



2ª Prova de EDI-49 Concreto Estrutural II

Prof. Flávio Mendes

Junho de 2010

Duração prevista: até 4 horas.

Esta prova tem onze (11) questões e três (3) páginas. Consulta permitida somente ao formulário básico. A interpretação das questões faz parte da prova. Justifique cientificamente suas afirmações.

Dados: a **viga**, citada em algumas questões, tem seção retangular com base $b = 13$ cm e altura $h = 39$ cm, é simplesmente apoiada, sem balanços, com comprimento total $L = 10$ m, feita com concreto C40 e está submetida a um carregamento uniforme distribuído $p = 7,176$ kN/m, já incluindo o seu peso próprio. Considere, simplificada, um cobrimento de 2 cm para a armadura de cisalhamento (CA-25, com barras ϕ_t5) e armadura passiva de flexão com CA-50 e barras $\phi25$.

1ª Questão Explique qualitativamente a necessidade de se impor uma área de armadura longitudinal mínima de flexão em vigas.

2ª Questão Explique quando é necessária, e quais características deve ter, a estrutura de contraventamento de um edifício residencial de concreto armado.

3ª Questão Discuta a preocupação da norma com excentricidades e imperfeições de pilares de concreto armado. Lembrando do Estado Limite Último de Instabilidade, discutido no semestre anterior, qual a precisão em se considerar um pilar “curto” em função somente da geometria do pilar íntegro de concreto, por exemplo com limitações no índice de esbeltez?

4ª Questão Deduza a lei de atrito entre cabo e bainha de uma peça pós-tracionada considerando um coeficiente de atrito μ .

5ª Questão Sob quais condições devem ser consideradas as perdas da força de protensão por encurtamento elástico do concreto?

6ª Questão Explique as principais diferenças entre sistemas de ancoragem do tipo VSL e Freyssinet.

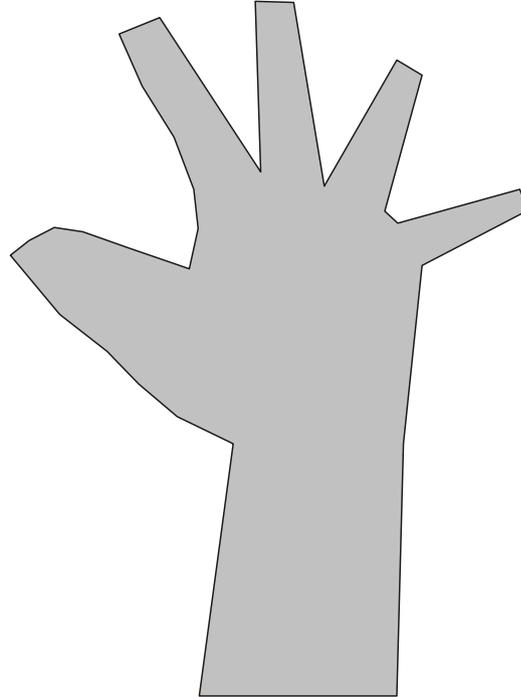
7ª Questão Liste e explique as principais perdas progressivas da força de protensão de uma viga de concreto protendido e como, eventualmente, podem ser minimizadas.

8ª Questão Por que deve ser feita uma decalagem a_ℓ do diagrama de momentos fletores das vigas? Sabendo que

$$a_\ell \simeq 0,5 d (\cot \theta - \cot \alpha)$$

onde d é a altura útil da armadura de flexão, θ é a inclinação da biela e α a inclinação da armadura transversal, faça um esboço do diagrama de momentos fletores decalado para a **viga**.

9ª Questão A figura seguinte traz um esquema da escultura “Mão” de Oscar Niemeyer, instalada no Memorial da América Latina, em São Paulo (1989), com 7 m de altura. Considerando que tem espessura constante, é feita em concreto armado e está completamente apoiada nas suas fundações, esboce um modelo biela-tirante e uma possível armação correspondente.



10ª Questão Pode-se dimensionar os estribos para o cisalhamento pela Treliza Clássica de Mörsch com

$$\frac{A_{st}}{s} = \frac{V_d - V_c}{0,9 f_{yd} d}$$

onde A_{st} é a área de armadura transversal, s é o seu espaçamento, $V_d = 1,4 V_k$ é o esforço cortante de cálculo, e $f_{yd} = f_{yk}/1,15$ é a tensão de escoamento de cálculo do aço e, para este caso, admita

$$V_c = 28 \text{ kN.}$$

Dimensione a armadura transversal da viga. Quantos estribos são necessários para a viga toda?

Observação: desconsidere, por simplicidade, a área e o espaçamento mínimos da armadura transversal.

11ª Questão Suponha que a **viga** seja exclusivamente de concreto protendido pós-tracionado com

- Armadura: 3 cordoalhas de três fios $\phi 4,5$ CP-210 RB (ou seja, 3 cordoalhas com diâmetro nominal de 9,6 mm)
- Peso específico do concreto: $\gamma_{con} = 25 \text{ kN/m}^3$.
- Módulo secante do concreto: $E_{cs} = 0,85 \times 5600 \sqrt{f_{ck}}$ com E_{cs} e f_{ck} em MPa.
- Estimativas da perda de protensão: 13%
- Posicionamento das cordoalhas: $d'_p = 3 \text{ cm}$.
- Coeficientes usuais de ponderação da segurança.

Considerando o ELU na fase final, pede-se qual o maior carregamento uniformemente distribuído p (em kN/m) pode ser aplicado a esta **viga** (não se esqueça da atuação do peso próprio).

Algumas notações

$$\bar{\mu} = \frac{M_d}{\sigma_{cd} b d_p^2} \quad \bar{\omega}_p = \frac{A_p f_{ptd}}{b d_p \sigma_{cd}} \quad \bar{\eta} = \frac{R_{cc}}{\sigma_{cd} b d_p} \quad \bar{\eta}_a = \bar{\eta} \frac{a}{d_p}$$

$$\bar{\delta} = \frac{d'_p}{d_p} \quad \kappa_x = \frac{x}{d_p} \quad \sigma_{cd} = 0,85 \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$$

Equações de equilíbrio ELU
(FNS, Armadura simples)

$$\begin{aligned} \bar{\mu} &= \bar{\eta} - \bar{\eta}_a \\ \bar{\eta} &= \bar{\omega}_p \alpha_p \end{aligned}$$

Funções $\bar{\eta}$ e $\bar{\eta}_a$ para seção retangular (Diagrama retangular simplificado - RS)
Base de referência: b

$$\begin{aligned} \bar{\eta} &= 0,8 \kappa_x \\ \bar{\eta}_a &= 0,32 \kappa_x^2 \end{aligned}$$

Estas funções valem enquanto $0,8x$ não sair da seção ($0 \leq \kappa_x \leq 1,25 (1 + \bar{\delta})$).

Questão	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Valor	1,0	1,0	1,0	1,0	0,5	0,5	1,0	1,0	1,5	1,5	2,0

A nota máxima da prova é dez (10,0).

Alguns resultados principais:

1^a-7^a Questões Amplamente apresentadas e discutidas em sala de aula.

8^a Questão Notar que o $d' = c + \phi_t + \phi/2 = 3,75$ cm (ou seja, $d = 35,25$ cm). Considerando a Treliça Clássica tem-se $\theta = 45^\circ$ e com estribos verticais $\alpha = 90^\circ$ fornecendo $a_\ell = 17,625$ cm.

Esperava-se a decalagem prática ainda que a decalagem teórica fosse aceita.

Momento fletor (característico) nas extremidades de 6,2 kN·m e no centro ($L/2 - a_\ell \leq x \leq L/2 + a_\ell$) de 89,7 kN·m. A distribuição é parabólica, conforme diagrama original.

9^a Questão Várias soluções possíveis. Pontos chaves: clara identificação das bielas (em geral tracejadas) e dos tirantes (em geral em linha cheia), nós da treliça e regiões “B” e “D”. A distribuição de armadura deveria contemplar toda a escultura e ser consistente com o modelo apresentado.

10^a Questão O cortante de cálculo máximo, nas extremidades, é $V_d = 50,232$ kN. Lembrar que o aço é CA-25 e o d o mesmo que o da 8^a questão. Fazendo o dimensionamento obtém-se

$$\frac{A_{st}}{s} = 3,2236 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}.$$

Cada barra da armadura transversal tem 0,19635 cm² e, como o estribo tem 2 ramos, 0,3927 cm². São necessários, portanto, 8,2 estribos por metro. Sem maiores elaborações poderia ser considerado que há uma região da viga ($2,21 \leq x \leq 7,79$ m) em que o V_c é maior que o V_d e, portanto, não há necessidade de armadura (notar que o enunciado pede que sejam desconsideradas didaticamente as exigências de espaçamento e área mínimos). Assim seriam necessários 38 estribos para armar a viga toda.

No cálculo simplista de dimensionar pelo máximo e manter o espaçamento para toda a viga, seriam necessários 82 estribos (138% a mais).

11^a Questão Pré-alongamento $\varepsilon_{\text{pré}} = \varepsilon_{p1} + \varepsilon_{p2} = 6,08391 + 0$. Resolvendo a equação de forças com $\bar{\omega}_p = 0,22461$ conclui-se pelo Domínio 3 e com a deformação $\varepsilon_p = \varepsilon_{\text{ELU}} + \varepsilon_{\text{pré}}$ no segundo trecho do diagrama t-d de cálculo ($\varepsilon_{\text{ELU}} = 9,9178$). A linha neutra solução é $\kappa_x = 0,2608$ que fornece um momento $\bar{\mu} = 0,1869$, ou seja, $M_k = 54,6251$ kN·m. Considerando o carregamento ($g = 1,2675$ kN/m) e o momento fletor ($M_g = 15,8438$ kN·m) do peso próprio obtém-se o carregamento máximo $p = 3,1025$ kN/m.