

TQS Webinar

Lajes Protendidas - Conceitos e Exemplos

Forças de Alívio de Protensão

Reginaldo Lopes Ferreira

Engenheiro Civil - PUC-MG, 1991

Mestre em Eng. de Estruturas - UFMG, 2008

Representante da TQS em Minas Gerais



tqsinfo

|



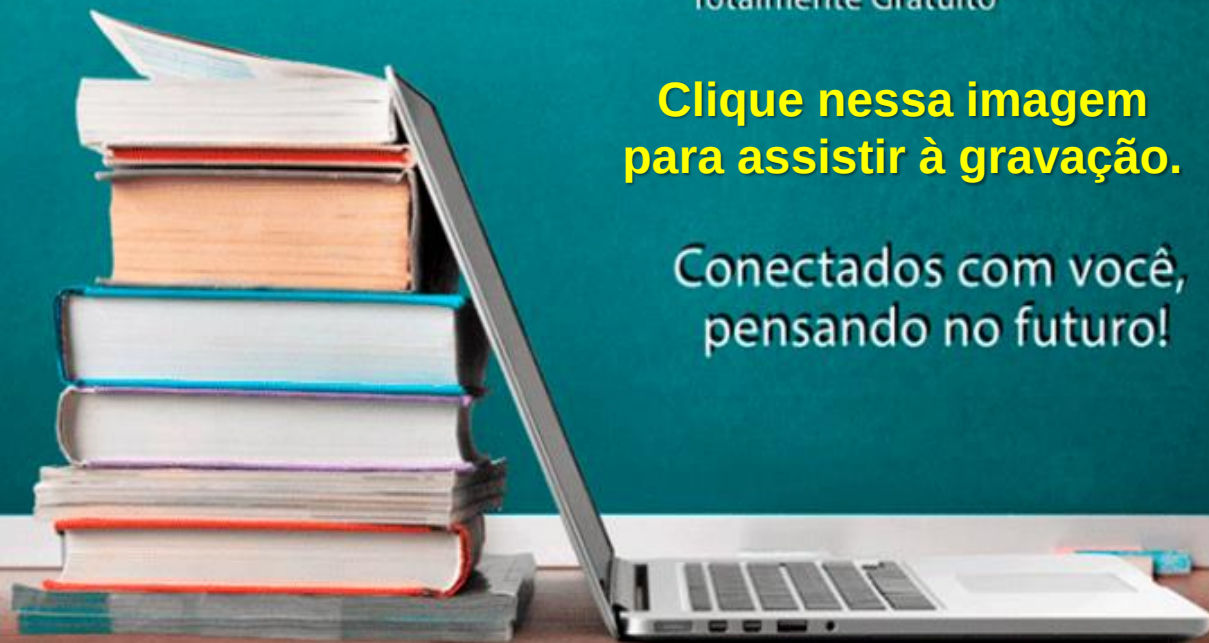
rlfenge

TQS Webinar

Totalmente Gratuito

**Clique nessa imagem
para assistir à gravação.**

Conectados com você,
pensando no futuro!



TQS Lajes Protendidas Conceitos e Exemplos

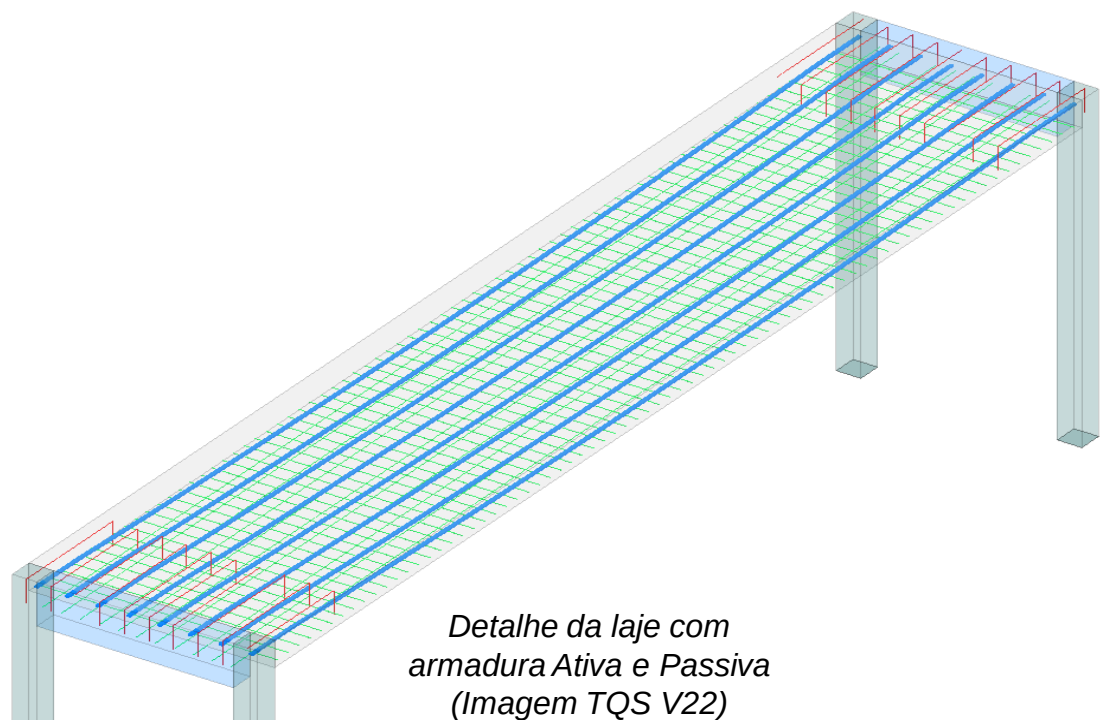
Forças de Alívio de Protensão

Engº M. Sc. Reginaldo Lopes Ferreira

Dia: 07/08 - 17h00

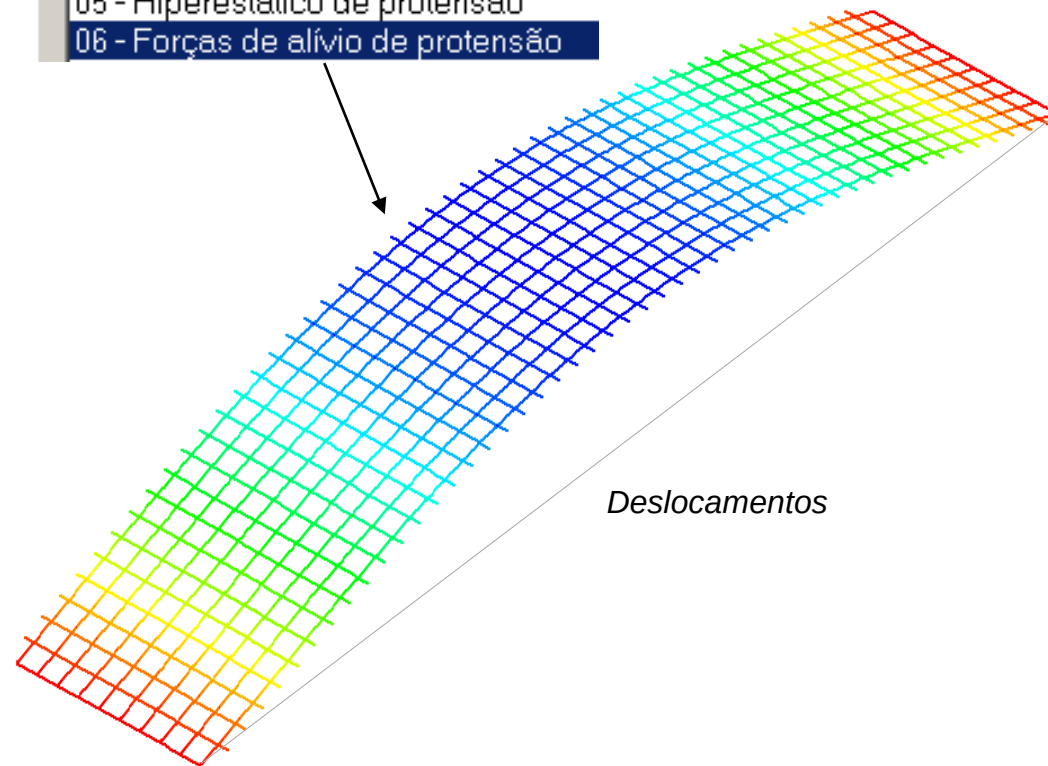
Será desenvolvido um exemplo simples para mostrar os conceitos sobre
esse carregamento e os seus efeitos no pavimento

Exemplo que será desenvolvido...

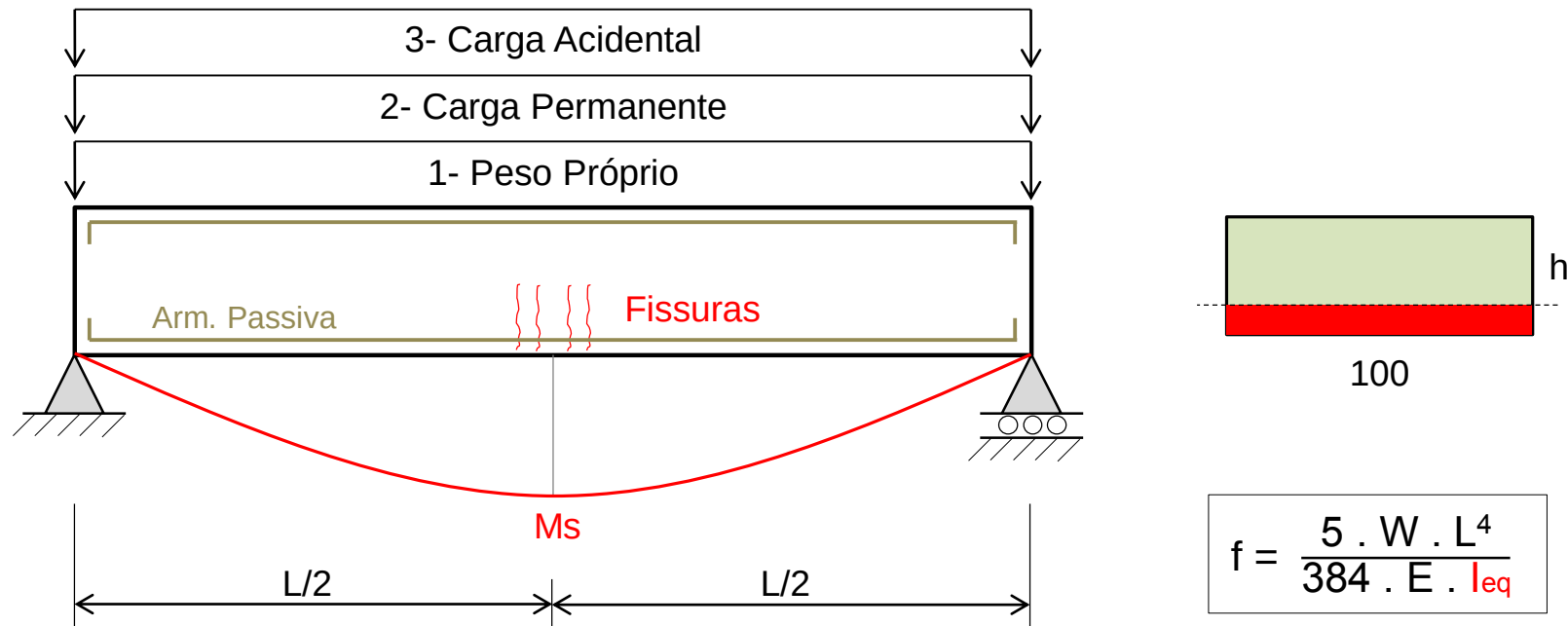


Selecionar caso de carregamento

- 01 - Todas permanentes e acidentais
- 02 - Peso Próprio
- 03 - Cargas permanentes
- 04 - Cargas acidentais
- 05 - Hiperestático de protensão
- 06 - Forças de alívio de protensão

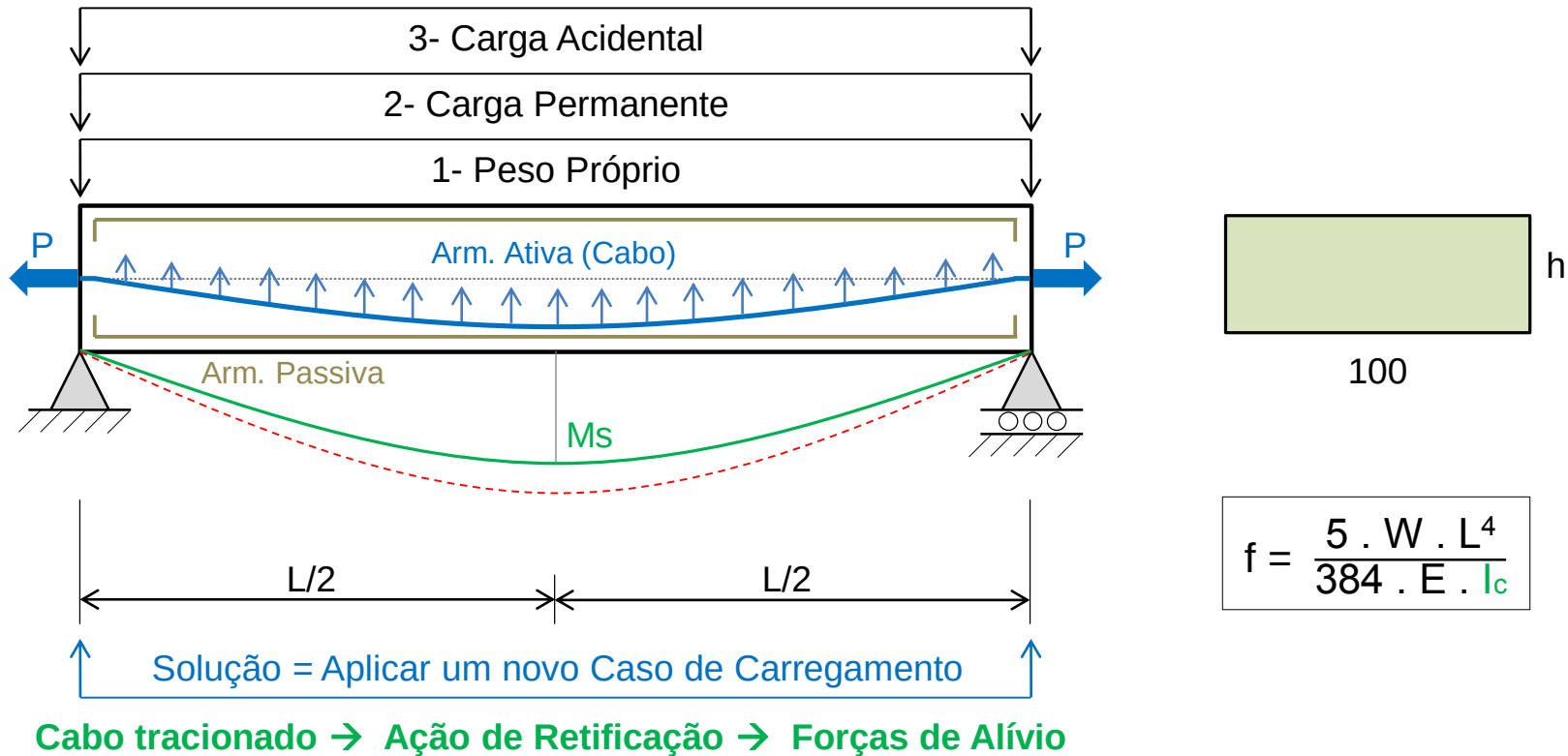


Laje sem protensão → Comentários...



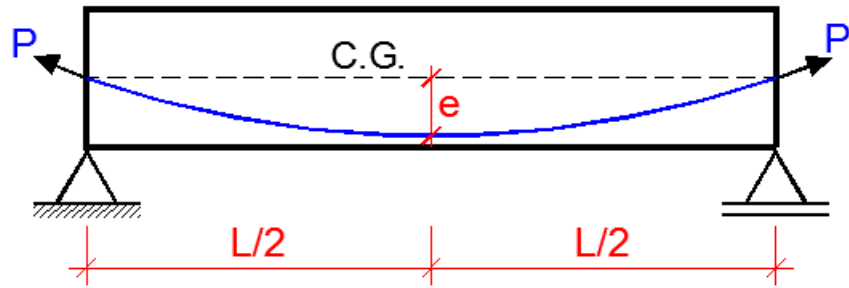
- Se $M_s > M_r$ → Estádio II (seção fissurada) → redução no momento de inércia (I_{eq}).
- Se flecha for maior que o limite permitido → contra-flecha?

Laje com protensão → Comentários...



- Se $M_s \leq M_r \rightarrow$ Estádio I (seção sem fissuras) $\rightarrow$ momento de inércia bruto (I_c).
- A **contra-flecha** será proporcionada pelas forças de alívio!

Carregamento equivalente de protensão



$$M_p = M_{eq}$$

$$P \cdot e = \frac{W_{eq} \cdot L^2}{8}$$

$$W_{eq} = \frac{8 \cdot P \cdot e}{L^2}$$

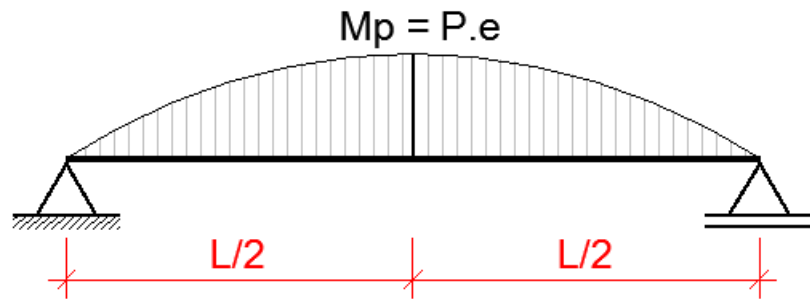
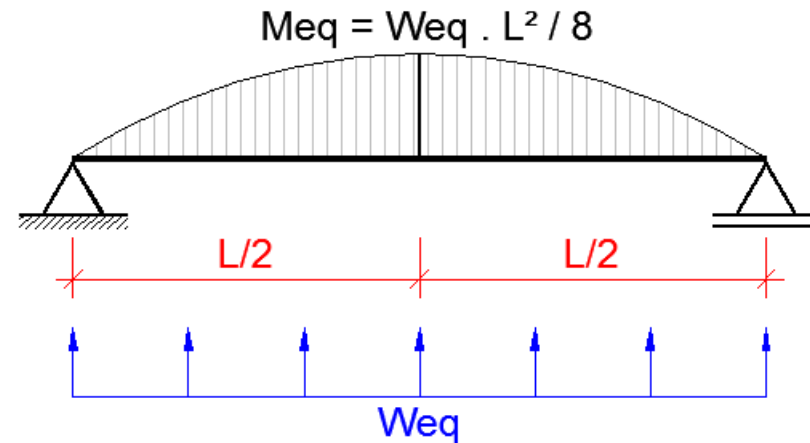


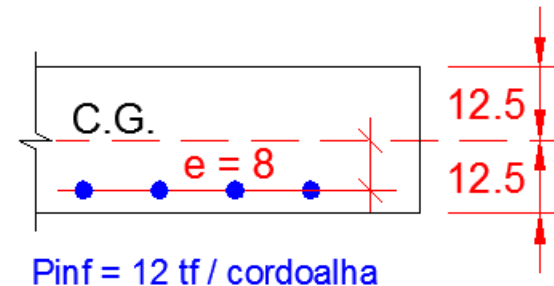
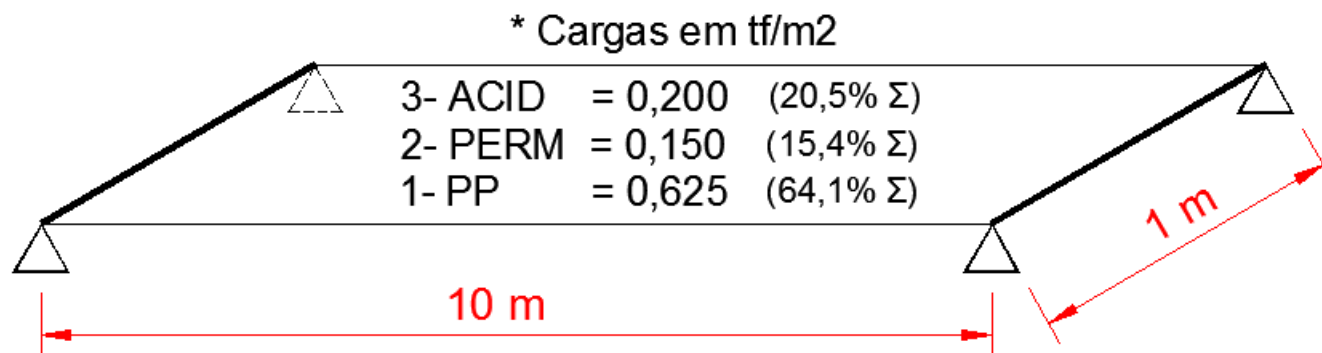
Diagrama do Momento Isostático de Protensão

=



- A ação da protensão = carregamento vertical (W_{eq}) + forças concentradas (P) nas extremidades.

Carregamento equivalente de protensão → Exemplo numérico



$$W_{eq} = \frac{8 \cdot (nc \cdot Pinf) \cdot e}{(L)^2}$$

Ex-01: $W_{eq} = \frac{8 \cdot (8 \cdot 12 \text{ tf}) \cdot 0,08}{(10)^2} = 0,614 \text{ t/m}$

Ex-02: $W_{eq} = \frac{8 \cdot (8 \cdot 12 \text{ tf}) \cdot 0,07}{(10)^2} = 0,537 \text{ t/m}$

Ex-03: $W_{eq} = \frac{8 \cdot (9 \cdot 12 \text{ tf}) \cdot 0,07}{(10)^2} = 0,605 \text{ t/m}$

Carregamento balanceado

$W_{eq} \rightarrow 98,2\% \text{ (PP)}$

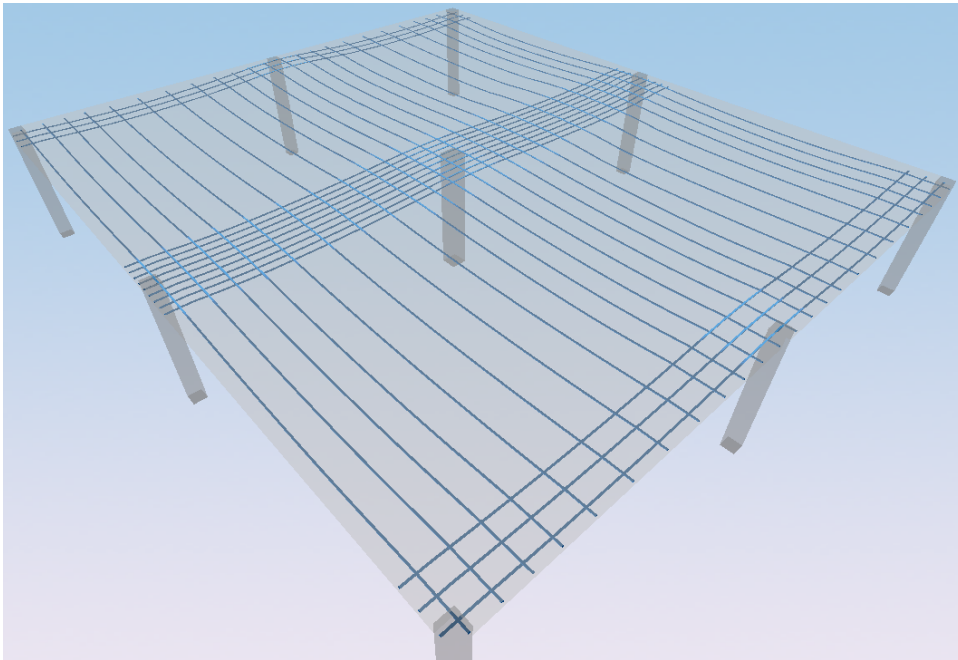
$W_{eq} \rightarrow 79,2\% \text{ (PP + PERM)}$

Ref. "Loading Balancing Method"

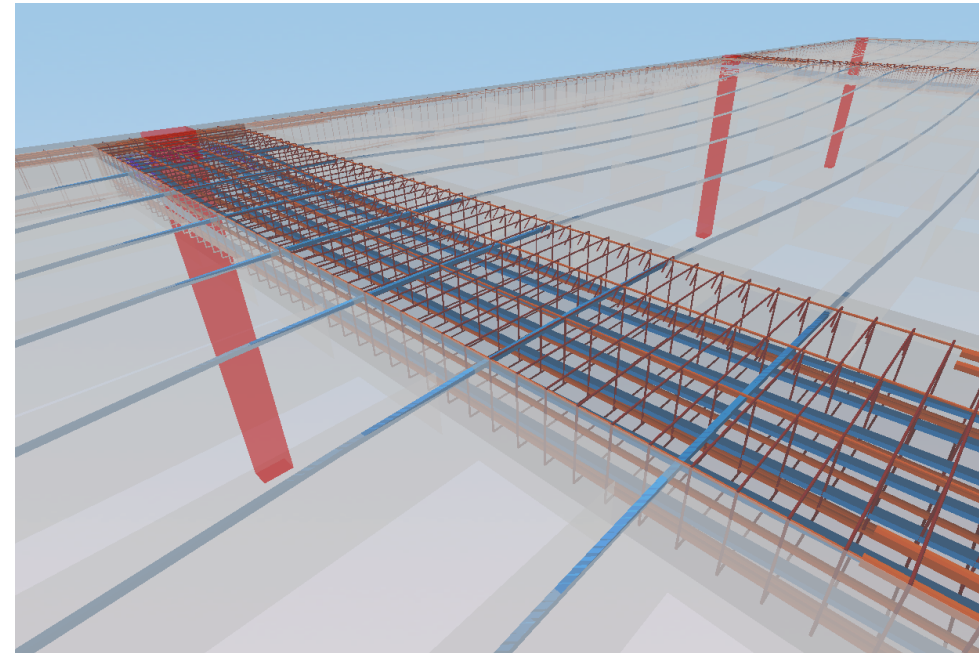
Tung-Yen Lin (1963)

Carregamento Equivalente → Forças de Alívio no TQS

- O programa adota um **processo numérico** que considera o momento do cabo nas diversas barras da grelha em cada direção. *(Ref.: Projeto e Cálculo de Lajes Protendidas - 1995, Eng. Evandro Porto Duarte)*
- O sistema de **Lajes Protendidas** consegue tratar diferentes tipos e formatos de lajes.

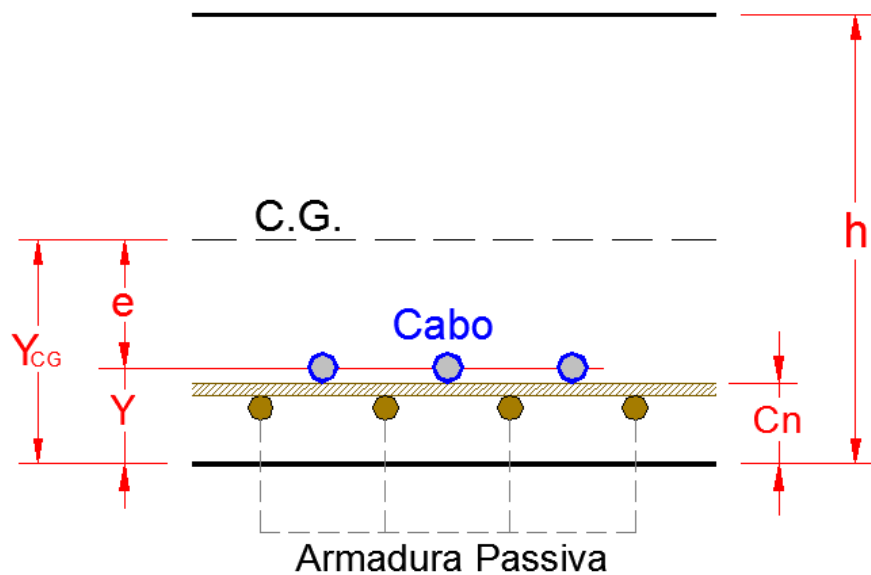


Laje Plana (uma opção de layout)



Laje Nervurada: protensão nas faixas e nas nervuras

Excentricidade Máxima | Cobrimento | Ordenada do Cabo

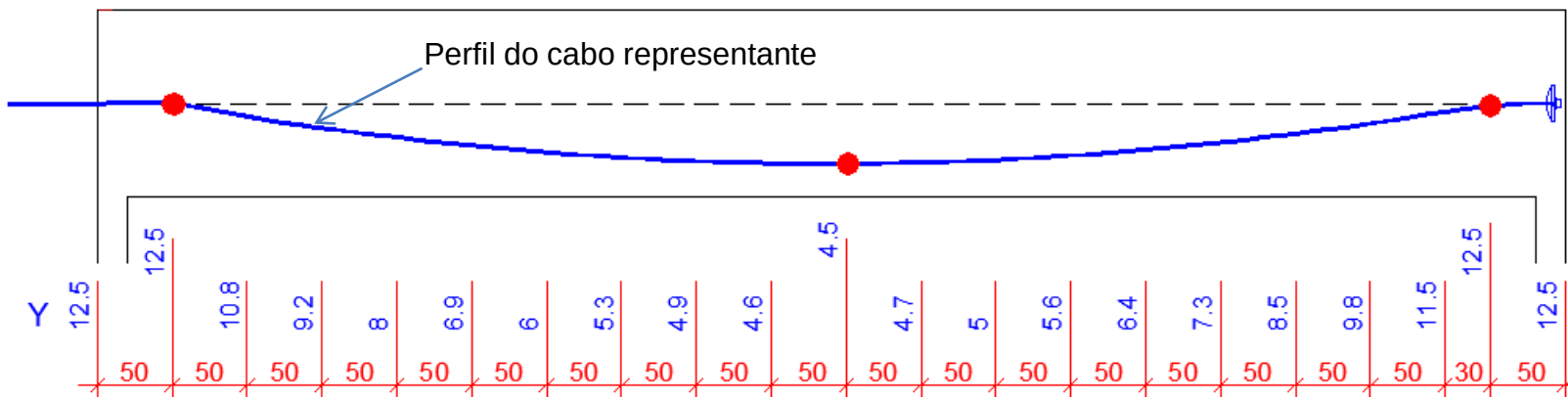


Relação entre Classe de Agressividade Ambiental
e o Cobrimento nominal (considerando $\Delta c=1.0$ cm)

Concreto Protendido	CAA / Cobrimento nominal (em cm)			
	I	II	III	IV
Laje	2,5	3,0	4,0	5,0
Viga	3,0	3,5	4,5	5,5

$$C_{nom} = \text{cobr. mínimo } (C_{min}) + \text{tolerância de execução } (\Delta c)$$

* Fonte: Tabela 7.2 da ABNT NBR 6118:2014



Aço → Pós-tração sem aderência → Cordoalhas Engraxadas e Plastificadas



Aço CP 210 RB

($f_{ptk} = 2100 \text{ MPa}$ | $f_{pyk} = 1890 \text{ MPa}$)

$\varnothing 12,7 \text{ mm} \rightarrow P \approx 16,5 \text{ tf}$

$\varnothing 15,2 \text{ mm} \rightarrow P \approx 23,0 \text{ tf}$

Aço CP 190 RB

($f_{ptk} = 1900 \text{ MPa}$ | $f_{pyk} = 1710 \text{ MPa}$)

$\varnothing 12,7 \text{ mm} \rightarrow P \approx 15,0 \text{ tf}$

$\varnothing 15,2 \text{ mm} \rightarrow P \approx 21,0 \text{ tf}$

Belgo Bekaert Arames



Tensões Limites → NBR 6118:2014, item 9.6.1.2.1-b → $\sigma_{pi} \leq (0,80 f_{ptk} \text{ ou } 0,88 f_{pyk})$

Aço → Arquivo de Critérios do TQS → Exemplo**Aço CP 190 RB**

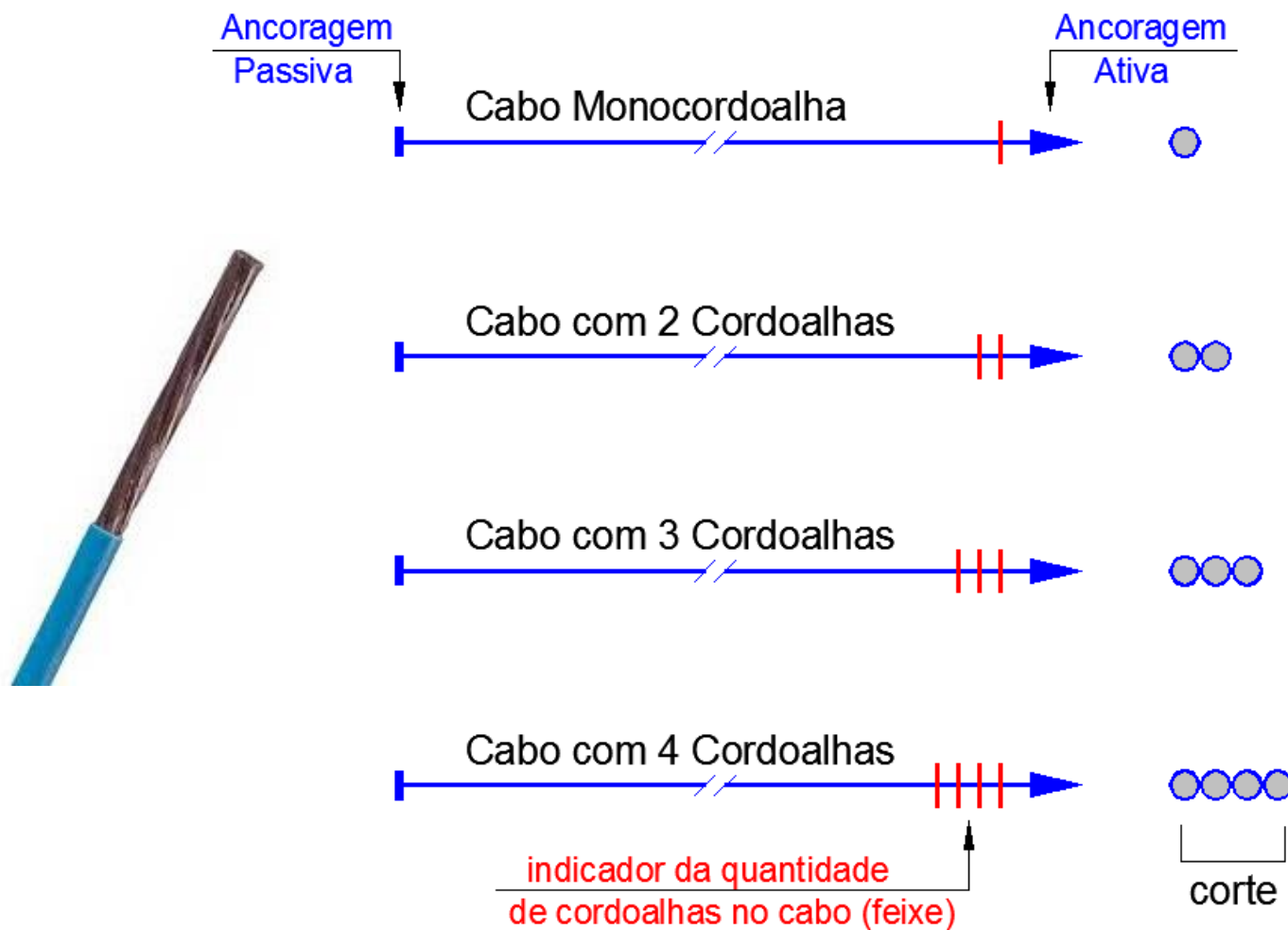
Bitola (mm)	Categoria	Designação	Peso (kgf/m)	Área (cm ²)	Bitola (mm)	Pinicial (tf)
12.7	190	CP190 RB 12.7	0.890	1.01	12.7	15.00
15.2	190	CP190 RB 15.2	1.240	1.43	15.2	21.00

Aço CP 210 RB

Bitola (mm)	Categoria	Designação	Peso (kgf/m)	Área (cm ²)	Bitola (mm)	Pinicial (tf)
12.7	210	CP210 RB 12.7	0.890	1.01	12.7	16.50
15.2	210	CP210 RB 15.2	1.240	1.43	15.2	23.00

** Todos os valores fornecidos nos arquivos de Critérios são de responsabilidade do engenheiro que fará o projeto.*

Cabos (Feixes) e Quantidade de Cordoalhas



Caso/Combinação: CQPERM

RPU = 1

Feixes = 13

Cord./Feixe = 1

Diâmetro = 12.7 mm

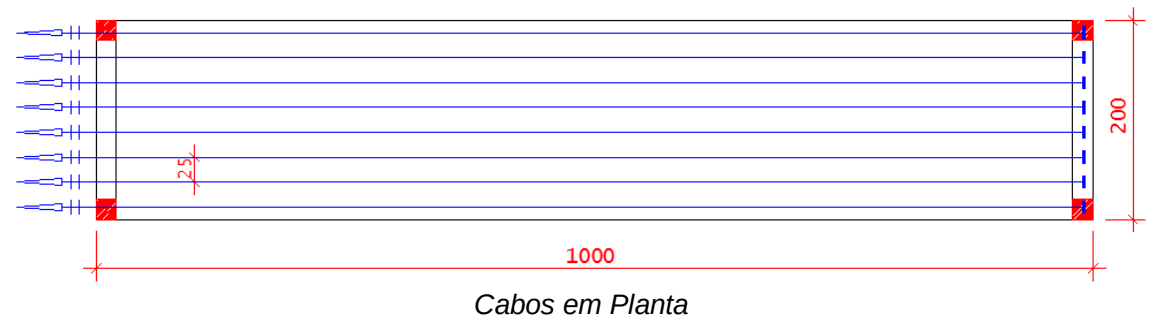
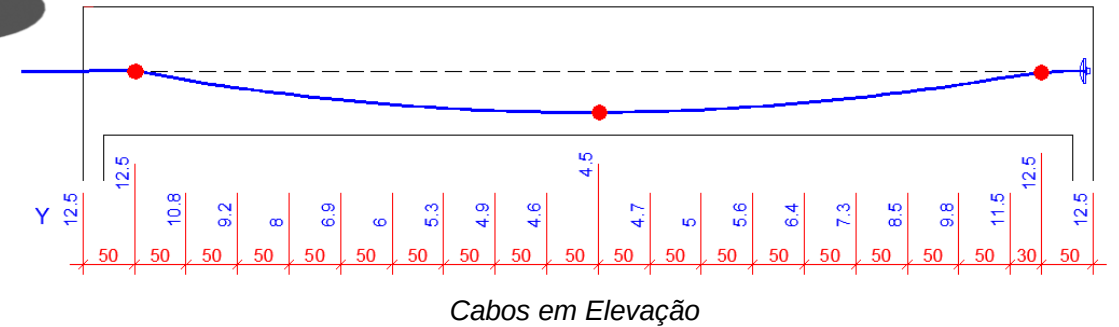
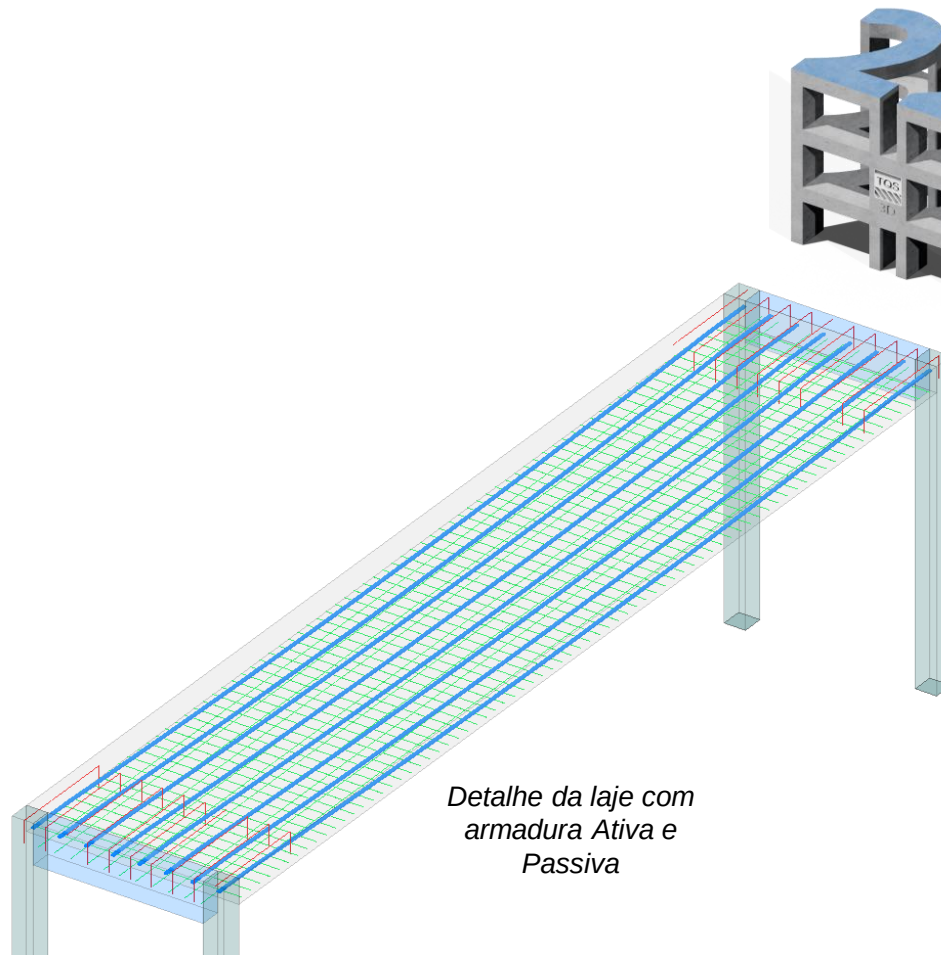
Espac. = 15.4 cm

Perda = 14.3 %

Pinf = 12.00 tf

Aço = 190

Exemplo → Definição da Protensão e Análise dos Resultados



TQS Webinar

Lajes Protendidas - Conceitos e Exemplos

Agradecemos a sua participação!

www.tqs.com.br