



## 1ª Prova de EDI-38 Concreto Estrutural I

Prof. Flávio Mendes Neto

Setembro de 2017

*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

Diga se cada afirmação seguinte é **verdadeira (V)** ou **falsa (F)** e justifique, aprofundando o assunto adequadamente:

**1ª Questão** Toda seção transversal de concreto armado deve estar equilibrada em um dos Domínios de Deformações (1...5), desde que não se configure uma situação de “Ruptura Frágil”.

**2ª Questão** O “Efeito Rüschi” deveria ser embutido no coeficiente de minoração da resistência do concreto (fazendo, por exemplo  $f_{cd} = f_{ck}/\gamma_c^*$ , onde  $\gamma_c^* = \gamma_c/0,85 = 1,40/0,85 \simeq 1,65$ ), uma vez que estes conceitos são relacionados.

**3ª Questão** Os problemas clássicos (dimensionamento, verificação) são construídos objetivando-se a segurança e a economia do equilíbrio das seções transversais de concreto armado.

Questão	1	2	3
Valor	2,0	1,5	1,5

Alguns resultados e comentários (sucintos):

**1ª Questão** Falso. Existe a possibilidade, embora possivelmente antieconômica, de equilíbrio antes do ELU. Mesmo obrigando que o ELU seja alcançado, existem solicitações que não se consegue evitar uma ruptura frágil, desrespeitando os limites de ductilidade (por exemplo compressão centrada).

**2ª Questão** Falso. Além da explicação dos fenômenos e parâmetros envolvidos, esperava-se alguma argumentação diferenciando o conceito da segurança (distanciamento da ruptura) e o do efeito Rüsç (conciliação da maturação e da fluência do concreto), justificando a independência das ponderações e, portanto, da não unificação. Numericamente, entretanto, os resultados são idênticos, talvez induzindo (mas não justificando[?]), a fusão das ponderações.

**3ª Questão** Falso. Os problemas são construídos, de fato, de forma a ter um sistema (não linear) de equações, arbitrando parâmetros até que o número de incógnitas seja igual ao de equações de equilíbrio, que priorizam a segurança. A economia não é, objetivamente, incluída na formulação do problema, a menos que haja um excesso de incógnitas (que não é o caso dos problemas clássicos) para, aí sim, haver espaço para alguma otimização. Pode-se argumentar que a economia é incluída genericamente (*lato sensu*), na medida em que se obriga o atendimento aos critérios de resistência, mas não objetivamente.



## 1ª Prova de EDI-38 Concreto Estrutural I

Prof. Flávio Mendes Neto

Setembro de 2017

*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(s) armadura(s), das deformações nas extremidades da seção e da linha neutra.*

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).
- Concreto C75 com diagrama não-linear ( $f_{ck} = 75$  MPa,  $\sigma_{cd} = 0,85 f_{ck}/\gamma_c$  e  $\gamma_c = 1,40$ ).
- Considere que o cobrimento  $c$  da armadura seja sempre de 0,02 m (distância entre a superfície da peça e a superfície da camada de barras mais próxima, lembrar que  $d' = c + \phi/2$ ).
- Seção retangular com base  $b = 0,30$  m e altura total  $h = 0,50$  m.

**4ª Questão** Calcule o maior momento fletor que pode ser aplicado à seção (em kN·m) considerando:

a) Armadura inferior de  $4\phi32$ .

b) Armadura inferior de  $4\phi25$  e armadura superior de  $2\phi12,5$ .

**5ª Questão** Pede-se para dimensionar a(s) área(s) de armadura(s) necessária(s), em  $\text{cm}^2$ , considerando que a seção esteja submetida a um momento fletor de 456 kN·m. Seria interessante detalhar esta armadura apenas barras com 40 mm de diâmetro?

Questão	4a	4b	5
Valor	1,5	1,5	2,0

Alguns resultados e comentários (sucintos):

**4ª Questão**

a) Problema clássico de verificação, duas equações a duas incógnitas (momento e linha neutra). Resolvendo obtém-se 403,70 kNm para uma linha neutra  $\kappa_x = 0,3623$  que está além do limite de ductilidade permitido (0,35). Para ficar aquém do ELU, pode-se responder  $M_k < 403,70$  kNm, evitando-se a ruptura ( $\varepsilon_t = 2,62$  e  $\varepsilon_b = -5,16$ ).

b) Mesmo caso anterior, obtendo-se  $M_k = 265,26$  kNm para uma linha neutra  $\kappa_x = 0,2008$  ( $\varepsilon_t = 2,51$  e  $\varepsilon_b = -10,87$ ).

**5ª Questão**

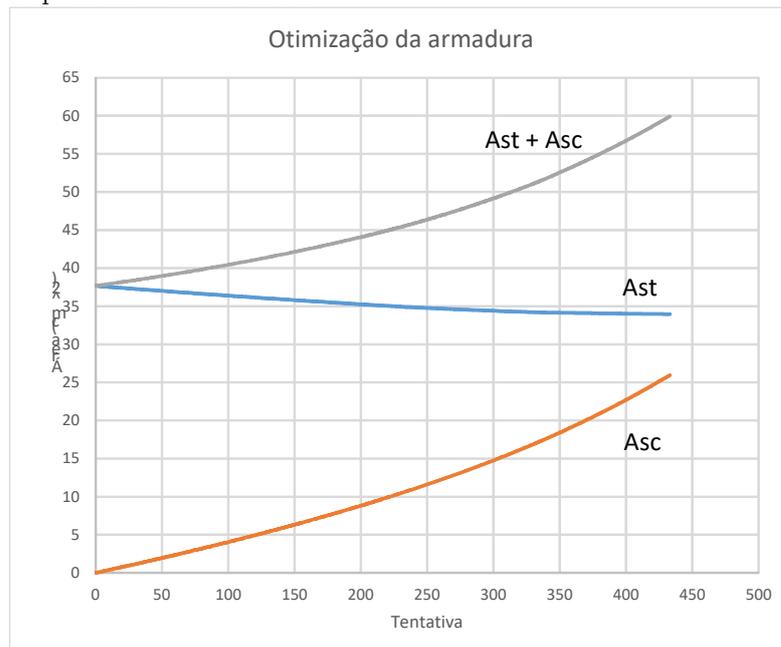
Problema clássico de dimensionamento, com uma dificuldade extra por não fornecer o posicionamento da(s) camada(s) de barras. Utiliza-se inicialmente, e a favor da segurança, o posicionamento das camadas admitindo  $\phi 40$ .

Iniciando a resolução com a hipótese de armadura simples, fica-se com um sistema de duas equações a duas incógnitas (área  $A_{st}$  e linha neutra). Resolvendo-se  $A_{st} = 37,66$  cm<sup>2</sup> e  $\kappa_x = 0,4278$ , o que, novamente, não respeita o limite de ductilidade, não sendo uma solução aceitável.

Considerando armadura dupla (ainda com  $d'$  equivalente a  $\phi 40$ ), fica-se com um sistema de três incógnitas (áreas  $A_{sc}$  e  $A_{st}$  e linha neutra) a duas equações. Pode-se utilizar a solução pragmática com a adoção do limite de ductilidade ( $\kappa_x = 0,35$ ), reduzindo o sistema a duas equações (agora lineares) e duas incógnitas. Resolvendo  $A_{st} = 36,24$  cm<sup>2</sup> e  $A_{sc} = 5,71$  cm<sup>2</sup>, totalizando 41,95 cm<sup>2</sup>.

A utilização de  $\phi 40$  na camada em compressão chama a atenção por conta da relativa baixa necessidade de área de armadura (uma única barra, que não corresponde a um detalhamento comum, já tem 12,57 cm<sup>2</sup>). Considerando as bitolas citadas no enunciado (12,5; 25; 32 e 40), a mais interessante parece ser a menor, por propiciar um menor “desperdício” de armadura ( $5\phi 12,5$  fornece 6,14 cm<sup>2</sup>). Ao escolher outra barra o posicionamento da camada muda, conforme enunciado e, a rigor, deve-se fazer novo dimensionamento, resultando em  $A_{st} = 36,07$  cm<sup>2</sup> e  $A_{sc} = 5,25$  cm<sup>2</sup>, totalizando 41,32 cm<sup>2</sup>. Por questões de detalhamento, que serão vistas com mais detalhes na próxima disciplina, a armadura em tração deve usar necessariamente  $\phi 40$ , mas a armadura de compressão poderia usar  $5\phi 12,5$  ou  $2\phi 25$ , sendo adotada nesta questão  $5\phi 12,5$ , pela menor diferença entre a área necessária e a adotada.

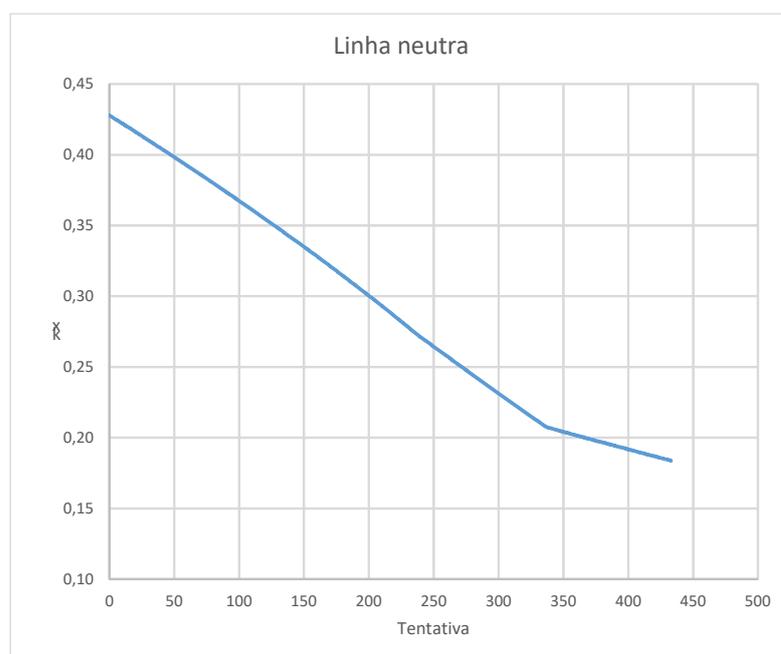
Uma tentativa, extremamente válida, seria a otimização da armadura (já que a seção de concreto está fixa, pelo enunciado) considerando outras possibilidades de linha neutra, acima da camada em compressão e abaixo do limite de ductilidade. Uma rápida investigação sobre o assunto, limitando a área total em 4%  $A_c$ , pode ser observada na figura seguinte. Foram feitas 1000 tentativas (mais detalhes nas aulas) e só são exibidos os resultados que não extrapolaram o limite citado.



Notar que a aparente pequena variação da armadura de tração é, em parte, resultado do problema da escala e, isolando somente esta armadura, vê-se que a variação está longe de ser aproximadamente linear, como na figura seguinte.



Mostra-se, a seguir, a linha neutra  $\kappa_x$  para cada tentativa. Observa-se que todas as 126 tentativas iniciais têm uma linha neutra que supera o limite de ductilidade sendo, neste caso, a ótima para, justa e coincidentemente,  $\kappa_x = 0,35$ , conforme solução pragmática.



Por fim comenta-se que a seção armada com  $5\phi 12,5$  superiormente e  $3\phi 40$  inferiormente pode ser verificada quando submetida ao momento fletor de 456 kNm, conforme enunciado e com metodologia ainda a ser estudada, resultando em uma distribuição de deformação antes do ELU com  $\varepsilon_t = 1,88$  e  $\varepsilon_b = -2,41$ .