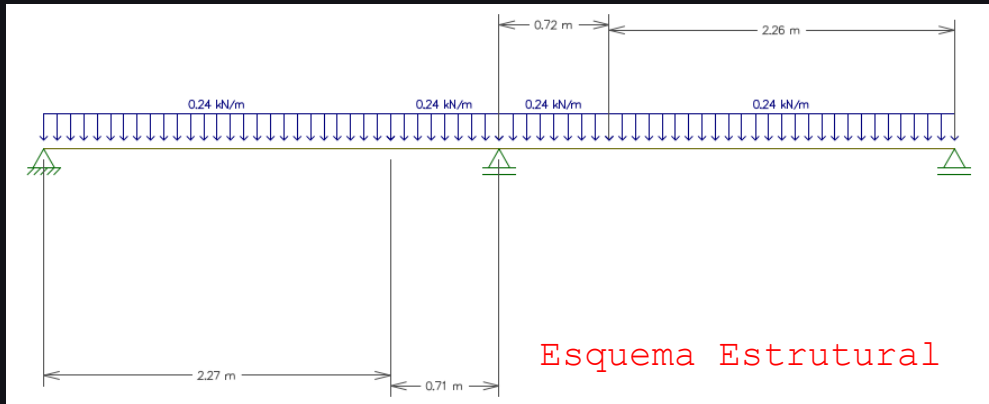
Laje	(kN)
L10	14,5



# Momento Resistente L10

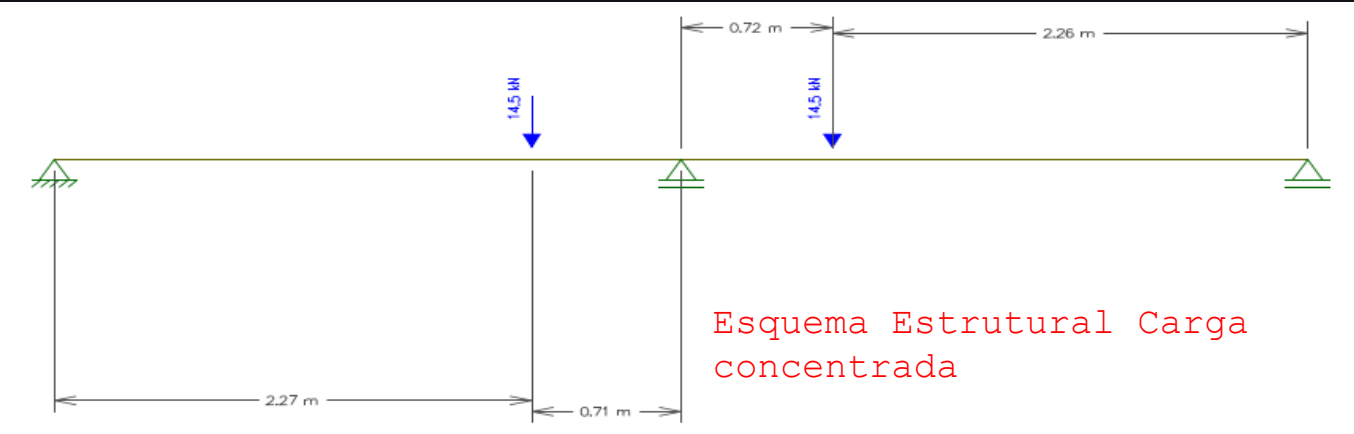
Valores das ações dos elementos de transmissão da carga concentrada

- Peças de aço  $2 \times 3,15 = 6,3 \text{ daN}$
- Viga metálica  $= 28,1 \text{ daN}$
- Rótula  $= 4 \text{ daN}$
- Chapa metálica  $= 5,8 \text{ daN}$
- $P_a = 43,4 \text{ daN} = 0,4 \text{ kN}$
- Ação distribuída de peso próprio  $g = 0,027 \times 0,35 \times 25 = 0,236 \text{ kN/m}$

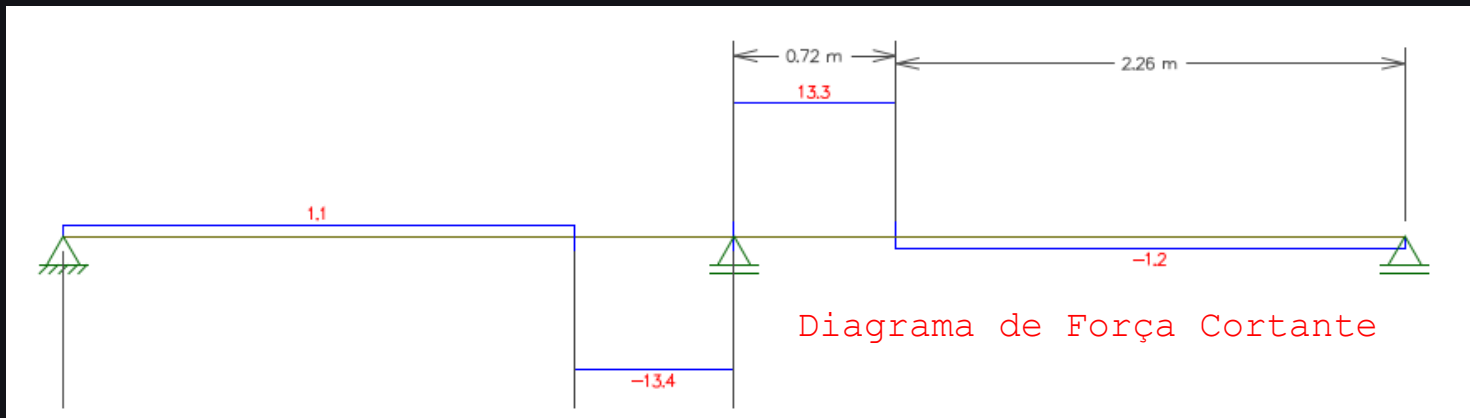




# Momento Resistente L10



<i>F<sub>R</sub></i> (força máxima resistente) *	
Laje	(kN)
L10	14,5



# Cálculo da máxima cortante resistida

$$V_{atuador} + V_{acesórios} = \left(1 + \frac{P_{acesorios}}{P_{atuador}}\right) \cdot V_{atuador}$$

Assim

$$V_{resistido} = V_g + V_{atuador} + V_{acesórios} = V_g + \left(1 + \frac{P_{acesorios}}{P_{atuador}}\right) \cdot V_{atuador}$$

Os valores de  $V_g$  e  $V_{atuador}$  são tirados dos diagramas obtidos no Ftool:

$$V_{resistido} = 0,4 + \left(1 + \frac{0,4}{14,5}\right) \cdot 13,4 = 14,17kN$$

Laje	Peso dos acessórios (kN)	Ação devido ao peso próprio (kN/m)	Força cortante devido o Peso Próprio (kN)	Força cortante devido a ação do atuador (kN)	Força Máxima registrada pelo atuador (kN)	Máxima Força Cortante suportada pela peça
L10	0,4	0,236	0,4	13,4	14,5	14,17
L11	0,4	0,236	0,4	13,3	12,3	14,13
L12	0,54	0,219	0,4	5,9	7,2	6,74
					<b>Média*</b>	<b>14,15*</b>

\*Obs: Os valores de L12 foram excluídos da análise devido a diferença entre os ensaios e os valores obtidos.



# Exemplo de Cálculo

Elemento com 2 treliças	$M_R = 1,83 \text{ kN.m}$ largura 0,35 m;
Elemento com 3 treliças	$M_R = 2,68 \text{ kN.m}$ largura 0,35 m;
Elemento com 6 treliças	$M_R = 6,87 \text{ kN.m}$ largura 1,20 m.

Carga permanente (distribuída)  $g_1 = 0,35 \times 0,10 \times 25 = 0,875 \text{ kN/m/elemento}$   
Carga acidental (concentrada)  $P = 1 \text{ kN}$

$$M_d = 1,3 \left( \frac{g_1 \ell^2}{8} \right) + 1,2 \left( \frac{P \ell}{4} \right)$$

$$\frac{1,83}{1,15} = 1,3 \left( \frac{0,875 \cdot \ell^2}{8} \right) + 1,2 \left( \frac{1 \cdot \ell}{4} \right)$$

$$1,591 = 0,1421 \cdot \ell^2 + 0,3 \cdot \ell$$

Tipologia	Carga Permanente (kN/m)	Carga Acidental (kN)	Momento de Cálculo (kN.m)	Máximo vão sem uso de escoramentos intermediários (m)
Duas Treliças	0,875	1	1,83	2,45
Três Treliças	0,875	1	2,68	3,13
Seis Treliças	3	1	6,87	3,21



# Adoção de escoramentos intermediários

- Inicia-se a análise de um elemento com uma escora intermediária;
- Obtêm-se esforços e deslocamentos para a carga permanente;
- Com o Ftool traça-se a envoltória de momentos e cortante e estabelece-se a flecha máxima;
- Combinados os valores de momento fletor positivo e negativo chega-se ao esforço de cálculo e compara-se com a capacidade da seção. Caso os valores sejam maiores que a capacidade é necessário usar mais uma escora e voltar para o item b;
- É necessário verificar se a flecha máxima está dentro do limite. Em caso positivo pode-se adotar a tipologia, caso contrário deve-se fazer uma reespecificação do material a ser usado.



# Conclusão

- O aumento no número de treliças por painel melhora um pouco a capacidade resistiva da laje treliçada. Quando se aumenta as demais dimensões afim de alocar mais treliças, ganha-se pouca eficácia e o sistema torna-se antieconômico;
- Os ensaios realizados no NETPRÉ para essa tipologia fornecem subsídios para a verificação da eficiência da auto-portância;
- As informações obtidas permitem a aplicação prática desse material, ou seja, a teoria fomenta o método de uso;
- Com a realização de mais ensaios seria possível a criação de tabelas por fabricante e assegurar o uso seguro e adequado dos painéis de pré-laje.

**Obrigado pela atenção!**



# Referências Bibliográficas

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2002). NBR 14860-1: Laje pré-fabricada – Pré-Laje – Requisitos – Parte 1: Lajes Unidirecionais. 8p. Rio de Janeiro.**

**FORTE, F. C. (2000). Estudo Experimental do Espaçamento de Escoras em Lajes com Nervuras Pré-moldadas do Tipo Treliça para Pavimentos de Edificações. Relatório Científico Final – Processo: 99/10754-3 – São Carlos.**

**MARTHA, L. F. Ftool - Two-Dimensional Frame Analysys Tool. PUC. Rio de Janeiro. Disponível em <[www.tecgraf.puc.rio.br/ftool](http://www.tecgraf.puc.rio.br/ftool) 2008>.**

**SILVA, L. M. (2000). Estudo Experimental do Espaçamento de Escoras em Lajes com Nervuras Pré-moldadas do Tipo Trilho para Pavimentos de Edificações. Relatório Científico Final – Processo: 99/05297-2 – São Carlos.**