



2ª Prova de EDI-38 Concreto Estrutural I

Prof. Flávio Mendes Neto

Novembro de 2016

Absolutamente sem consulta. A interpretação das questões faz parte da prova.

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

Durações sugeridas: parte teórica 1 h 30 min; parte numérica 2 h 30 min

PARTE TEÓRICA

1ª Questão Explique, sucinta e completamente, a verificação da estabilidade de pilares isostáticos sob flexão normal composta utilizando os processos das Diferenças Finitas e da Coluna Modelo (Pilar Padrão). Compare os processos, deixando claras as hipóteses e restrições teóricas e, ainda, comentando se podem ser utilizados para os casos de flexão pura e de compressão centrada.

2ª Questão Considerando uma seção transversal dada, explique como obter numericamente uma curva de interação (no plano $N_d \times M_d$) para a flexão normal composta utilizando a metodologia da nFNC e a Região Viável para o ELU no plano $k \times \varepsilon_o$. Comente, ainda, sobre a questão da “Região Inútil” (escoamento em tração de todas as camadas e toda a seção alongada) e suas consequências na respectiva curva de interação.

Questão	1	2
Valor	3,0	2,0

Alguns resultados e comentários

1ª Questão Questão amplamente apresentada e discutida em sala. Esperava-se, como o enunciado pede, que todos os pontos fossem comentados.

2ª Questão O ponto chave da questão era a descrição da circunção da fronteira da Região Viável, que constitui o ELU, calculando os respectivos esforços resistentes. Detalhamentos dos passos anteriores eram bem-vindos, naturalmente. A questão da “Região Inútil” foi bem discutida em sala e seu mapeamento na curva de interação recai em um único ponto. O resultado prático é que ela pode ser ignorada (de fato, a intersecção da “Região Inútil” com a fronteira da Região Viável) para a construção da curva de interação. Há, assim, uma pequena “economia” de pontos a serem calculados.



2ª Prova de EDI-38 Concreto Estrutural I

Prof. Flávio Mendes Neto

Novembro de 2016

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 (é obrigatória a entrega de 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.

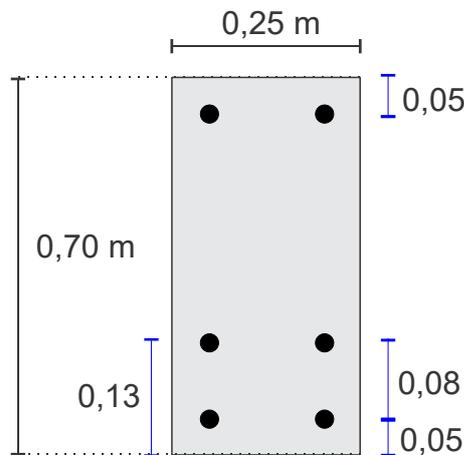
*Sempre explicita a **distribuição de deformações** na documentação da solução.*

Caso pertinente, faça, em cada problema, uma escolha de bitola coerente com os resultados.

Parte numérica: duração sugerida de 2 h 30 min

PARTE NUMÉRICA

- 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 C60, diagrama não linear ($f_{ck} = 60$ MPa, $\sigma_{cd} = 0,85 f_{ck}/\gamma_c$ e $\gamma_c = 1,40$).
- Arranjo com três camadas de duas barras cada, todas de mesma bitola, sem dupla simetria, conforme figura.
- Diâmetros ϕ das barras a serem considerados (mm): 10,0; 12,5; 16,0; 20,0; 25,0; 32,0 e 40,0.



3ª Questão Dimensione a área de armadura mínima para uma força normal de compressão centrada de 4,93 MN sem qualquer momento fletor.

4ª Questão Considerando barras $\phi 20$, pedem-se os valores extremos de momento fletor (positivo e negativo, em kN·m) que podem ser aplicados simultaneamente a uma força normal de compressão de 1,56 MN.

5ª Questão Ainda considerando barras $\phi 20$, foi feito um dimensionamento no ELU com $\beta_x = 0,8143$. O calculista ficou, entretanto, em dúvida sobre a adequação da armadura e sobre a ductilidade da distribuição de deformações na seção transversal. Qual sua opinião sobre o assunto?

Depois de uma alteração considerável da estrutura, o pilar seria submetido simultaneamente a uma força normal de compressão de 500 kN e a um momento fletor de 200 kN·m. A seção estaria bem dimensionada? A seção realmente resistiria a esses esforços (em caso afirmativo, informe a distribuição de deformações)?

Questão	3	4	5
Valor	1,5	2,0	1,5

/F_MN/SWP3.5

Alguns resultados e comentários:

Para o concreto C60 o diagrama tensão-deformação é caracterizado pelos parâmetros $n = 1,5895$ (expoente da parte não linear), $\varepsilon_{c2} = 2,2880$ (deformação do início do patamar e encurtamento limite das seções inteiramente encurtadas) e $\varepsilon_{cu} = 2,8835$ (final do diagrama e encurtamento máximo das seções não-inteiramente encurtadas). O aço CA50 tem uma deformação de escoamento $\varepsilon_{yd} = 2,0704$.

3ª Questão Considera-se, por falta de informação e a favor da segurança, que o esforço informado era característico (dúvida que não existiria caso o dimensionamento estivesse contextualizado no projeto da estrutura) levando a $N_d = \gamma_F \cdot N_k = 6,9020$ MN e $M_d = 0$.

Se o arranjo da armadura fosse duplamente simétrico o problema seria, também, de compressão uniforme, podendo ser resolvido simplesmente com a equação de equilíbrio de forças

$$N_d = \sigma_{cd} \cdot (A_c - A_s) + A_s \cdot \sigma_{sd}(\varepsilon_{c2})$$

onde $\sigma_{cd} = 36,4286$ MPa e $\sigma_{sd}(\varepsilon_{c2}) = f_{yd} = 434,7826$ MPa, que forneceria uma área de armadura de $13,23$ cm² (ou $12,12$ cm², caso não fosse descontada a área de armadura da área do concreto), soluções que necessitariam de $6\phi 20$, dentre as bitolas listadas.

A questão pode ser corretamente endereçada com a FNC ou a nFNC, conforme nomenclatura definida em sala de aula, levando aos mesmos resultados, incluindo a distribuição de deformações.

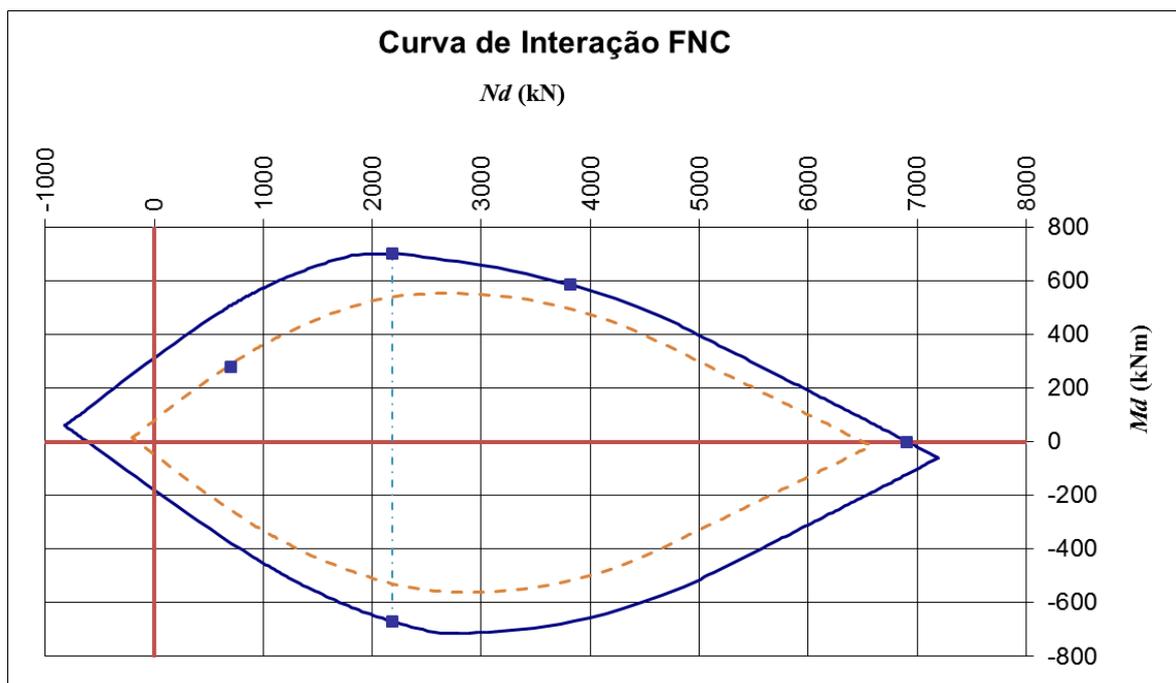
Com a metodologia tradicional (FNC), o sistema de equações de equilíbrio pode ser considerado resolvido para uma profundidade adimensional da linha neutra $\beta_x = 3,4121$ e uma área teórica $A_s = 18,52$ cm², resultando, por coincidência, na armadura anterior de $6\phi 20$ (que tem $18,84$ cm²) já que a bitola imediatamente abaixo dessa, a de 16 mm, fornece uma área total de apenas $12,06$ cm². As deformações nas camadas de barras, numeradas de baixo para cima, são $\varepsilon_{s1} = 1,7726$; $\varepsilon_{s2} = 1,8542$ e $\varepsilon_{s3} = 2,3844$. A título de especulação, se fosse utilizado o diagrama retangular simplificado, seria obtida uma área de armadura total 45% maior que a anterior!

O dimensionamento com a metodologia nFNC resulta em uma distribuição de deformações caracterizada por $\varepsilon_o = 2,0602$ e $\kappa = 0,9658$ m⁻¹ e uma área de armadura total de $18,53$ cm² (esta pequena diferença de 0,05% nos resultados da área de armadura ocorre, naturalmente, por conta das precisões consideradas nos processos iterativos).

Na questão seguinte, na curva externa em linha cheia feita para $6\phi 20$, a solicitação estudada pode ser observada na intersecção positiva da curva de interação com o eixo das abscissas.

4ª Questão O problema deve ser resolvido no ELU, seja com a metodologia da FNC ou da nFNC, e tem duas respostas distintas (em módulo e sinal) uma vez que a seção de concreto armado não é duplamente simétrica. Na metodologia da FNC pode-se “virar” o arranjo da seção para evitar o problema de o sinal negativo do momento fletor resistente ter algum impacto não previsto nas equações de equilíbrio, já que se supõe o momento sempre positivo.

Resolvendo-se a equação de forças para a linha neutra obtém-se $\beta_x = 0,5328$ (medida normalmente, a partir da fibra superior) e um momento fletor $M_k = 501,40$ kN·m e, invertendo as camadas, obtém-se $\beta_x = 0,4439$ (a partir da fibra inferior) e um momento fletor $M_k = -478,41$ kN·m (sinal colocado manualmente). Estes são os valores extremos do momento fletor resistente para a força normal dada, considerada característica, $N_k = 1,56$ MN. A título de ilustração plota-se a curva de interação (de cálculo, curva externa em linha cheia) completa para a armadura $6\phi 20$ com destaque para os esforços resistentes calculados: $N_d = 2,184$ MN e os momentos de cálculo $701,26$ e $-669,77$ kN·m.



Com a metodologia da nFNC os resultados são idênticos e, a título de comparação, as distribuições de deformações são caracterizadas por $\varepsilon_o = 0,2042$ e $\kappa = 7,6552 \text{ m}^{-1}$ e $\varepsilon_o = -0,3645$ e $\kappa = -9,2800 \text{ m}^{-1}$ para os momentos positivo e negativo, respectivamente. Note que aqui não há necessidade de inversão da armadura.

5ª Questão A linha neutra $\beta_x = 0,8143$ faz com que os esforços resistentes sejam $N_k = 2.728,77 \text{ kN}$ e $M_k = 417,79 \text{ kN}\cdot\text{m}$ (o ponto está destacado no gráfico anterior, ponderando os esforços característicos) e que a segunda camada fique praticamente sem deformação. Em termos econômicos esses esforços anteriores poderiam ser equilibrados sem a camada intermediária e uma redução de 33% da armadura poderia ser feita, indicando que a solução original seria antieconômica. Quanto à ductilidade, nada poderia ser feito uma vez que os esforços admitem apenas esta solução no Domínio 4 e não se tem como “obrigar” que alguma camada escoe em tração quando em flexo-compressão. Salienta-se que o escoamento em compressão da camada superior **não** resolve a questão do “aviso” da eventual ruptura. O problema de cálculo dos esforços resistentes também poderia ter sido endereçado com a metodologia de nFNC calculando os parâmetros da distribuição de deformações no ELU ($\varepsilon_o = 1,1130$ e $\kappa = 5,0587 \text{ m}^{-1}$).

A segunda parte da questão, naturalmente referente à seção compatível com o arranjo do enunciado ($6\phi20$), pede o equilíbrio para os esforços $N_k = 500 \text{ kN}$ e $M_k = 200 \text{ kN}\cdot\text{m}$ (bem inferiores aos da primeira parte - só a título de comparação a norma Euclidiana dos esforços cai cerca de 80%). Com o auxílio do diagrama de interação anterior percebe-se claramente que a seção tem resistência suficiente (esforços plotados dentro da curva cheia anterior) devendo-se, para obter a distribuição de deformações, utilizar a metodologia da nFNC. Os parâmetros obtidos para a distribuição de deformações são $\varepsilon_o = -0,08214$ e $\kappa = 2,7203 \text{ m}^{-1}$, antes do ELU. É nítido que o dimensionamento está antieconômico e pode-se considerar a redução da bitola, mantendo o arranjo original para não desvirtuar a proposta da questão. Nota-se que a escolha da menor bitola ($6\phi10$) atende ao equilíbrio destes esforços (curva tracejada no diagrama anterior) e percebe-se que é possível alcançar uma redução de 75% na área de armadura necessária.