

Exemplo

Verificar a condição analítica de segurança, **no domínio 3**, para a seção abaixo esquematizada, sabendo-se que nela vão atuar as seguintes solicitações:

$$M_{g1,k} = 320 \text{ kN.m}$$

$$M_{g2,k} = 180 \text{ kN.m}$$

$$M_{q1,k} = 220 \text{ kN.m} (\psi_0=0,7)$$

$$M_{q2,k} = 120 \text{ kN.m} (\psi_0=0,8)$$

$$\gamma_g = \gamma_q = 1,4$$

Os materiais apresentam as seguintes características:

concreto:

$$f_{ck} = 30 \text{ MPa} \quad \gamma_c = 1,4$$

Aço CA50:

$$f_{yk} = 500 \text{ MPa} \quad \gamma_s = 1,15$$

$$E_s = 210 \text{ GPa} = 21000 \text{ kN/cm}^2$$

$$A_s = 8,00 \text{ cm}^2$$

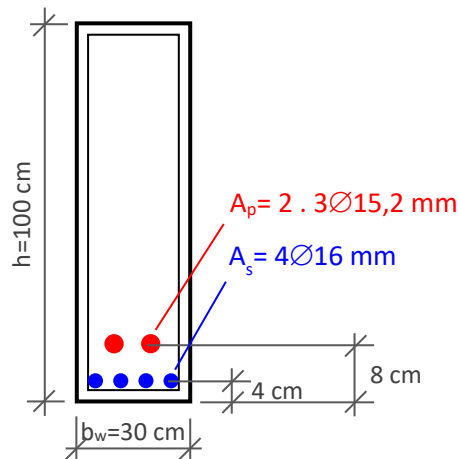
Aço CP190:

$$f_{pyk} = 1710 \text{ MPa} \quad \gamma_s = 1,15$$

$$E_p = 200 \text{ GPa} = 20000 \text{ kN/cm}^2$$

$$\Delta \epsilon_{pi} = 5,5\%$$

$$A_p = 8,40 \text{ cm}^2$$

**Solução:**

Cálculo de M_{Rd} :

1) Tensões nos aços:

$$\sigma_{sd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 434,8 \text{ MPa} = 43,48 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_{pd} = \frac{f_{pyk}}{\gamma_s} = \frac{1710}{1,15} = 1487 \text{ MPa} = 148,7 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

2) Forças de tração:

$$N_{Sd} = A_s \sigma_{sd} = 8,00 \text{ cm}^2 \times 43,48 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 347,83 \text{ kN}$$

$$N_{Pd} = A_p \sigma_{pd} = 8,40 \text{ cm}^2 \times 148,7 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 1249,04 \text{ kN}$$

$$N_{td} = N_{Sd} + N_{Pd} = 1597 \text{ kN}$$

3) Tensão no concreto:

$$\sigma_{cd} = 0,85 \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 0,85 \times \frac{30}{1,4} = 18,214 \text{ MPa} = 1,8214 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

4) Força de compressão:

$$N_{cd} = N_{td} = 1597 \text{ kN}$$

7) Braços de alavanca:

$$\bar{y} = \frac{y}{2} = \frac{29,22 \text{ cm}}{2} = 14,61 \text{ cm}$$

$$z_s = d_s - \bar{y} = 96 - 14,61 = 81,39 \text{ cm}$$

$$z_p = d_p - \bar{y} = 92 - 14,61 = 77,39 \text{ cm}$$

8) Momento resistente de cálculo:

$$M_{Rd} = N_{Sd} \cdot z_s + N_{Pd} \cdot z_p$$

$$M_{Rd} = 347,83 \times 81,39 + 1249,04 \times 77,39 = 124970 \text{ kN.cm}$$

$$\therefore M_{Rd} = 1249 \text{ kN.m}$$

9) Momento solicitante de cálculo:

→combinação 1

$$M_{Sd1} = \gamma_g(M_{g1,k} + M_{g2,k}) + \gamma_q(M_{q1,k} + \Psi_0 M_{q2,k})$$

$$M_{Sd1} = 1,4 \times (320 + 180) + 1,4 \times (220 + 0,8 \times 120) = 1142,4 \text{ kN.m}$$

→combinação 2

$$M_{Sd2} = \gamma_g(M_{g1,k} + M_{g2,k}) + \gamma_q(\Psi_0 M_{q1,k} + M_{q2,k})$$

$$M_{Sd2} = 1,4 \times (320 + 180) + 1,4 \times (0,7 \times 220 + 120) = 1083,6 \text{ kN.m}$$

$$\therefore M_{Sd} = 1143 \text{ kN.m}$$

10) Verificação de segurança no ELU:

$$M_{Sd} = 1143 \text{ kN.m} < M_{Rd} = 1249 \text{ kN.m} \quad \text{Ok!}$$

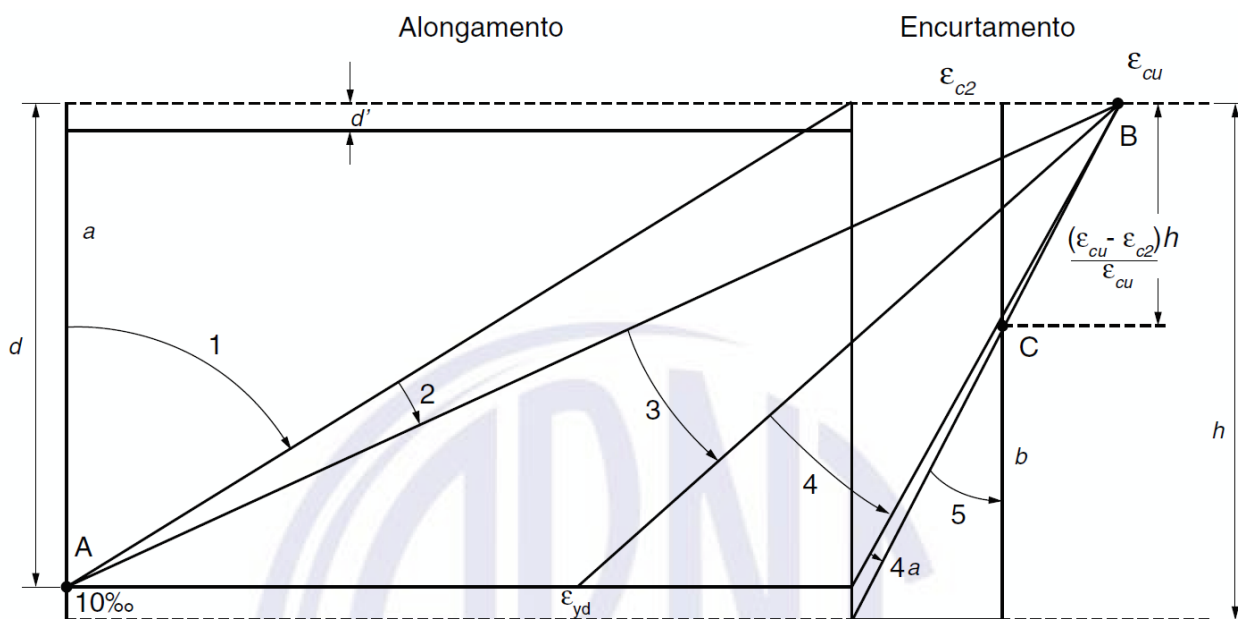


Figura 17.1 – Domínios de estado-limite último de uma seção transversal

Tabela 11.1 – Coeficiente $\gamma_f = \gamma_{f1} \cdot \gamma_{f3}$

Combinações de ações	Ações							
	Permanentes (g)		Variáveis (q)		Protensão (p)		Recalques de apoio e retração	
	D	F	G	T	D	F	D	F
Normais	1,4 ^a	1,0	1,4	1,2	1,2	0,9	1,2	0
Especiais ou de construção	1,3	1,0	1,2	1,0	1,2	0,9	1,2	0
Excepcionais	1,2	1,0	1,0	0	1,2	0,9	0	0

onde
D é desfavorável, *F* é favorável, *G* representa as cargas variáveis em geral e *T* é a temperatura.

^a Para as cargas permanentes de pequena variabilidade, como o peso próprio das estruturas, especialmente as pré-moldadas, esse coeficiente pode ser reduzido para 1,3.

Tabela 11.2 – Valores do coeficiente γ_{f2}

Ações		γ_{f2}		
		ψ_0	ψ_1^a	ψ_2
Cargas acidentais de edifícios	Locais em que não há predominância de pesos de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, nem de elevadas concentrações de pessoas ^b	0,5	0,4	0,3
	Locais em que há predominância de pesos de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, ou de elevada concentração de pessoas ^c	0,7	0,6	0,4
	Biblioteca, arquivos, oficinas e garagens	0,8	0,7	0,6
Vento	Pressão dinâmica do vento nas estruturas em geral	0,6	0,3	0
Temperatura	Variações uniformes de temperatura em relação à média anual local	0,6	0,5	0,3

^a Para os valores de ψ_1 relativos às pontes e principalmente para os problemas de fadiga, ver Seção 23.
^b Edifícios residenciais.
^c Edifícios comerciais, de escritórios, estações e edifícios públicos.

Questão: Verificar a condição analítica de segurança, **no domínio 3**, para a seção abaixo esquematizada, sabendo-se que nela vão atuar as seguintes solicitações:

$$M_{g1,k} = 423 \text{ kN.m}$$

$$M_{g2,k} = 309 \text{ kN.m}$$

$$M_{q1,k} = 263 \text{ kN.m} (\psi_0=0,7)$$

$$M_{q2,k} = 164 \text{ kN.m} (\psi_0=0,8)$$

$$\gamma_g = \gamma_q = 1,4$$

Os materiais apresentam as seguintes características:

concreto:

$$f_{ck} = 60 \text{ MPa} \quad \gamma_c = 1,4$$

Aço CA50:

$$f_{yk} = 500 \text{ MPa} \quad \gamma_s = 1,15$$

$$E_s = 210 \text{ GPa} = 21000 \text{ kN/cm}^2$$

$$A_s = 8,00 \text{ cm}^2$$

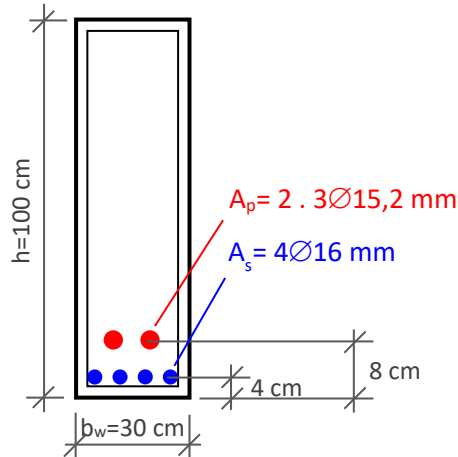
Aço CP210:

$$f_{pyk} = 1890 \text{ MPa} \quad \gamma_s = 1,15$$

$$E_p = 200 \text{ GPa} = 20000 \text{ kN/cm}^2$$

$$\Delta\varepsilon_{pi} = 5,7\text{‰}$$

$$A_p = 8,40 \text{ cm}^2$$



Exemplo1 – Aplicação Numérica, pág. 93: Concreto protendido: teoria e prática Luiz Cholfe & Luciana Bonilha, 2 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2018.

Exemplo2 – Vídeo de uma aplicação numérica: <https://www.youtube.com/watch?v=BwaxunmiOSU>