



Exame final de EDI-38 Concreto Estrutural I

Prof. Flávio Mendes Neto

Dezembro de 2017

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

Justifique cientificamente suas afirmações e comente, criticamente, todos os resultados obtidos, deixando claros os parâmetros e variáveis citados.

Durações sugeridas: parte teórica 1 h; parte numérica 3 h

O aluno só receberá as questões numéricas depois que entregar a resolução desta parte teórica.

PARTE TEÓRICA

1ª Questão Como verificar numericamente uma distribuição de deformações $(\varepsilon_o, \kappa_x, \kappa_y)$ com relação à Região Viável para o ELU considerando uma seção transversal de concreto poligonal com N vértices de coordenadas (x_i, y_i) , para $i = 1 \dots N$, armada com n barras de área A_{si} e coordenadas (x_{si}, y_{si}) , para $i = 1 \dots n$. É possível fazer um esboço desta Região Viável do ELU no espaço $\kappa_x \times \varepsilon_o \times \kappa_y$?

2ª Questão Uma seção transversal minimamente dimensionada para o terno de esforços (N_d, M_{dx}, M_{dy}) resiste, também, aos sete ternos obtidos com a anulação de um, dois ou três destes mesmos esforços?

3ª Questão Descreva o que é e como pode ser obtida numericamente, de forma precisa e eficiente, uma curva de projeto (no plano $N_d \times M_d$) para o ELUi de um pilar engastado-livre de concreto armado submetido à FNC (submetido apenas a uma força normal centrada com excentricidade e em sua extremidade livre). Não se esqueça de comentar sobre eventuais particularidades do encontro desta curva com os eixos.

Questão	1	2	3
Valor	1,0	2,0	2,0

Alguns resultados e comentários gerais

1ª Questão A primeira providência a ser tomada era se certificar de que tanto a seção de concreto poligonal quanto as barras da armadura tivessem suas coordenadas expressas em um sistema com origem no CG de A_c , uma vez que nada foi especificado no enunciado e isso é uma hipótese relevante. A partir daí poderiam ser explicitadas as inequações dos critérios de resistência, conforme discutido em sala, com alguma preocupação extra em explicar o pólo ε_{c2} . Note que o processo de se encontrar a linha neutra, para daí ver a altura h_φ da seção para, então, verificar o pólo ε_{c2} , é anacrônico.

A explicação seria facilitada com a utilização da equação cinemática e a busca das deformações extremas na seção de concreto e da deformação mínima na armadura.

A Região Viável para o ELU no espaço citado é, claro, um poliedro, mas eram esperados maiores detalhes e não simplesmente a afirmação de que teria um formato específico ou a apreciação de um esboço artístico em 3D.

2ª Questão A solução deveria se preocupar com a enumeração das 7 possibilidades citadas no enunciado, indo do óbvio $(0, 0, 0)$, que naturalmente TEM que ser resistido pela seção, até os casos de flexões simples, oblíqua e compressão centrada. Não eram esperadas particularizações (simetrias, por exemplo), nem “provas” por contraexemplo, que truncam a explicação abruptamente. A questão era de nFOC e, assim, era esperada a argumentação. A conclusão geral, claro, seria a da não garantia da resistência pela seção dos ternos de esforços modificados, com a exceção já citada. Considerações adicionais sobre seções simétricas, ao final, talvez enriquecessem a questão.

3ª Questão A primeira discussão passa, naturalmente, por evidenciar o conhecimento sobre o que seria a curva de projeto (lugar geométrico dos esforços de primeira ordem que podem ser aplicados ao pilar de forma que não haja a ruptura de nenhuma seção transversal e o pilar tenha capacidade de equilíbrio). Note que é difícil defender o processo do Pilar Padrão (Coluna Modelo) quando o enunciado solicita métodos precisos de solução. Dois caminhos foram observados: clássico, transformando a curva de sensibilidade a imperfeições (com as devidas explicações sobre sua construção), e através de uma pré-análise da compressão centrada, partindo daí como estimador superior para os demais pontos da curva de projeto, aliado ao método do passo nas excentricidades da respectiva força normal.

Ainda eram esperados comentários críticos sobre os casos limites de flexão simples $(0, M_d)$, que é trivial, e de compressão centrada $(N_d, 0)$, que apresenta algumas particularidades, principalmente se a ferramenta da argumentação fosse o processo das Diferenças Finitas.



Exame final de EDI-38 Concreto Estrutural I

Prof. Flávio Mendes Neto

Dezembro 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 (é obrigatória a entrega de cópia eletrônica ao final da prova, aplicada especificamente a cada item resolvido, com um arquivo de resultados). 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**, eventualmente da seção mais solicitada, na documentação da solução.*

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

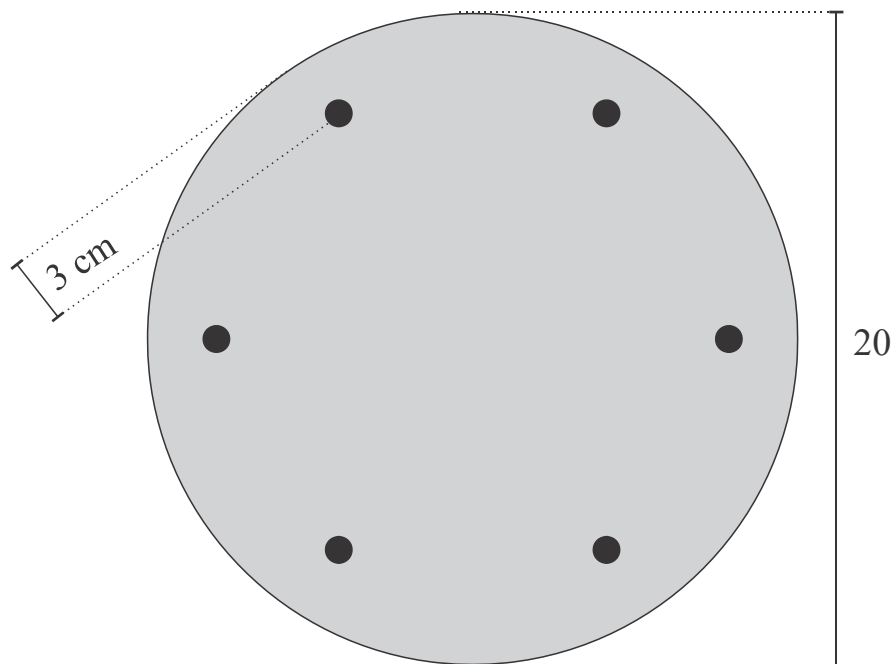
Parte numérica: duração sugerida de 3 h

PARTE NUMÉRICA

Considere os seguintes dados:

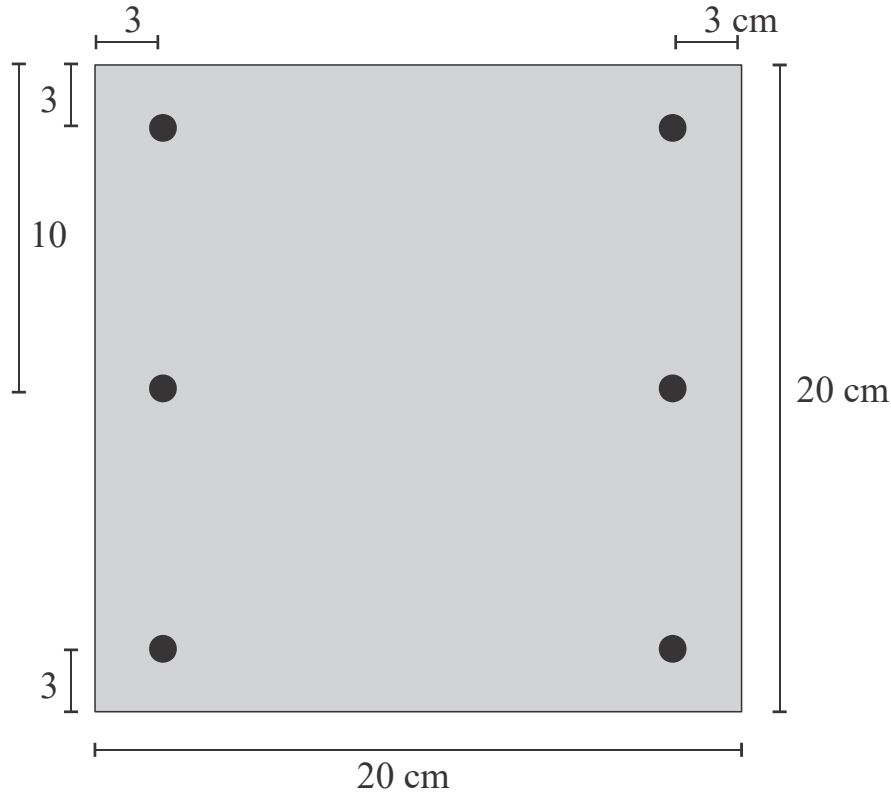
- Coeficiente de ponderação das ações: $\gamma_F = 1,40$.
- Aço CA-50 ($f_{yk} = 500$ MPa; $\gamma_s = 1,15$; $E_s = 210$ GPa).
- Diâmetros das barras a serem considerados (mm): 10; 12,5 e 16.
- Concreto C65, diagrama t&d não-linear ($f_{ck} = 65$ MPa, $\sigma_{cd} = 0,85 f_{ck}/\gamma_c$ e lembrar que $\gamma_c = 1,40$).

4ª Questão Considere uma seção circular, conforme a figura seguinte (fora de escala), com 20 cm de diâmetro. A armadura é composta por seis barras de mesmo diâmetro com espaçamento angular constante e $d' = 3$ cm, medido radialmente (as barras estão alinhadas, duas a duas, horizontalmente).



Dimensione a área mínima teórica da armadura (em cm^2) quando a seção estiver submetida aos esforços de cálculo, consistentes com a regra da “mão-direita”, $N_d = -185,5$ kN (tração); $M_{xd} = 5,5$ kN·m e $M_{yd} = -7,1$ kN·m. Faça, ainda, um esboço da linha neutra na seção.

5ª Questão Seja a seção transversal quadrada com 20 cm de lado, armada com três camadas de duas barras de mesmo diâmetro, duplamente simétrica, com $d' = 3$ cm conforme figura. Admita que a força normal N_d seja aplicada no CG de A_c (positiva para compressão) e que o vetor momento M_d esteja no plano da seção transversal e seja horizontal.



Pede-se a área mínima de armadura (em cm^2) para os seguintes casos:

Item	N_d (kN)	M_d (kN·m)
a)	-100	0
b)	0	-10
c)	500	30
d)	1.500	-13
e)	2.100	0

6ª Questão Considere um pilar engastado-livre com comprimento geométrico total de $L = 2$ m e a seção transversal (constante) da questão anterior com $6\phi 10$. Admita que os únicos esforços existentes sejam aplicados na extremidade livre do pilar: força normal de compressão N_d e uma carga momento com vetor momento M_d no plano da seção transversal e horizontal.

a) Analise o equilíbrio deste pilar por Diferenças Finitas e Pilar Padrão quando $N_d = 515$ kN e $M_d = 10$ kN·m.

b) Qual a carga máxima N_d deste pilar quando em compressão centrada ($e = 0$)?

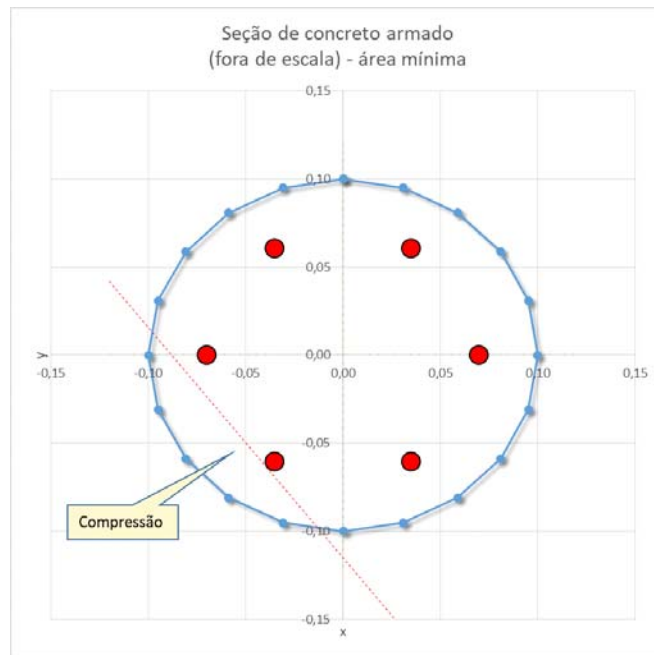
c) Qual a carga máxima N_d deste pilar considerando apenas uma excentricidade da força normal de $e = \frac{2}{103}$ m?

Questão	4	5	6
Valor	1,0	2,5	1,5

Alguns comentários e resultados

4ª Questão Além da exatidão das respostas, era esperada alguma consideração a respeito da discretização da seção de concreto já que a metodologia de nFOC, que permite a obtenção do dimensionamento pedido, utiliza polígonos planos. As respostas, a seguir, utilizaram um círculo aproximado por um polígono regular de 120 lados (poucos lados? ok? muitos?).

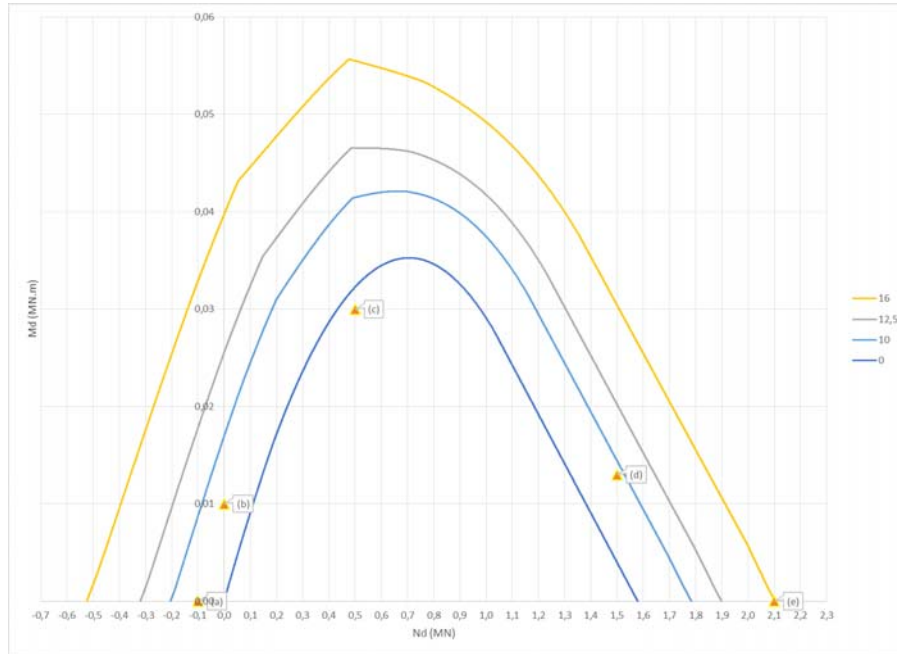
A área mínima de armadura obtida por bissecção é $A_s = 7,0995 \text{ cm}^2$ com uma distribuição de deformações caracterizada pelo terno $(\varepsilon_o; \kappa_x; \kappa_y) = (-5,1976; 45,1320 \text{ m}^{-1}; -59,0407 \text{ m}^{-1})$. Observa-se que dentre as bitolas disponíveis no enunciado deve-se utilizar $6\phi 12,5$ resultando em uma área $A_s = 7,3631 \text{ cm}^2$ e, depois de um novo cálculo de verificação, obtém-se a distribuição de deformações $(-2,4214; 23,5278 \text{ m}^{-1}; -27,5808 \text{ m}^{-1})$. A seguir o esboço da linha neutra, para a área mínima teórica, que não é muito diferente da com as bitolas escolhidas.



5ª Questão Foram realizados dimensionamentos com a metodologia de nFNC e os resultados são os seguintes:

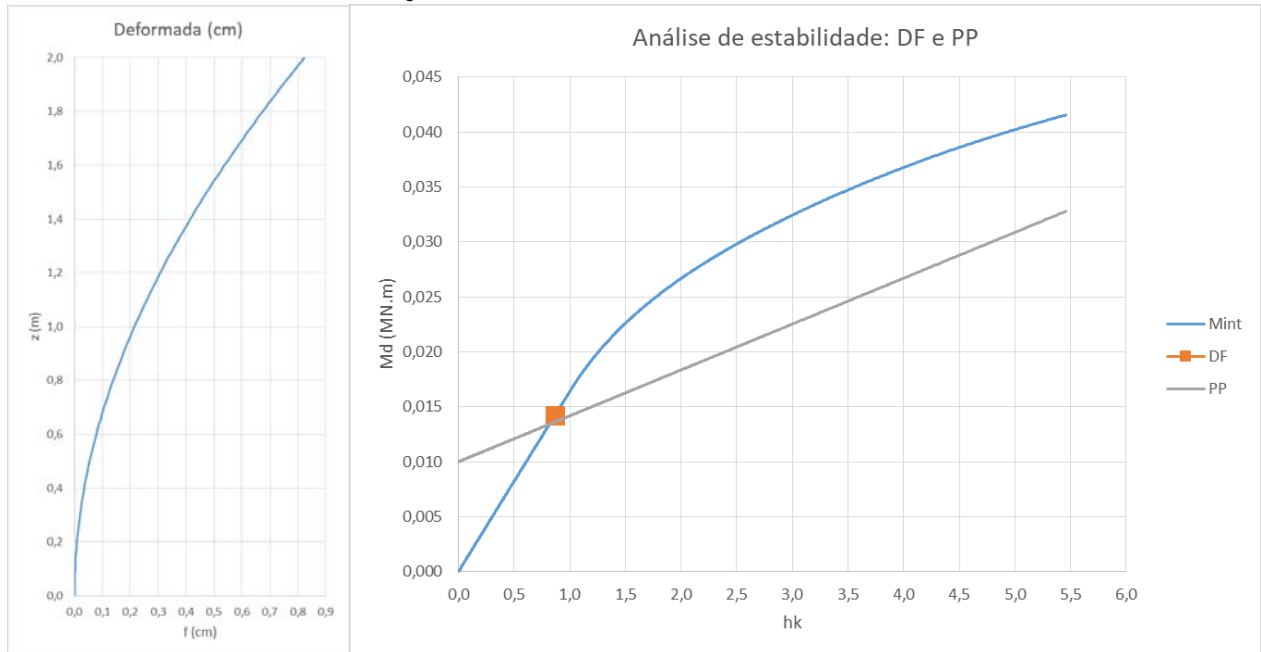
Item	$A_s \text{ (cm}^2\text{)}$	ε_o	$\kappa \text{ (m}^{-1}\text{)}$	$\phi \text{ (mm)}$	ε_o	$\kappa \text{ (m}^{-1}\text{)}$
a)	2,3000	-2,0704	0,0000	10	-1,0105	0,0000
b)	2,6765	-5,2081	-68,4550	10	-0,6935	-13,0640
c)	0,0000	0,2515	18,8820	10	0,3651	13,0130
d)	4,0675	1,8104	-7,5664	10	1,7425	6,7521
e)	11,9929	2,3571	0,0000	16	2,3211	0,0000

A escolha das bitolas acima é justificada lembrando que $6\phi 10$ fornecem uma área $A_s = 4,71 \text{ cm}^2$ e que $6\phi 16$ fornecem uma área $A_s = 12,06 \text{ cm}^2$ (a área da bitola 12 mm está na questão anterior). A figura seguinte, que não era esperada como resolução padrão, ilustra as curvas de interação (incluindo a armadura nula) para as bitolas do enunciado, dando coerência aos resultados (levar em conta a dupla simetria da seção por conta dos sinais dos momentos fletores).



6ª Questão

a) Deve ser obtido o equilíbrio do pilar pelos dois métodos. A flecha máxima é de 8,2 mm para Diferenças Finitas (pilar discretizado em 100 trechos) e a distribuição de deformações, na seção da base, é dada por $(\varepsilon_o; \kappa) = (0,5006; 4,3410 \text{ m}^{-1})$. Para o Pilar Padrão obtém-se flecha máxima de 6,6 mm e a distribuição de deformações, na seção da base, é dada por $(\varepsilon_o; \kappa) = (0,4997; 4,0796 \text{ m}^{-1})$. Mais um exemplo indicando o Pilar Padrão contra a segurança. A seguir uma ilustração da deformada do pilar por Diferenças Finitas e a curva momento-curvatura com os dois equilíbrios.



b) Resolvendo-se a equação de compressão centrada, com a rigidez para curvatura nula, obtém-se a carga crítica, característica, $N_{cr,k} = 1,0089 \text{ MN}$ para $(\varepsilon_o; \kappa) = (1,5497; 0)$. Note que para este pilar tem-se $\lambda_{lim} = 0$ e, portanto, a carga crítica em compressão centrada/uniforme é obtida pela capacidade de equilíbrio do pilar (quando $L > 0$) e não pela ruptura da seção.

c) Mantendo a excentricidade da força normal $e = 2/103 \text{ m}$ e utilizando o método do passo, obtém-se a

carga crítica, característica, $N_{cr,k} = 0,5995 \text{ MN}$ ($N_{cr,d} = 0,8393 \text{ MN}$) para uma flecha máxima de 26,6 mm e distribuição de deformações, na seção da base, dada por $(\varepsilon_o; \kappa) = (0,8724; 16,0140 \text{ m}^{-1})$. A Trajetória de Equilíbrio obtida é ilustrada a seguir, junto com a curva de interação para o ELU.

