



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

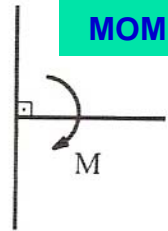
AVALIAÇÃO NUMÉRICA DA EFICIÊNCIA DE UMA LIGAÇÃO VIGA-PILAR SEMI-RÍGIDA EM ESTRUTURAS DE CONCRETO PRÉ-MOLDADO

Autor: Joaquim E Mota

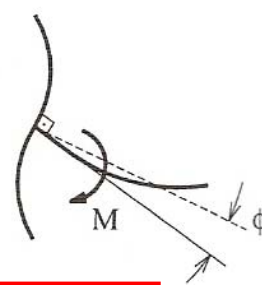


CONCEITUAÇÃO DA LIGAÇÃO VIGA-PILAR SEMI-RÍGIDA

MOMENTO FLETOR

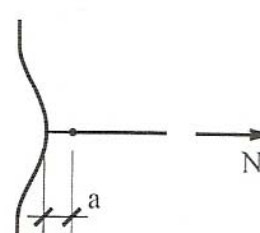
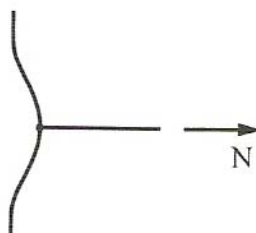


Ligação indeformável

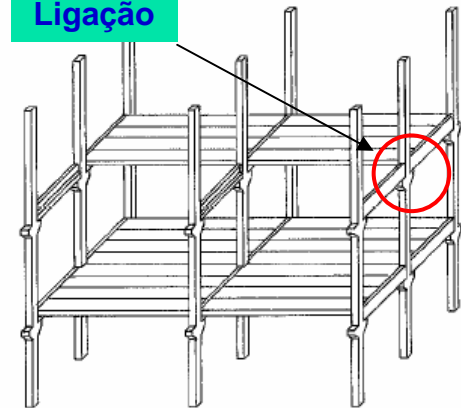


Ligação deformável

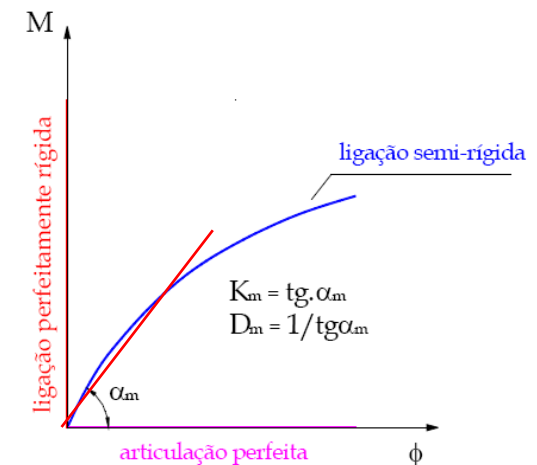
ESFORÇO NORMAL



Ligação

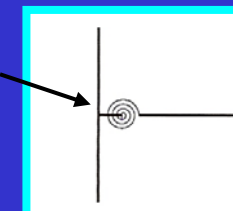


CURVA FORÇA x DESLOCAMENTO



NA LIGAÇÃO SEMI-RÍGIDA HAVERÁ UM DESLOCAMENTO RELATIVO ENTRE OS ELEMENTOS VINCULADOS

REPRESENTAÇÃO DA LIGAÇÃO NO MODELO DE BARRA

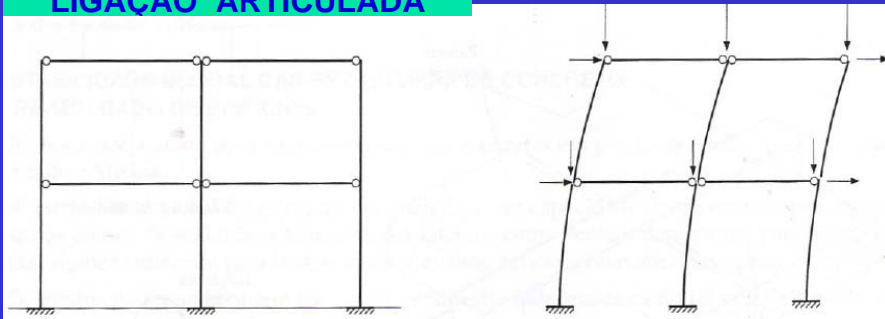


PORQUE USAR UMA LIGAÇÃO VIGA-PILAR SEMI-RÍGIDA ?

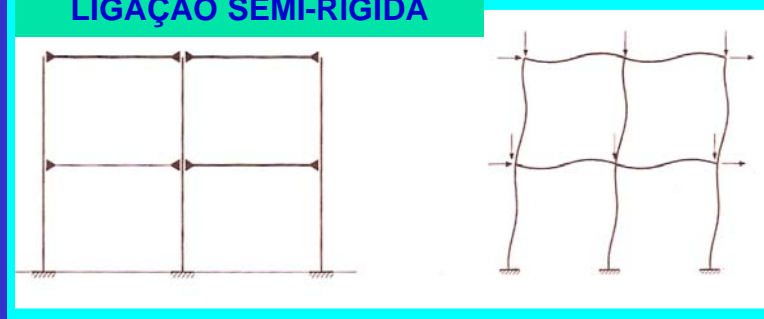
Na fase de desenvolvimento do projeto a opção pela consideração de uma ligação viga-pilar semi-rígida pode estar associada a vários objetivos:

- * Melhoria no desempenho da viga: redução de flecha e de momento fletor positivo.
- * Redução da esbeltez de pilar de galpão.
- * Melhoria nas condições de estabilidade global de edificações multi-piso.

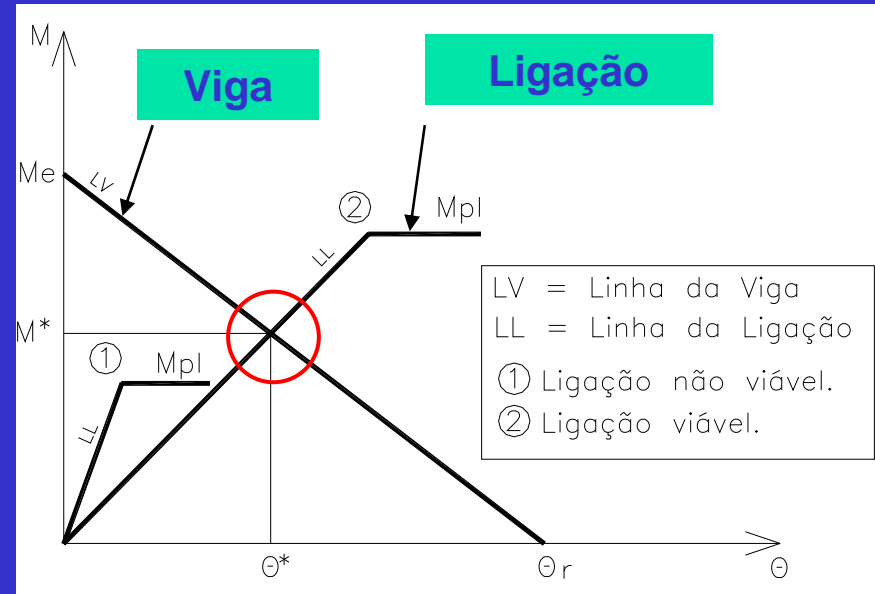
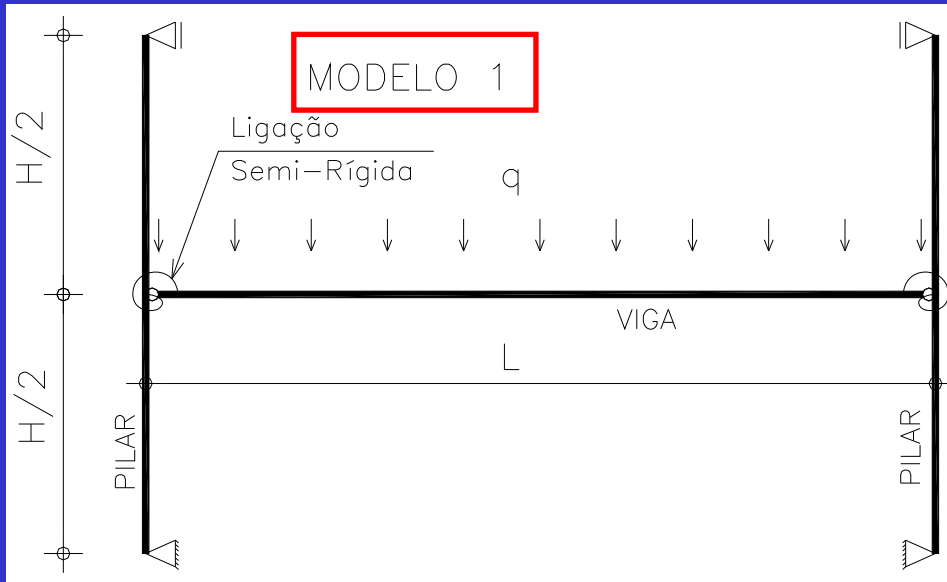
LIGAÇÃO ARTICULADA



LIGAÇÃO SEMI-RÍGIDA



VIABILIDADE DA LIGAÇÃO SEMI-RÍGIDA



$$K_{\text{pilar+lig}} = \frac{1}{\frac{1}{K_{\text{lig}}} + \frac{1}{K_{\text{pilar}}}}$$

$$K_{\text{pilar}} = \frac{12E_c I_{\text{pilar}}}{H}$$

$$M_e = \frac{qL^2}{12} \quad \theta_r = \frac{qL^3}{24E_c I_{\text{viga}}}$$

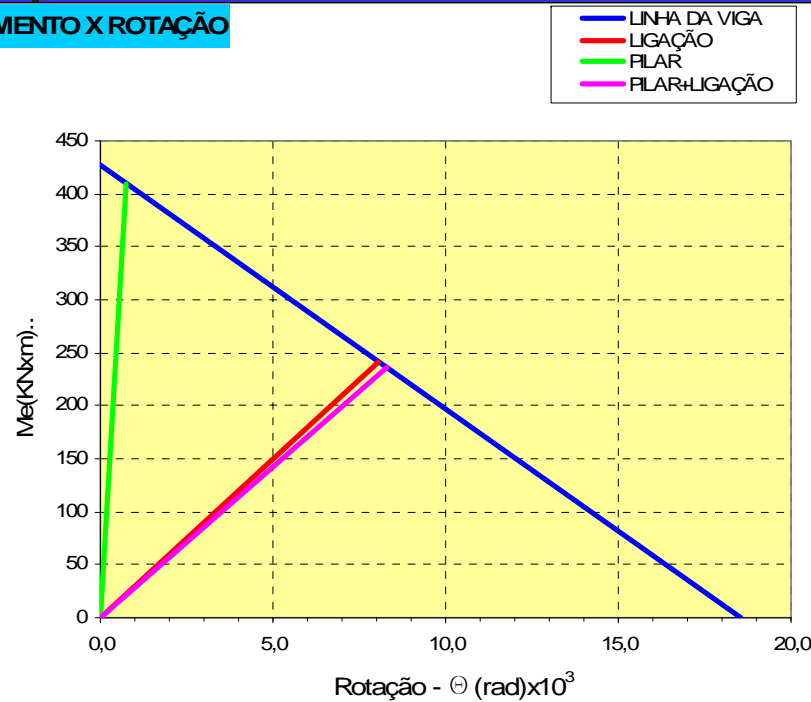
$$M^* = K_{\text{pilar+lig}} \theta^* = k_1 \theta^* + k_2 \Rightarrow \theta^* = \frac{k_2}{(K_{\text{pilar+lig}} - k_1)}$$

$$k_1 = -\frac{M_e}{\theta_r}$$

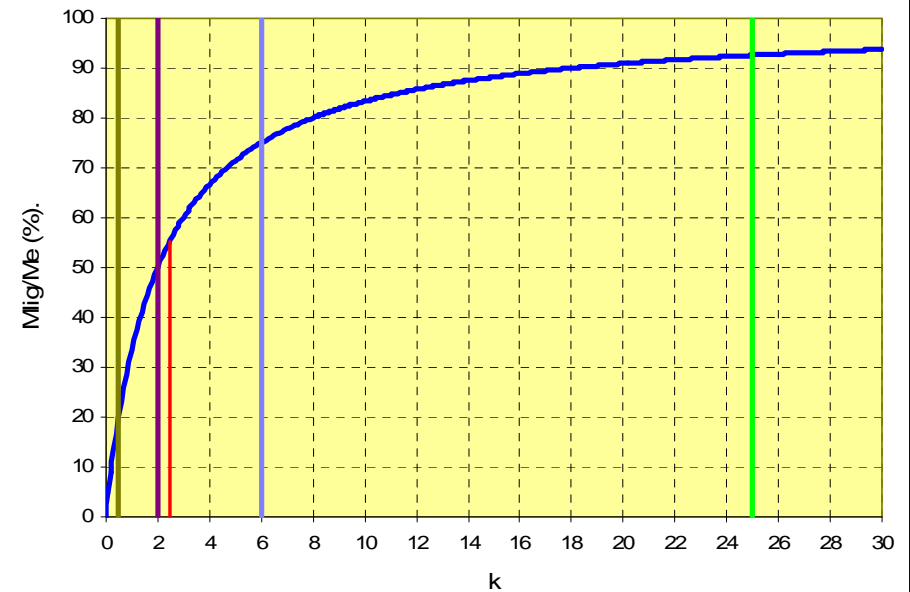
$$k_2 = M_e$$

VIABILIDADE DA LIGAÇÃO SEMI-RÍGIDA

MOMENTO X ROTAÇÃO



GRAU DE ENGASTAMENTO X RIGIDEZ DA LIGAÇÃO



H = 4,0m

$I_{pilar} = 5,21 \times 10^{-3} \text{ m}^4$ (seção : 50cmx50cm)

L = 8,0m

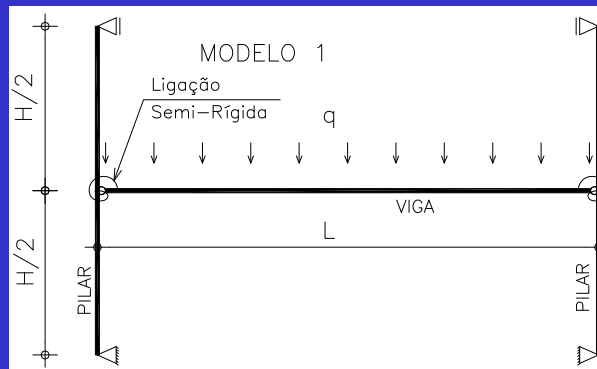
$I_{viga} = 2,60 \times 10^{-3} \text{ m}^4$

q = 80 kN/m

$E_c = 3,54 \times 10^7 \text{ kN/m}^2$

$M_{pl} = 350 \text{ kNm}$

$K_{lig} = 30 \text{ MNxm/rad}$

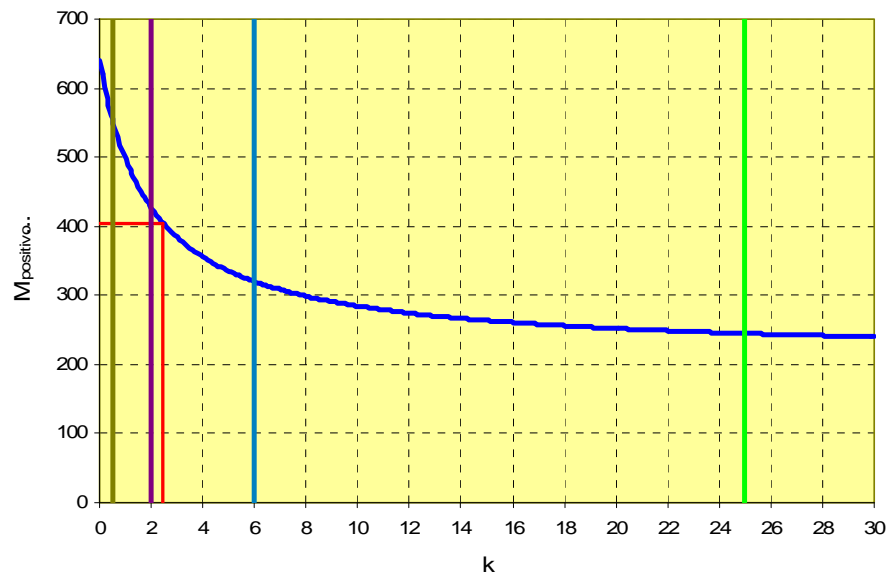


$$k = \frac{K_{lig}}{\frac{E_c I_{viga}}{L}}$$

$$G = \frac{M^*}{M_e} = \frac{3k}{3k + 6}$$

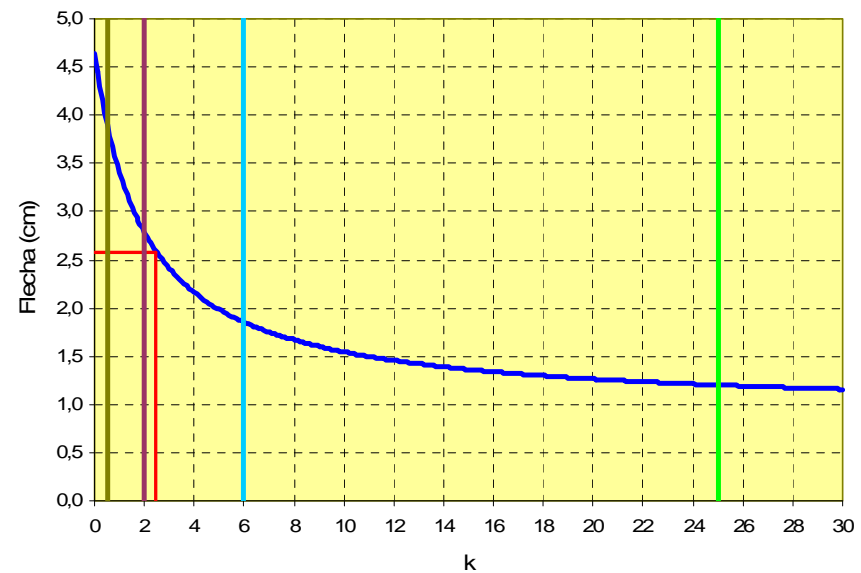
MELHORIA DE DESEMPENHO DA VIGA

MOMENTO POSITIVO X RIGIDEZ DA LIGAÇÃO



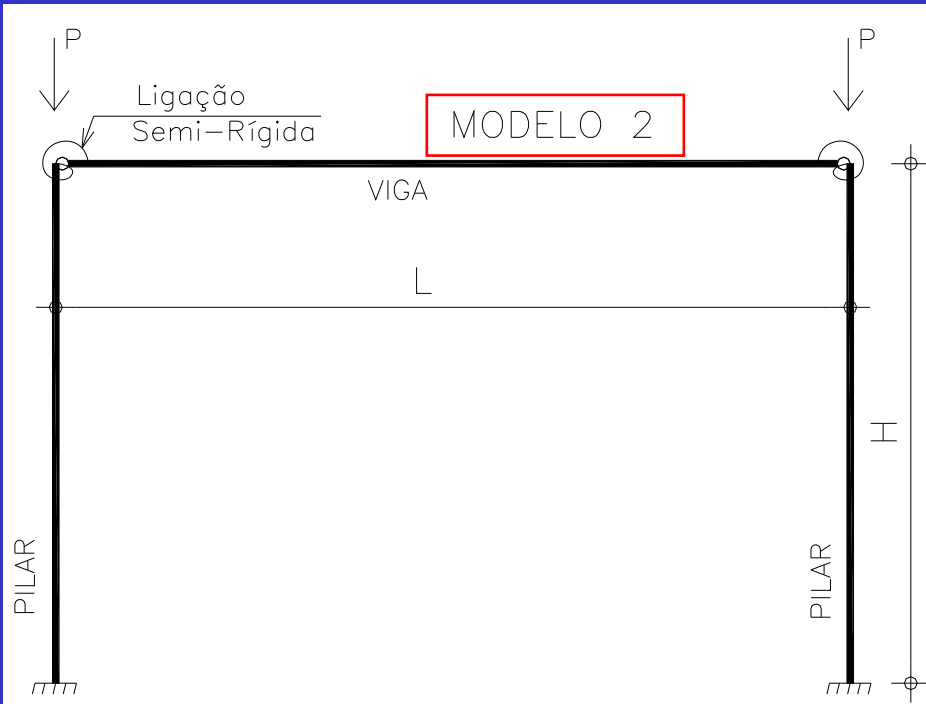
$$M_{pos} = \frac{qL^2}{8} - M^*$$

FLECHA NO MEIO DO VÃO X RIGIDEZ DA LIGAÇÃO

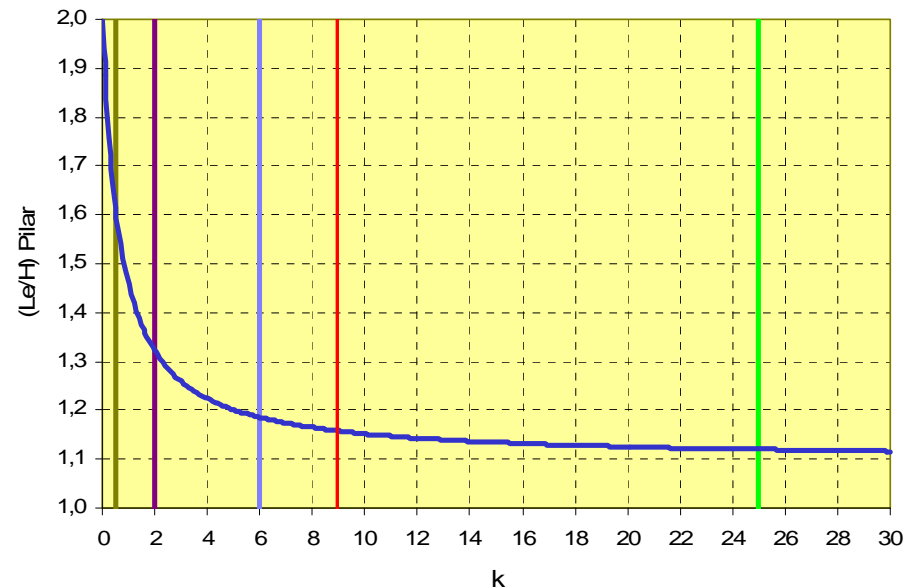


$$f = \frac{5qL^4}{384E_c I_{viga}} - \frac{M^* L^2}{8E_c I_{viga}}$$

ESTABILIDADE DE PILAR DE GALPÃO



(Le/H)-Pilar x RIGIDEZ DA LIGAÇÃO



$H = 4,0m$; (altura do pilar)

$I_{pilar} = 3,26 \times 10^{-4} m^4$ (seção do pilar : 25cmx25cm)

$L = 8,0m$; (comprimento da viga)

$I_{viga} = 1,07 \times 10^{-3} m^4$ (seção da viga protendida : 20cmx40cm)

$E_c = 2,5 \times 10^7 kN/m^2$

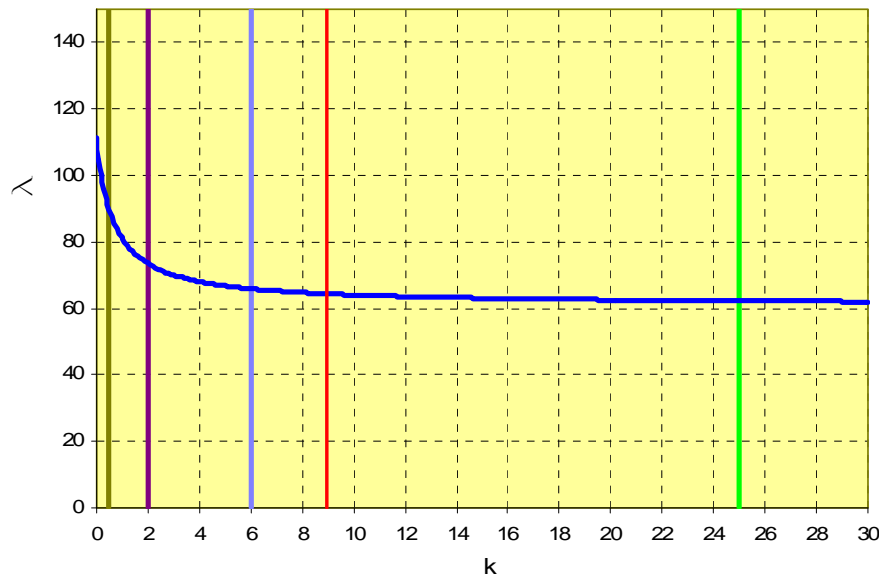
$K_{lig} = 30 MNxm/rad$

$$L_e = \pi \sqrt{\frac{E_c I_{pilar}}{P_{crit}}}$$

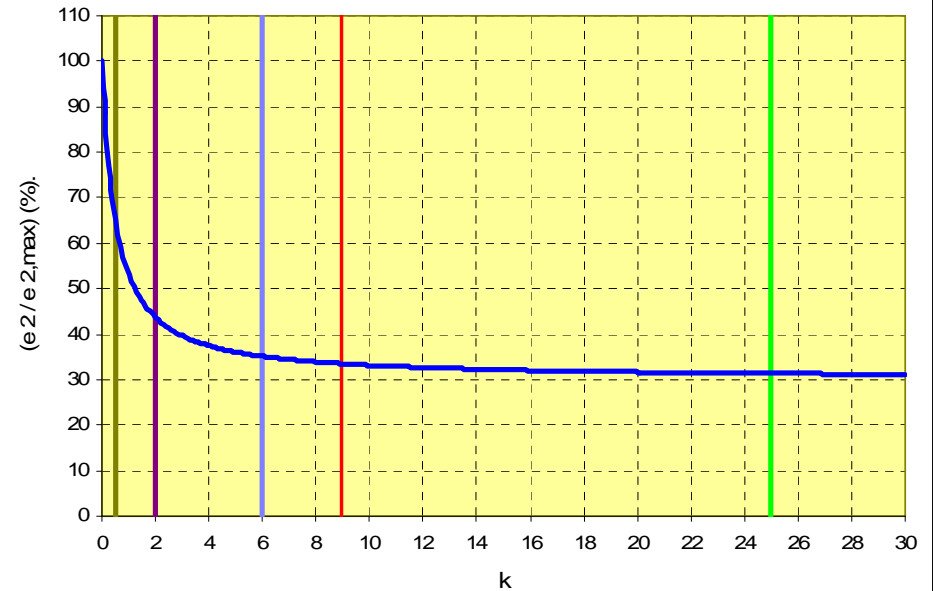
$$\beta = \frac{L_e}{H}$$

ESTABILIDADE DE PILAR DE GALPÃO

ESBELTEZ DO PILAR X RIGIDEZ DA LIGAÇÃO



EXCENRICIDADE DE 2ª ORDEM X RIGIDEZ DA LIGAÇÃO



$$k = 8,97 \Rightarrow \lambda \cong 64,37$$

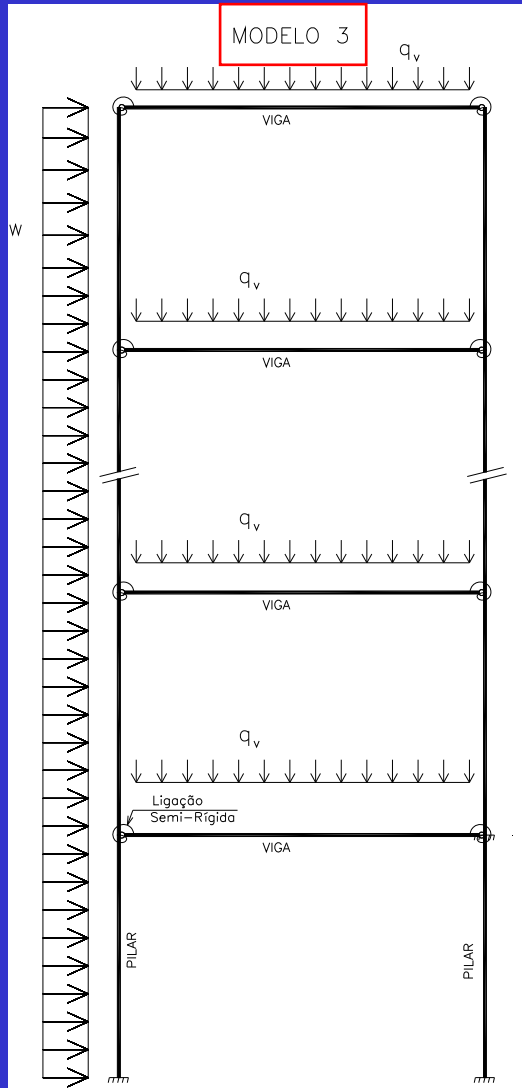
$$\lambda = \frac{L_e}{i} = \frac{L_e}{\sqrt{\frac{I_{pilar}}{A_{pilar}}}}$$

$$e_2 = \frac{L_e^2}{10} \times \frac{0,005}{h \times (1 + \nu)} \leq \frac{L_e^2}{10} \times \frac{0,005}{h}$$

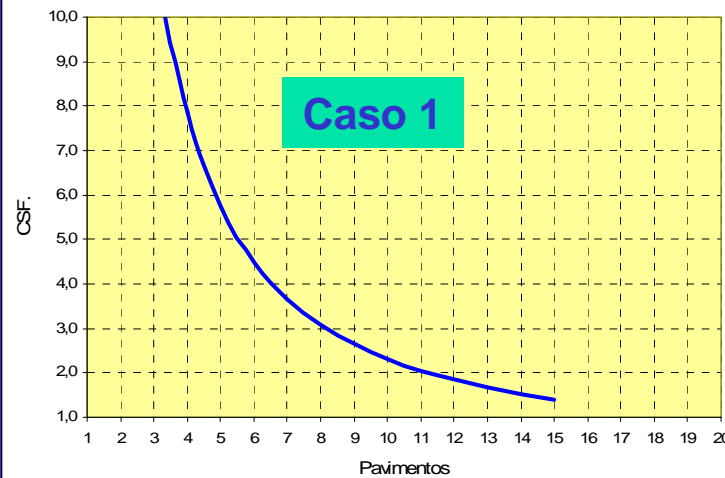
$$k = 8,97 \Rightarrow \frac{e_2}{e_{2,máx}} \cong 33,5\%$$

$$\frac{e_2}{e_{2,máx}} = \frac{L_e^2}{4H^2}$$

NÚMERO DE PAVIMENTOS DE ESTRUTURA MULTI-PISO



Segurança à Flambagem x Número de Pavimentos



Segurança à Flambagem x Número de Pavimentos

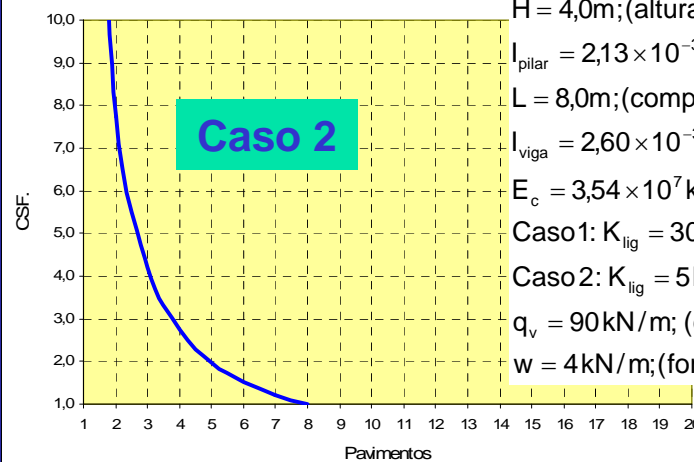


Tabela 1 – Grau de não-linearidade

CSF	Situação da Análise
CSF < 2	Estrutura muito esbelta. Inaceitável.
2 < CSF < 4	Grau de Não - Linearidade Elevado
4 < CSF < 10	Grau de Não-Linearidade Moderado
CSF > 10	Análise Não-Linear dispensada.

H = 4,0m; (altura do pilar)

$I_{\text{pilar}} = 2,13 \times 10^{-3} \text{ m}^4$ (seção do pilar : 40cmx40cm)

L = 8,0m; (comprimento da viga)

$I_{\text{viga}} = 2,60 \times 10^{-3} \text{ m}^4$ (seção da viga protendida : 25cmx50cm)

$E_c = 3,54 \times 10^7 \text{ kN/m}^2$ ($f_{ck} = 40 \text{ MPa}$)

Caso1: $K_{\text{lig}} = 30 \text{ MNxm/rad}$; e = 0,50m excentricidade da ligação.

Caso2: $K_{\text{lig}} = 5 \text{ MNxm/rad}$; e = 0,50m excentricidade da ligação.

$q_v = 90 \text{ kN/m}$; (carga vertical nas vigas)

$w = 4 \text{ kN/m}$; (força horizontal – vento)



CONCLUSÕES

1. Foram apresentados alguns modelos de cálculo para a avaliação da eficiência de uma ligação viga-pilar semi-rígida na melhoria do desempenho de uma estrutura. Estes modelos podem ajudar o projetista na fixação de um valor adequado para a rigidez da ligação.
2. Pode-se concluir que o grau de engastamento da ligação é um parâmetro que pode ser utilizado pelo projetista como referência para comparação de eficiência entre ligações. A contribuição da ligação semi-rígida na melhoria das condições de estabilidade cresce naturalmente com o aumento do grau de engastamento, mas cresce com taxas variáveis. Deve-se observar que contribuições significativas para a estabilidade global da estrutura acontecem mesmo para um grau de engastamento inferior a 20%. As taxas de crescimento são bem elevadas até o nível de 50% de grau de engastamento. De 50% a 75% de grau de engastamento o crescimento da contribuição é moderado, de 75% a 90% o crescimento é baixo e a partir de 90% a ligação pode ser considerada como rígida.



AGRADECIMENTOS



Este trabalho é parte integrante da pesquisa de Doutorado desenvolvida no Departamento de Estruturas da EESC-USP, dentro de Projeto Temático financiado pela FAPESP, sob a orientação do Prof. Mounir El Debs.



À CAPES E À UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ

FIM
MUITO OBRIGADO !!