



2ª Prova de EDI-49 Concreto Estrutural II
Prof. Flávio Mendes
Maio de 2014

Consulta livre (menos a seres humanos, próximos ou distantes), utilização de softwares gerais (e de biela e tirante) liberada, desde que seja citada a fonte. Utilização de programas e planilhas previamente confeccionados pelo próprio aluno liberada (entregar cópia eletrônica ao final da prova). A interpretação das questões faz parte da prova. Justifique cientificamente suas afirmações e comente, criticamente, todos os resultados obtidos.

Duração máxima de 8 h

Dados da seção transversal a ser considerada, a menos de indicação contrária:

- Seção transversal retangular com base b de 20 cm e altura total h de 32 cm
- Concreto C35 ($f_{ck} = 35$ MPa)

Considere, a menos de indicação contrária, uma viga simplesmente apoiada sem balanços com comprimento total $L = 10$ m. Para as questões de protendido admita uma trajetória de protensão pós-tracionada aderente $e(x)$ expressa por uma catenária (cosseno hiperbólico), para $0 \leq x \leq L$, dada por:

$$e(x) = 1 - a \cdot \cosh\left(\frac{x/L - 0,5}{a}\right),$$

com $e(x)$ em m e $a = 0,86$ (em unidades coerentes). A força de protensão aplicada sempre será a maior possível.

1ª Questão Seja uma viga protendida com:

- Armadura: 2 cordoalhas com $\phi 15,2$ de CP-210 RB.
- Estimativa da perda de protensão para a fase final: 13%
- Coeficientes de ponderação da segurança usuais.

Pede-se qual o maior momento fletor (em kN·m) pode ser aplicado na seção do meio do vão (não esqueça do peso próprio da viga) considerando o ELU para:

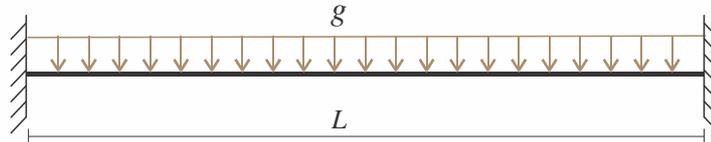
- a) Fase inicial (considere, somente neste item, concreto C25)
- b) Fase final.

2ª Questão Considerando a mesma trajetória da questão anterior, determine as perdas de protensão por atrito, ancoragem e encurtamento do concreto supondo:

- Coeficiente de atrito $\mu = 0,27$
- Coeficiente de ondulação não-intencional da bainha $\kappa = 0,0012 \text{ m}^{-1}$
- Deslocamento do dispositivo de ancoragem: $\Delta\ell = 3$ mm
- Aplicação da força de protensão nas duas extremidades, uma cordoalha de cada vez

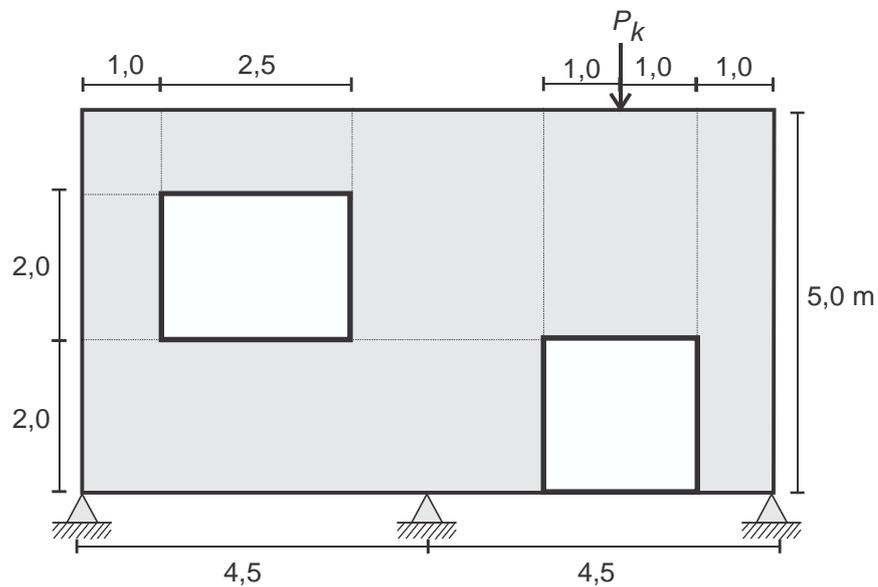
3ª Questão Dimensione a armadura transversal da viga, agora suposta de concreto armado, submetida somente a seu peso próprio e utilizando aço CA-25. Faça, ainda, o detalhamento desta armadura (esboços e numeração). *Observação:* escolha, justificando, o cobrimento da armadura.

4ª Questão Considere a viga esquematizada a seguir como sendo de concreto armado e submetida somente ao seu (dela, da viga) peso próprio. A armadura, inferior, está posicionada com cobrimento de 1,5 cm e é de $2\phi 12,5$. Calcule a flecha máxima utilizando um modelo com não linearidade física e não linearidade geométrica.



5ª Questão Um pilar de concreto armado de um edifício residencial, posicionado em um canto da planta, com comprimento equivalente $\ell_e = 4,2$ m, está submetido a uma força de compressão centrada de 5 MN e a momentos fletores de 6 MN·cm e 2 MN·cm provenientes das vigas (ambos girando a cabeça do pilar “para dentro” do edifício). Considerando que a seção transversal deva ser em “L” com espessura de 20 cm e comprimentos máximos, de cada “perna” (em planta), de 1 m, dimensione a área de armadura necessária utilizando aço CA-50. *Observação:* escolha, justificando, o cobrimento da armadura.

6ª Questão A parede estrutural (com uma janela e uma porta) mostrada a seguir, com 15 cm de espessura, suporta uma carga $P_k = 12$ MN, além de seu peso próprio. Utilizando o modelo de Biela e Tirante (*Strut and Tie*), dimensione a peça utilizando aço CA-50 e considerando que o concreto possa trabalhar com tensões de cálculo entre -1 MPa e 17 MPa.



Questão	1a	1b	2	3	4	5	6
Valor	1,0	2,0	2,0	2,0	1,0	2,0	1,0

A nota máxima da prova é dez (10,0).

Alguns resultados e comentários

1ª Questão

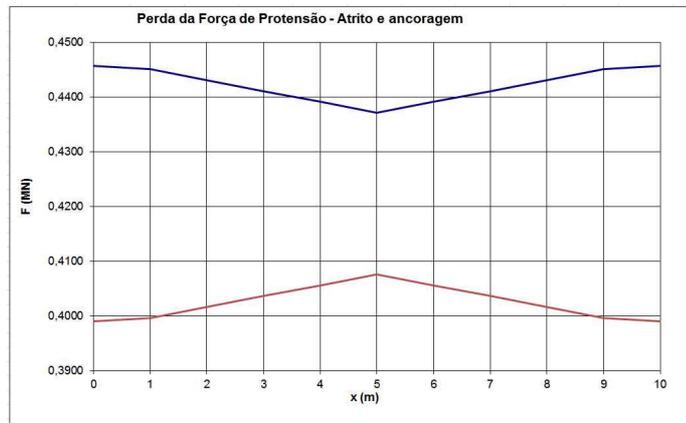
a) A solução mais simples seria fazer uma verificação pelo ELS-CE definido em norma, conforme comentado e exemplificado em sala. Supondo a força de protensão inicial como sendo a maior possível podem ser calculadas as tensões extremas na fase inicial: $\sigma_b = 21,9090 \text{ MN/m}^2$ e $\sigma_t = -6,5885 \text{ MN/m}^2$. Estas tensões ultrapassam os limites calculados $-3,0780 \leq \sigma \leq 17,5000 \text{ MN/m}^2$ indicando que a viga não tem a sua segurança garantida. Cuidado ao ponderar a força de protensão que, neste caso, deveria sofrer um acréscimo de 10%.

A verificação pelo ELU não seria o melhor caminho e cálculos mais ingênuos poderiam aplicar o coeficiente de perdas (de 13%), muito embora a verificação devesse ser feita na fase inicial e não final. A tensão na armadura seria demasiada, por conta da ponderação obrigatória (que deveria onerar a força em 20%).

b) Como o diagrama t&d do concreto não foi especificado qualquer um seria aceito (PR ou RS) embora o segundo ficasse um pouco menos de 1% contra a segurança. O pré-alongamento seria composto somente pela parcela direta ($6,0839^\circ/oo$) e a solução da equação de forças indicaria uma linha neutra $\kappa_x = 0,4604$ que fornece um momento fletor $\bar{\mu} = 0,30133$, correspondente a um momento fletor, característico, de $0,08233 \text{ MN}\cdot\text{m}$. Descontando-se o peso próprio chega-se à resposta final de $62,3271 \text{ kN}\cdot\text{m}$ (nas unidades solicitadas).

2ª Questão As perdas por atrito (curva superior) e ancoragem (curva inferior) estão ilustradas na figura seguinte. Para a curva do atrito o valor máximo, nas extremidades, é de $0,4457 \text{ MN}$ e o mínimo, no centro, $0,4372 \text{ MN}$. Para a curva do atrito e ancoragem o mínimo, nas extremidades, é de $0,3991 \text{ MN}$ e o máximo, no centro, é de $0,4076 \text{ MN}$. Para o cálculo da perda por ancoragem em cada lado utilizou-se a quantidade $\Delta\ell \cdot E_p \cdot A_p = 0,1721 \text{ MN}\cdot\text{m}$, que influencia todo o cabo.

A perda máxima por encurtamento do concreto, no centro da viga, é dada por $0,01912 \text{ MN}$ (já levando em conta as cordoalhas sendo protendidas individualmente). Se a expressão simplificada fosse utilizada (?) tal perda seria de $0,02149 \text{ MN}$. O cálculo desta perda ao longo de toda a viga seria bem-vindo.



3ª Questão A correção da área de armadura (V_c) é superior ao cortante máximo de cálculo, observado nas extremidades da viga (112 kN). Isso indica que a armadura mínima transversal deve ser utilizada ($5,14 \text{ cm}^2/\text{m}$). Tal armadura pode ser atendida com $\phi 6,3 \text{ c}/11$. A verificação da tensão de compressão na biela mostra-se adequada.

4ª Questão Por conta dos momentos fletores negativos e positivos, é bastante improvável que a armadura somente na parte inferior da viga funcione adequadamente. Com análise linear (mas não era esta a questão, certo?) uma flecha máxima de quase 3 mm seria calculada, fossem todos os parâmetros utilizados corretamente. Com a análise não-linear (principalmente considerando-se a não-linearidade física) não seria possível equilibrar a viga com a armadura proposta.

Utilizando o programa Popca consegue-se equilibrar a viga, para seu peso próprio, com duas camadas de $2\phi 12,5$ (uma superior e outra inferior) e não com apenas uma. Neste caso a flecha máxima é de $6,09 \text{ mm}$. Se o carregamento for diminuído significativamente (passando para $0,34 \text{ kN/m}$) seria possível, sim, equilibrar a viga com a armadura proposta no enunciado resultando em uma flecha máxima de $1,75 \text{ mm}$.

5ª Questão Questão prática, que poderia ser endereçada com o programa nFocca. Esperava-se a consideração das excentricidades de primeira e segunda ordem, esta última ainda que de forma simplificada. O momento mínimo precisava ser considerado, principalmente quando, sem qualquer consideração mais detalhada, são adotadas dimensões elevadas das “pernas” da seção transversal. Discussões sobre otimizações seriam muito

bem-vindas.

6ª Questão Questão aberta onde a abordagem qualitativa deveria passar pela consideração das regiões “B” e “D”, montagem da treliça e posicionamento de armadura. Quantitativamente havia a possibilidade de utilização do programa CAST (dankuchma.com/stm/CAST/).