



2ª Prova de EDI-49 Concreto Estrutural II

Parte teórica

Prof. Flávio Mendes Neto

Junho de 2018

Absolutamente sem consulta. A interpretação das questões faz parte da prova. Justifique cientificamente suas afirmações. Esta parte da prova tem 1 folha e 4 questões.

(Parte teórica: duração máxima sugerida de 1 h)

Responda o que se pede e justifique, aprofundando o assunto adequadamente:

1ª Questão Discuta as condições para que as vigas e os pilares de um edifício residencial possam ser calculados como isolados. Comente, ainda, sobre as respectivas consequências destas hipóteses simplificadoras.

2ª Questão As motivações para a existência de limites mínimos e máximos para a área de armadura de flexão são as mesmas?

3ª Questão A figura apresenta um trecho do perfil longitudinal de uma viga, com mudança de altura da seção, submetido apenas à flexão (ilustrada por um momento fletor M positivo). Considerando o Modelo da Biela e Tirante e, ainda, que se dispõe de apenas duas barras de aço retas, que **não** podem ser cortadas ou dobradas (mas com comprimento arbitrário), analise e arme a viga considerando o momento fletor (a) positivo e (b) negativo.



4ª Questão Descreva como pode ser feito o cálculo das flechas para vigas e pilares, em serviço, considerando o material elástico linear, não-linear e com a rigidez descrita pela fórmula de Branson (NBR-6118), não se esquecendo de comentar sobre os parâmetros relevantes de cada análise.

Questão	1	2	3	4
Valor	1,0	1,0	1,0	2,0

Alguns comentários e resultados

1^a Questão Assunto amplamente discutido em sala de aula.

2^a Questão Assunto amplamente discutido em sala de aula.

3^a Questão Esperava-se a aplicação sistemática, ainda que sucinta, da metodologia apresentada: identificação das regiões B e D; concepção e análise de uma estrutura treliçada; dimensionamento e disposição da armadura, dentro das restrições apresentadas.

4^a Questão Esperava-se uma discussão sucinta entre as diferenças dos três procedimentos apresentados, bem como dos parâmetros e resultados esperados. A título de exemplificação: ao realizar uma análise não-linear, os diagramas tensão-deformação dos materiais devem, ou não, ser ponderados como no ELU (coeficiente de Rüschi, γ_c , γ_s)?



2ª Prova de EDI-49 Concreto Estrutural II
 Prof. Flávio Mendes
 Junho de 2018

Consulta livre (menos a seres humanos, próximos ou distantes), utilização de softwares gerais liberada, incluindo o EdPol e o Popca (envie os arquivos de dados!). Utilização de programas e planilhas previamente confeccionados pelo próprio aluno liberada (entregar cópia eletrônica ao final da prova, inclusive dos arquivos de dados e resultados específicos de cada item).

A interpretação das questões faz parte da prova. Na aparente falta de informações, espera-se a estimativa, justificada, dos parâmetros necessários. Justifique cientificamente suas afirmações e comente, criticamente, todos os resultados obtidos.

Esta parte prática da prova tem 1 folha com 4 questões.

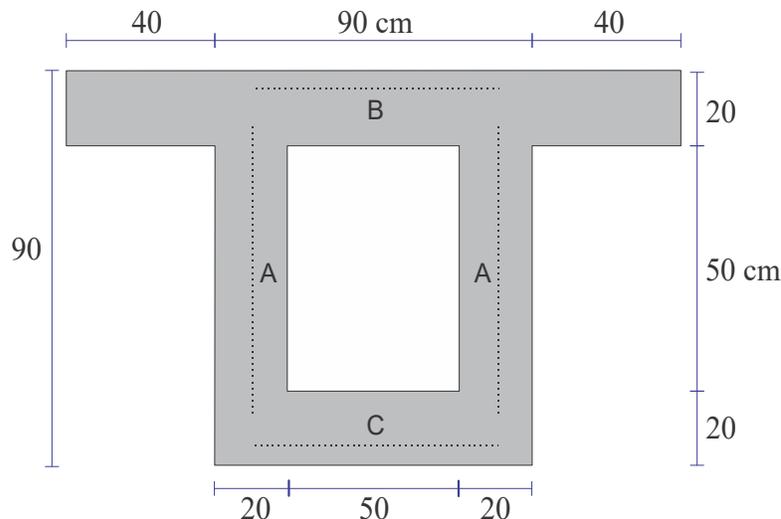
Dados gerais a serem considerados, a menos de indicação contrária:

- Seção transversal vazada conforme figura
- Concreto C75 ($f_{ck} = 75$ MPa), diagrama t&d não-linear
- Peso específico da peça: 25 kN/m^3
- Considere uma viga com quatro apoios simples (com abscissas z valendo 0; 500; 1.500 e 3.000 cm) e com comprimento total $L = 3.000$ cm.
- Trajetória de protensão pós-tracionada aderente $e(z)$ expressa por um seno cardinal, para $0 \leq z \leq L$, dada por:

$$e(z) = -7 + 75 \frac{\sin\left(5\pi(1 - z/L)^{1,75}\right)}{3 - z/L},$$

com z e $e(z)$ em centímetros.

- Armadura ativa: 6 cordoalhas $\phi 15$, 2 de CP-190 RB (considere a máxima tensão possível nas cordoalhas e que elas se alojam nas almas da seção, simetricamente, regiões A). Considere ainda que todas as cordoalhas sejam protendidas simultaneamente, em operação única. Admita, por fim, as seguintes propriedades para a armadura ativa: $E_p = 202$ GPa, $\xi = 0,88$ e $\varepsilon_{uk} = 35 \text{ ‰}$
- Estimativa preliminar da perda de protensão total para a fase final: 18%
- Coeficientes de ponderação da segurança usuais.



5ª Questão Considerando somente a seção do terceiro apoio da viga ($z = 1.500$ cm), pede-se qual o maior momento fletor (em kN·m) pode ser aplicado considerando o ELU na fase final:

- Viga só com a armadura ativa.
- Viga com armadura ativa e, ainda, armadura passiva composta por 7 barras, sendo três delas na mesa, região B, e o restante no talão, região C, todas $\phi 32$ de CA-50 com $d' = 5$ cm.
- Viga só com a armadura ativa, mas sem qualquer pré-alongamento.

6ª Questão Considerando a mesma trajetória $e(z)$ e os seguintes parâmetros:

- Coefficiente de atrito $\mu = 0,23$
- Coefficiente de ondulação não-intencional da bainha $\kappa = 0,003$ m⁻¹
- Deslocamento do dispositivo de ancoragem: $\Delta\ell = 5$ mm
- Aplicação da força de protensão nas duas extremidades (abscissas z valendo 0 e 3.000 cm)

Pede-se a determinação das perdas da força de protensão por atrito, ancoragem e encurtamento do concreto.

7ª Questão Estime em porcentagem, para a fase final (considere somente g) e apenas na seção com $z = 2.250$ cm, as perdas da força de protensão por fluência, retração e relaxação considerando que a peça foi carregada com $t_o = 38$ dias de idade, em uma localidade com 70% de umidade relativa média e tenha somente a face superior exposta ao ar livre.

8ª Questão Dimensione o cisalhamento da viga supondo um carregamento uniforme total de $10g$ (já incluso aí o peso próprio g). Faça, ainda, um esboço da armadura utilizando o aço CA-25, suposto disponível nos diâmetros 6,3; 8,0; 10,0; 12,5; ou 16,0 mm.

Questão	5a	5b	5c	6	7	8
Valor	1,0	1,5	0,5	1,0	0,5	0,5

Alguns comentários e resultados

5ª Questão As características geométricas da seção transversal foram calculadas resultando em $A_c = 0,7200 \text{ m}^2$, $y_t = 0,3722 \text{ m}$ e $I = 0,06524 \text{ m}^4$.

As armaduras passivas, inferior e superior, têm áreas de $32,1699 \text{ cm}^2$ e $24,1274 \text{ cm}^2$, respectivamente.

A armadura ativa tem uma excentricidade, na seção especificada, $e = -0,3697 \text{ cm}$, com um pré-alongamento $\varepsilon_{\text{pré}} = 5,1368 \text{ ‰}$, calculado para uma tensão máxima na armadura de 74% de f_{ptk} (ponderada por $\gamma_p = 0,9$ e consideradas as perdas de 18%, resultando em $F_d = 0,8928 \text{ MN}$), ressaltando que trata-se de armadura pós-tracionada em operação única.

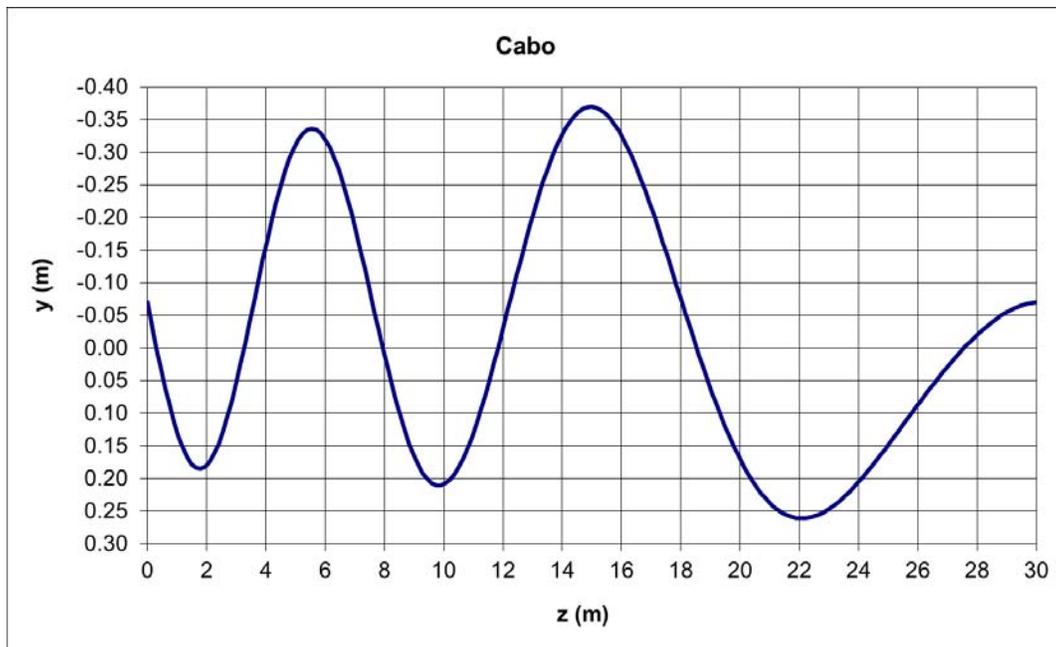
Considerando momentos fletores tracionando a fibra superior e comprimindo a inferior, ainda que não pareça ser a forma mais eficiente de utilizar a seção e a armadura, são obtidos os seguintes resultados (momentos e curvaturas conforme a regra da mão direita, com a seção transversal no plano $x \cdot y$):

item	M_{xk} (kN m)	ε_o	k_x (m^{-1})
a)	127,1	-24,4768	51,3350
b)	694,0	-5,6768	13,4142
c)	114,7	-27,8612	57,7492

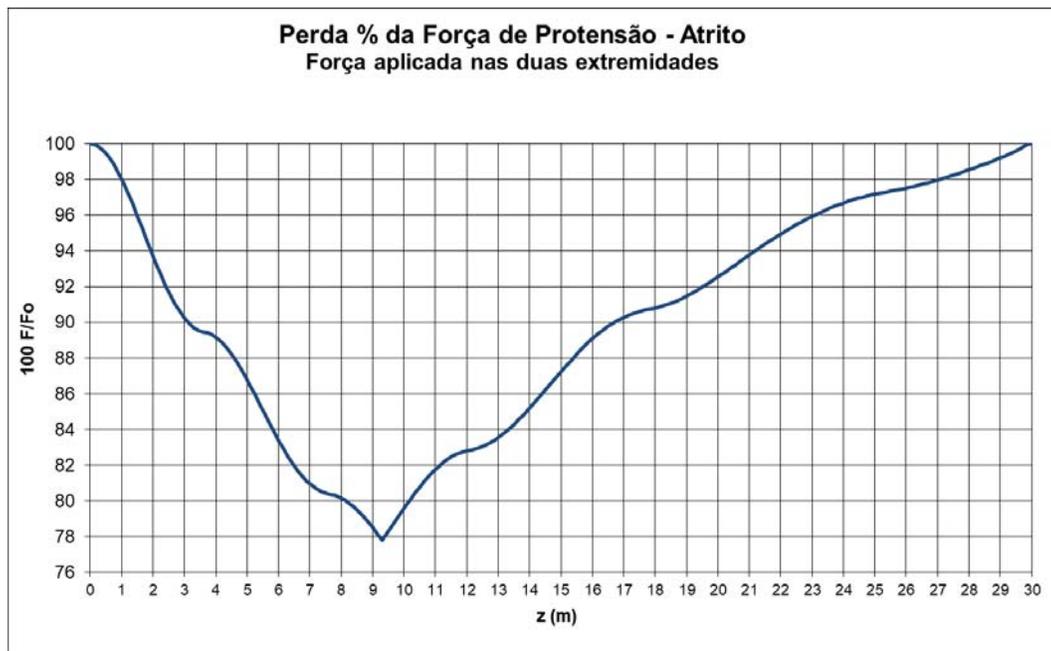
Se for considerada a inversão do sentido do momento fletor, obtêm-se os seguintes resultados (que, realmente, são maiores, em módulo, que os anteriores), que correspondem às respostas da questão, por ainda satisfazerem aos limites de ductilidade do ELU:

item	M_{xk} (kN m)	ε_o	k_x (m^{-1})
a)	-935,7	-4,5388	-14,7694
b)	-1468,0	-3,6797	-13,2275
c)	-652,4	-4,5450	-14,7522

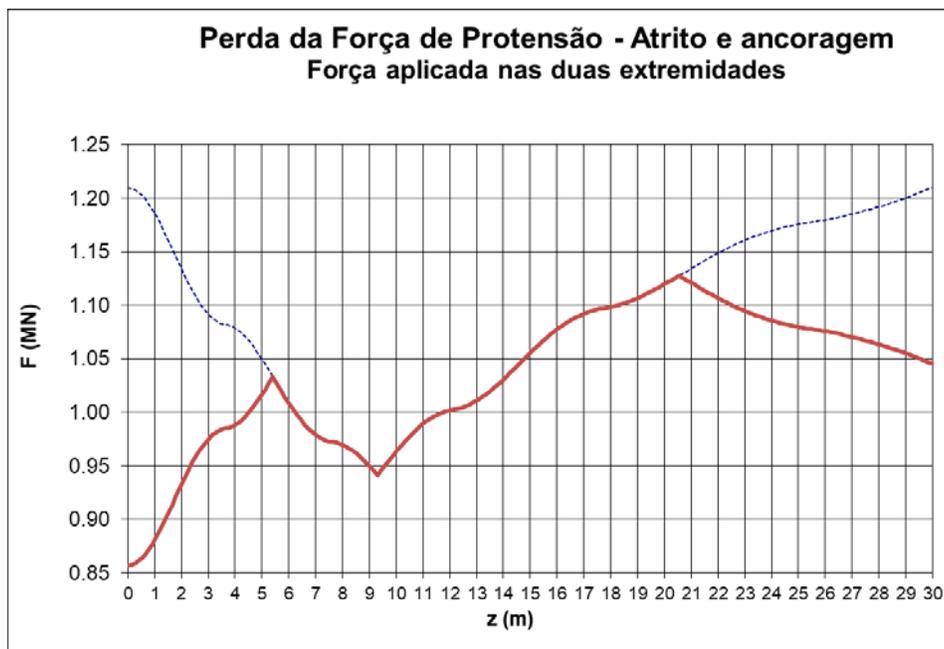
6ª Questão A trajetória do cabo é ilustrada a seguir



A perda por atrito (percentual) da força de protensão, aplicada nas duas extremidades, pode ser obtida discretizando-se a viga em 200 partes e usando procedimento descrito em sala de aula.



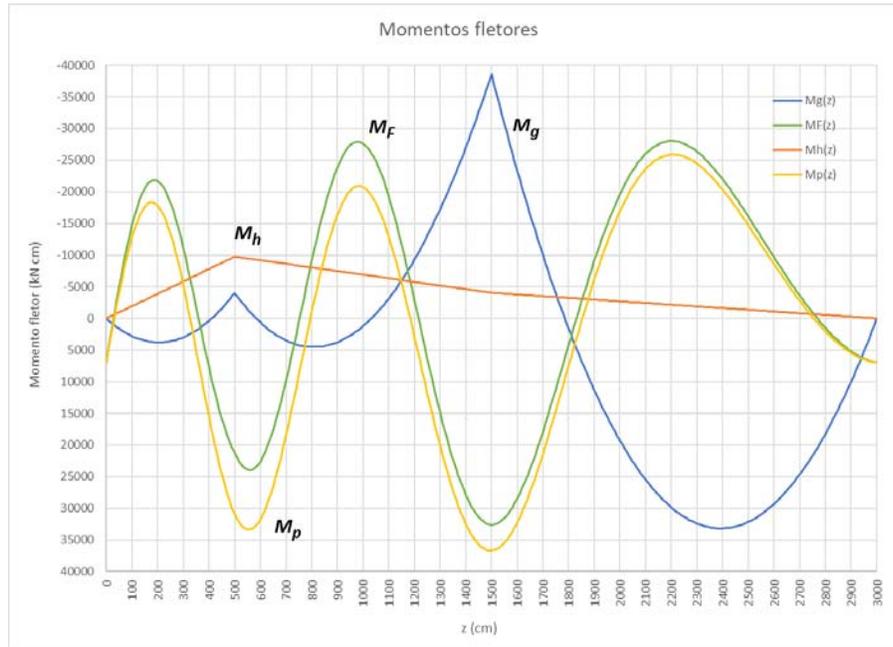
Considerando a força inicial máxima (sem, portanto, a ponderação do ELU e o coeficiente de perdas utilizados na questão anterior), pode-se equacionar as perdas por ancoragem buscando o encontro da imagem especular da curva de atrito que forneça, em cada extremidade, a área $\Delta \ell \cdot A_p \cdot E_p = 0,8690 \text{ MN m}$. Segue o esboço da curva (cheia), ressaltando que não há perdas por encurtamento elástico do concreto.



7ª Questão

Deve ser realizada a análise da viga, incluindo os momentos da força de protensão. Para um carregamento uniformemente distribuído p é fácil mostrar que as reações de apoio dos apoios internos são, respectivamente, $\frac{45}{224}pL$ e $\frac{355}{672}pL$ (para cima). As reações, nos mesmos apoios, para uma força de protensão F são dadas, respectivamente, por $0.025413648 F$ e $-0.0030229238 F$ (para cima e para baixo).

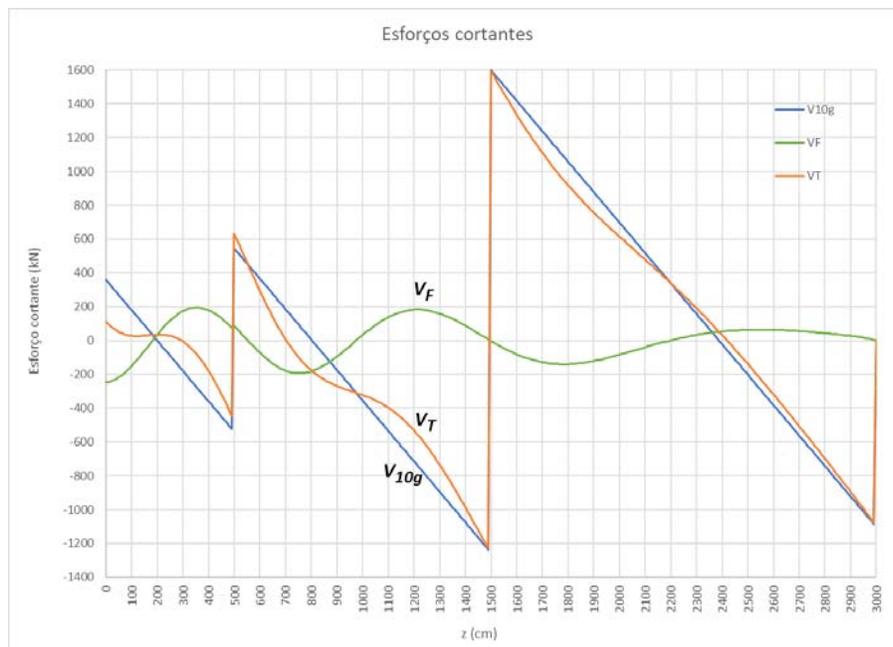
A título de ilustração mostram-se os momentos fletores para o peso próprio da viga ($p = g = 0,18 \text{ kN/cm}$) e para a força de protensão na fase final $F_f = 991,9724 \text{ kN}$ (M_g é o momento devido ao peso próprio e M_F é o momento total devido à força de protensão $M_F = M_p + M_h$). A seção especificada no enunciado tem um momento total $M_g + M_F = 31.339 - 27.600 = 3.739 \text{ kN cm}$.



A tensão $\sigma_{c,pog} = 1,2300$ MPa é facilmente calculada ($e = 25.7804$ cm). Os valores de coeficiente de fluência e deformação de retração podem ser obtidos com o auxílio da Tabela 8.2 da NBR-6118 (interpolações lineares para $t_o = 38$ dias, umidade de 70% e, ainda, uma extrapolação [!?] para $2A_c/u = 84,7059$ cm) levando a $\varphi(t_\infty, t_o) = 1,2923$ e $\varepsilon_{cs}(t_\infty, t_o) = -0,3304$.

O processo aproximado, item 9.6.3.4.3 da NBR-6118, resultaria em uma perda de 8,7569%.

8ª Questão Os diagramas de esforço cortante, com e sem considerar a força de protensão ($V_T = V_{10g} + V_F$), podem ser apreciados a seguir. O cortante máximo característico é de cerca de $1,6$ MN¹ ($V_{Sd} = 2.2400$ MN).



A verificação das bielas não é restritiva uma vez que $V_{Rd2} = 3,4425$ MN (verificar item 17.4.2.2 da NBR-6118).

¹ A análise estrutural simples leva a um cortante de 1.607,1 kN, sem a consideração (favorável) da protensão.

O dimensionamento da taxa de área de armadura (mesmo item, onde obtem-se $V_c = 0,4811$ MN, considerando uma seção de concreto armado com $b_w = 2 \times 0,2$ m e $d = 0,95$ m) resulta em $A_{st}/s = 0,01058$ m²/m, que se mostra consideravelmente elevada (estribos de 4 ramos $\phi 16$ estariam espaçados em cerca de 7,6 cm). As conclusões são análogas considerando apenas a armadura ativa ($d = 0,90$ m resultando em $A_{st}/s = 0,009864$ m²/m).

Há necessidade de revisão do projeto.

A decalagem da armadura longitudinal não pode ser verificada com os dados fornecidos.