



1ª Prova de EDI-38 Concreto Estrutural I

Prof. Flávio Mendes Neto

Setembro de 2015

Absolutamente sem consulta.

A interpretação das questões faz parte da prova.

Justifique cientificamente suas afirmações e comente, criticamente, todos os resultados obtidos.

Sugere-se utilizar até 1 hora para esta parte da prova.

PARTE TEÓRICA

1ª Questão Em algumas referências bibliográficas observam-se exemplos de verificação de capacidade resistente de uma seção completamente conhecida de concreto armado, com armadura dupla (A_{st} e A_{sc}), em que se despreza, por simplicidade, a armadura de compressão (A_{sc}). O momento fletor resistente assim obtido é sempre seguro? É sempre antieconômico?

2ª Questão É correto afirmar que, com a utilização do bloco retangular de tensões para o concreto comprimido (tensão σ_{cd}^* com uma profundidade $\bar{\lambda}x$), a taxa mecânica da armadura de tração pode ser calculada com

$$\bar{\omega}_t = 1 - \sqrt{1 - 2\bar{\mu}},$$

desde que a linha neutra respeite os limites de ductilidade (0,45d e 0,35d para os concretos dos Grupos I e II, respectivamente)?

Algumas definições

$$\bar{\mu} = \frac{M_d}{\sigma_{cd}^* b_{ref} d^2} \quad \bar{\omega}_i = \frac{A_{si} f_{yd}}{\sigma_{cd}^* b_{ref} d} \quad i = c, t \quad \alpha_i = \frac{\sigma_{si}}{f_{yd}} \quad f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s}$$

$$\bar{\eta} = \frac{R_{cc}}{\sigma_{cd}^* b_{ref} d} \quad \bar{\eta}_a = \frac{R_{cc} a}{\sigma_{cd}^* b_{ref} d^2} \quad \kappa_x = \frac{x}{d} \quad \delta_c = \frac{d_c}{d}$$

onde σ_{cd}^* é a tensão máxima, de compressão, oferecida pelo diagrama tensão-deformação do concreto, b_{ref} é a base de referência escolhida para a seção transversal e $d = h - d_t$.

Questão	1	2
Valor	2,0	3,0

Alguns resultados e comentários

1ª Questão Era esperado o equacionamento dos dois problemas a serem comparados (verificação com armadura simples e verificação com armadura dupla) e encaminhamento das discussões, eventualmente com o estabelecimento de hipóteses. A economia e a segurança, naturalmente, estão relacionadas.

2ª Questão A expressão apresentada deveria ser deduzida evidenciando, assim, eventuais hipóteses: seção retangular, escoamento da armadura de tração e solução possível com armadura simples (limites de ductilidade sendo obedecidos).



1ª Prova de EDI-38 Concreto Estrutural I

Prof. Flávio Mendes Neto

Setembro de 2015

Consulta livre (menos a seres humanos, próximos ou distantes), utilização de softwares gerais liberada. Utilização de programas e planilhas previamente confeccionados pelo próprio aluno liberada (obrigatória a entrega de cópia eletrônica junto com a resolução).

A interpretação das questões faz parte da prova.

Justifique cientificamente suas afirmações e comente, criticamente, todos os resultados obtidos. Faça sempre um esboço da armadura e calcule o custo total (concreto, aço e formas) de 1 m de viga, suposta constante.

Parte prática: duração máxima de 3 horas.

PARTE NUMÉRICA

Considere os seguintes dados:

- Coeficiente de ponderação das ações: $\gamma_F = 1,40$.
- Aço CA-50 ($f_{yk} = 500$ MPa; $\gamma_s = 1,15$; $E_s = 210$ GPa).
- Em cada camada de armadura podem ser colocadas barras de forma que o espaçamento mínimo seja de 2,5 cm. Não misturar diâmetros na mesma camada (camadas distintas podem, entretanto, ter diâmetros diferentes).
- Concreto com diagrama não-linear ($\sigma_{cd} = 0,85 f_{ck}/\gamma_c$ e $\gamma_c = 1,40$), com f_{ck} variando entre 20 e 90 MPa, inclusive, com incrementos discretos de 5 MPa.
- Considere que o **cobrimento** da armadura seja sempre de $c = 0,02$ m (distância mínima entre a superfície da peça e qualquer ponto de qualquer barra).
- Seção retangular com base $b = 0,18$ m e altura total $h = 0,56$ m.
- Custo do concreto (R\$ por m^3): $185,00 + 3,25 f_{ck}$ (para valores de f_{ck} em MPa).
- Custo da forma (por m^2): R\$ 30,13.
- Custo da armadura (por kg):

Bitola (mm)	R\$/kg
6,3	4,16
8,0	4,67
10,0	3,97
12,5	3,78
16,0	3,78
20,0	3,53
25,0	4,08

- Se precisar transformar unidades de força, utilize a equivalência $1 \text{ kgf} = 10 \text{ N}$ (equivalente a considerar a aceleração da gravidade de 10 m/s^2).

3ª Questão Considerando, sempre, três concretos (C30, C60 e C90) e apenas barras com 20 mm de diâmetro, pede-se:

- Dimensione a área de armadura de flexão desta viga para um momento fletor de 270 kN·m.
- Qual o momento resistente quando a armadura inferior tiver 3 barras e a superior 2?

4ª Questão Considerando todos os concretos e bitolas listados neste enunciado, escolha-os para obter o custo mínimo da peça quando submetida a um momento fletor de 135 kN·m.

Questão	3a	3b	4
Valor	1,5	1,5	2,0

Alguns resultados e comentários

3ª Questão

a) O dimensionamento ótimo da área de armadura se mostra inconsistente com todas as restrições apresentadas no enunciado. A mínima área de armadura total necessária para a seção suportar o momento fletor apresentado é

Concreto	$A_{st} + A_{sc}$ (cm ²)	$\phi 20$
C30	23,27	8+2
C60	18,81	6+0
C90	18,05	6+0

Note-se que para o concreto C30 o mínimo consumo de armadura se dá para 93,6% da área total na parte de tração e o restante na parte de compressão (os demais casos têm armadura de compressão nula). Estas necessidades de armadura correspondem ao número (inteiro) de barras de 20 mm de diâmetro também mostrado acima (tração + compressão, considerando que não é usual haver camada com uma única barra). Como comentado na questão seguinte, estas soluções não são adequadas por conta dos espaçamentos e cobrimentos apresentados. Para o concreto C30 ainda há outro agravante que é a linha neutra acima do limite de ductilidade preconizado por norma.

b) Os resultados das verificações são apresentados a seguir. Como as linhas neutras obtidas estão dentro do limite de ductilidade, os momentos fletores máximos (característicos) equilibram adequadamente a seção. Notar que a precisão dos cálculos pode influenciar as respostas.

Concreto	M_k (kN·m)	κ_x
C30	145,4	0,1782
C60	146,6	0,1524
C90	146,9	0,1469

4ª Questão Há 15 valores de f_{ck} possíveis, desde o C20 até o C90 (com custos variando de R\$ 250,00 até R\$ 477,50 por m³). A exigência de cobrimento mínimo c e de espaçamento mínimo e entre barras obriga o equacionamento da base b da seção transversal

$$b = 2c + n\phi + (n - 1)e$$

onde ϕ é o diâmetro das barras da camada e n o número de barras da camada. É fácil perceber que camadas com bitolas de 20 mm e 25 mm podem ter até 3 barras, camadas com bitolas de 10 mm, 12,5 mm e 16 mm podem ter até 4 barras e que camadas com as bitolas menores de 6,3 mm e 8 mm podem ter até 5 barras. Considerando que o momento fletor é positivo chega-se em 21 configurações de barras para a camada inferior e em 22 para a superior, contando que ainda possa ser nula. O número total de possibilidades seria, portanto, de 6.930 (15×21×22) configurações distintas. Desconsideram-se, didaticamente, outras restrições práticas tais como bitola ou área de armadura mínimas.

Pode-se mostrar que apenas 979 possibilidades são viáveis, ou seja, são capazes de equilibrar os esforços aplicados. A configuração de menor custo dentre todas é uma seção com concreto C30, 3 $\phi 20$ inferior, sem armadura superior, resultando em um custo de uma viga de um metro de R\$ 99,84 (ou de R\$ 93,76 se não fossem consideradas as duas fôrmas do tamanho da seção transversal: de qualquer forma o custo mínimo não é influenciado pelo custo de fôrmas, que é fixo). A decomposição de custos seria de R\$ 28,48 para o concreto, R\$ 26,12 para armadura inferior e R\$ 45,24 para as fôrmas. Convém observar que o posicionamento de cada camada de barras vai depender do diâmetro das barras utilizadas, conforme estabelecido no enunciado.