



1ª Prova de EDI-49 Concreto Estrutural II

Sérgio Gustavo Ferreira Cordeiro

Abril de 2019

Prova individual e sem consulta.

A interpretação das questões faz parte da prova.

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

Duração da prova: 5 horas.

Sugere-se utilizar até 2 horas e 30 minutos para esta parte da prova.

PARTE TEÓRICA

1ª Questão A aplicação da protensão em peças de concreto tem por motivação única o aumento da capacidade portante do elemento estrutural? Justifique e discuta qual a implicação da resposta para a filosofia de projeto de estruturas de concreto protendido.

2ª Questão Explique por quais motivos cordoalhas compostas por fios são geralmente adotadas em detrimento às barras para o aço da armadura de concreto protendido?

3ª Questão Deduza as expressões das tensões normais para uma seção de concreto protendido sob flexão normal, considerando a hipótese cinemática de Euler-Navier Bernoulli, a hipótese de aderência perfeita aço-concreto, o concreto no regime elástico e apenas uma camada de armadura de área A_p a uma altura $y = -e$, sujeita a uma deformação de préalongamento $\varepsilon_{pré}$ e a uma força de protensão F .

Dados:

$$\begin{aligned} N &= \iint_A \sigma(\varepsilon) dA & M &= \iint_A \sigma(\varepsilon) y dA \\ \sigma_c(\varepsilon_c) &= E_{cs} \varepsilon_c & F &= \sigma_p(\varepsilon_p) A_p & \varepsilon_c &= \varepsilon_0 + \kappa y & \varepsilon_p &= \varepsilon_{pré} + \varepsilon_0 + \kappa y \end{aligned} \quad (0.1)$$

em que ε_0 e κ são os parâmetros da distribuição de deformação da seção.

DICAS:

- Considere a origem do sistema de coordenadas x, y no Centro Geométrico da seção.
- Considere a excentricidade da força de protensão com orientação contrária ao eixo y .

4ª Questão De forma objetiva, sequencial, abrangente e detalhada (mas sem entrar em minúcias), descreva todos os passos necessários para o projeto (completo) das lajes de um edifício residencial.

Questão	1	2	3	4
Valor	1,0	1,0	2,0	2,0

/S_{GFC}/SWP3.5

Alguns resultados e comentários (sucintos):

1ª Questão O aumento da capacidade portante do elemento estrutural não é a única motivação para a aplicação da protensão. Apesar de ser a principal motivação, outras vantagens podem ser obtidas com a protensão. Entre as várias vantagens que poderiam ser citadas, uma considerada indispensável é a de possibilitar a concepção de estruturas livres de fissuras (ou com nível de fissuração bem reduzido). Com isso, evitam-se os diversos problemas que podem surgir em estruturas devido à presença de fissuras, ampliando consideravelmente a gama aplicações que podem ser projetadas utilizando o concreto protendido (reservatórios, reatores, estruturas em ambientes de elevada agressividade ambiental, entre outras). O objetivo de evitar a fissuração do concreto influencia diretamente a escolha da filosofia de projeto a ser utilizada. Nesse caso, a já conhecida filosofia de Tensões Admissíveis é incorporada ao contexto do projeto de estruturas de concreto protendido, no intuito, não de permitir o cálculo no regime elástico, mas sim de evitar que as fissuras ocorram. Em outras palavras, o cálculo no regime elástico é uma consequência do objetivo de projetar estruturas livres de fissuração.

2ª Questão Os principais motivos são:

- A produção dos fios que compõem as cordoalhas envolve um processo denominado "patenteamento", o qual aumenta a resistência última f_{ptk} e a resistência ao escoamento f_{pyk} do aço. Sendo assim, é possível aplicar forças de protensão de maior intensidade para as cordoalhas em comparação ao caso de barras de aço de mesmo diâmetro nominal;
- O processo de alívio de tensões nos fios é muitas vezes realizado sob deformação. Nesse caso, o processo é denominado "estabilização" e resulta em fios, e conseqüentemente cordoalhas, com baixas propriedades de relaxação. Portanto, as perdas de protensão ao longo do tempo serão menores em comparação às perdas que ocorreriam com barras, para as quais não é comum o alongamento das mesmas durante o processo de alívio de tensões (relaxação normal);
- Por serem compostas por fios de pequeno diâmetro, as cordoalhas são mais flexíveis do que as barras de mesmo diâmetro nominal. Sendo assim, é possível projetar elementos de concreto protendido com diversas possibilidades para a disposição longitudinal da armadura de protensão, sem elevar os custos de execução e sem a possibilidade de danificar a armadura durante procedimentos de dobra;

3ª Questão Dedução apresentada no tópico 3.4.3 "Tensões normais na flexão normal" do Capítulo 3 das notas de aula de concreto protendido.

4ª Questão Assunto amplamente discutido nas aulas de projeto.



1ª Prova de EDI-49 Concreto Estrutural II

Sérgio Gustavo Ferreira Cordeiro

Abril de 2019

Consulta a materiais didáticos liberada. Utilização de programas e planilhas liberada. Justifique criticamente os resultados obtidos

Duração da prova: 5 horas.

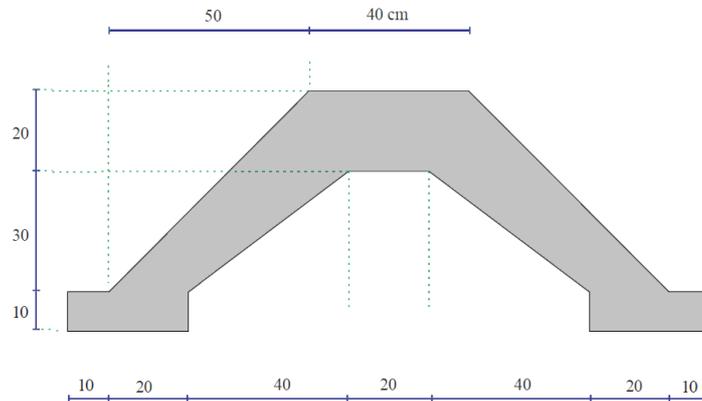
Sugere-se utilizar até 2 horas e 30 minutos para esta parte da prova.

PARTE NUMÉRICA

5ª Questão Considere uma viga de concreto protendido submetida a carregamentos uniformemente distribuídos. Utilize os seguintes dados:

- Seção transversal conforme figura seguinte (fora de escala);
- Viga isostática bi-apoiada sem balanços ($L = 4825$ cm);
- Peso específico do concreto: $\gamma_{con} = 2,5 \times 10^{-8}$ MN/cm³;
- Cordoalhas do tipo CP 190 ($f_{ptk} = 1900$ MPa);
- Eventual transporte da peça sempre será feito suportando as duas extremidades simultaneamente;
- Distância mínima do CG da armadura à borda mais próxima: $d_{p,min} = 10$ cm;
- Armadura pré-tracionada;
- Fases de carregamento (considere, **também**, o peso próprio):

Fase	Limites de tensão (MN/cm ²)		Perdas de protensão (%)	Carregamento de utilização (MN/cm)
	Mínimo	Máximo		
(i) Inicial	-0,0007	0,0054	0	0,000000
(f) Final	-0,0010	0,0063	0 ($\sigma_{pi} = 0,5f_{ptk}$) ou 12 ($\sigma_{pi} = 0,8f_{ptk}$)	0,000158



Pede-se:

a) Calcule a mínima força de protensão (F_{min}) necessária e a respectiva excentricidade (e_0) para a seção crítica. Dimensione a mínima área teórica de armadura de protensão ($A_{p,min}$) considerando que a tensão máxima permitida para a armadura é igual a $\sigma_{p,máx} = 0,5f_{ptk}$. O aumento da tensão máxima permitida para $\sigma_{p,máx} = 0,8f_{ptk}$ altera o dimensionamento de F_{min} , e_0 e $A_{p,min}$?

b) Considerando a estimativa de perda de protensão $\eta = 0,88$ e considerando uma força de protensão $F_i = 22,56$ MN constante ao longo do vão, determine as inequações da Região Limite para a disposição longitudinal do cabo.

c) Essa viga poderia ser transportada, logo após a protensão calculada no item **a)** para $\sigma_{p,máx} = 0,5f_{ptk}$, com sua seção virada de cabeça para baixo?

Questão	5a	5b	5c
Valor	1,5	1,5	1,0

/S_{GFC}/SWP3.5

Alguns resultados e comentários (sucintos):

5ª Questão

a) Esperava-se os seguintes resultados e raciocínios:

Características geométricas da seção transversal:

Área = 3 300,000000 cm²

Inércia = 980824,91582492 cm⁴ (I_{xx})

$Y_b = 30,505051$ cm $Y_t = 29,494949$ cm

$W_b = 32152,869757$ cm³ $W_t = 33253,995434$ cm³

$k_t = 9,743294$ cm $k_b = 10,076968$ cm

Fase inicial

$g_i = 8,25 \times 10^{-5}$ MN/cm

$q_i = 0,0 \times 10^{-5}$ MN/cm

$M_i = 240,081445$ MN.cm

Final

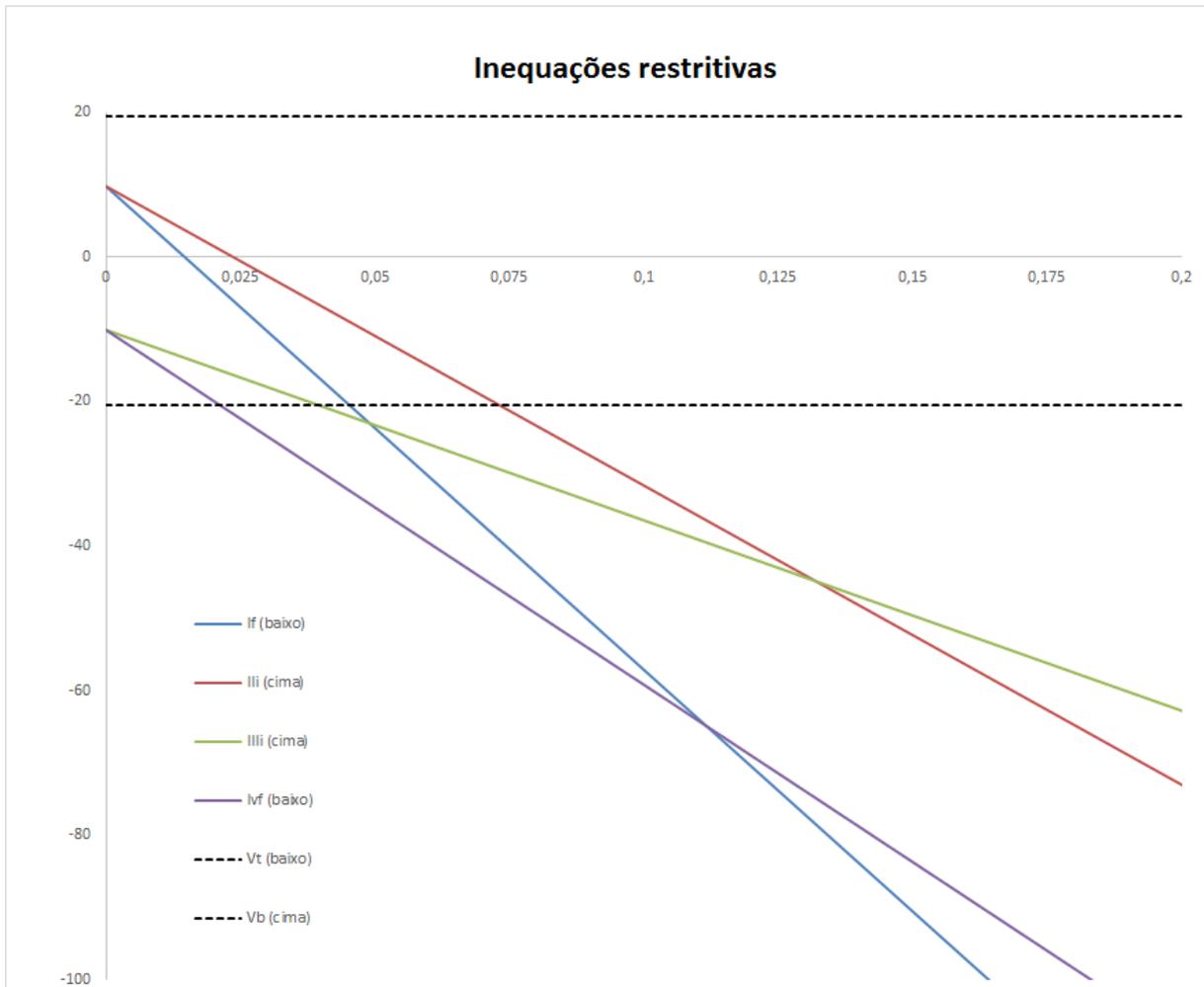
$g_f = g_i = 8,25 \times 10^{-5}$ MN/cm

$q_f = 1,58 \times 10^{-4}$ MN/cm

$M_f = 699,873789$ MN.cm

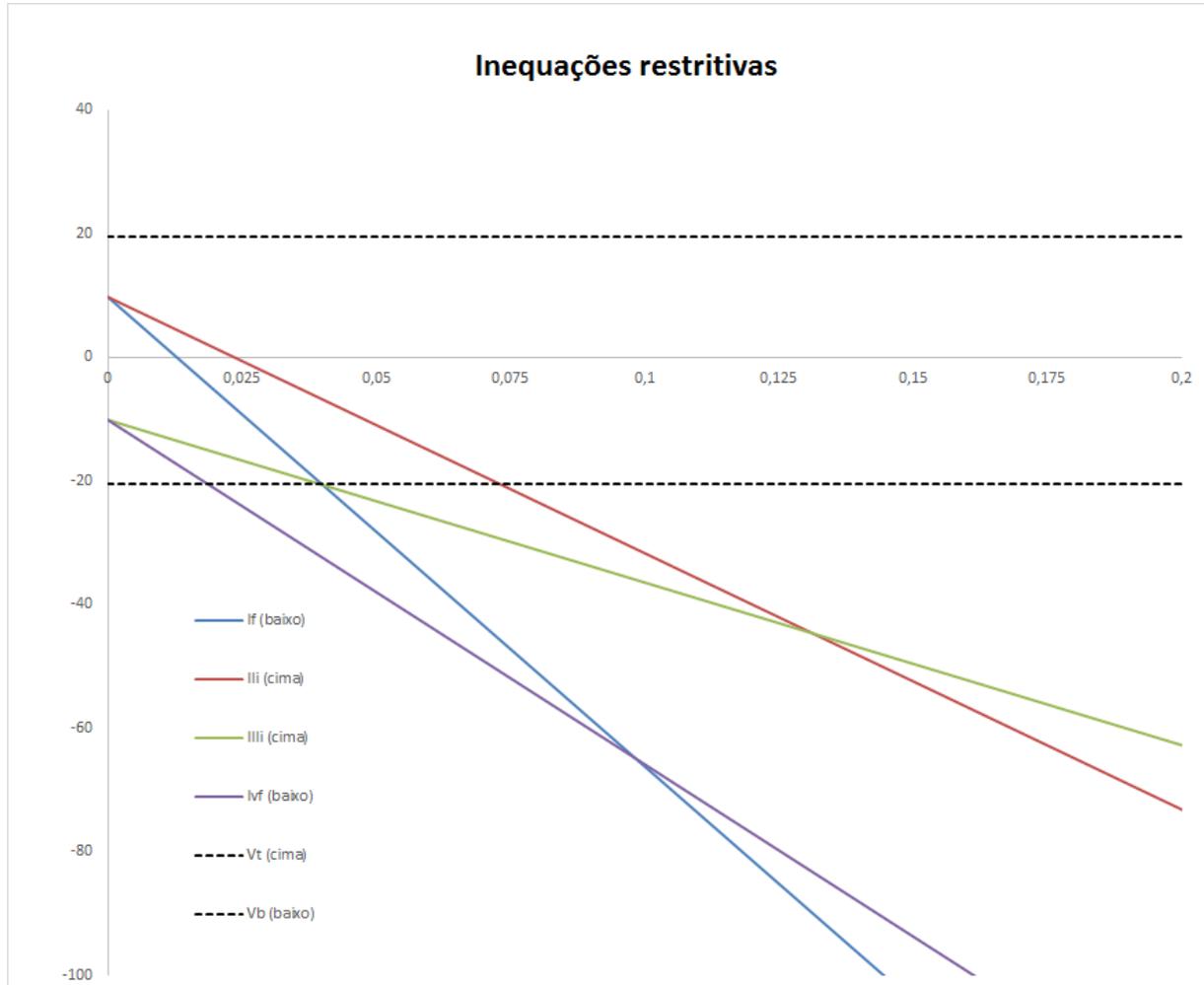
Inequações restritivas:

Considerando uma estimativa para as perdas de protensão de $\eta = 1,0$, correspondente à tensão na armadura de $\sigma = 0,5 f_{ptk}$, temos que as inequações restritivas são as inequações: If, Ili, IIIi e IVf:



Perceba que NÃO EXISTE REGIÃO VIÁVEL para o dimensionamento de $F_{i,min}$ e de e_0 para a seção crítica.

Caso a tensão máxima permitida fosse $\sigma_{p\text{máx}} = 0,8f_{ptk}$, a estimativa das perdas de protensão seria de $\eta = 0,88$. Nesse caso, as inequações restritivas continuam sendo as mesmas: If, Ili, IIIi e IVf:



Perceba que, novamente, NÃO EXISTE REGIÃO VIÁVEL para o dimensionamento de $F_{i,\min}$ e de e_0 para a seção crítica.

b) Resposta:

Inequações do critério de tensões admissíveis:

$$\left. \begin{array}{l} 1,828 \times 10^{-6} z (4825 - z) - 10,74094497 \\ 6,057 \times 10^{-6} z (4825 - z) - 11,36285734 \\ 1,828 \times 10^{-6} z (4825 - z) + 2,117235364 \\ 6,057 \times 10^{-6} z (4825 - z) - 0,475707946 \end{array} \right\} \geq e(z) \leq \left\{ \begin{array}{l} 1,828 \times 10^{-6} z (4825 - z) - 2,047128232 \\ 6,057 \times 10^{-6} z (4825 - z) + 0,459956027 \\ 1,828 \times 10^{-6} z (4825 - z) + 11,10878555 \\ 6,057 \times 10^{-6} z (4825 - z) + 11,75199629 \end{array} \right.$$

Inequações das restrições geométricas:

$$20,505051 \geq e(z) \leq 19,494949$$

Para z e $e(z)$ em cm

c) Resposta:

Características geométricas da seção transversal invertida:

$$\text{Área} = 3300,000000 \text{ cm}^2$$

$$\text{Inércia} = 860985,250422808 \text{ cm}^4 (I_{xx})$$

$$Y_b = 29,494949 \text{ cm} \quad Y_t = 30,505051 \text{ cm}$$

$$W_b = 29190,9382848829 \text{ cm}^3 \quad W_t = 28224,3509244563 \text{ cm}^3$$

$$k_t = 8,84573887420693 \text{ cm} \quad k_b = 8,5528336134716 \text{ cm}$$

Fase de transporte = fase inicial

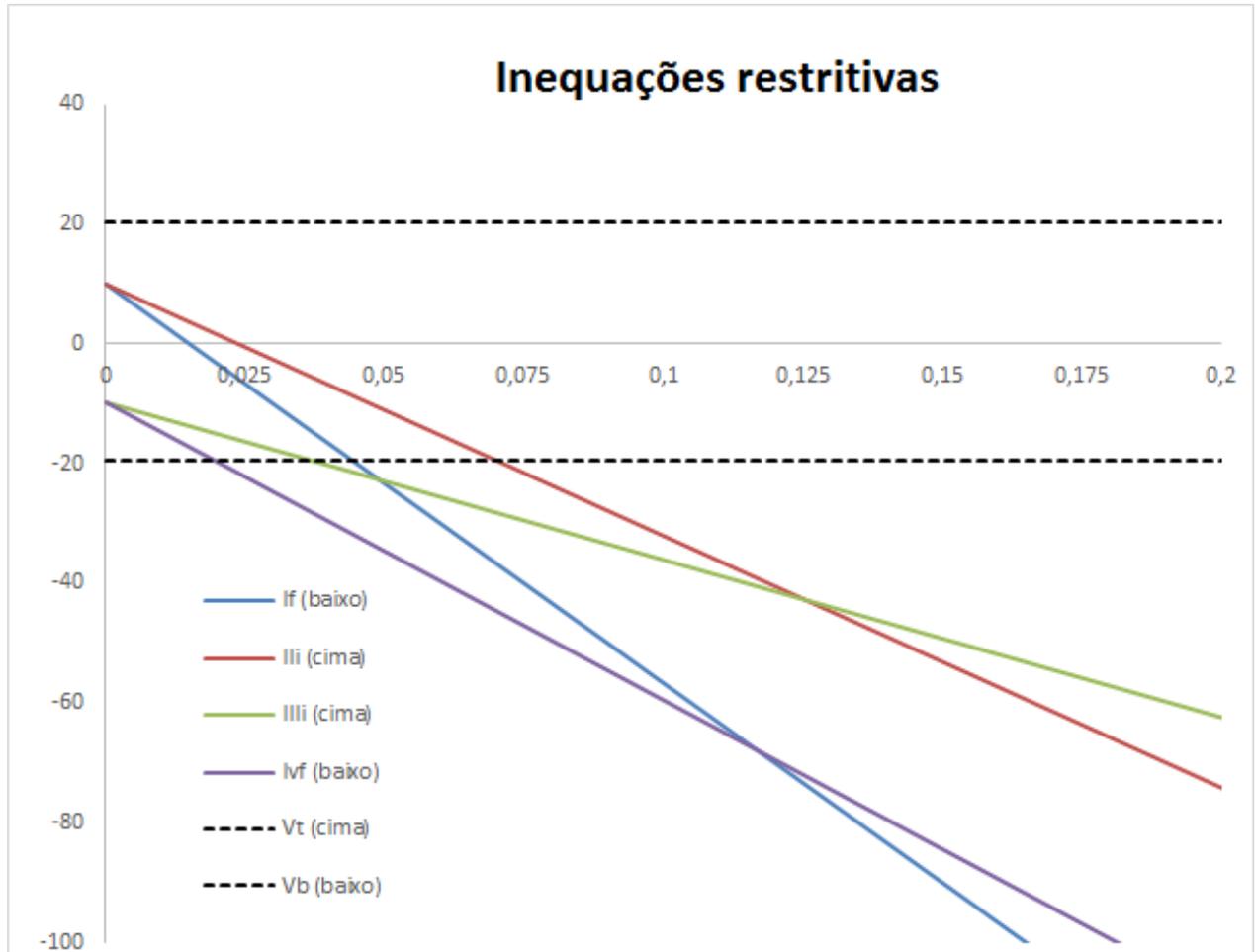
$$g_i = 8,25 \times 10^{-5} \text{ MN/cm}$$

$$q_i = 0,0 \times 10^{-5} \text{ MN/cm}$$

$$M_i = 240,081445 \text{ MN.cm}$$

Inequações restritivas:

Considerando uma estimativa para as perdas de protensão de $\eta = 1,0$, correspondente à tensão na armadura de $\sigma = 0,5 f_{ptk}$, temos que as inequações restritivas são as inequações: If, Ili, IIIi e IVf:



Perceba que, novamente, NÃO EXISTE REGIÃO VIÁVEL para o dimensionamento de $F_{i,min}$ e de e_0 para a seção crítica. Portanto, a viga não poderia ser transportada.