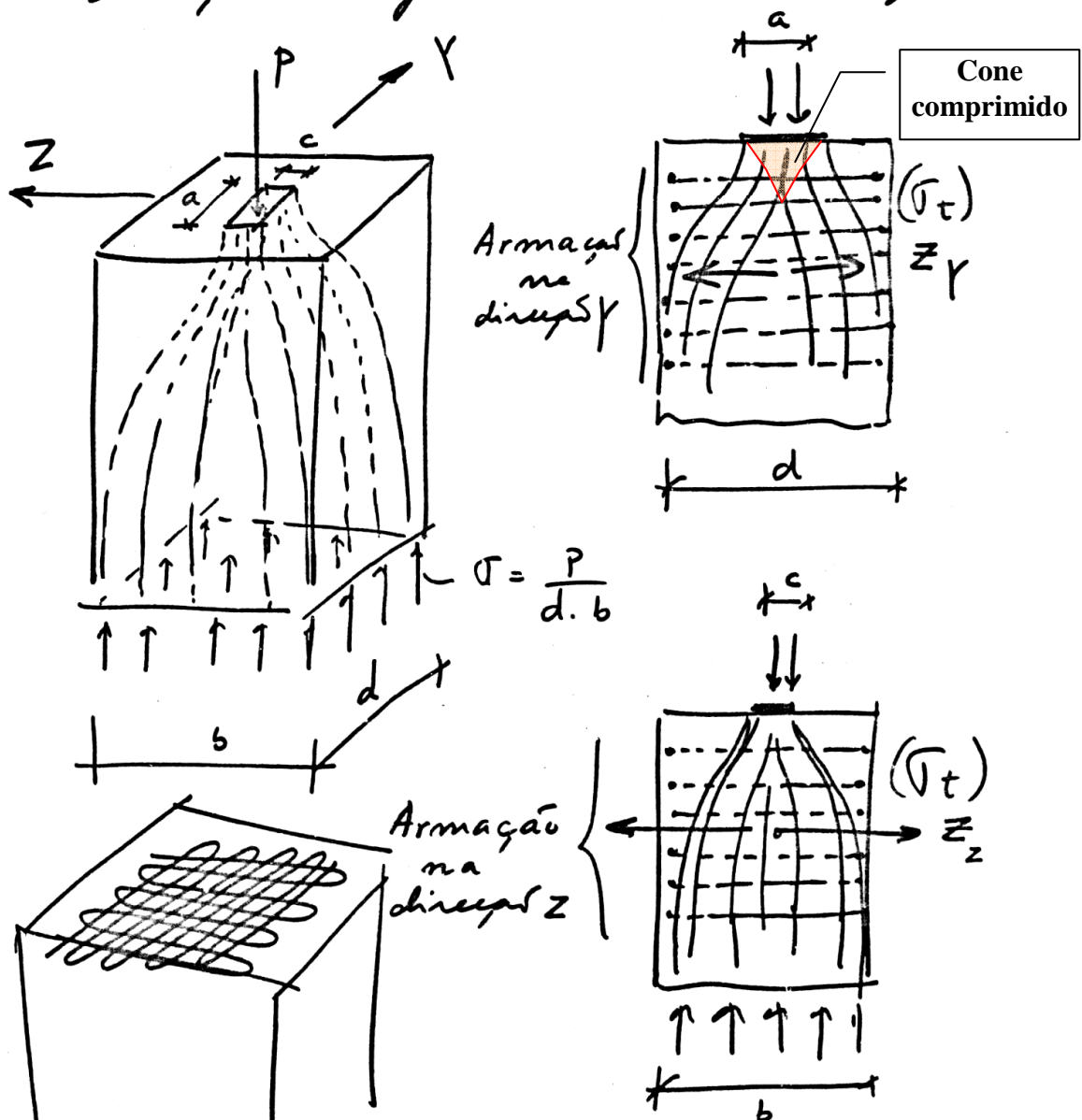




Fretagem

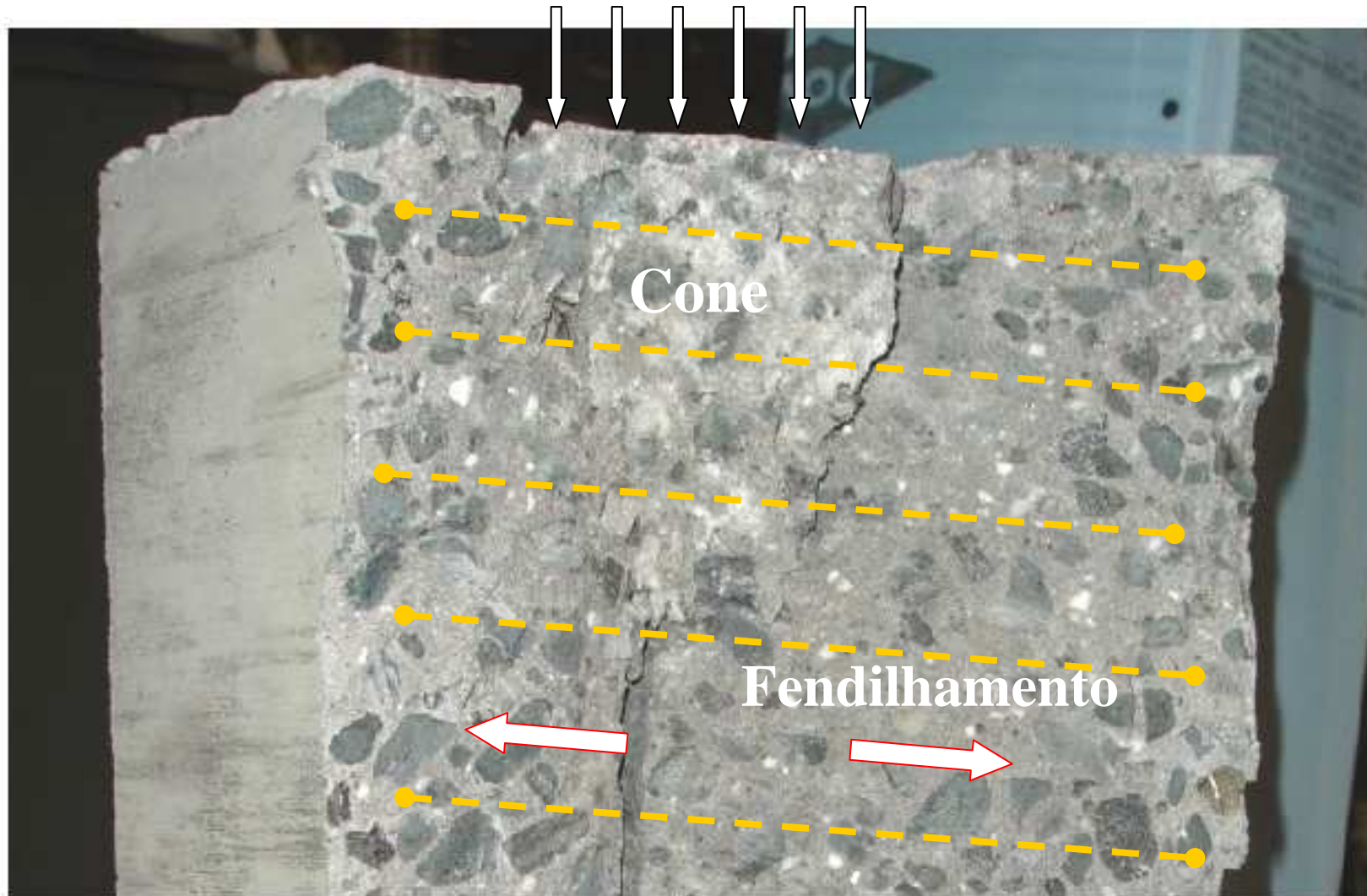
As fibras de tração transversal atacam a 3 dimensões sendo fornecel a armaç em duas direções ortogonais ou em espiral.



Segundo ensaios feitos por Fritz Leonhardt :

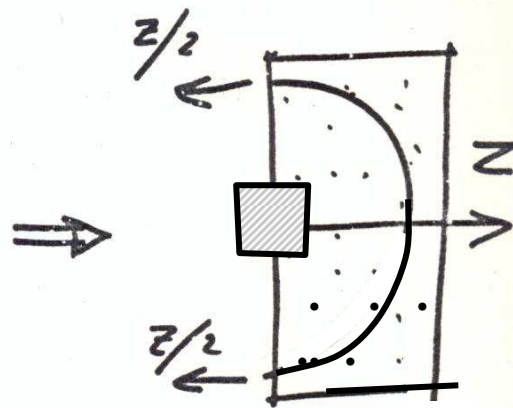
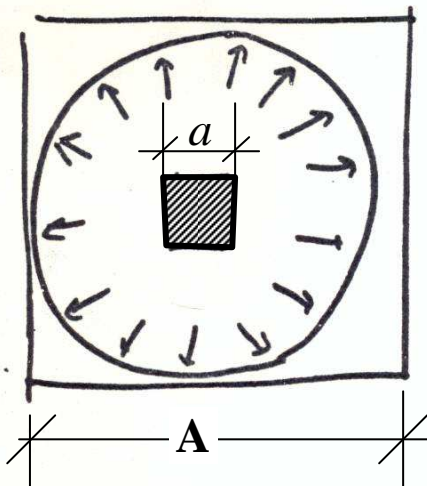
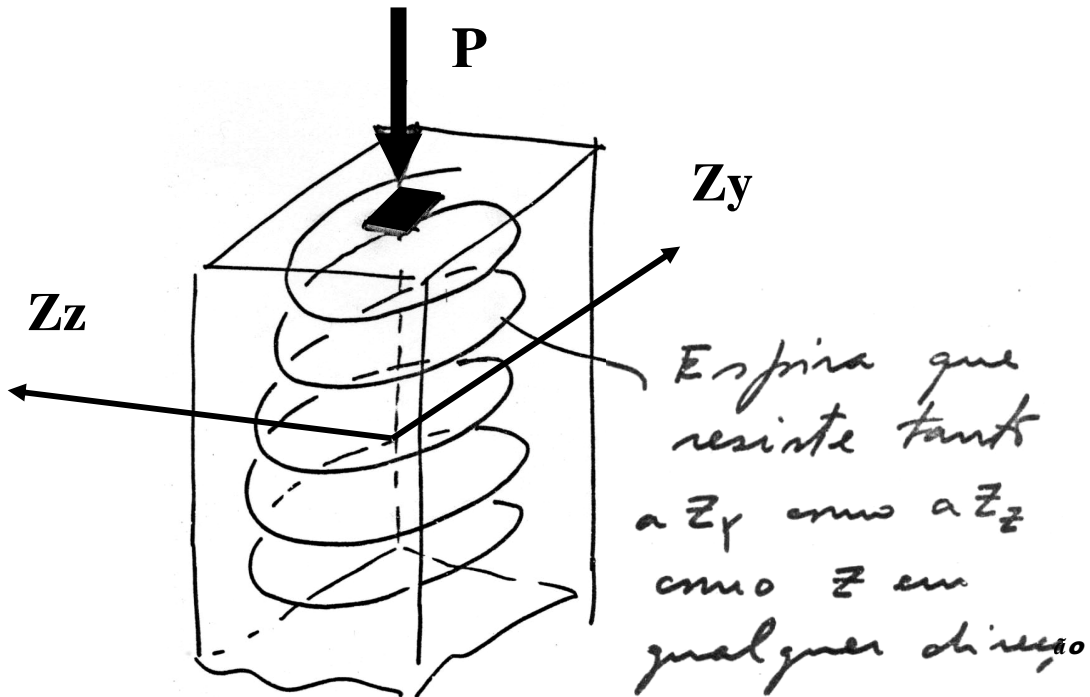
$$Z_y = 0,30 \times P \times \left(1 - \frac{a}{d}\right)$$

$$Z_z = 0,30 \times P \times \left(1 - \frac{c}{b}\right)$$



Usar armadura de cintamento para evitar o fendilhamento

- Daniel P.Axson - Ultimate Bearing Strength of Post-tensioned Local Anchorage Zones in Lightweight Concrete — Virginia Polytechnic Institute and State University -2008



Força na fretagem em espiral

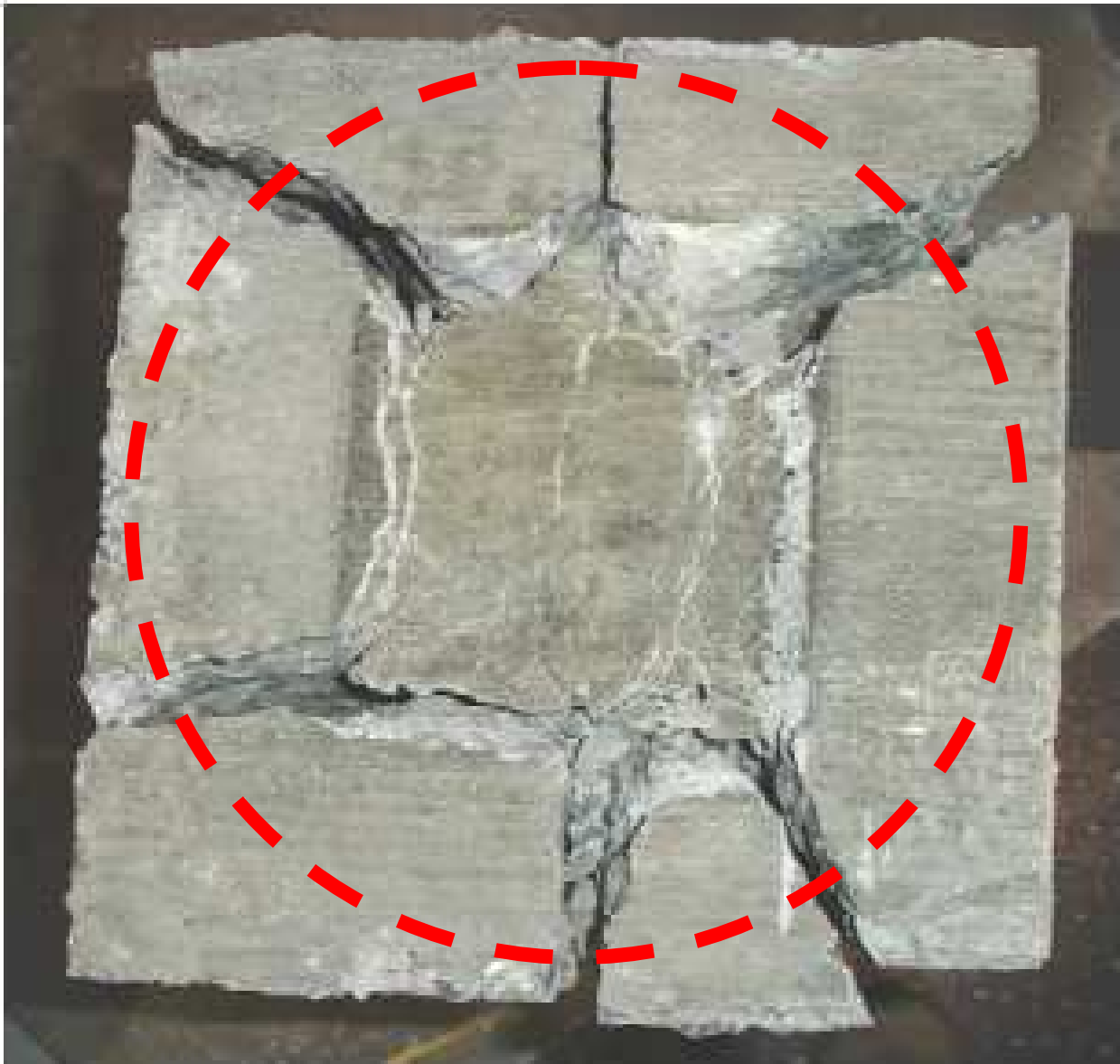
$$\sum A_{\text{aço da espira}} \times \sigma_{\text{aço}} = Z = 0,3 \times P \times \left(1 - \frac{a}{A}\right)$$



Vista superior do topo do bloco carregado parcialmente

Fissuras radiais - Usar armadura em anel para conter a fissuração e cintar o concreto

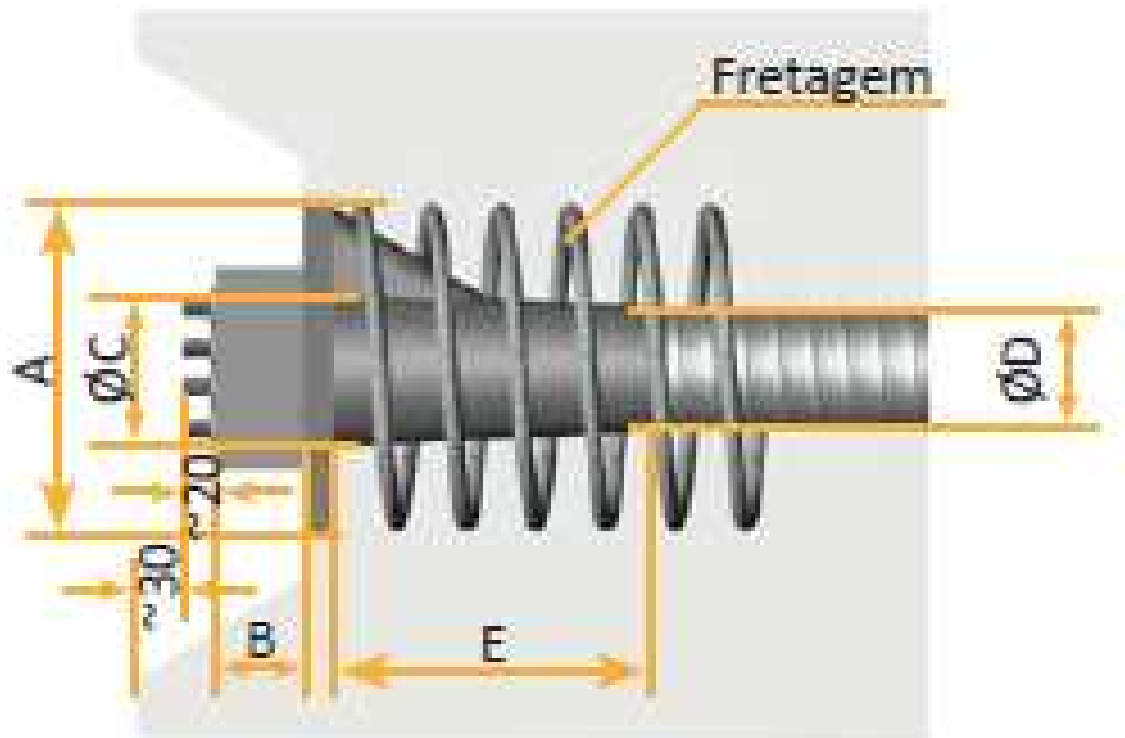
- Daniel P. Axson - Ultimate Bearing Strength of Post-tensioned Local Anchorage Zones in Lightweight Concrete — Virginia Polytechnic Institute and State University -2008



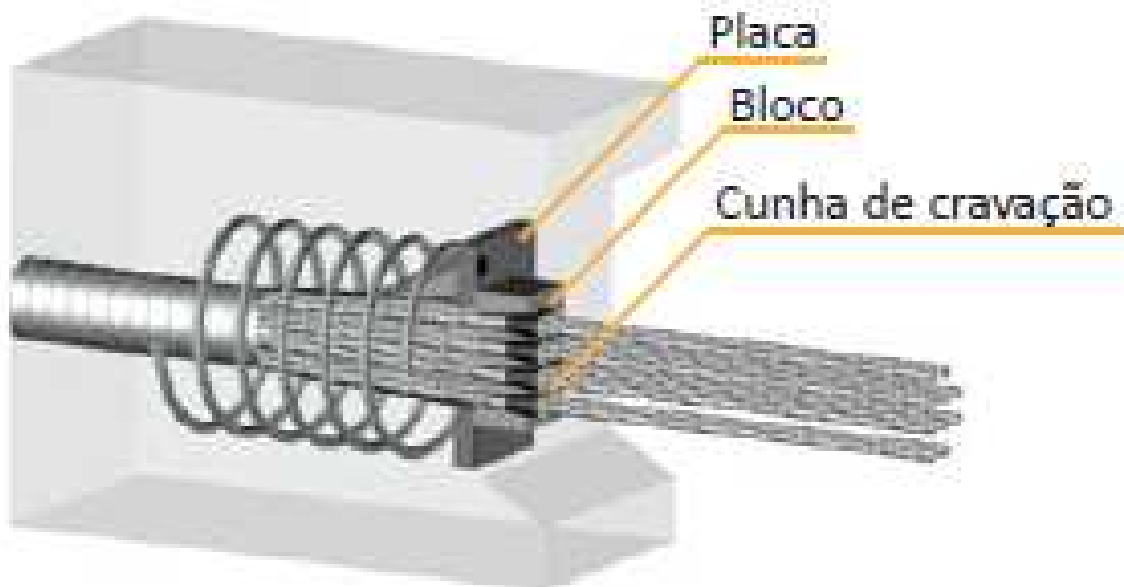
Vista superior do topo do bloco parcialmente carregado

Fissuras radiais -Usar armadura em anel para conter a fissuração e cintar o concreto

- Daniel P.Axson - Ultimate Bearing Strength of Post-tensioned Local Anchorage Zones in Lightweight Concrete — Virginia Polytechnic Institute and State University -2008



SEÇÃO LONGITUDINAL



Catálogo Rudloff



FRETAGEM TIPO "ESPIRAL"

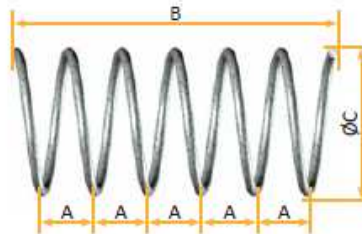


Imagem 50: Fretagem tipo "Espiral"

	5-4	5-6	5-7	5-8	5-9	5-12	5-19	5-22	5-27	5-31	6-3	6-4	6-6	6-7	6-8	6-9	6-12	6-15	6-19	6-22
A (cm)	5	5	5	5	5	5	7	7	7	7	5	5	5	5	5	5	7	7	7	7
B (cm)	25	30	30	35	35	35	42	49	56	56	25	30	30	35	35	35	49	49	49	56
Ø C (cm)	14	19	19	22	22	25	31	31	40	42	14	19	20	25	25	25	31	31	40	42
Nº DE VOLTAS	5	6	6	7	7	7	6	7	8	8	5	6	6	7	7	7	7	7	7	8
Ø BARRA (mm)	10,0	10,0	10,0	12,5	12,5	12,5	16,0	16,0	16,0	16,0	10,0	10,0	10,0	12,5	12,5	12,5	16,0	16,0	16,0	16,0
COMP. UNIT. (cm)	220	360	360	484	484	550	585	682	1006	1056	220	360	380	550	550	550	682	682	1006	1056
TIPO DE AÇO	CA-50										CA-50									

Tabela 24: Fretagem tipo "Espiral".

Catálogo Rudloff



Figure 4-9: Failed Prisms with Tied Reinforcing

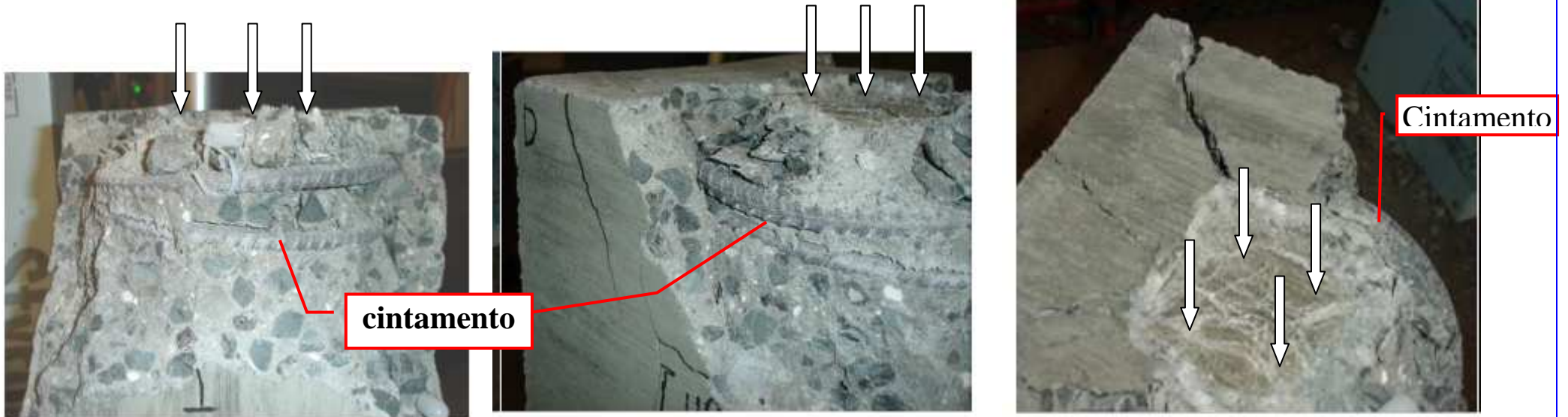
Prismas com estribos retangulares

- Daniel P. Axson - Ultimate Bearing Strength of Post-tensioned Local Anchorage Zones in Lightweight Concrete — Virginia Polytechnic Institute and State University -2008



Figure 4-10: Failed Prisms with Spiral Reinforced
Prismas com fretagem helicoidal

- Daniel P.Axson - Ultimate Bearing Strength of Post-tensioned Local Anchorage Zones in Lightweight Concrete — Virginia Polytechnic Institute and State University -2008



- Daniel P.Axson - Ultimate Bearing Strength of Post-tensioned Local Anchorage Zones in Lightweight Concrete — Virginia Polytechnic Institute and State University -2008



CÁLCULO DA FRETAGEM segundo a NCHRP

The National Cooperative Highway Research Program (NCHRP)

$$F_{ult} = 0.80f'_c \sqrt{\frac{A}{A_b}} (A_b) + 4.1f_{lat}A_{core} \left(1 - \frac{s}{D}\right)^2$$

*Equation 1-1: NCHRP
Ultimate Bearing Strength
of the Local Zone*

Where:

F_{ult} = ultimate load of the local zone

f'_c = unconfined compressive strength of concrete

A = gross area of concrete specimen

A_b = area of the bearing plate

f_{lat} = lateral confining pressure provided by lateral reinforcing

A_{core} = area of confined core

s = tie spacing or spiral pitch of the lateral reinforcing

D = side length or spiral diameter of the lateral reinforcing

$$f_{lat} = \frac{2A_s f_y}{(D)(s)}$$

*Equation 2-15: f_{lat}
for Spiral reinforcing*

Where:

f_{lat} = lateral confining pressure provided by lateral reinforcing

A_s = area of the lateral steel reinforcing

f_y = yield strength of reinforcing steel

D = spiral diameter

s = spiral pitch

$$f_{lat} = \frac{2A_s f_y}{(L)(s)}$$

*Equation 2-16: f_{lat}
for Tied Reinforcing*

Where:

f_{lat} = lateral confining pressure provided by lateral reinforcing

A_s = area of the lateral steel reinforcing

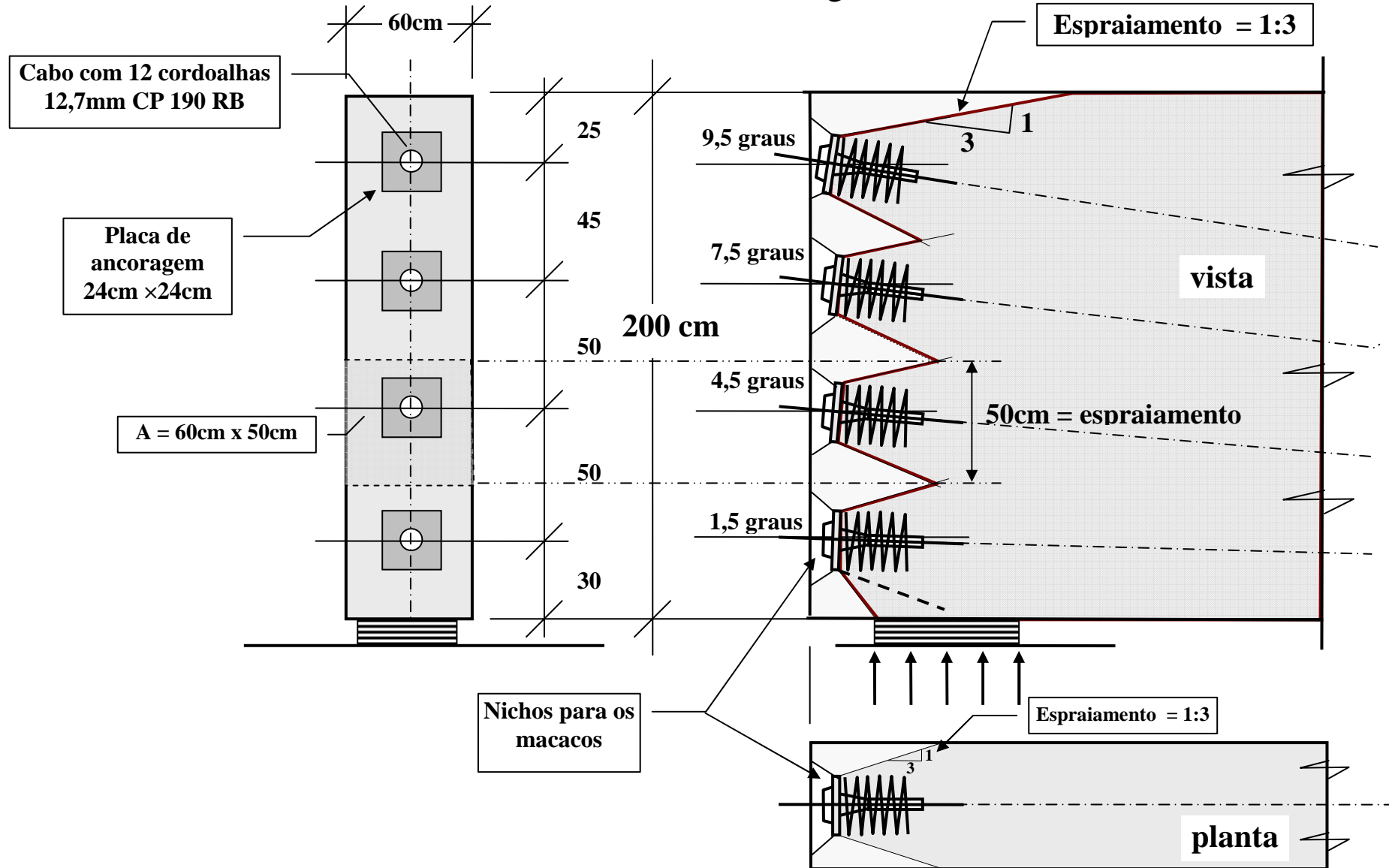
f_y = yield strength of reinforcing steel

L = tie side length

s = tie spacing



Extremidade da viga





EXEMPLO usando a fórmula da NCHRP

$$F_{ult} = 0.80 f'_c \sqrt{\frac{A}{A_b}} (A_b) + 4.1 f_{lat} A_{core} \left(1 - \frac{s}{D}\right)^2$$

Ancoragem 12 MTC 12,7mm

Com 12 cordoalhas 12,7mm CP 190 RB

A = Área para onde se espraia a força de protensão = 50cm × 60cm = 3000 cm² (ver figura na página 11).

A_b = área da placa de ancoragem = 24cm × 24cm = 576cm²

f_c' (A.C.I) = f_{ck} (NBR 6118) = 30MPa (f_{ck} ≥ 30 MPa é o usual em pontes com vigas pré-moldadas protendidas)

$$F_{ult} = 0.80 f'_c \sqrt{\frac{A}{A_b}} (A_b) + 4.1 f_{lat} A_{core} \left(1 - \frac{s}{D}\right)^2$$

Parcela 1 , considera o espraio da carga:

A_{b útil} = Área da placa descontando o vazio da bainha : 576cm² - 33,2cm² = 542,8 cm²

F último (primeira parcela) =

$$0,80 \times f'_c \times \sqrt{\frac{A}{A_b}} \times A_b = 0,80 \times 30 \text{MPa} \times \sqrt{\frac{(50 \text{cm} \times 60 \text{cm})}{576 \text{cm}^2}} \times (576 \text{cm}^2 - 33,2 \text{cm}^2) =$$

F último (primeira parcela) = 297 304 kgf = 297,3 ton

$$F_{ult} = 0.80 f'_c \sqrt{\frac{A}{A_b}} (A_b) + 4.1 f_{lat} A_{core} \left(1 - \frac{s}{D}\right)^2$$

Parcela 2 , considera o efeito da fretagem (cintamento)

s = passo da espiral de fretagem = 5cm

D = diâmetro da espiral de fretagem = 22cm



ϕ = diâmetro da barra da espiral de fretagem = 12,5mm

$$A_s = \text{área da barra da espiral} = \frac{\pi \times (1,25\text{cm})^2}{4} = 1,23\text{cm}^2$$

f_y = tensão de escoamento do aço da espiral de fretagem = 500MPa - CA50

$$A_{\text{core}} = \text{Área do núcleo confinado pela fretagem} = \frac{\pi \times D^2}{4} = \frac{\pi \times (22\text{cm})^2}{4} = 380,1\text{cm}^2$$

Descontando a área do vazio da bainha Φ bainha = 6,5cm

$$A_{\text{core útil}} = 380,1\text{cm}^2 - \frac{\pi \times (6,5\text{cm})^2}{4} = 380,1\text{cm}^2 - 33,2\text{cm}^2 = 346,9\text{cm}^2$$

f_{lateral} = tensão do confinamento lateral criado pela fretagem =

$$f_{\text{lateral}} = \frac{2 \times A_s \times f_y}{D \times s} = \frac{2 \times 1,23\text{cm}^2 \times 500\text{MPa}}{22\text{cm} \times 5\text{cm}} = 111,8\text{kgf/cm}^2$$

F último (2ª parcela devida à fretagem)

$$F_{\text{último (fretagem)}} = 4,1 \times 111,8 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \times 346,9\text{cm}^2 \times \left(1 - \frac{5\text{cm}}{22\text{cm}}\right)^2 = 94944\text{kgf}$$

$$F_{\text{último total}} = 297,3 \text{ ton} + 94,9 \text{ ton} = 392,2 \text{ ton}$$

Força de protensão no cabo = 184 ton (ver cálculo abaixo)

O fator de segurança será : $F.S = \frac{392,2\text{ton}}{184\text{ton}} = 2,1$

Norma NBR-6118/2003 = Força de Protensão

Item 9.6.1.2.1

Aço com Relaxação Baixa CP190RB.

σ protensão = 0,74 fptk

σ protensão = 0,82 fpyk

Aço CP190RB \equiv Aço usado atualmente.

Ruptura : fpt = 1900 MPa ; Escoamento : $f_y = 1700\text{MPa}$

σ protensão = 0,74 fpt (ruptura) = $0,74 \times 1900 \text{ MPa} = 1406 \text{ MPa}$

σ protensão = 0,82 f_y 2 ‰ (escoamento) = $0,82 \times 1700 = 1394 \text{ MPa}$

Usar 1394 MPa aceita-se (+/-) 10 % em 50% dos cabos e não mais que 5% no total de cabos de uma mesa seção.

Um cabo com 12 cordoalhas de 12,5mm (área=1cm²) será protendido com a força de $F = 12\text{cordoalhas} \times 1\text{cm}^2/\text{cordoalha} \times 13940 \text{ kgf/cm}^2 = 167,28 \text{ ton}$

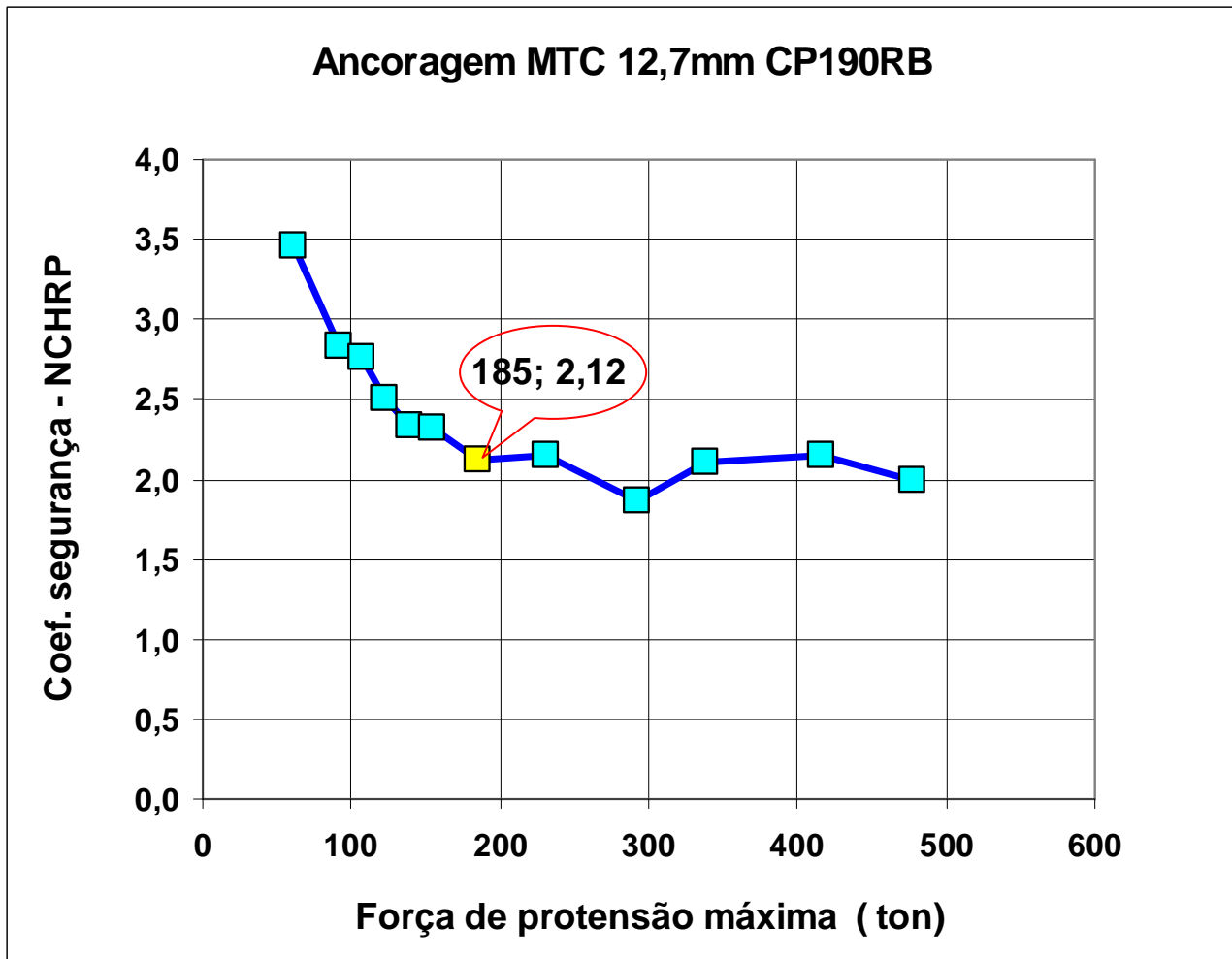
Podendo aumentar em 10 % se houver problemas durante a protensão.

$$F = 167,28 \times 1,10 = 184 \text{ ton}$$

Podemos protender com uma força de até 184 ton



Fazendo os cálculos para as outras ancoragens obtemos:



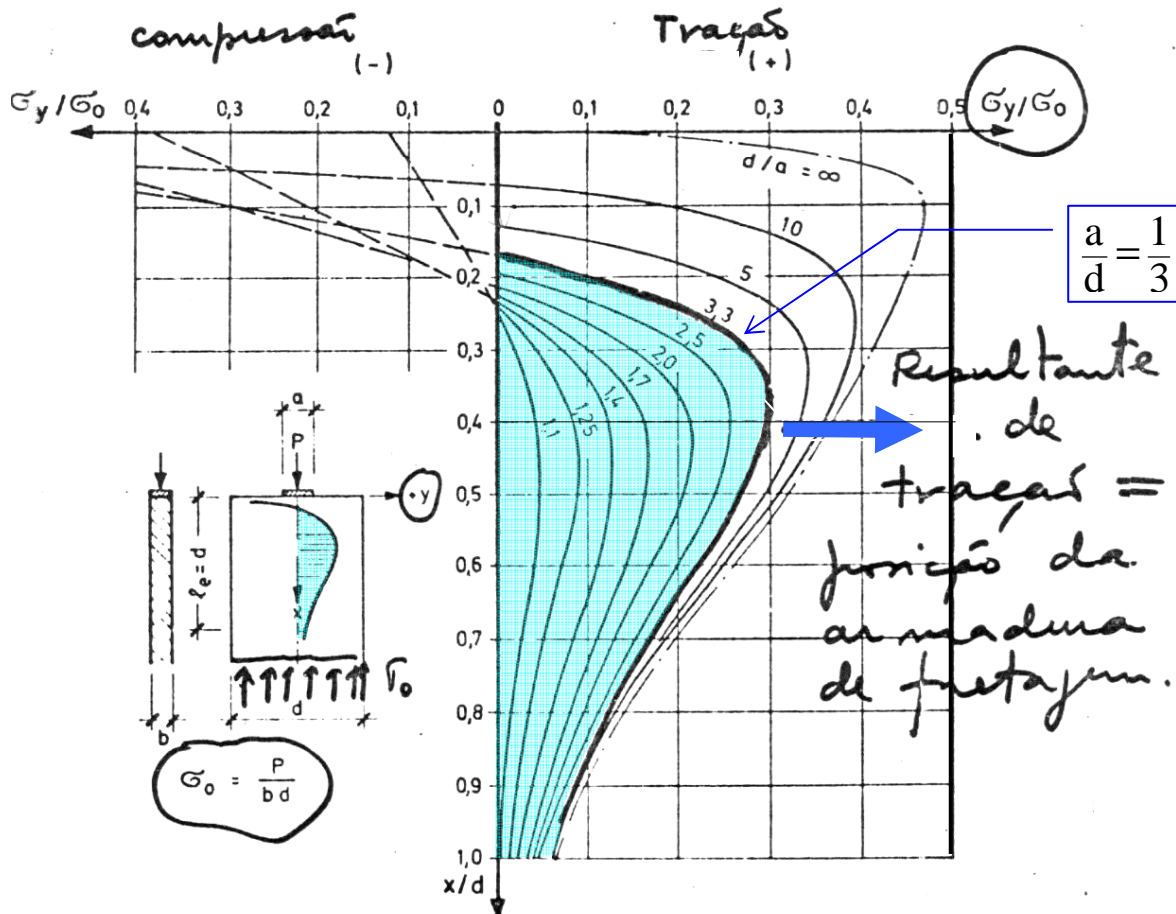
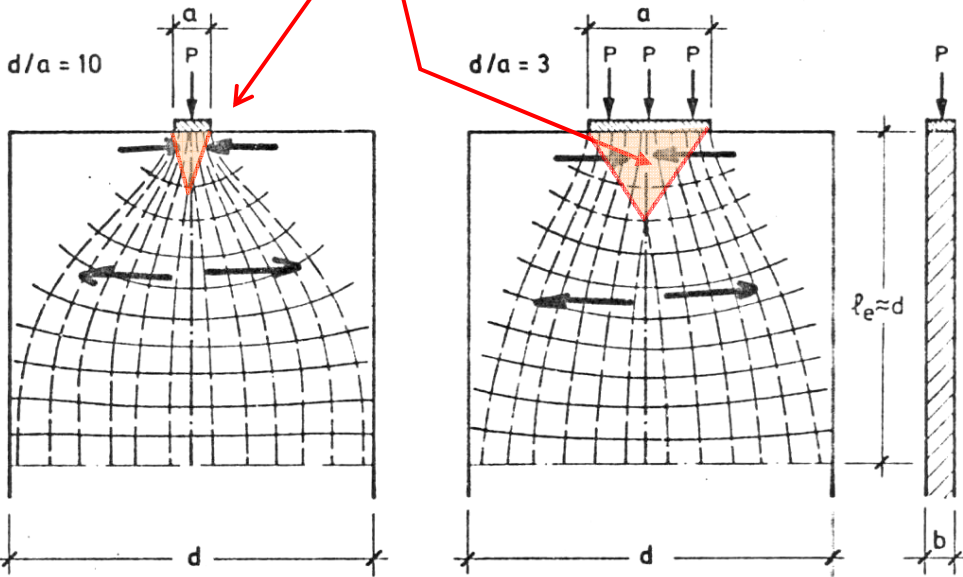
Ancoragens com cordoalhas 12,7mm				
Numero de cordoalhas	Diâmetro nominal das cordoalhas	Força máxima de protensão ton	Resistência da ancoragem fretada ton	Coeficiente de segurança
4	12,7	61,6	213,0	3,5
6	12,7	92,4	261,4	2,8
7	12,7	107,8	297,3	2,8
8	12,7	123,2	309,0	2,5
9	12,7	138,6	324,1	2,3
10	12,7	154	358,0	2,3
12	12,7	184,8	392,1	2,1
15	12,7	231	495,9	2,1
19	12,7	292,6	545,0	1,9
22	12,7	338,8	713,0	2,1
27	12,7	415,8	892,7	2,1
31	12,7	477,4	953,3	2,0

← Exemplo calculado



Na região próxima à placa onde atua a força P existe compressão transversal.

Colocar armadura aqui para impedir que o cone de concreto penetre no bloco de concreto \equiv Compressão





$$\sum (A_{\text{aço da espira}}) \times \sigma_{\text{aço}} = Z = 0,3 \times P \times \left(1 - \frac{a}{A}\right)$$

$$A_s = \frac{Zd}{f_y d}$$

$$Zd = 1,4 Z$$

$$f_y d \leq \left. \begin{array}{l} f_k \\ 1,15 \end{array} \right\} \text{CA50}$$

4000 kg/cm²

Para reduzir a fissuração, usar tensão baixa no aço da fretagem

Exemplo:

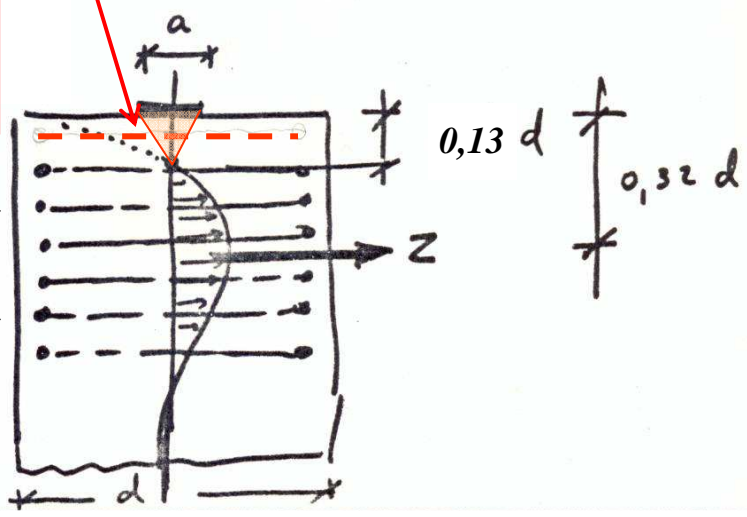
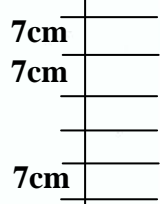
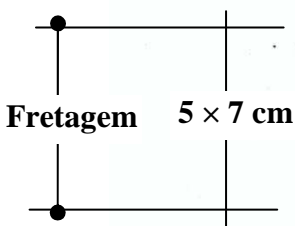
$$\left. \begin{array}{l} P = 100t \\ \frac{a}{d} = 0,20 \end{array} \right\}$$

$$Z = 0,30 \times 100 (1 - 0,2) = 24t$$

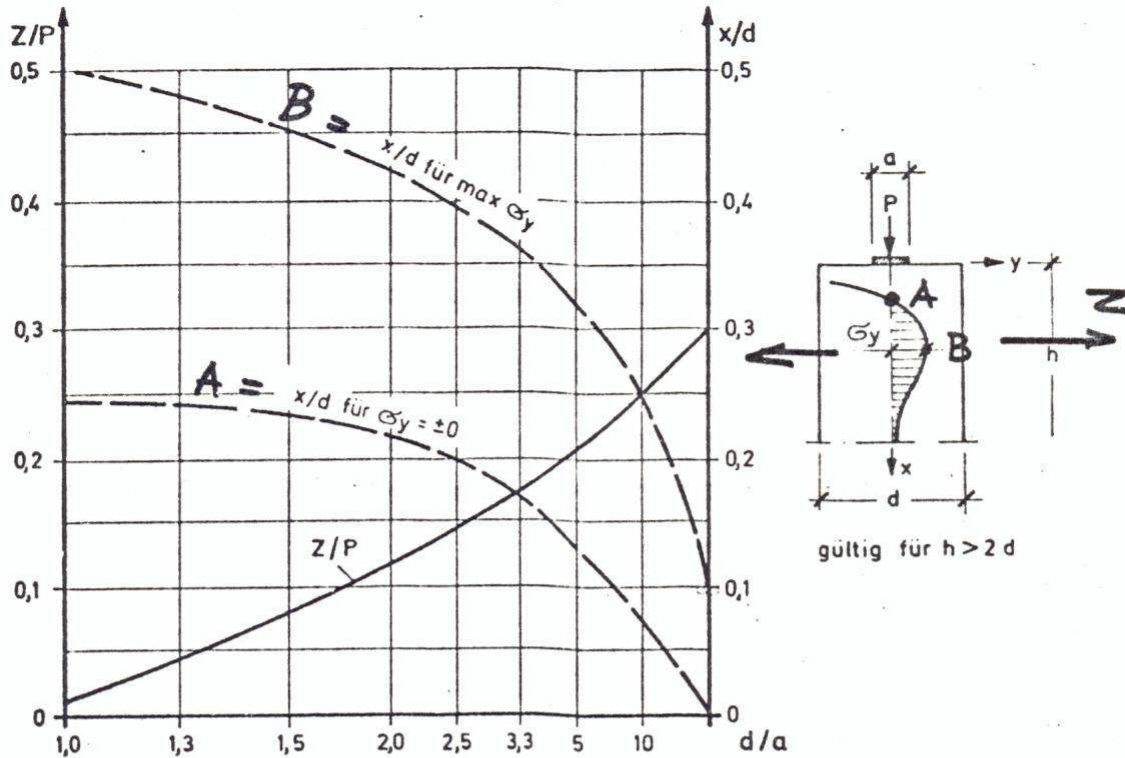
$$A_s = \frac{1,4 \times 24.000}{4000} = 8,4 \text{ cm}^2$$

6 voltas de 12,5mm

Colocar armadura aqui para impedir que o cone de concreto penetre no bloco de concreto \equiv Compressão



Observação : 1 volta (2 meia-voltas) é ancoragem, não conta na resistência.
(6-1) voltas de 12,5mm = 5 voltas \times 2 (barras/volta) \times 1,23 (cm²/barra) = 12,3 cm² > 8,4 cm²



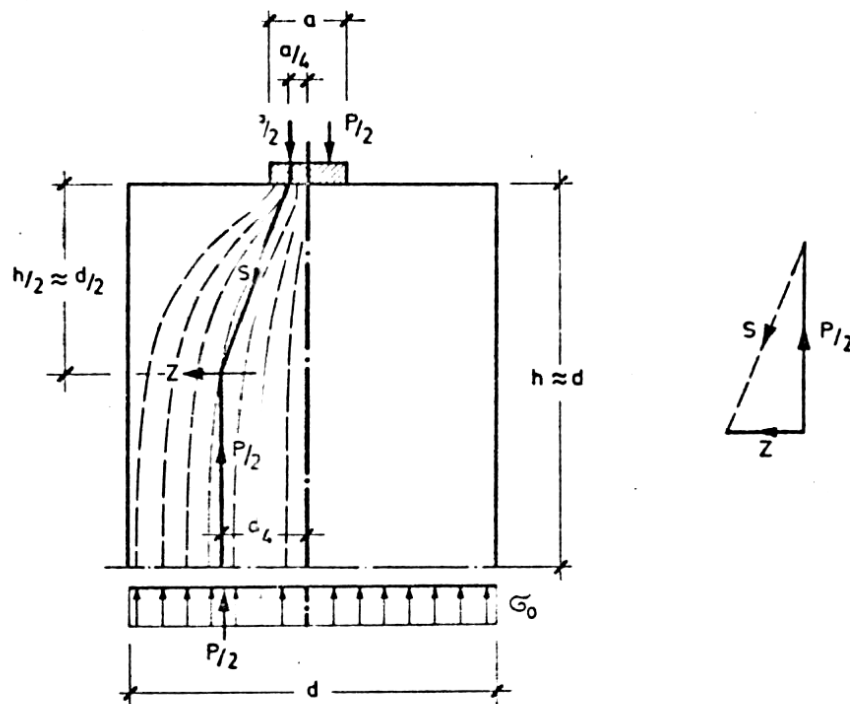
- 1 - Valor da resultante de forças Z em função de P .
- 2 - Ponto de tensão máxima $\sigma_y = (B)$
- 3 - Ponto de tensão nula $\sigma_y = (A)$

$$\text{Equação de } Z = 0,3 P \left(1 - \frac{a}{d}\right).$$

$$\text{Para } \frac{d}{a} < 10 \quad Z \approx 0,25 P \left(1 - \frac{a}{d}\right).$$



Mörsch propôs a fórmula
aproximada mesmo sem ter
feito ensaios.



$$Z : P/2 = \left(\frac{d}{4} - \frac{a}{4} \right) : \frac{d}{2}$$

e daí \Rightarrow

$$Z = 0,25 P \left(1 - \frac{a}{d} \right)$$



Um pouco de história.

Fissuração em rocha carregada em uma pequena área.

Segundo Steffen Marx , Gregor Schacht - Ver [2]. e TH. Gesteschi Ver [5]

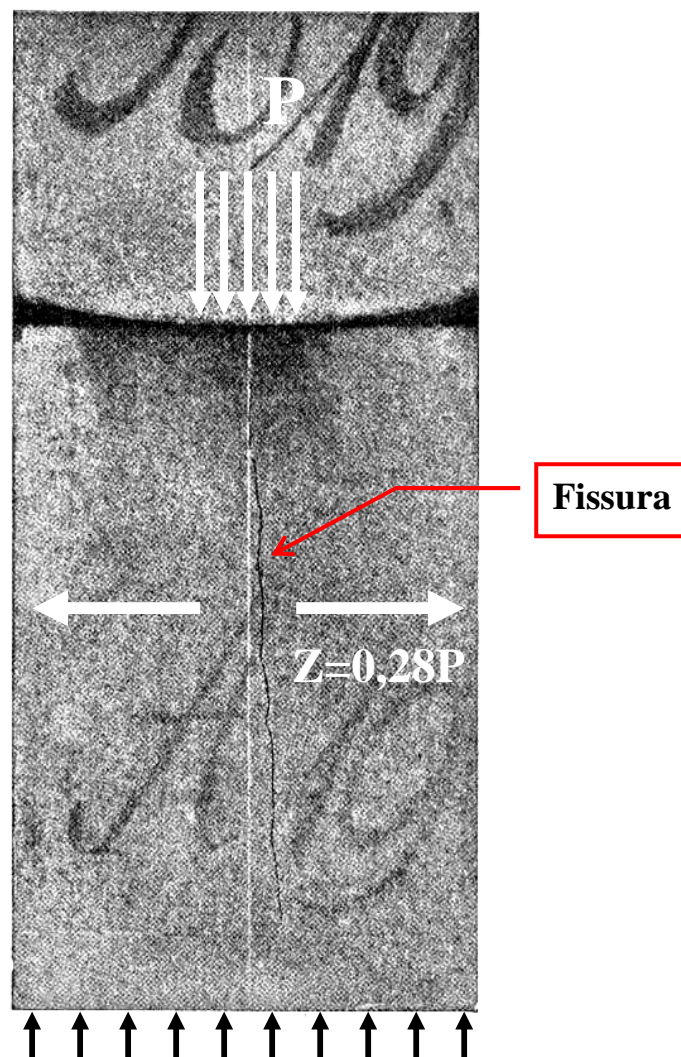
“ The first experimental investigations on these bearings were done by Krüger in 1894 for the construction of the Marien Bridge in Dresden (Germany)

Krüger detected that the biggest tensile strains and stresses appeared in the middle of the hinge-bodies.

These tensile stresses were distributed parabolically and the transverse tensile force was about 28% of the surcharge”.

Segundo Emil Moersch Ver [4].

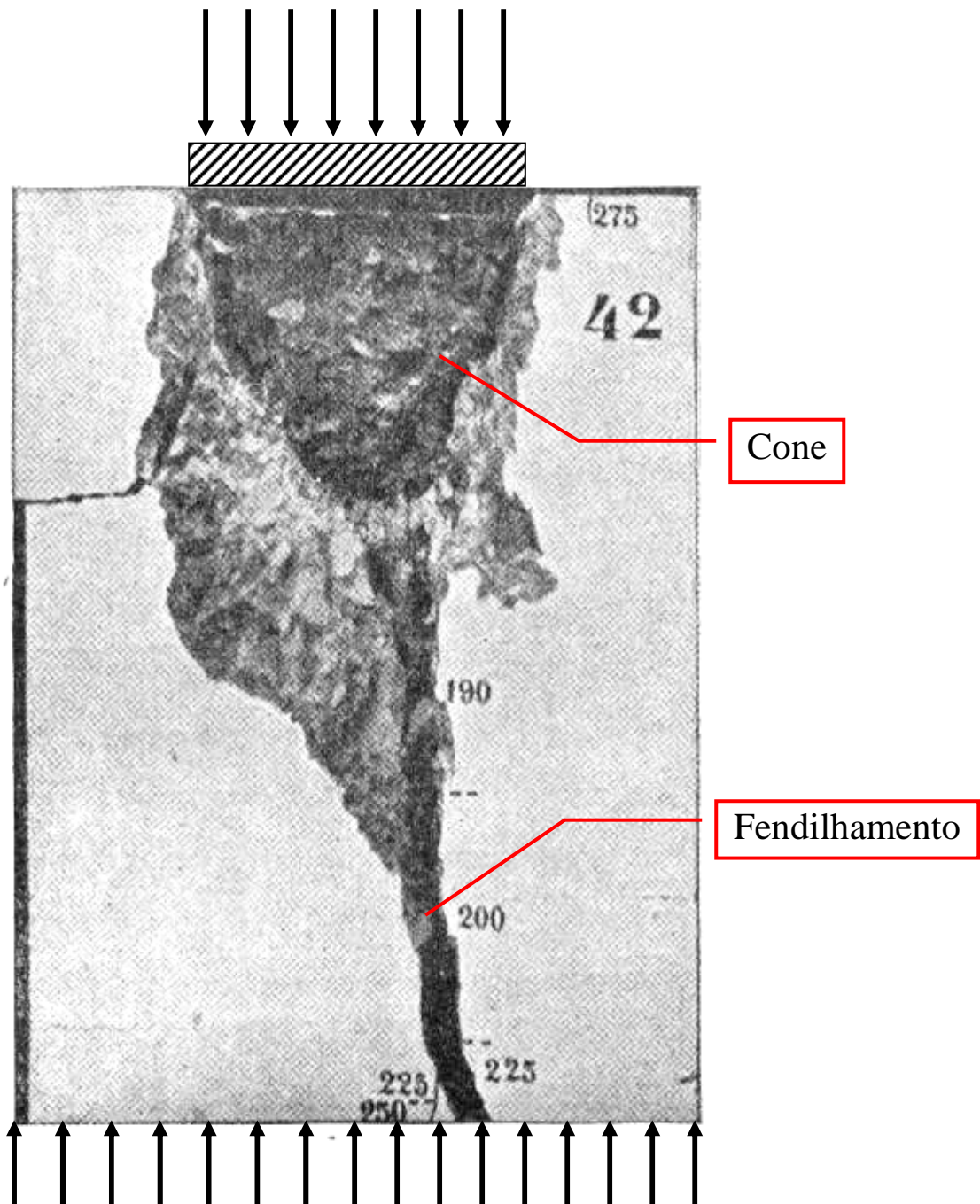
Krüger na revista Deutsch Bauzeitung – 1906 “ Medindo os alongamento transversais e conhecendo o módulo de elasticidade da rocha Krüger calculou as tensões de tração transversais e também a sua resultante . Divulgou os ensaios mostrando que a resultante de tração vale $Z=0,28P$ para uma área de contacto muito pequena .



Krüger - Ensaio de Fendilhamento em rochas - 1894



Ensaio de Otto Graf na Universidade de Stuttgart -1912 [8].

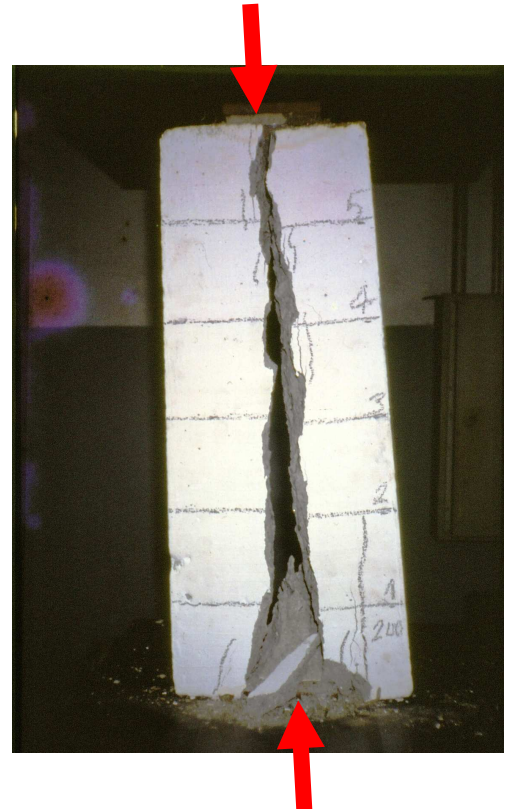
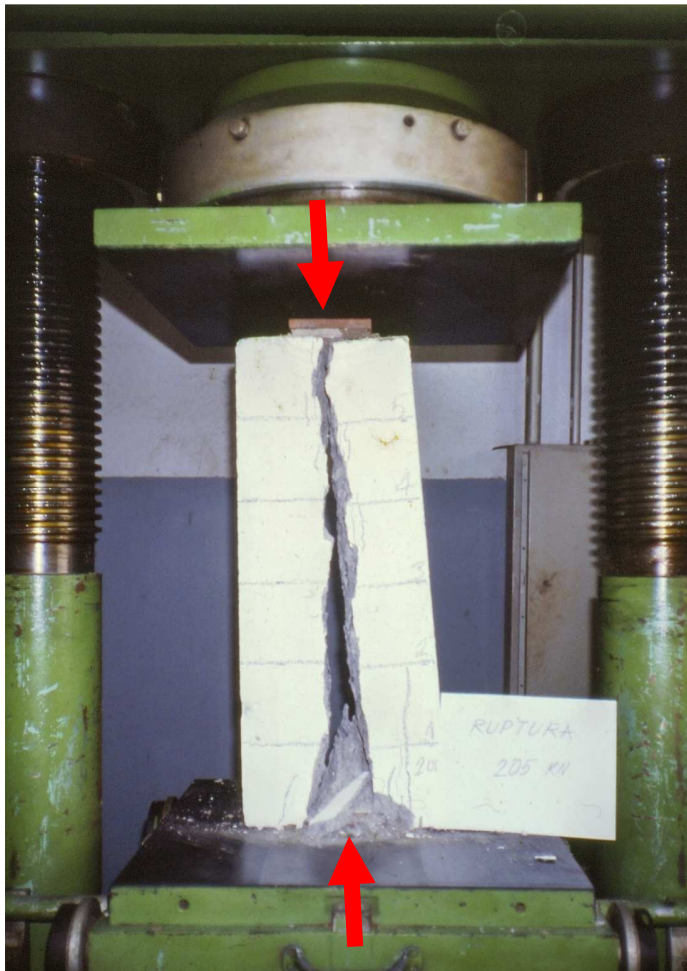


Corpo de prova 54cm × 54 cm × 81 com a carga aplicada em
uma placa de aço com 27cm × 27cm



Ensaio : Prof. Eduardo Thomaz – Fac.Eng, UERJ – 1985 - [9]

Bielas de concreto e concreto armado



Formação da cunha de compressão e fendilhamento longitudinal



CÁLCULO DA FRETAGEM segundo fórmula de Fritz Leonhardt

$$Z = 0,30 \times 184 \text{ ton} \times \left(1 - \frac{24}{60}\right) = 33,1 \text{ ton}$$

Armadura de fretagem :

$$\frac{1,4 \times 33,1 \text{ ton}}{\left(\frac{5 \text{ ton/cm}^2}{1,15}\right)} = 10,7 \text{ cm}^4 = 9 \text{ ferros } 12,5 \text{ mm} =$$

$$= 4,5 \text{ espiras} + 1 \text{ espira como ancoragem} = 5,5 = 6 \text{ espiras } 12,5 \text{ mm}$$

Se usarmos o mesmo coeficiente de segurança do catálogo :

$$\frac{33,1 \text{ ton}}{5 \left(\frac{\text{ton}}{\text{cm}^2}\right)} \times 2,1 = 13,9 \text{ cm}^4 = 11,2 \text{ ferros } 12,5 \text{ mm} =$$

$$= 5,6 \text{ espiras} + 2 \times \left(\frac{1}{2} \text{ espira como ancoragem}\right) = 6,6 = 7 \text{ espiras } 12,5 \text{ mm}$$

O catálogo recomenda 7 espiras de 12,5mm

Os cálculos são diferentes, mas levam a fretagens iguais.



Referências.

1. Fritz Leonhardt – Vorlesungen in Massivbau – Teil 2 – Sonderfälle der Bemessung im Stahlbetonbau – Springer Verlag – 1973 – Tradução Editora Interciencia : Construções de concreto – Casos especiais de dimensionamento de estruturas de concreto armado -Parte 2.
2. Steffen Marx (1), Gregor Schacht (2)- CONCRETE HINGES – HISTORICAL DEVELOPMENT AND CONTEMPORARY USE (1) Prof. Dr.-Ing., Inst. of Concrete Structures, Techn. Univ. Dresden, Germany (2) Dipl.-Ing., Inst. of Concrete Structures, Techn. Univ. Dresden, Germany
3. Daniel P.Axson - Ultimate Bearing Strength of Post-tensioned Local Anchorage Zones in Lightweight Concrete — Virginia Polytechnic Institute and State University -2008
4. TH. Gesteschi – Bogenbrücken und Überwölbungen – *Pontes em arcos e Abóbadas* - Wilhelm Ernst – 1921
5. Emil Moersch - Teoría y Práctica del Hormigon Armado – Tomo II – Tradução para o Espanhol - 1948
6. Mesnager – Annales des Ponts et Chaussées – 1901 citado em [5].
7. Krüger – Deutsche Bauzeitung – 1894 e 1906 citado em [2] e em [4].
8. Otto Graf – Forschungsarbeiten auf dem Gebiet des Ingenieurwesens - Informe 232 – 1912 *Trabalhos de pesquisa na área da Engenharia.*- citado em [5].
9. Eduardo Thomaz, Cristina Hagenauer – Bielas de concreto e de concreto armado – Fac. Eng. UERJ - 1985