



Estruturas de Concreto Protendido

- Ângelo Vieira Mendonça, Prof. Dr.

Concreto

Materiais

Classes de Resistência (NBR 8953:1992)

NBR 8953:1992 Concreto para fins estruturais - Classificação por grupos de resistência - Classificação

✓ ***Grupo I***

C10 C15 C20, C25, C30, C35, C40, C45 e C50

✓ ***Grupo II***

C55, C60, C70 e C80

Concreto

Materiais

Resistências mínimas (NBR 6118:2003)

- ✓ C20: Concreto com armaduras passivas;
- ✓ C25: Concreto com armaduras ativas;
- ✓ C15: Apenas em fundações e obras provisórias;

Concreto

Materiais

Valor Característico

Resistência Característica de um Material (f_k) - Valor que apresenta uma determinada probabilidade de ser ultrapassado

- ✓ Na NBR 6118:2003 é adotado como (f_k) o valor da resistência que apresenta apenas **5%** de probabilidade de **não ser atingido** pelos elementos de um dado lote do material.
- ✓ Na NBR 6118:2003 é admitida que a função densidade de probabilidade é dada pela **Distribuição normal de Gauss**.

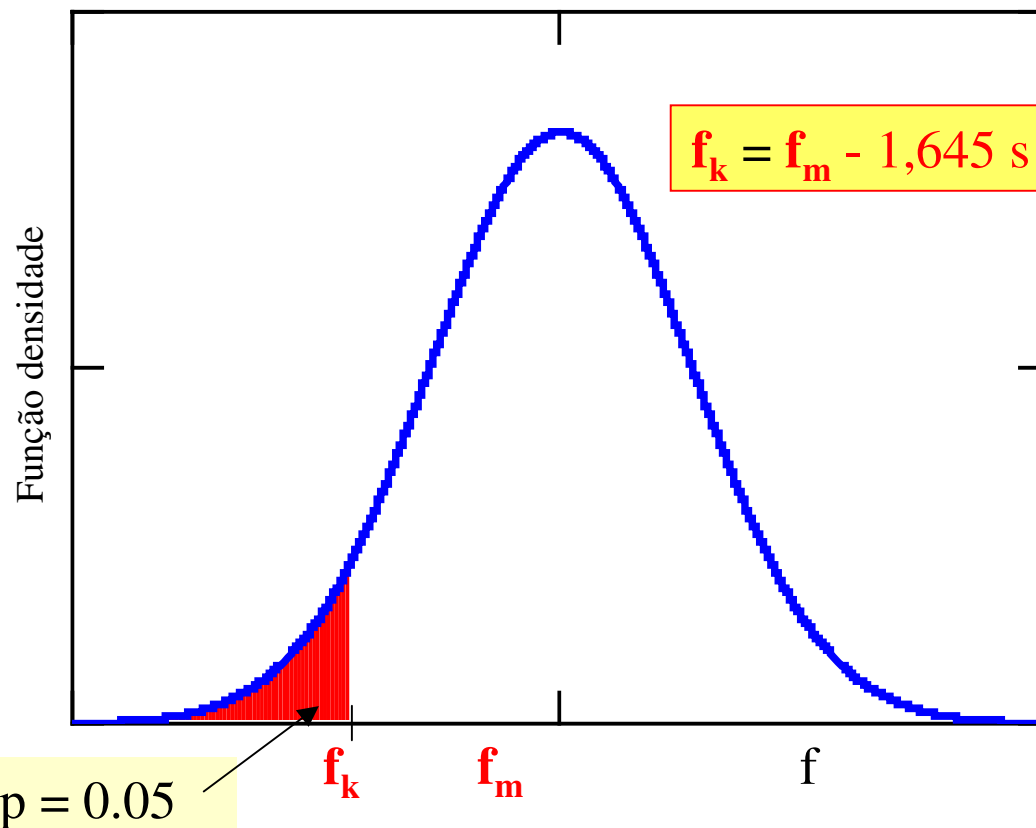
Na distribuição normal, o valor característico é dado em função do valor médio (f_m) e do desvio-padrão (s) :

$$f_k = f_m - \alpha s$$

Concreto

Valor Característico

Para um valor de apenas **5%** de probabilidade de **não ser atingido** ($P_r (f < f_k) = 0.05$), a distribuição normal fornece um coeficiente $\alpha = 1,645$.



f_i : valor de resistência de cada unidade do lote de material

n : número de unidades no lote

Valor médio

$$f_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f_i$$

Desvio-padrão

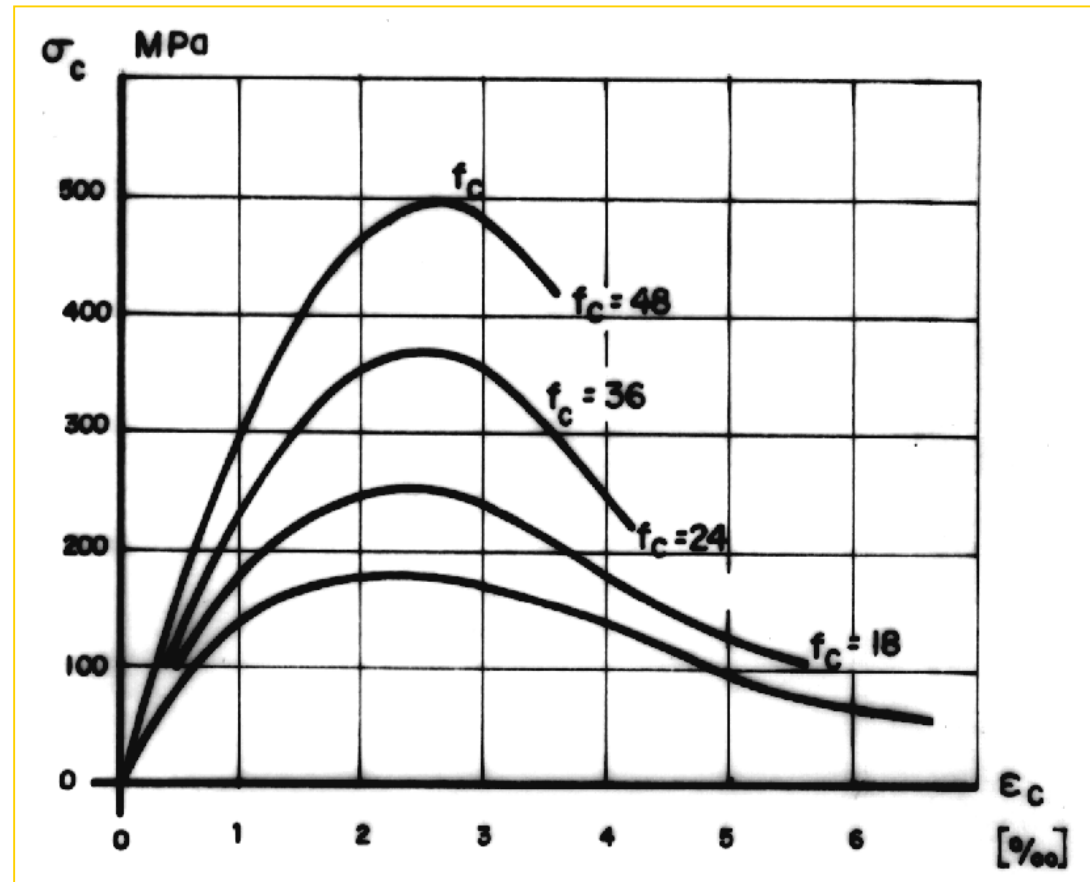
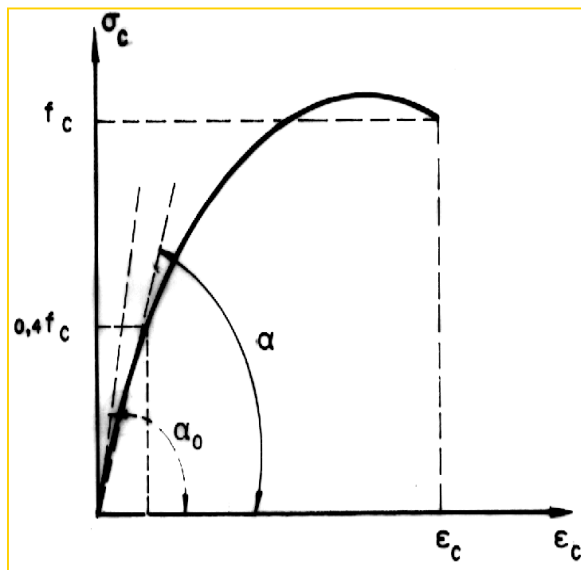
$$s = \sqrt{\frac{\sum (f_c - f_m)^2}{n - 1}}$$

Materiais

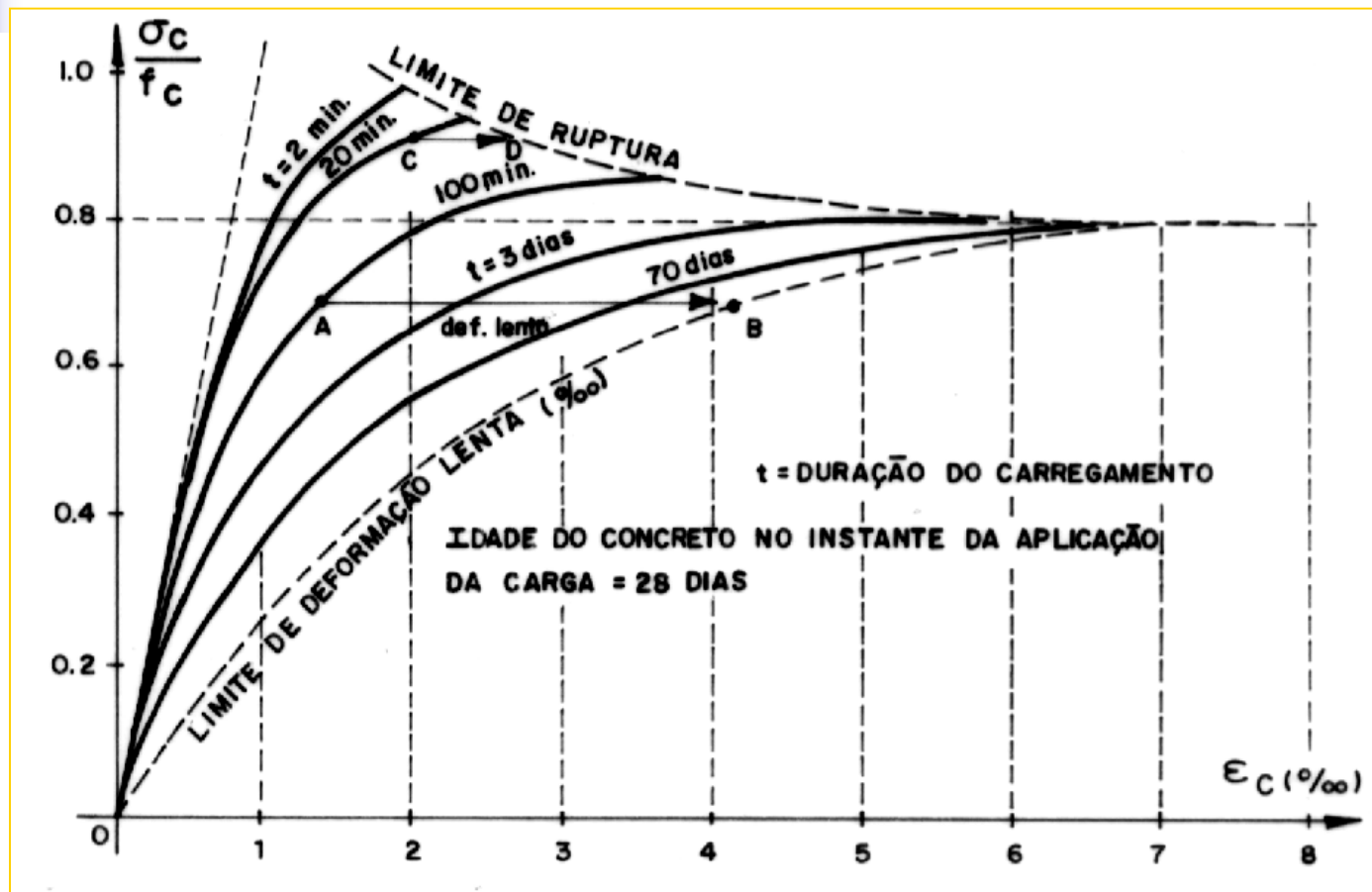
Materiais

Concreto

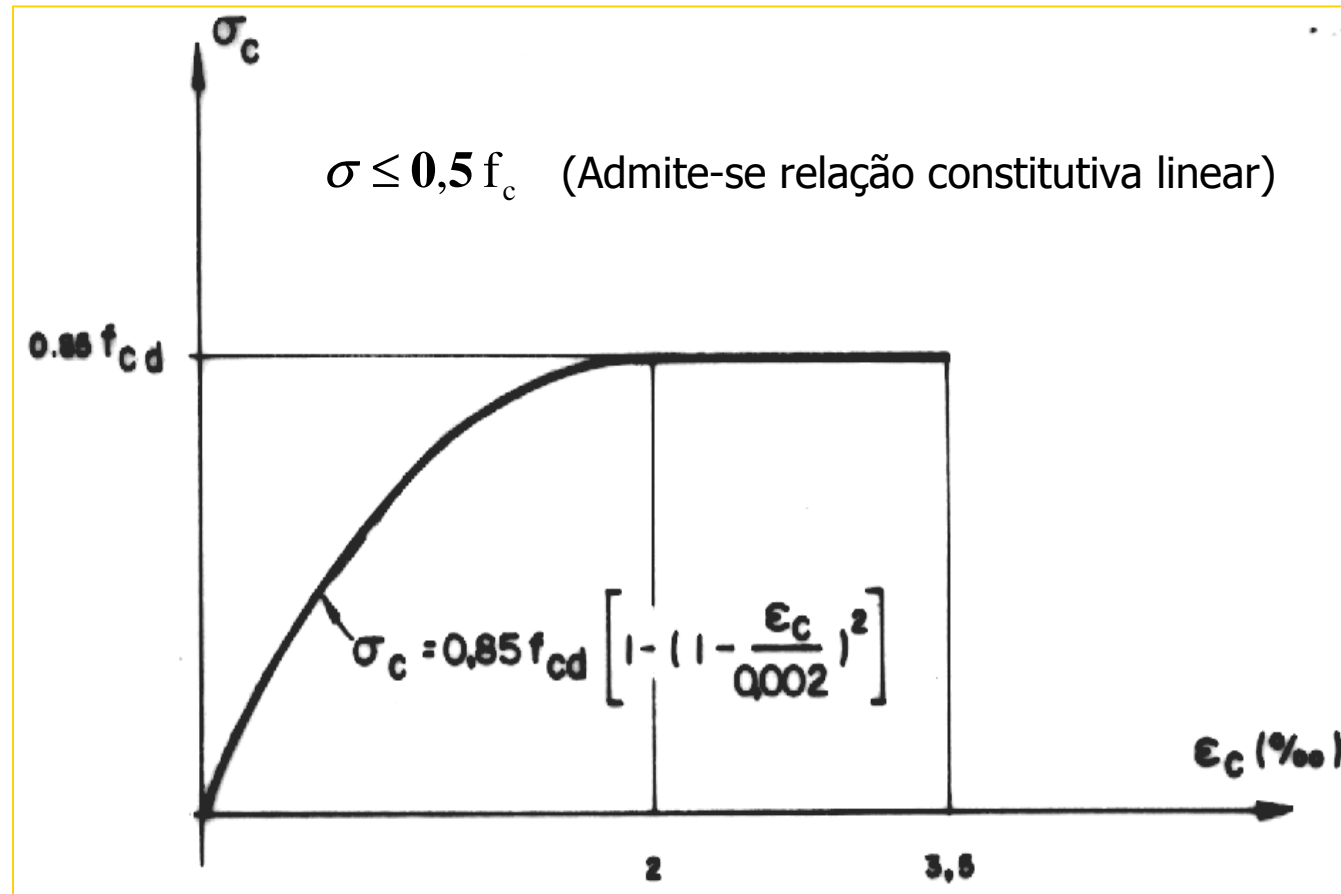
Resistência *versus* Módulo de Elasticidade



✓ Diagrama tensão-deformação

Materials**Concreto**Resistência versus duração do carregamento

✓ diagrama tensão-deformação

Concreto**Materiais**Resistência à compressão *versus* Módulo de Elasticidade NBR 6118:2003

✓ Diagrama tensão-deformação para o cálculo

Materiais

Concreto

Módulo de Elasticidade (NBR 6118:2003)

(unidade em MPa)

- Valor tangente Inicial:

$$E_{ci} = 5600 \cdot \sqrt{f_{ck}}$$

- Valor Secante

$$E_c = 0,85 \cdot E_{ci}$$

Concreto

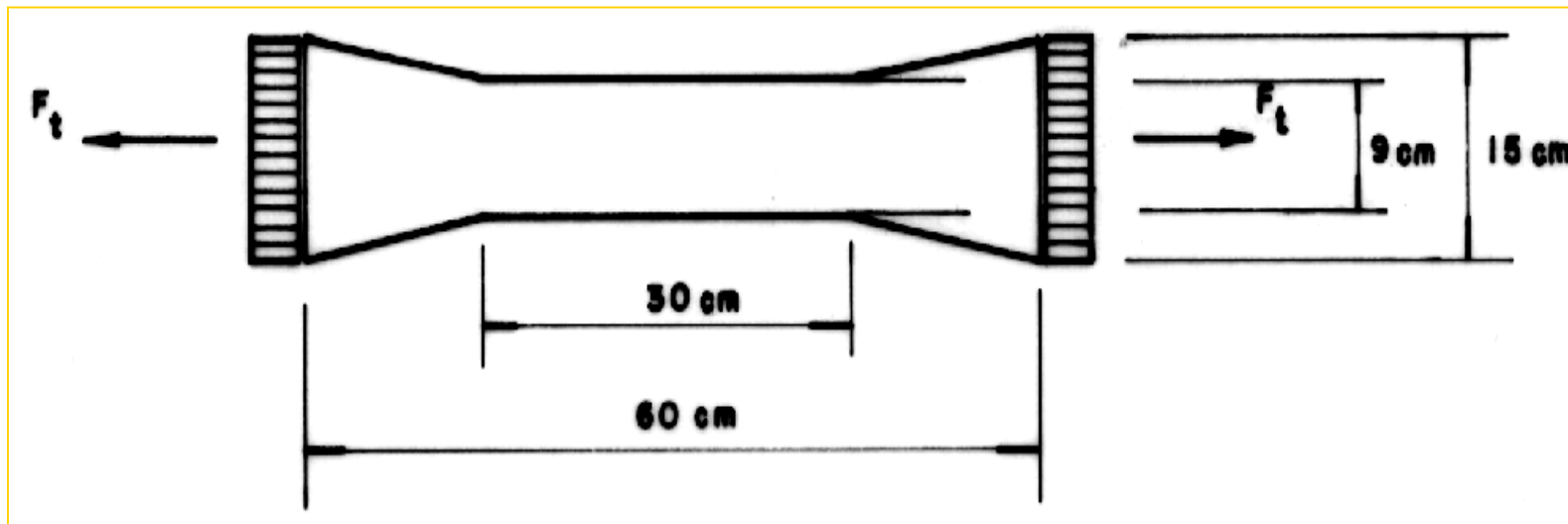
Materiais

Resistência à Tração

✓

Tração direta

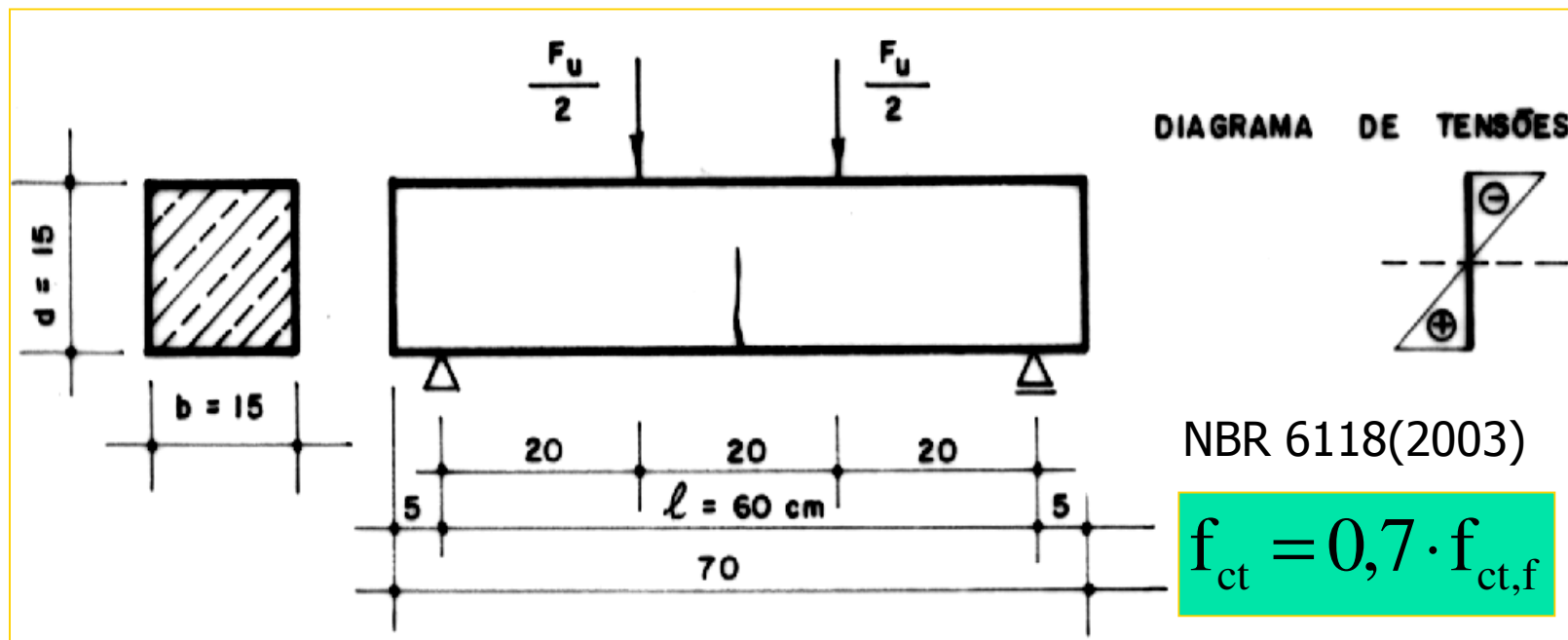
$$f_{ct} = \frac{F}{A_c}$$



- Fornece os menores resultados entre os ensaios de tração

Concreto**Resistência à Tração****Materiais**✓ **Tração na flexão**

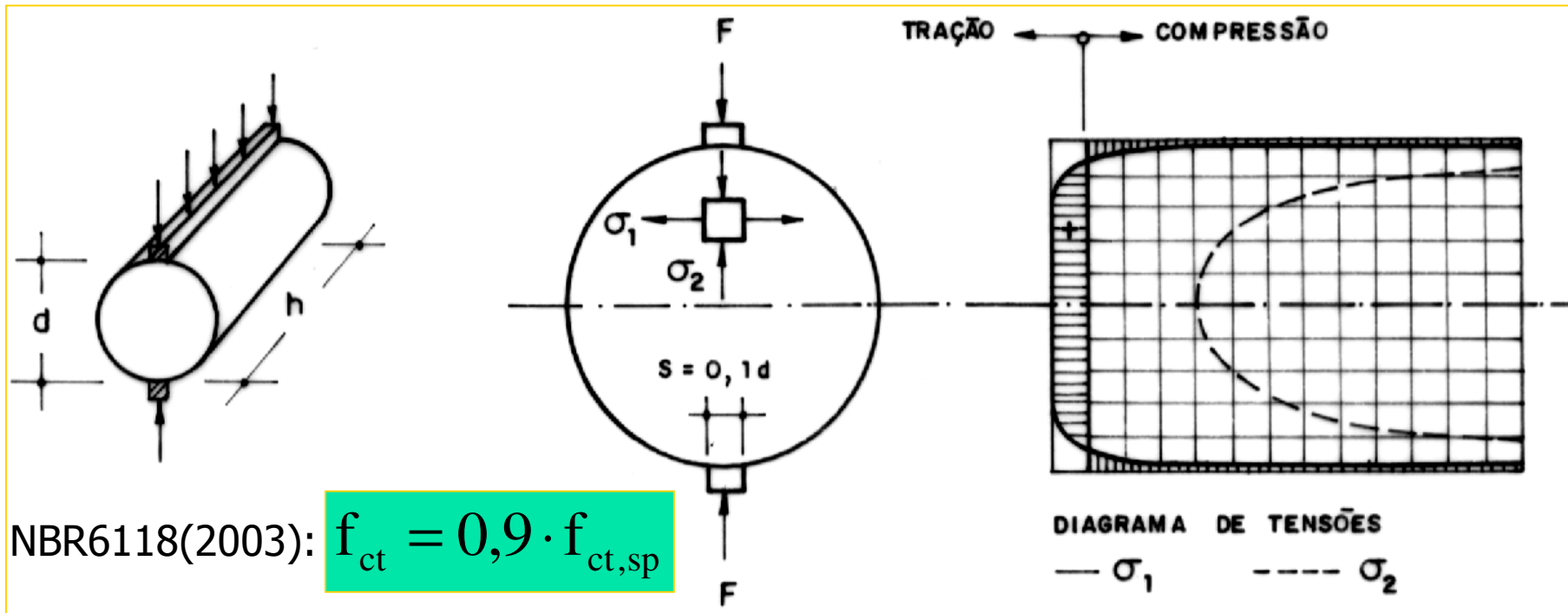
$$f_{ct,f} = \frac{F \cdot L}{bd^2}$$



- Fornece resultados maiores que os ensaio de tração direta(f_{ct})

Materiais***Concreto*****Resistência à Tração****Tração por compressão diametral**

$$f_{ct,sp} = \frac{2F}{\pi \cdot d \cdot h}$$



- Fornece resultados maiores que os ensaio de tração direta(f_{ct}) e menores que os ensaios de tração na flexão ($f_{ct,f}$)

Materiais***Concreto*****Resistência à Tração****Estimativa via compressão (NBR 6118:2003)**

Quando não se dispõe de ensaios específicos, a NBR 6118:2003 permite a estimativa da resistência à tração a partir do valor associado à compressão

$$f_{ctk,inf} = 0,70 f_{ctm}$$

com

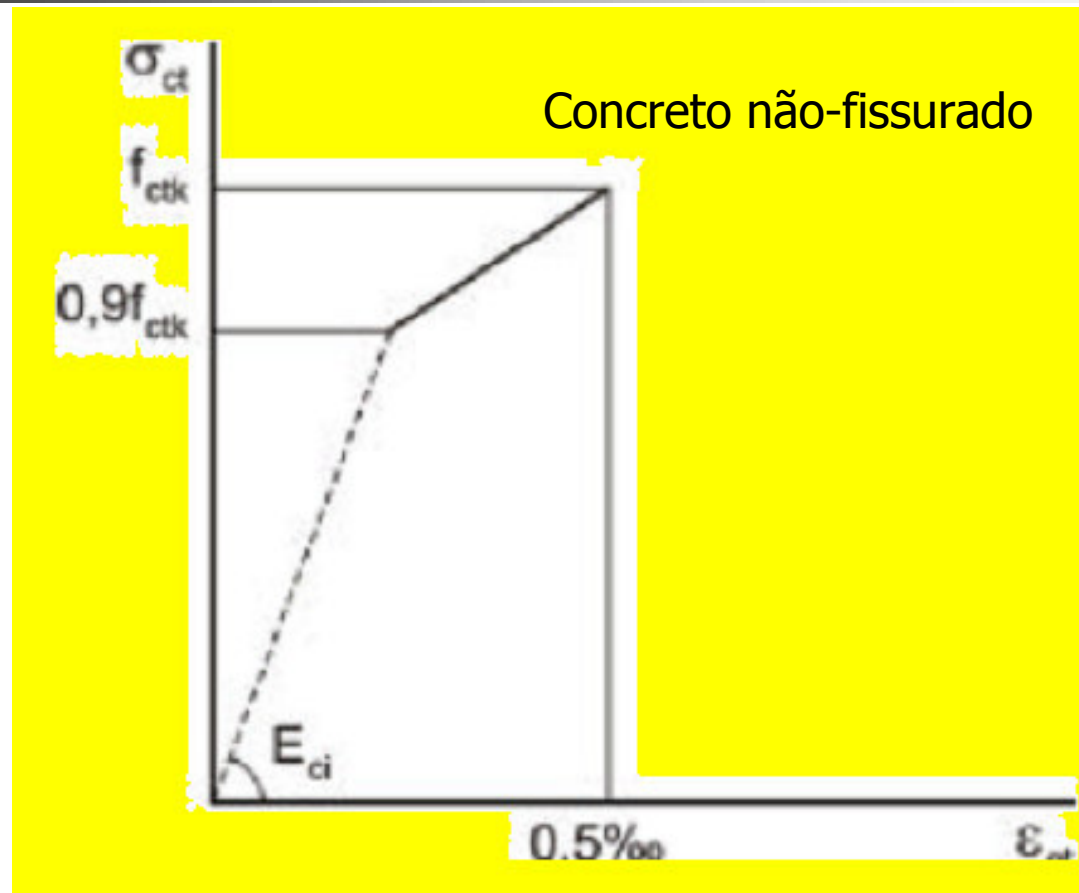
$$f_{ctm} = 0,3 \cdot \sqrt[3]{(f_{ck})^2}$$

$$f_{ctk,sup} = 1,30 f_{ctm}$$

Concreto

Materiais

Resistência à tração *versus* Módulo de Elasticidade NBR 6118:2003



✓ Diagrama tensão-deformação bilinear de tração

Materiais



Aço

✓ Teriam os aços especificados para armadura passiva bom desempenho quando utilizados como armadura ativa?

-A história da construção diz que **NÃO**.

Até meados década de 1920, a protensão de peças de concreto era aplicada via barras de aço utilizadas no concreto armado.

Após certo tempo, o efeito da protensão era praticamente eliminado.

Comunidade técnica da época não sabia o porquê.

Materiais



Aço

- ✓ Eugène Freyssinet, estudou os efeitos dos fenômenos da retração e fluência no concreto.
- Em 1928, ele patenteou um sistema de protensão que utilizava cabos com resistência acima de 400 MPa.
- Freyssinet, considerado o pai do concreto protendido, verificou que utilizando aços com resistência mais alta, o efeito da queda da força de protensão transferida para o concreto era menos drástica.

Materiais

Aço de protensão

Formas de Ocorrência

✓ Fios trefilados de aço carbono

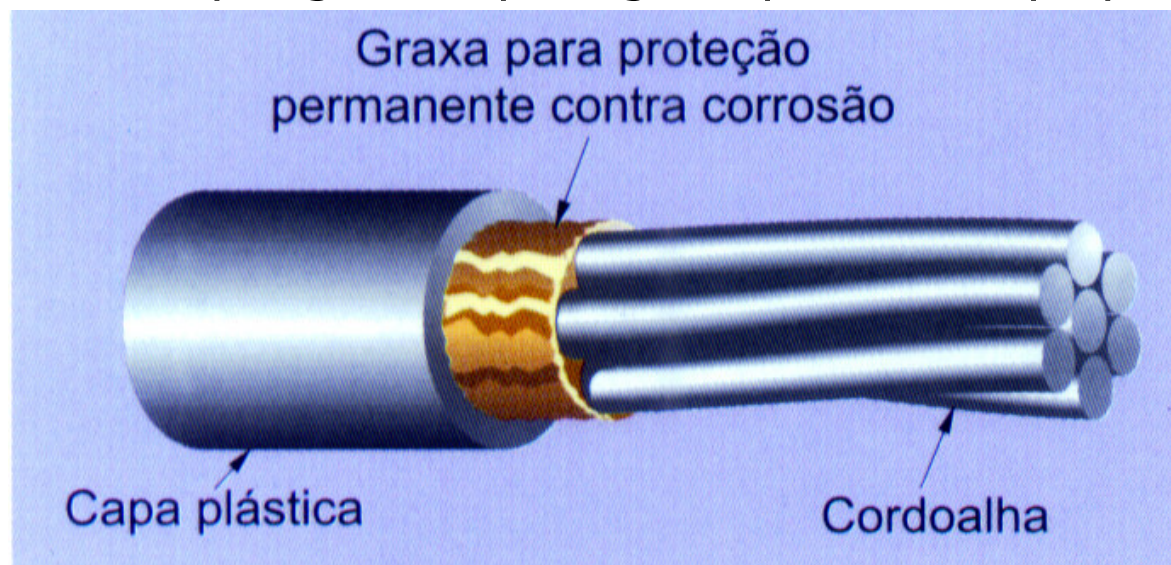
- Bitola $8mm \leq \phi \leq 12mm$
- Fornecidos em rolos ou bobinas (Sider. Belgo-Mineira);
- NBR 7482 - *Fios de aço para concreto protendido*;
- *Muito utilizado em protensão circular.*

Aço de protensão

Formas de Ocorrência

✓ ***Cordoalhas***

- Fios enrolados em forma de hélice (Belgo-Mineira);
- NBR 7483- *Cordoalhas para concreto pretendido*;
- Aparece também como armadura não-aderente (os fios são envolvidos por graxa e protegidos por uma capa plástica)

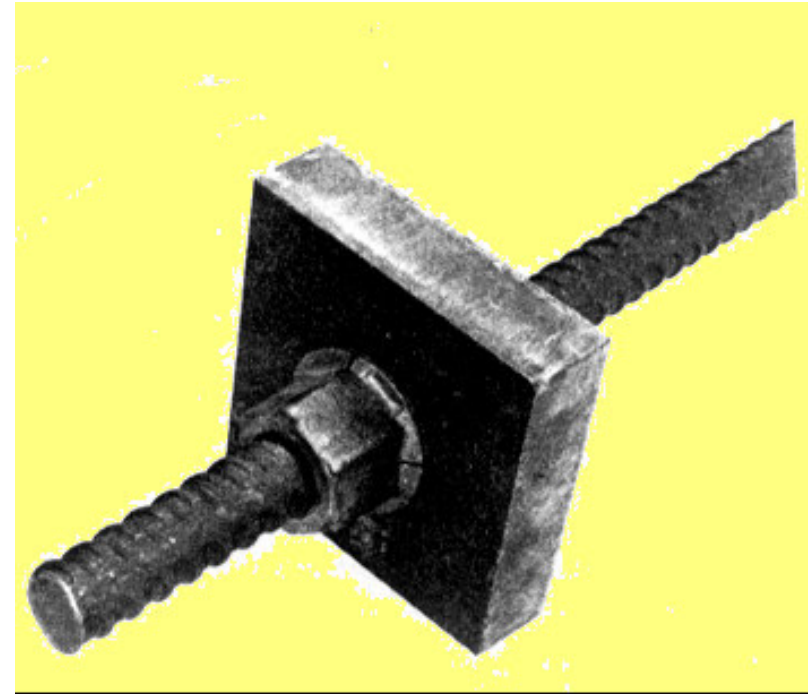


Aço de protensão

Formas de Ocorrência

✓ **Barra de aço-liga de alta resistência**

- Bitola $\phi \geq 12mm$



- Comprimento limitado (Siderúgica barra mansa);
- É utilizado principalmente em obras de contenção de encostas;



Aço de protensão

Modalidade de Tratamento

✓ ***Aços aliviados ou de
Relaxação Normal (RN)***

- Retificados por um tratamento térmico que alivia as tensões internas de trefilação.

✓ ***Aços estabilizados ou de
Relaxação Baixa (RB)***

- Recebem um tratamento termomecânico que melhora as características elásticas e reduz a relaxação

Aço de protensão

Designação: ABNT

✓ **Fios e cordoalhas**



Materiais

Aço de protensão

Designação: Belgo-Mineira

✓ **Fios**

Modalidade de
tratamento(RB)

Conformação
E (entalhe)

CP 170 RB E

Concreto
Protendido

Tensão de Ruptura
(170 kN/cm²)

✓ **Cordoalhas**

Modalidade de
tratamento(RN)

Número de
fios enrolados

CP 175 RN 3x 3,0

Concreto
Protendido

Tensão de Ruptura
(175 kN/cm²)

Materiais***Aço de protensão*****Fios: bitolas comerciais**

Fios	Diâmetro Nominal (mm)	Área Aprox. (mm ²)	Área Mínima (mm ²)	Massa Aprox. (kg/km)	Tensão Mínima de Ruptura		Tensão Mínima a 1% de Alongamento		Along. Após Ruptura (%)
					(MPa)	(kgf/mm ²)	(MPa)	(kgf/mm ²)	
CP 145 RB L	9,0	63,6	62,9	500	1.450	145	1.310	131	6.0
CP 150 RB L	8,0	50,3	49,6	395	1.500	150	1.350	135	6.0
CP 170 RB E	7,0	38,5	37,9	302	1.700	170	1.530	153	5.0
CP 170 RB L	7,0	38,5	37,9	302	1.700	170	1.530	153	5.0
CP 170 RN E	7,0	38,5	37,9	302	1.700	170	1.450	145	5.0
CP 175 RB E	4,0	12,6	12,3	99	1.750	175	1.580	158	5.0
CP 175 RB E	5,0	19,6	19,2	154	1.750	175	1.580	158	5.0
CP 175 RB E	6,0	28,3	27,8	222	1.750	175	1.580	158	5.0
CP 175 RB L	5,0	19,6	19,2	154	1.750	175	1.580	158	5.0
CP 175 RB L	6,0	28,3	27,8	222	1.750	175	1.580	158	5.0
CP 175 RN E	4,0	12,6	12,3	99	1.750	175	1.490	149	5.0
CP 175 RN E	5,0	19,6	19,2	154	1.750	175	1.490	149	5.0
CP 175 RN E	6,0	28,3	27,8	222	1.750	175	1.490	149	5.0

L= liso; E = entalhado para aumento da aderência ao concreto

Materiais***Aço de protensão*****Cordoalhas comerciais**

Cordoalhas	Diâmetro Nominal (mm)	Área Aprox. (mm ²)	Área Mínima (mm ²)	Massa Aprox. (kg/km)	Carga Mínima de Ruptura		Carga Mínima a 1% de Alongamento		Along. Sob Carga (em 610 mm)
					(kN)	(kgf)	(kN)	(kgf)	
Cord. CP 190 RB 3x3,0	6,5	21,8	21,5	171	40,8	4.080	36,7	3.670	3,5
Cord. CP 190 RB 3x3,5	7,6	30,3	30,0	238	57,0	5.700	51,3	5.130	3,5
Cord. CP 190 RB 3x4,0	8,8	38,3	37,6	304	71,4	7.144	64,3	6.430	3,5
Cord. CP 190 RB 3x4,5	9,6	46,5	46,2	366	87,7	8.770	78,9	7.890	3,5
Cord. CP 190 RB 3x5,0	11,1	66,5	65,7	520	124,8	12.480	112,3	11.230	3,5
Cord. CP 190 RB 9,5	9,5	55,5	54,8	441	104,3	10.430	93,9	9.390	3,5
Cord. CP 190 RB 12,5	12,7	101,4	98,7	792	187,3	18.730	168,6	16.860	3,5
Cord. CP 190 RB 15,2	15,2	143,5	140,0	1.126	265,8	26.580	239,2	23.920	3,5

Acondicionamento

Composição da Cordoalha	Peso Nominal (kg)	Diâmetro Interno (cm)	Diâmetro Externo (cm)	Altura do Rolo (cm)
Cordoalha 3 e 7 Fios	2.600	76,2	139	76,2

Aço de protensão

Diagrama tensão-deformação real

- Cordoalha CP190 RB 12,7

Data do ensaio: 16/02/02

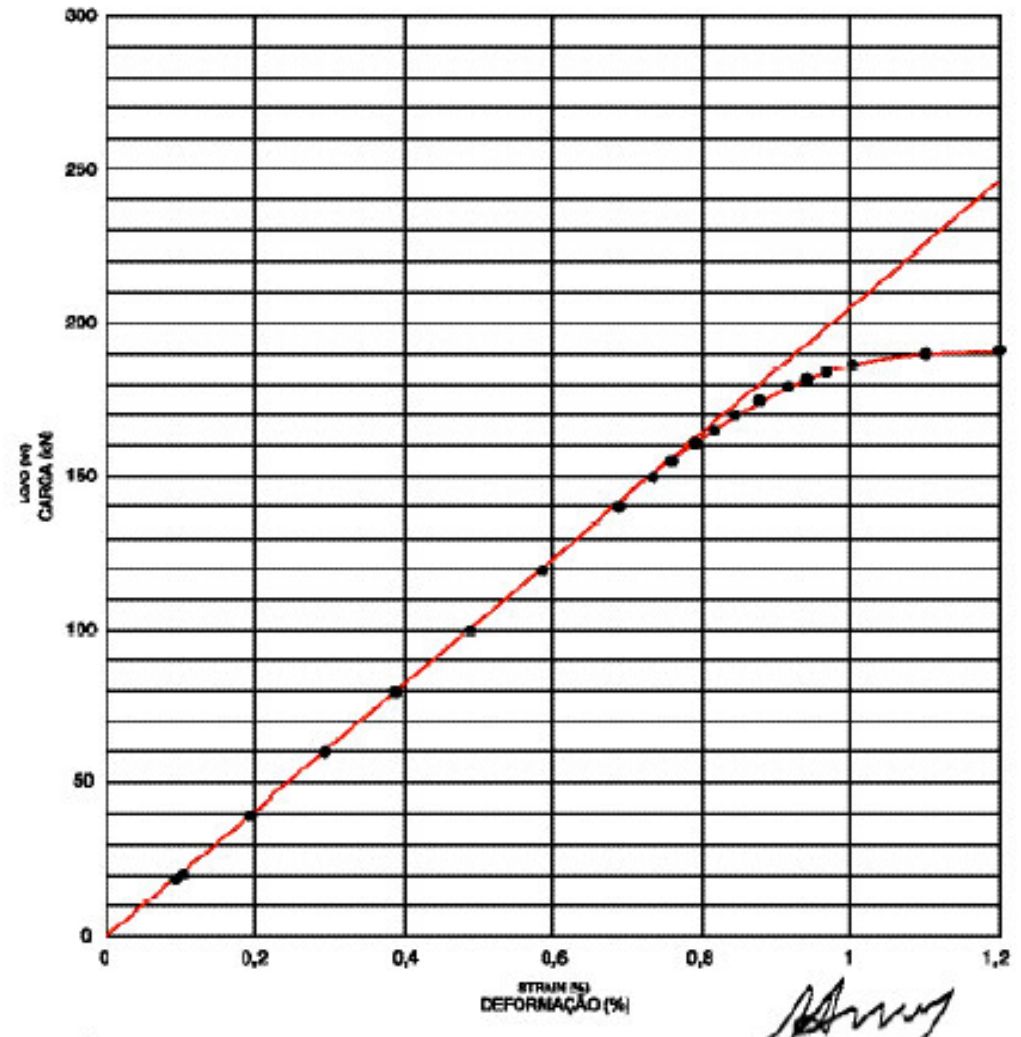
Módulo de Elasticidade obtido neste ensaio

$$E_p = 206GPa$$

Certificate Number
Certificado N°: 432/2002
Product
Produtor: CORDOALHA 7 FIOS P/ CONCR. PROT. CP 160 RB-NUA-NBR7483/90
Standard
Norma: NBR 7483/90
Call Number
N° do Folo: 2002/565

Date
Data: 16/02/2002

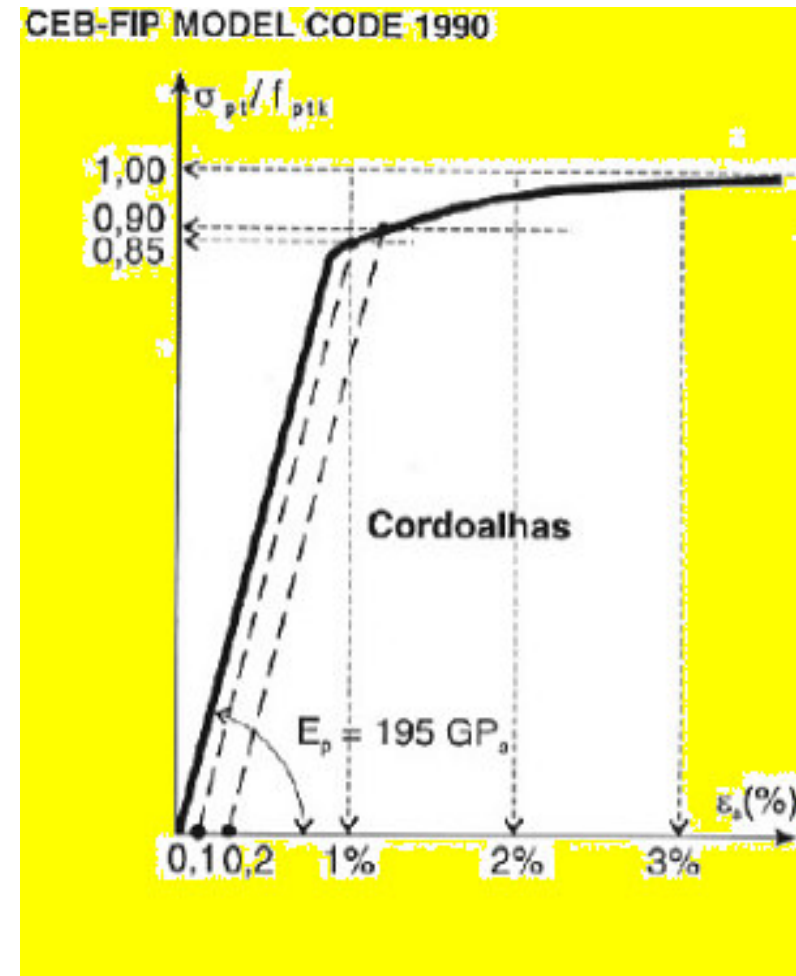
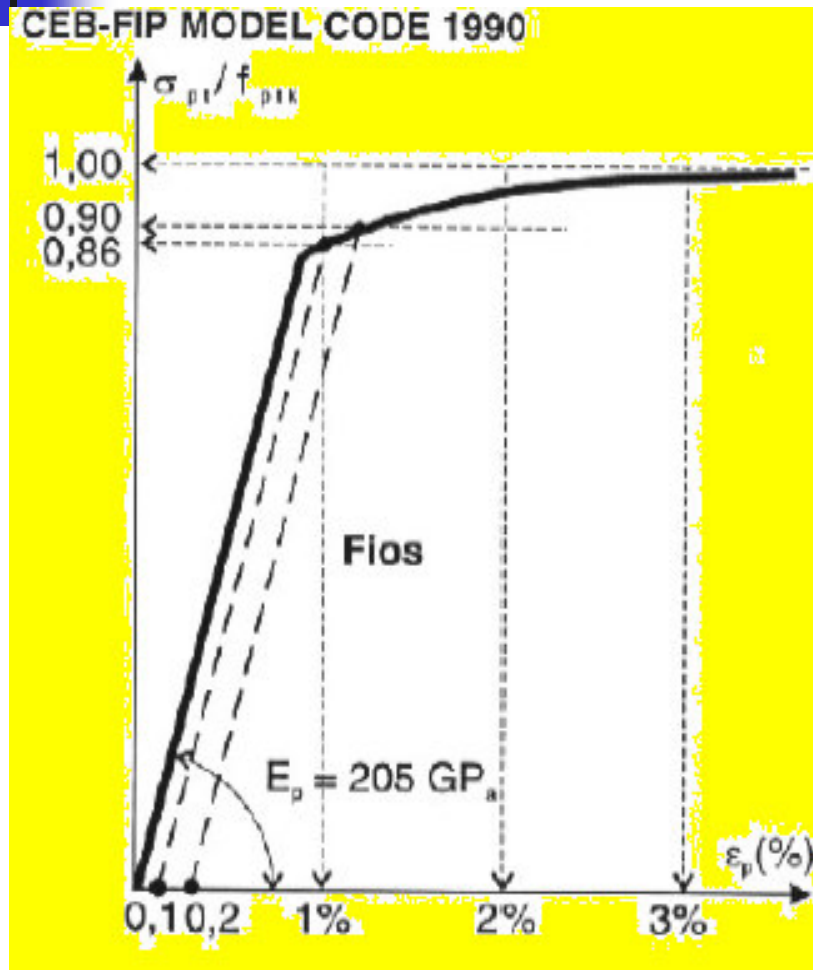
Diameter
Diâmetro: 12,70 mm



Materials

Aço de protensão

Diagramas tensão-deformação aproximado



Aço de protensão

Materiais

Diagramas tensão-deformação simplificado

✓ Na ausência de ensaios experimentais, a NBR 6118:2003 permite utilizar o diagrama simplificado

- Módulo elasticidade

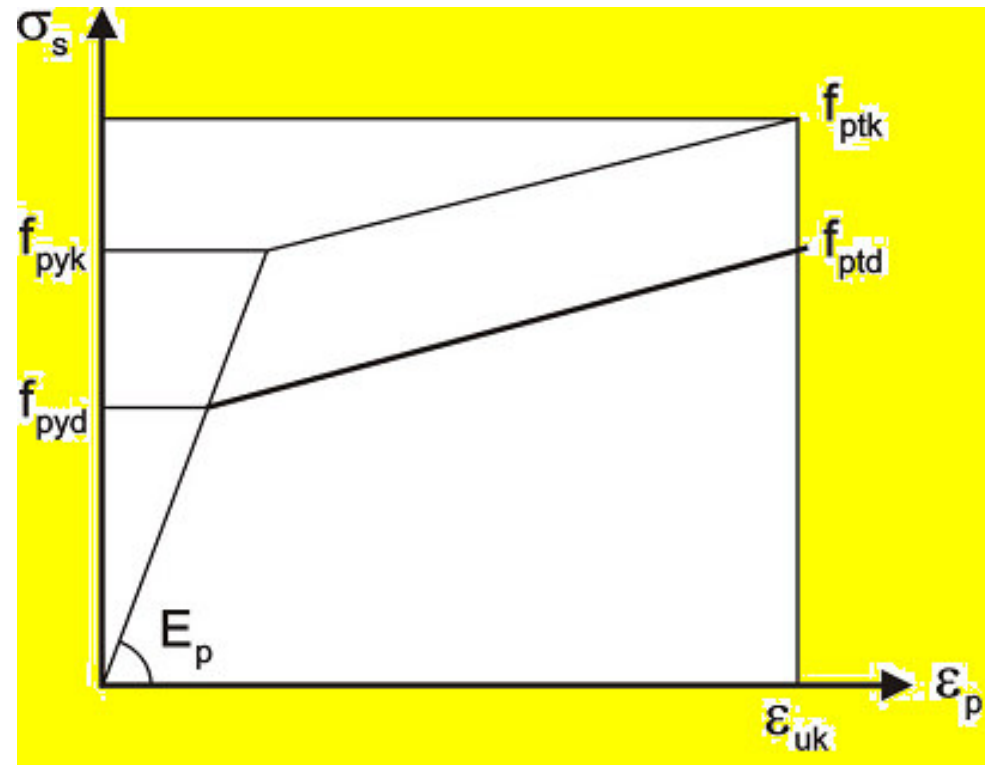
$$E_p = 200GPa$$

(Fios e cordoalhas)

- Valores convencionais de escoamento

$$f_{pyk} \rightarrow \varepsilon = 0,2\% \rightarrow \text{Fios}$$

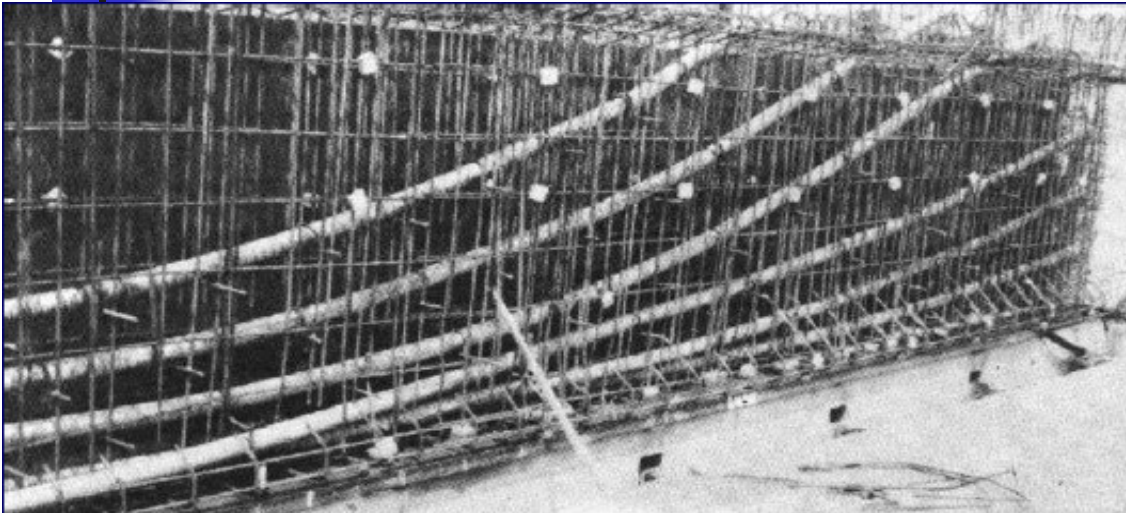
$$f_{pyd} \rightarrow \varepsilon = 0,1\% \rightarrow \text{Cord.}$$



Válido para intervalos de temperatura entre $-20^{\circ}C$ e $150^{\circ}C$.

Materiais

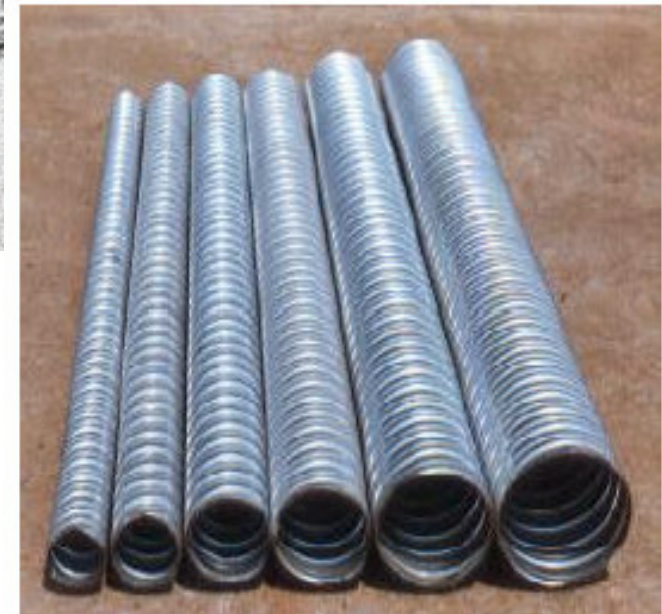
Bainhas



Dutos onde a armadura ativa é colocada no sistema pós-tração

□ Função das ranhuras da bainha

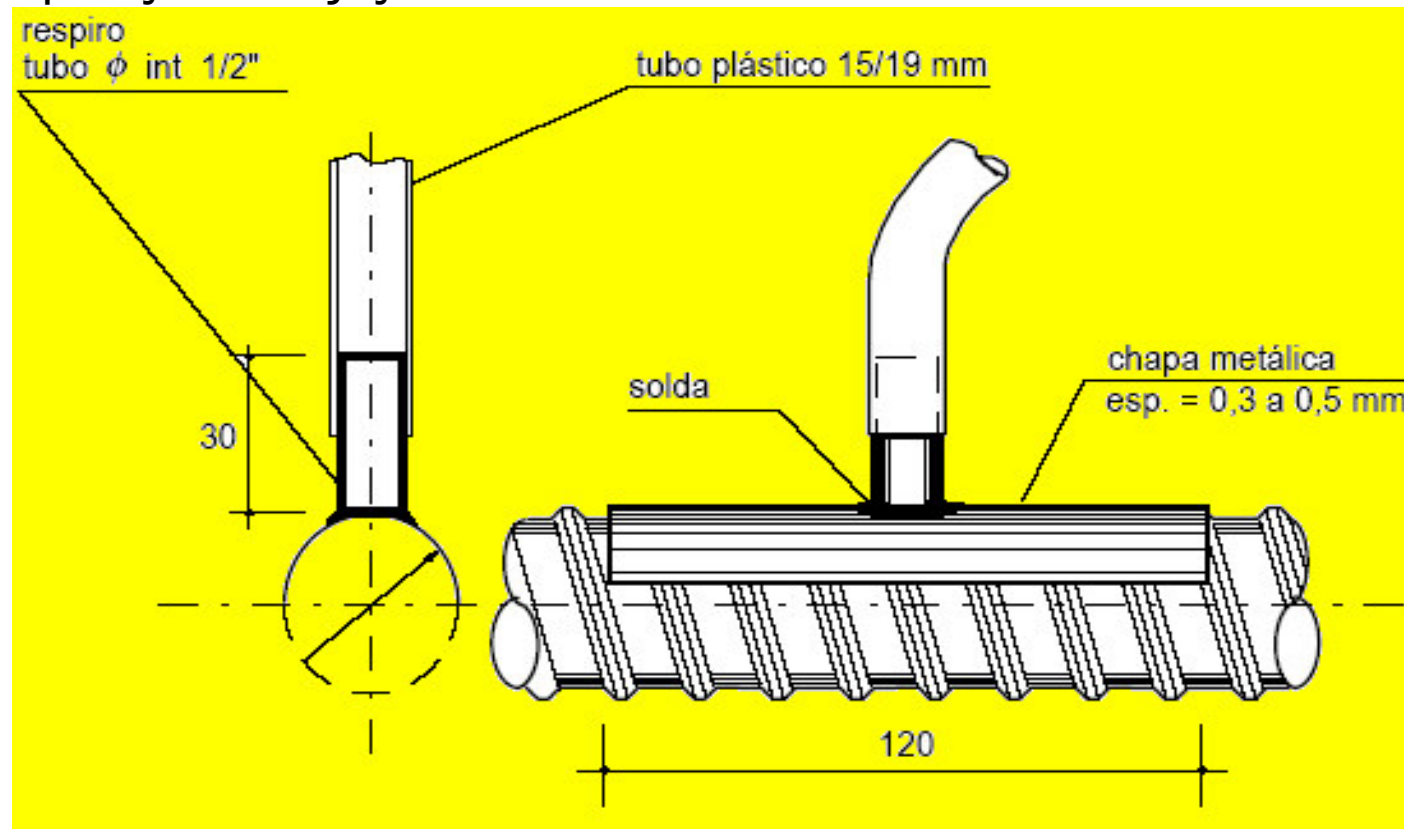
- Rigidez transversal;
- Melhoram a aderência nata-concreto;
- Facilita a utilização de luvas rosqueadas;



Equipamentos

Purgador (respiro)

Tem finalidade de permitir a saída de ar das bainhas durante a operação da injeção da calda de cimento



- Deve-se prever a locação adequada dos purgadores.

Equipamentos

Macacos Hidráulicos

Têm finalidade de aplicar a força de protensão nos cabos



Colocação das placas de ancoragens para protensão



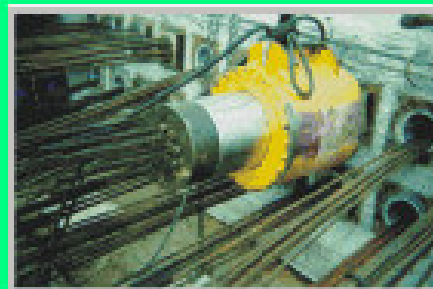
Colocação das cunhas para protensão



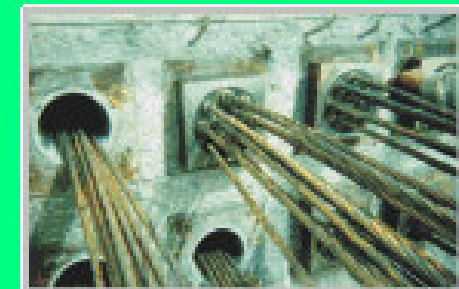
Montagem do macaco para protensão



Montagem final do macaco



Protensão dos cabos



Cunhas após a protensão

Equipamentos

Macacos Hidráulicos

Têm finalidade de aplicar a força de protensão nos cabos



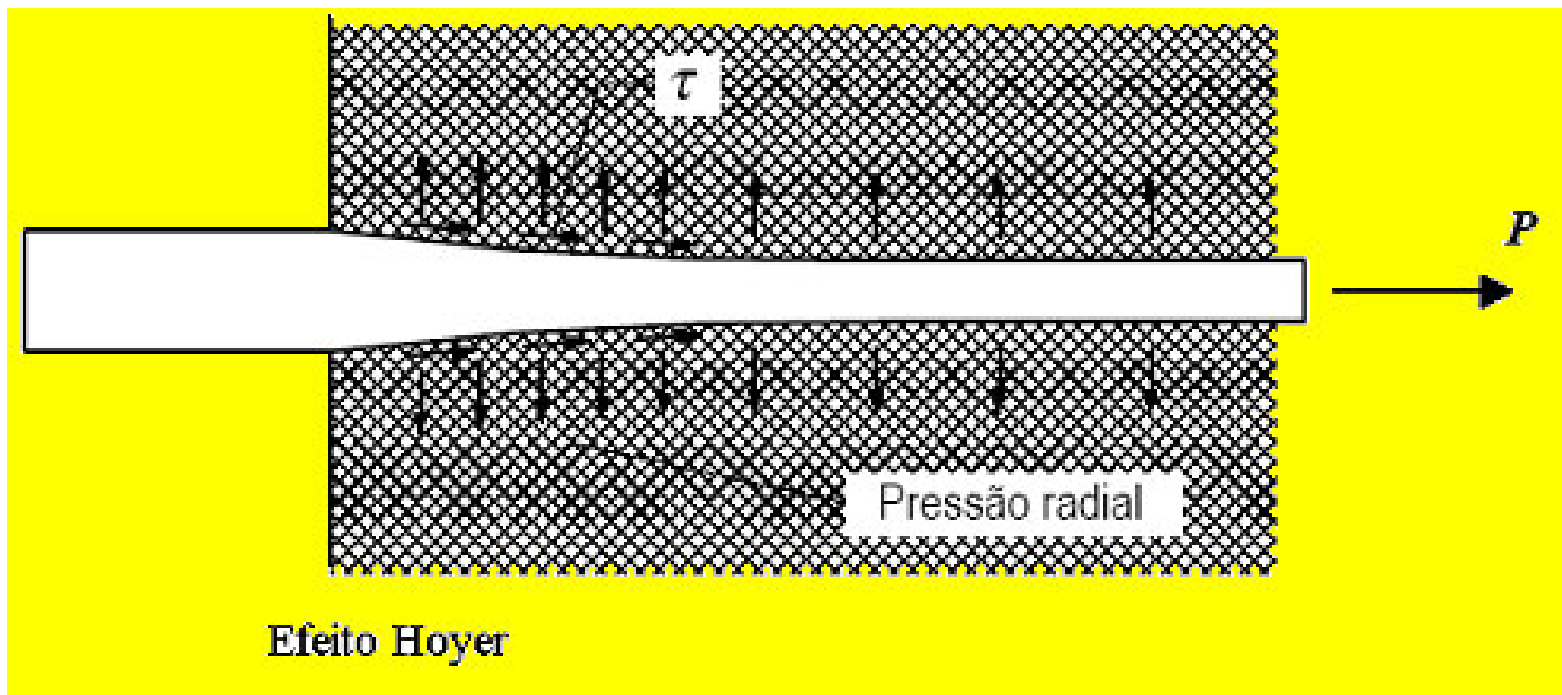
Macaco para monocordoalha engraxada

Equipamentos

Ancoragem

Aderência

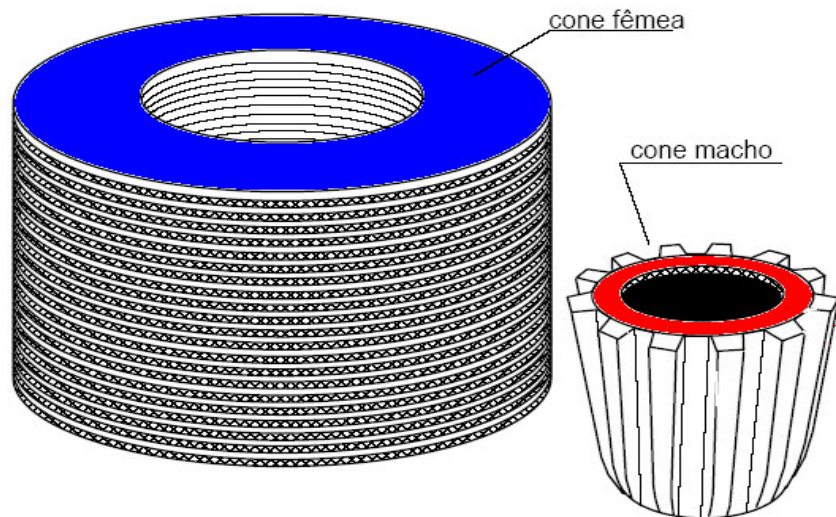
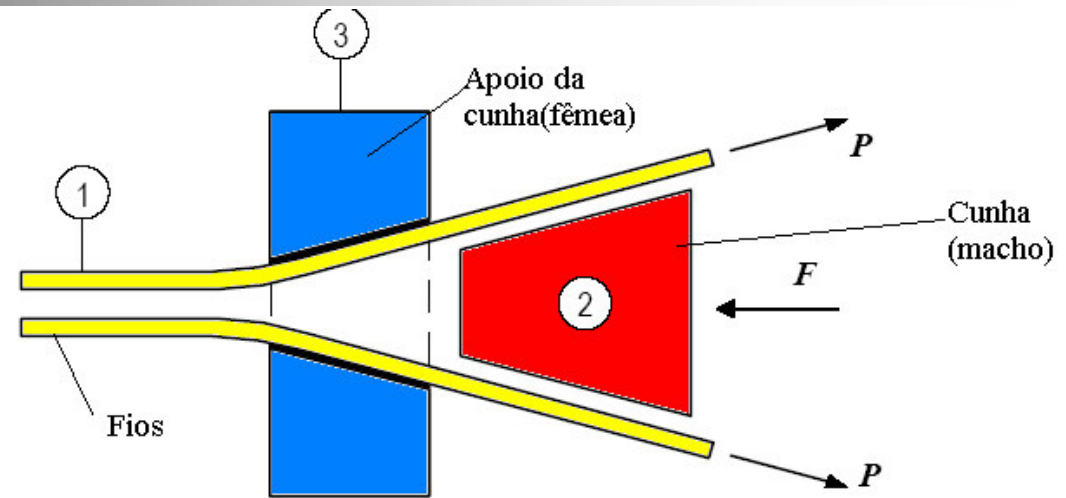
Utilizada no concreto protendido com aderência inicial



Ancoragem

Por encunhamento

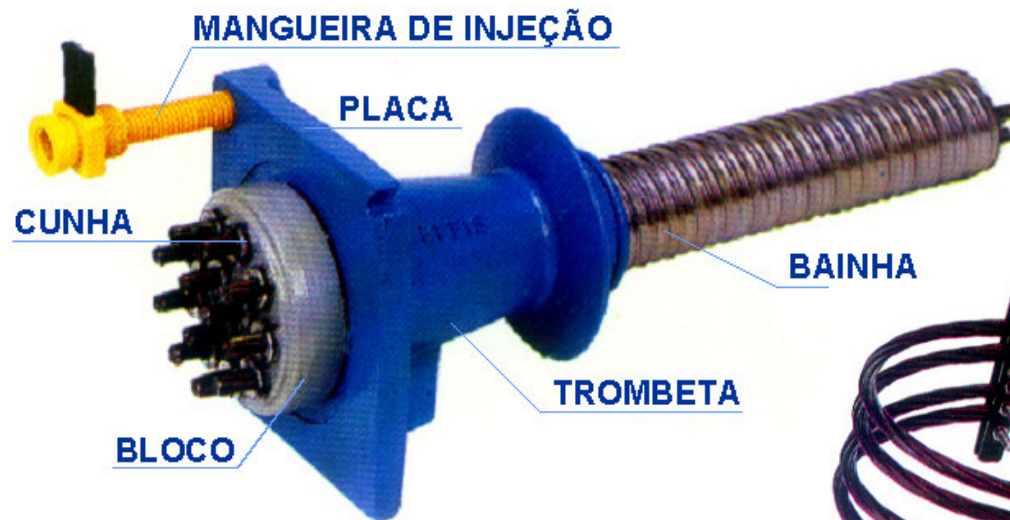
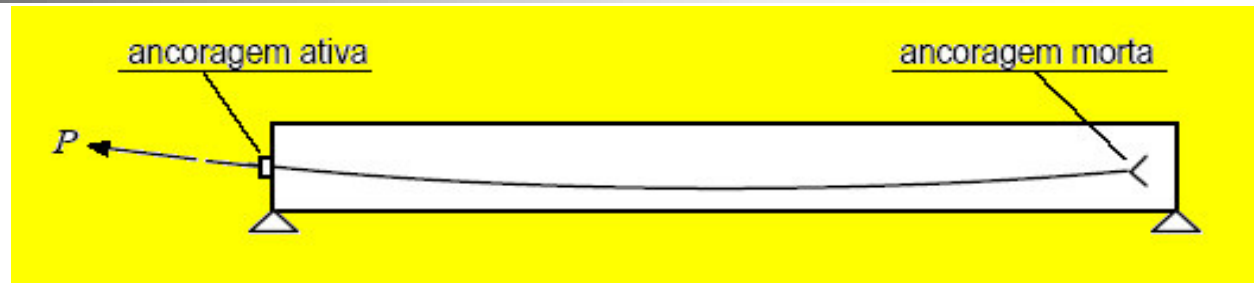
Equipamentos



Equipamentos

Ancoragens terminais: ativa e passiva

- Ativa(móvel)



permitem a instalação do macaco de protensão

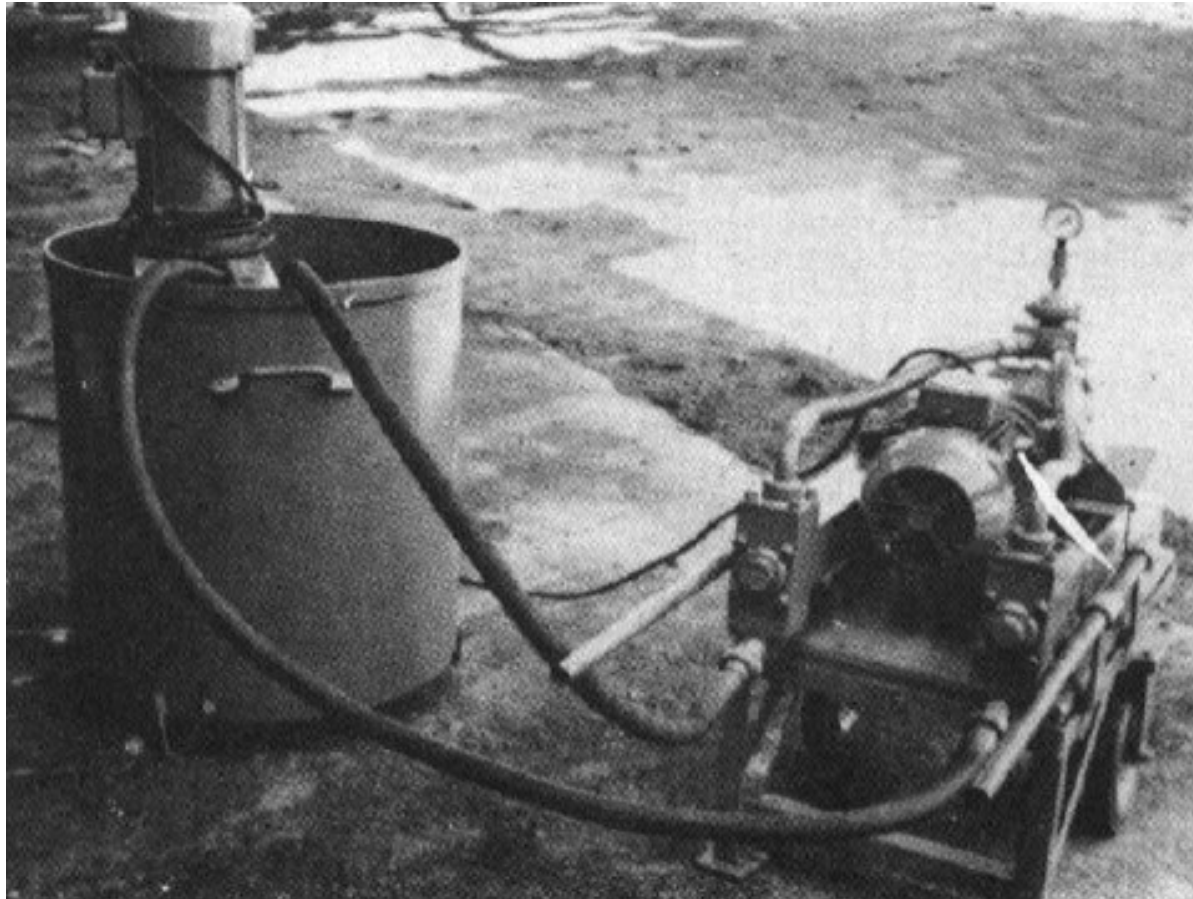
- Passiva(fixa)



atuação do macaco inibida

Equipamentos

Bomba de injeção



Equipamentos

Pista de protensão



Equipamentos



Luvras (emendas)

