


 Ministério da Educação  
 Universidade Federal do Paraná  
 Setor de Tecnologia  
 Departamento de Construção Civil

**Materiais de Construção  
 ( TC-030)  
 AÇOS PARA CONCRETO**

Professores  
 José de Almendra Freitas Jr. - [freitasjose@terra.com.br](mailto:freitasjose@terra.com.br)  
 Laila Valduga Artigas - [artigas@ufpr.br](mailto:artigas@ufpr.br)

Versão 2019


 A estrutura do concreto
 Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

**AÇOS PARA CONCRETO**

**Concreto Armado**  
Lambot e Monier  
França, a partir de 1849




Canoa de Lambot

**Concreto Protendido**  
Döhring, Koenen e Mörsch  
Alemanha, a partir de 1888




Patented Jan. 3, 1888.  
Eugene Freyssinet-1930


 A estrutura do concreto
 Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

**TECNOLOGIA DO CONCRETO ARMADO**

- Concreto resiste muito mais à compressão que à tração;
- Os dois materiais tem coeficientes de dilatação térmica semelhantes (temperatura ambiente);
- Há uma afinidade química entre os dois materiais gerando aderência considerável;
- O pH naturalmente elevado da pasta de cimento passiva a armadura (protege contra corrosão).


 A estrutura do concreto
 Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

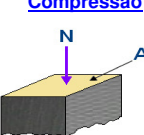
**AÇOS PARA CONCRETO**

TERMOS E MEDIDAS USADOS EM ENGENHARIA

**Tensão (  $\sigma$  )**

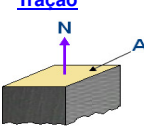
Força por unidade de área, expressa em MPa  
(antigamente kgf/cm<sup>2</sup> ou kgf/mm<sup>2</sup>, 1 MPa = 10 kgf/cm<sup>2</sup> = 0,1 kgf/mm<sup>2</sup>)

**Compressão**




$$\sigma = \frac{N}{A}$$

**Tração**



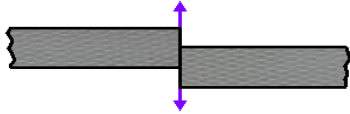
(P.Helene)


 A estrutura do concreto
 Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I


**AÇOS PARA CONCRETO**

TERMOS E MEDIDAS USADOS EM ENGENHARIA

**Cisalhamento** - esforço cortante numa determinada seção. É o resultado de tensões tangenciais.




(P.Helene)


 A estrutura do concreto
 Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

**AÇOS PARA CONCRETO**

TERMOS E MEDIDAS USADOS EM ENGENHARIA

**Flexão** - esforço resultante de tensões de compressão e de tração simultaneamente aplicados em lados opostos de uma peça estrutural.



cargas

A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

### AÇOS PARA CONCRETO

TERMOS E MEDIDAS USADOS EM ENGENHARIA

**Protensão** - Introdução de uma tensão de compressão a uma peça de concreto, através de um ou mais cabos de aço tracionados.

(P.Helene)

A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

### AÇOS PARA CONCRETO

TERMOS E MEDIDAS USADOS EM ENGENHARIA

**Deformação** - ( $\epsilon$ ) É o efeito da tensão. Expressa em (cm/cm), ou em % do comprimento inicial.

A deformação pode ser *elástica* ou *plástica*. Plástica é irreversível, elástica é reversível, desaparece quando a tensão é removida.

$\epsilon = \sigma / \text{tg } \alpha$  ou  $\epsilon = \sigma / E$

(P.Helene)

A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

### AÇOS PARA CONCRETO

TERMOS E MEDIDAS USADOS EM ENGENHARIA

**Módulo de Elasticidade, de Young ou, de Deformação Longitudinal - (E)**

É o quociente entre a tensão aplicada e a deformação elástica resultante. Expresso em MPa.

$E = \text{tg } \alpha$   $E = \sigma / \epsilon$

(P.Helene)

A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

### AÇOS PARA CONCRETO

TERMOS E MEDIDAS USADOS EM ENGENHARIA

**Ductilidade** - É a deformação plástica total até o ponto de ruptura. Pode ser medida por:

**Estricção** - redução da área da seção transversal, em %.

$$\text{Estricção} = \frac{\text{Área inicial} - \text{Área final}}{\text{Área inicial}} \times 100$$

**Alongamento** - na ruptura também medido em %.

$$\text{Alongamento} = \frac{\text{Comprimento final} - \text{Comprimento inicial}}{\text{Comprimento inicial}} \times 100$$

A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

### AÇOS PARA CONCRETO

TERMOS E MEDIDAS USADOS EM ENGENHARIA

**Estricção e Alongamento**

**Ensaio de tração**

(adaptado de P.Helene)

A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

### AÇOS PARA CONCRETO

TERMOS E MEDIDAS USADOS EM ENGENHARIA

**Material Frágil** = Pouco se deforma antes da ruptura. Obedece a Lei de Hooke até a ruptura.

Ex. : ferro fundido, concreto e vidro plano.

(P.Helene)

A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

### ÂÇOS PARA CONCRETO

TERMOS E MEDIDAS USADOS EM ENGENHARIA

**Material dúctil com patamar de escoamento** = Apresenta patamar de escoamento definido que caracteriza a tensão  $f_y$  denominada resistência de escoamento do aço à tração.

Ex.: aços doces com baixo teor de carbono, classe A, como os aços para concreto armado CA25 e CA50.

(P.Helene)

A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

### ÂÇOS PARA CONCRETO

TERMOS E MEDIDAS USADOS EM ENGENHARIA

**Material dúctil sem patamar de escoamento** = Não apresenta patamar de escoamento definido. A deformação plástica que segue à elástica não é reversível. A tensão  $f_y$  convencional, de resistência de escoamento do aço à tração corresponde a uma deformação plástica irreversível de 0,2%. Ex.: Aços para concreto armado CA60.

(P.Helene)

A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

### ÂÇOS PARA CONCRETO

#### METAIS FRÁGEIS E DÚCTEIS

**Frágil**  
Ex.: Ferro fundido

**Dúctil**  
Ex.: aço CA25

**Muito Dúctil**  
Ex.: Ouro

(P.Helene)

Ruptura frágil Ruptura dúctil

(J.S. Cavaliere)

A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

### ÂÇOS PARA CONCRETO

TERMOS E MEDIDAS USADOS EM ENGENHARIA

**Dureza** : Definida pela resistência da superfície do material à penetração.

Escala Brinell de dureza BHN (Brinell Hardness Number)

$$BHN = \frac{N}{\text{área da calota}}$$

$$BHN = \frac{2N}{D \left[ D - \sqrt{D^2 - d^2} \right]}$$

Impressão  $d = (d_1 + d_2)/2$

A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

### ÂÇOS PARA CONCRETO

TERMOS E MEDIDAS USADOS EM ENGENHARIA

**Tenacidade** : Medida da energia necessária para romper o material. Expressa em  $\text{kgf/cm}^2$ .

Um material dúctil com a mesma tensão de ruptura que um frágil é mais tenaz, porque irá requerer uma maior energia para romper-se.

(P.Helene)

$A2 > A1$  portanto o material 2 é mais tenaz.

A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

### ÂÇOS PARA CONCRETO

#### COMPORTEAMENTO QUÍMICO

**Corrosão:**

- O pH do concreto protege o aço.
- Ausência de cloro –  $\text{pH} < 10,5$
- Presença de cloro corrói sob qualquer pH
- Aço aumenta de volume em até 530%

Óxidos e hidróxidos de ferro	
Volumes relativos	
$\text{Fe}_2$	100% (ferro)
$\text{FeO}$	190% (óxido de ferro)
$\text{Fe}_2\text{O}_4$	210% (óxido férrico-ferroso)
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	220% (óxido férrico)
$\text{Fe}(\text{OH})_2$	360% (hidróxido de ferro II)
$\text{Fe}(\text{OH})_3$	420% (hidróxido de ferro III)
$\text{Fe}(\text{OH})_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	630%

Estádio do Morumbi- SP

(Gênaro- BASF)

A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

## AÇOS PARA CONCRETO

### COMPORTAMENTO FÍSICO DO AÇO

**Densidade = 7,85 kgf/dm<sup>3</sup>**

**Dilatação térmica:**  
 $\alpha_s = 1,2 \cdot 10^{-5} \text{ m/m}^\circ\text{C}$  é  $\approx \alpha_{\text{concreto}} = 1,2 \times 10^{-5} \text{ m/m}^\circ\text{C}$   
 (válido para temperaturas de 0 a 100°C, acima o coeficiente do aço fica significativamente maior)

**Condutibilidade térmica = 30 X maior que o do concreto**

A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

## MICROESTRUTURA DOS METAIS

### Estrutura cristalina:

**Metais: aglomerados de grãos de cristais**

Nucleação durante a formação dos cristais no aço líquido

A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

## MICROESTRUTURA DOS METAIS

### Estrutura cristalina:

**Metais: aglomerados de grãos de cristais**

Aglomerado de cristais com diferentes orientações de planos de clivagem.

Aço manganês

A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

## MICROESTRUTURA DOS METAIS

14 formas geométricas possíveis de cristalização

Rede de Bravais

	Triclinico $a \neq b \neq c$ $\alpha, \beta, \gamma \neq 90^\circ$	Hexagonal $a = b \neq c$ $\alpha = \beta = 90^\circ \neq \gamma = 120^\circ$	Romboédrico $a = b = c$ $\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$
	Monoclinico Simplex $a \neq b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	Centrado na base $a \neq b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	Tetragonal Simplex $a = b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$
	Ortorrômico Simplex $a \neq b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	Centrado na base $a \neq b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	Centrado no volume $a \neq b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$
	Cúbico Simplex $a = b = c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	Centrado no volume $a = b = c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	Centrado na face $a = b = c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$

**CC**      **CCC**      **CFC**

**aço**

(Wikipedia)

A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

## MICROESTRUTURA DOS METAIS

### Análise Macrográfica

**Aparência da fratura**

Ruptura no raio de dobramento com ramificação transversal.

**Detalhe a baixo aumento**

A superfície da fratura é rugosa e não se observa deformação plástica.

A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

## MICROESTRUTURA DOS METAIS

### Análise Micrográfica

**Seção metalográfica**

Trinca com origem no raio interno de curvatura. Na imagem menor se observa microtrinca (0,05 mm) paralela à fratura iniciada em um *pitting*.

**Detalhe a alto aumento**

A superfície da fratura e das trinças é intergranular frágil.

A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

### DEFORMAÇÃO ELÁSTICA DOS METAIS

A tensão de cisalhamento produz um deslocamento de um plano atômico em relação ao seguinte. Desde que os vizinhos dos átomos sejam mantidos, está-se na faixa de deformação elástica.

(a) Sem deformação (b) Deformado.

(P.Hierro)

A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

### DEFORMAÇÃO ELÁSTICA DOS METAIS

A tensão de cisalhamento produz um deslocamento de um plano atômico em relação ao seguinte. Desde que os vizinhos dos átomos sejam mantidos, está-se na faixa de deformação elástica.

Retirando-se a tensão, o reticulado volta a forma original.

(J.A.Freitas Jr.)

A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

### DEFORMAÇÃO PLÁSTICA DOS METAIS

Uma tensão maior faz com que se deformem pelo estado plástico, devido a escorregamento de um plano cristalino. Ocorre um deslocamento permanente; a retirada da tensão não implica no retorno dos planos cristalinos às suas posições originais.

Ocorre uma ruptura das ligações atômicas originais, seguida de uma recomposição com o átomo seguinte.

(J.A.Freitas Jr.)

A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

### DEFORMAÇÃO PLÁSTICA DOS METAIS

Outra forma de deformação plástica do reticulado cristalino é a maclagem ou maclação. Em metais cujos cristais tem ligações atômicas não de 90°, é possível a inversão deste ângulo sem a ruptura do reticulado, causando uma deformação plástica.

Ocorre uma mudança do ângulo das ligações atômicas.

(J.A.Freitas Jr.)

A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

### COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO AÇO

Aço - produto siderúrgico, obtido por via líquida, com teor de carbono abaixo de 2 % (alguns autores consideram 1,67 %)

Aços para concreto armado = + - 0,5 % de carbono

Aços "patenting" - fios p/ concreto protendido = + - 0,7 % de carbono

**AÇO = Fe<sub>2</sub> + (0,008 a 2,0%) C**

Adições à liga:

- Mn** - 0,3 % - retira o patamar de escoamento dos aços CA 50
- Mn** - aço manganês 20 a 40 % - resistência ao choque e desgaste
- Cu** - 0,3% - aços patináveis - produtos de corrosão não expansivos
- Cr** (13 a 18,5%) e **Ni** (8 a 20,5%) - aços inoxidáveis

(J.S. Coimbra)

A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

### COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO AÇO

0,15 a 0,40 % Carbono
Arames, chapas, <b>aço CA-50 e CA-60</b>
0,40 a 0,60 % Carbono
Ferramentas, cabos de aço, peças forjadas
0,60 a 0,70 % Carbono
Peças forjadas, trilhos, engrenagens
0,70 a 1,20 % Carbono
Aços para <b>concreto protendido</b> , molas, serras
1,20 a 2,00 % Carbono
Ferramentas de corte

A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

### COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO AÇO

**Teor de Carbono e Microestrutura**

- Austenita**  
temperatura > 720°C  
é a transformação da ferrita por aquecimento lento  
cristais CCC
- Ferrita**  
baixo teor de carbono  
dúctil, baixa resistência Mecânica  
cristais CFC
- Cementita**  
formada quando %C atinge o limite de solubilidade  
Fe<sub>3</sub>C (6,7% Carbono) dura, frágil
- Perlita**  
mistura mecânica de ferrita e cementita

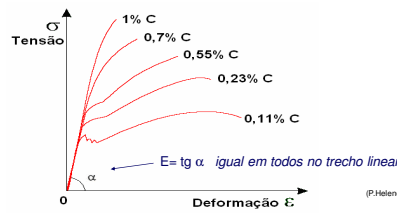


(Prof. Leonardo Miranda)

A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

### COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO AÇO

**Efeitos físicos do % de Carbono:**



Maior % de Carbono

- Maior tensão de escoamento e ruptura
- Menor deformação até a ruptura

(P.Helene)

A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

### COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO AÇO

Ocorrem no diagrama de resfriamento do ferro:  
(já no estado sólido !!)

- 1.539 °C** - Patamar de Solidificação - forma ferro delta (CCC)
- 1.390 °C** - Transformação alotrópica para ferro gama (CFC)
- 910 °C** - Transformação alotrópica para ferro beta (CCC)
- 768 °C** - Transformação para ferro lambda (CCC), perde as propriedades magnéticas (Pto. Curie)

A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

### ESQUEMA DE PRODUÇÃO DO AÇO SIDERÚRGIA



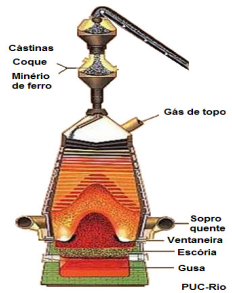

(J.A.Freitas, Jr.)

A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

### ALTO FORNO - Produção de ferro gusa

**Matérias primas:**

- Minério de ferro
- Coque de carvão mineral
- Fundente (cástinas)

(J.S. Coutinho)


A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

### ALTO FORNO - Produção de ferro gusa

**Matérias primas:**

- Minérios de Ferro**
  - Hematita Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 50/60% + usado; mais fácil redução
  - Magnetita Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> 45/70% + rico em Fe; pouco abundante
  - Limonita 2Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·nH<sub>2</sub>O 20/60%
  - Siderita FeCO<sub>3</sub> 30/42%
  - (Pirita) FeS + usado como minério de S; muito dispendioso retirar Fe
- Carvão** → (Coque)
- Fundente**

Cástinas – argila calcária



(PUC-Rio)

A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

### ALTO FORNO - Produção de ferro gusa

**Matérias primas:**

- Minério de ferro

Impurezas silico-aluminosas  
minério ácido

**Alto - forno**

Fundente: calcário  $\text{CaCO}_3$   
Corretor de pH  
**cástinas**

*Cástinas = argila calcária*

$\text{SiO}_2$  Silica  
 $\text{Al}_2\text{O}_3$  alumina



A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

### ALTO FORNO

#### Produção de ferro gusa no alto forno

**3 a 4,5% C**

Minério de Fe → gusa (liga de Fe+C)

**Reações no Alto Forno:**

- Combustão do carvão  $\text{C} \rightarrow \text{CO}$
- Redução dos óxidos de Fe por ação do CO  
Óxidos de Fe → Fe + CO
- Ligação do Fe com C origina ferro gusa  
Fe + C → ferro gusa

(J.S. Coutinho)

A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

### ALTO FORNO



Américo Pinna concreto / ACOS - Lora (du) foto

A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

### ACIARIA – Produção do aço (transforma ferro gusa em aço)

Afinação = redução do teor de carbono C e retirada das impurezas

gusa estado líquido 3 - 4,5% C → Afinação → AÇO bruto 0,03 - 1,20% C

- Quebradiço
- Granuloso
- Pto. fusão ≈ 1180°C (moldável)
- Ferro fundido

Diminui % C, S, Mn, Si, P

Ligas Fe-C

- 6,67% Cementite pura  $\text{Fe}_3\text{C}$
- 1,2% Máximo
- 0,50% mais usados
- 0,03%

(J.S. Coutinho)

A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

### ACIARIA – Conversor (Convertedor) Bessemer

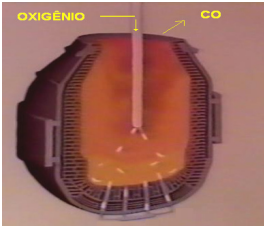
Converte ferro gusa no estado líquido em aço

Injeta oxigênio sob pressão dentro do cadinho com ferro gusa.

$\text{O} + \text{C} \rightarrow \text{CO}$

O monóxido de carbono sai para a atmosfera.

Diminui o teor de carbono, Retira S, Mn, Si, P....

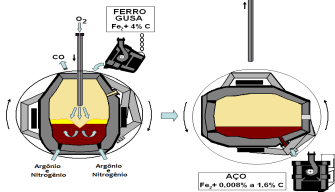


(Kawasaki Steel Corporation)

A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

### ACIARIA – Conversor Bessemer

No conversor reduz-se os teores de carbono e de impurezas como: enxofre e fósforo



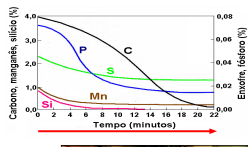
FERRO GUSA  $\text{Fe} \approx 4\% \text{ C}$

ACO  $\text{Fe} \approx 0,0005\% \text{ a } 1,61\% \text{ C}$

Argônio Nitrogênio

Argônio Nitrogênio


(A. Remy, M. Gay e R. Gonthier, 1993)



Carbono, manganês, silício (%)

Fósforo, enxofre (%)

Tempo (minutos)



Conversor da aciaria nº 2 (COSIPA)



A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

### ACIARIA – CONVERSOR ou CONVERTEDOR

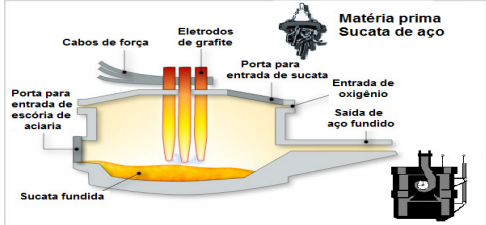


Arquivo: Filmes concreto / AC08 / CST ACIARIA

A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

### ACIARIA – Forno elétrico de arco voltaico

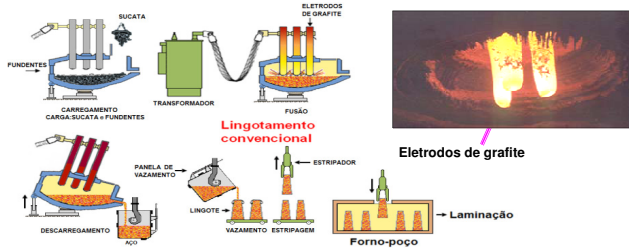
Recicla sucata de aço: Funde a sucata pela passagem de corrente elétrica e a resistividade do metal.



A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

### ACIARIA – Forno elétrico de arco voltaico

Recicla sucata de aço – só por fusão



A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I


### ACIARIA – Forno elétrico de arco voltaico



Arquivo: Filmes concreto / AC08 / Vídeo Elétrico ao Forno (EAF)

A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

### ACIARIA – Forno elétrico de arco voltaico



Arquivo: Filmes concreto / AC08 / EAF Elétrico Ao Forno(01)

A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

### LINGOTAMENTO

Lingotes = elementos brutos primários de aço

### LINGOTAMENTO CONTÍNUO




USIMINAS

Cadinho do conversor vazando e o lingotamento contínuo





A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

### LINGOTAMENTO CONTÍNUO



EAF Producing alloy steel  
Steel Business Briefing

e laminação a quente

Arquivo: Filmes concreto / AÇOS / SBB EAF alloy steel production video. (Cartas Bursa)

A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

### LINGOTAMENTO

Depois de solidificados os lingotes são cortados.



Máquina de lingotamento contínuo (Cosipa)

A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

### LINGOTAMENTO

Depois de solidificados os lingotes são cortados.



Lingote ainda rubro      Lingote resfriado

(Kawasaki Steel Corporation)

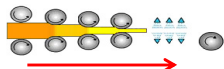
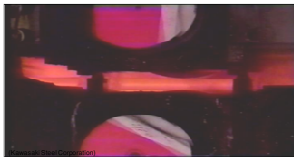
A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

### LAMINAÇÃO A QUENTE

Não ocorre encruamento devido a temperatura.

AÇO – Temperatura > 850 °C

Aço é conformado entre dois cilindros.

Temperatura de entrada: 1250°C      Temperatura de saída: 850°C

laminação a quente

(P.Helene)

A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

### LAMINAÇÃO A QUENTE DE CHAPAS

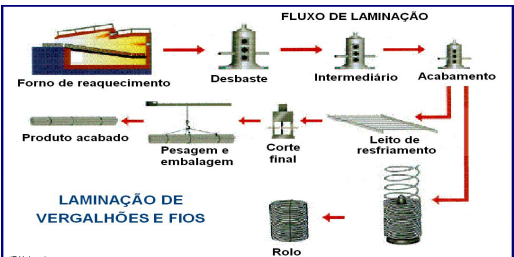


Arquivo: Filmes concreto / AÇOS / LAMINAÇÃO A QUENTE

A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

### LAMINAÇÃO A QUENTE

Aços CA 50 dureza natural - Não encruados



FLUXO DE LAMINAÇÃO

Forno de aquecimento → Desbaste → Intermediário → Acabamento

Leito de resfriamento → Rolo

Produto acabado → Pesagem e embalagem → Corte final

LAMINAÇÃO DE VERGALHÕES E FIOS

(P.Helene)

A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

### LAMINAÇÃO A QUENTE

Efeito da laminação no tamanho dos grãos:

FORNO

A alta temperatura faz com que os grãos retornem ao seu formato e tamanho originais.

Não ocorre o encruamento.

A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

### LAMINAÇÃO A QUENTE DE VERGALHÕES

Aços CA 50 e CA 25 - Não encruados

Laminação de barra de aço para concreto armado.

A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

### LAMINAÇÃO A QUENTE DE VERGALHÕES

Aços CA 50 e CA 25

Laminador para vergalhões

Mossas : Saliências para melhorar a aderência com o concreto

A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

### LAMINAÇÃO A QUENTE DE VERGALHÕES

Aço reciclado e lingotamento contínuo

Fonte: Filmes (concreto) - ACCO - MIT - Proteção e Beton

A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

### LAMINAÇÃO A FRIO DE FIOS

AÇOS: CA 60 e CP - Concreto Protendido

A deformação a frio deforma os cristais e causa encruamento. (ocorre a temperaturas de dezenas de graus centígrados)

DETALHE DA FIEIRA

SEÇÃO DE ENTRADA

SEÇÃO DE SAÍDA

$\varnothing 9,52 \text{ mm}$

$\varnothing 2,00 \text{ mm}$

Laminação a frio

Trefilação a frio

A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

### LAMINAÇÃO A FRIO DE FIOS - Trefilação

AÇOS: CA 60 e CP p/ concreto protendido

Esquema de trefilação

Entalhador

TREFILAÇÃO - À FRIO

A deformação a frio deforma os cristais e causa encruamento.

A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

### LAMINAÇÃO A FRIO DE FIOS - Trefilação

**AÇOS encruados:**  
CA60 e  
CP p/ concreto protendido

A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

### LAMINAÇÃO A FRIO - Linha de trefilação de fios

Série de fleiras de trefilação

(J.S. Coutinho)

Fleira

A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

### TREFILAÇÃO DE FIOS CA 60

Arquivo: Fios encruados - AÇOS / FABRICAÇÃO DE ARAMES CA 60

A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

### ENCRUAMENTO

Deforma os cristais armazenando energia nestes.

Altera as características do aço:

**Físicas:**

- Aumenta o limite de escoamento;
- Aumenta a tensão de ruptura;
- Reduz a deformação até a ruptura;
- Torna o material menos dúctil.

(P.Helena)

**Químicas:**

- Torna o material mais sensível à corrosão. (perde elétrons com mais facilidade)

A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

### TRATAMENTOS TÉRMICOS

**Têmpera** = aquecimento ao rubro, seguido de resfriamento brusco, torna o aço mais duro, com maior resistência mecânica e mais frágil.

Molas de aço temperado

**Cementação** = exposição a altas temperaturas a elevada concentração de carbono para endurecimento da superfície.

Engrenagens endurecidas por cementação

A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

### TRATAMENTOS TÉRMICOS

**Recozimento** = Visa reduzir a dureza do aço encruado e obter uma maior ductilidade. Sob uma atmosfera controlada, o aço é aquecido a temperaturas relativamente baixas (500°C a 900°C) e deixado esfriar lentamente. A estrutura cristalina se modifica, os cristais voltam a ficar cúbicos e os grãos crescem de tamanho.

Arame recozido para montagem de armaduras

A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

**PRODUÇÃO DO AÇO:** **Impacto Ambiental:**

**Reservas – Minério de Ferro:**

- Muito amplas;
- Duração .....

**Consumo de Energia:**

- 60% do custo - coque metalúrgico

**CO<sub>2</sub> – Efeito estufa:**

- **Queima de Combustíveis -**
  - P/ 1 tonelada de aço gera 1 a 2,4 toneladas de CO<sub>2</sub>
  - Média mundial 1,7 toneladas de CO<sub>2</sub>

A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

**PRODUÇÃO DO AÇO:** **Impacto Ambiental:**

**CO<sub>2</sub> – Efeito estufa:**

- **Utilização de cástinas como fundente –**
  - Sem utilização de cástinas - 1,2 toneladas de CO<sub>2</sub>
  - Utilizando cástinas – 2,4 toneladas de CO<sub>2</sub>

**Observações:**

- A utilização de cástinas no Alto Forno gera **ESCÓRIA**
  - Escória -> adição ao cimento substituindo clínquer.
- O aço tem alto índice de reciclagem;
  - Maior parte da produção é a partir de minério de ferro;
  - Brasil recicla 70% do aço produzido anualmente.

A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

**TIPOS DE AÇOS PARA CONCRETO**

**CA = CONCRETO ARMADO**  
**CP = CONCRETO PROTENDIDO**

**Três grupos principais:**

Aços de dureza natural laminados a quente – **CA 50**

Aços encruados a frio – **CA 60**

Aços patenting – **CP**

A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

**AÇOS PARA CONCRETO**

**Características Químicas e físicas**

	Elemento	Aço CA 50	Aço CP
Composição Química (% em peso)	% C	0,25 a 0,50	0,80 a 0,85
	% Mn	0,50 a 1,20	0,45 a 0,90
	% Si	0,40 máx	0,15 a 0,35
	% P	0,050 máx	0,020 máx
	% S	0,050 máx	0,025 máx
Tensão mínima de ruptura do aço laminado (MPa)		550	1100

(Prof. Leonardo Miranda)

A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

**TIPOS DE AÇOS PARA CONCRETO**

**CONCRETO ARMADO**

**CA25, CA50 e CA60**

**CA = Concreto Armado**

25, 50 e 60 – Valor Característico de escoamento

**25** → 25 kgf/mm<sup>2</sup> = 2.500 kgf/cm<sup>2</sup> = 250 MPa ~

**50** → 50 kgf/mm<sup>2</sup> = 5.000 kgf/cm<sup>2</sup> = 500 MPa ~

**60** → 60 kgf/mm<sup>2</sup> = 6.000 kgf/cm<sup>2</sup> = 600 MPa ~

A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

**AÇOS PARA CONCRETO ARMADO**

**Verificação do Diâmetro Ø :**

A verificação é feita medindo-se o peso por unidade de comprimento do vergalhão, considerando uma densidade de 7,85 g/cm<sup>3</sup> para o aço e as tolerâncias das NBR.

Exemplo:

50 cm de um vergalhão CA 50 Ø 12,5 mm

$$S = \frac{\pi \cdot \phi^2}{4} \dots S = 1,2271 \text{ cm}^2$$

Peso por m = 1,2271 x 7,85 x 100 = 963,3 g

Tolerâncias da NBR 7480 ± 7%

Peso por metro entre 905 e 1.021 g

Para 50 cm de vergalhão entre 452,5 e 510,5 g

A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

### AFÇOS PARA CONCRETO ARMADO

**Principais propriedades:**

- Resistência característica de escoamento;
  - Limite de resistência;
  - Alongamento;
  - Dobramento;
- Coeficiente de conformação superficial.

A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

### MONTAGEM DE ARMADURAS DE CONCRETO ARMADO

#### Armazenagem




Os vergalhões não devem ficar em contato direto com o solo, nem expostos às intempéries, por muito tempo para não sofrer quantidade significativa de corrosão.

BELGO

A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

### MONTAGEM DE ARMADURAS DE CONCRETO ARMADO

#### Central de Armaduras



Montagem das armaduras  
Baías de armazenamento  
Dobra  
Bancada de corte

(Aulas USP)

A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

### MONTAGEM DE ARMADURAS DE CONCRETO ARMADO

#### Central de Armadura

#### Equipamentos para corte

Tesoura



Serra com disco de corte



Máquina de corte elétrica e manual

BELGO

A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

### MONTAGEM DE ARMADURAS DE CONCRETO ARMADO

#### Dobra do aço

Dobra manual na bancada



Dobradeira mecânica



Chaves de dobrar aço



BELGO

A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

### TIPOS DE AFÇOS PARA CONCRETO

#### Aços de dureza natural – CA-25 e CA-50

São aços laminados a quente e não sofrem tratamento algum após a laminação.

Suas características elásticas são alcançadas pela composição química adequada com o carbono, manganês, silício e cromo.

Em geral, são caracterizados pela presença no diagrama tensão x deformação de um acentuado patamar de escoamento e grandes deformações de ruptura.



A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

### TIPOS DE AÇOS PARA CONCRETO

#### Aços de dureza natural – CA-25 e CA-50

**GRÁFICO Tensão x Deformação**

TENSÃO  $\sigma$

Resistência

Escoamento

Elástica

Elasto-plástica

Plástica

DEFORMAÇÃO  $\epsilon$

A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

### TIPOS DE AÇOS PARA CONCRETO

#### Aços de dureza natural – CA-25 e CA-50

**CA-50**  
Ø ≥ 10 mm com moedas

**CA-25**  
vergalhões lisos

A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

### TIPOS DE AÇOS PARA CONCRETO

#### Aços de dureza natural – CA-25 e CA-50

**NBR 7480: 2007**

Bitola (mm)	polegadas	CA 25 e CA 50 Pesos Lineares (kg/m)		
		Mínimo	Nominal	Máximo
6,3	1/4"	-7%	0,245	+7%
8	5/16"	-7%	0,395	+7%
10	3/8"	-6%	0,617	+6%
12,5	1/2"	-6%	0,963	+6%
16	5/8"	-5%	1,578	+5%
20	3/4"	-4%	2,466	+4%
25	1"	-4%	3,853	+4%
32	1 1/4"	-4%	6,313	+4%

Comprimento usual das barras é de 12 m com tolerância de + -1%.

A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

### TIPOS DE AÇOS PARA CONCRETO

#### Aços de dureza natural – CA-50

**BELGO**

Propriedades mecânicas do CA 50					
Ensaio à Tração (valores mínimos)			Ensaio de Dobramento a 180°	Aderência	
Resistência característica de escoamento (A) $f_y$ (MPa) (E)	Limite de Resistência (B) $F_{0,2}$ (MPa) (E)	Alongamento em 10 Ø (C) (%)	Diâmetro de pino (mm) (D)		Coeficiente de conformação superficial mínimo para Ø ≥ 10mm $\mu$
			Ø < 20	Ø ≥ 20	
500	1,08 $f_y$	8	3 Ø	6 Ø	1,5

**NBR 7480: 2007**

A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

### TIPOS DE AÇOS PARA CONCRETO

#### Aços encruados "a frio" – CA-60

**Encruamento:**  
Aumenta a resistência, diminui a tenacidade.  
Alongamento na ruptura cai de 20% p/ 6 a 8%.  
Encrua-se CA-25 / CA-32 que se transformam em CA-60.

**Processos de encruamento:**

- Trefilação** - compressão diametral do fio por passagem pela fierra, mas o efeito da tração elevada.
- Tração** - torção combinada com tração.
- Compressão** - as deformações produzidas no material, são feitas em duas direções perpendiculares que achatam os grãos.

A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

### AÇOS PARA CONCRETO

#### Tratamentos dos aços para concreto CA 60

#### TREFILAÇÃO

Tratamento que causa encruamento a frio do aço.  
Aumenta o limite elástico do material e reduz a ductilidade.

ZONA DE DEFORMAÇÃO PLÁSTICA

MOVIMENTO DO FIO

$\sigma_1$  TENSÃO DE TRAÇÃO

$\sigma_2$  TENSÃO DE COMPRESSÃO

Passagem do fio pela fierra

(Prof. Leonardo Miranda)

A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

### TIPOS DE AÇOS PARA CONCRETO

#### Aços encruados "a frio" – CA-60

Gráfico tensão x deformação semi patamar definido e indicação de 0,2 e 0,5%

O  $f_y$  é convencional, corresponde a 0,2% de deformação plástica residual ou 0,5% de deformação total (usa-se o menor  $f_y$  dos dois).

A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

### TIPOS DE AÇOS PARA CONCRETO

#### Aços encruados "a frio" – CA-60

Bitola (mm)	CA 60		
	Pesos Lineares (kg/m)		
	Mínimo	Nominal	Máximo
	- 6%	0%	+ 6%
4,2	0,102	0,109	0,115
5,0	0,145	0,154	0,163
6,0	0,209	0,222	0,235
7,0	0,284	0,302	0,320
8,0	0,371	0,395	0,418
9,5	0,523	0,558	0,589

Comprimento usual das barras é de 12 m com tolerância de 1%.  
Podem ser fornecidos em rolos com cerca de 2.000 m

A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

### TIPOS DE AÇOS PARA CONCRETO

#### Aços encruados "a frio" – CA-60

Propriedades mecânicas do CA 60					
Ensaio à Tração (valores mínimos)			Ensaio de dobramento a 180°		Aderência
Resistência característica de escoamento (A) $f_{yk}$ (MPa) (E)	Limite de Resistência (B) $f_{yk}$ (MPa) (E)	Alongamento em 10 $\phi$ (C) (%)	Diâmetro de pino (mm) (D)		Coeficiente de conformação superficial mínimo para $\phi$ 10mm $\eta$
600	1,05 $f_{yk}$	5	$\phi < 20$	$\phi \geq 20$	
			5 $\phi$	-	1,5

A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

### TIPOS DE AÇOS PARA CONCRETO

#### Aços encruados "a frio" – CA-60

CA-60 em rolo e em barras

A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

### TIPOS DE AÇOS PARA CONCRETO

#### Aços para concreto protendido – "patenting"

Os aços patenting são fios submetidos a processos de tratamento térmico após o seu encruamento a frio por trefilação.

O material, após decaagem em banho de ácido, é trefilado em feiras ao diâmetro desejado, por uma ou mais passagens.

P/ alívio de tensões, reaquece-se e resfria-se rapidamente o fio, em banho de chumbo líquido para não perder o encruamento.

Tratamento de estabilização

Tração (alívio de tensões) + trat. Térmico (J.S.Coutinho)

A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

### TIPOS DE AÇOS PARA CONCRETO

#### Aços para concreto protendido – "patenting"

Composição química (NBR-7482/90):

0,60 a 0,90% de C      0,5 a 0,9% de Mn  
0,1 a 0,35% de Si      Max. 0,05 % de S  
Max. 0,05 % de P.

Bitolas mais comuns são de 3,5 a 9 mm.

Difícil a produção de fios de aço com  $\phi > 7$  mm.  
P/ grandes cargas cordoalhas compostas de 2, 3 ou 7 fios.

2 fios      3 fios      7 fios



A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

**AÇOS PARA CONCRETO PROTENDIDO**

Tratamentos dos aços para concreto protendido

**ALÍVIO DE TENSÕES**

Banho do aço em chumbo líquido, formando um aço de relaxação normal (RN).  
 Reduz as tensões residuais da trefiliação  
 Aquecimento a 400°C e resfriamento, evitando a recristalização do material.  
 Aumenta o limite elástico e ductilidade tornando o fio retilíneo.

(Prof. Leonardo Miranda)

A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

**AÇOS PARA CONCRETO PROTENDIDO**

Tratamentos dos aços para concreto protendido

**ESTABILIZAÇÃO**

Alternativa em relação ao alívio de tensões. Tratamento termo-mecânico  
 Aço submetido a uma tensão de tracionamento de 45% da carga de ruptura, juntamente com o aquecimento do fio a 370°C.  
 Aumenta o limite elástico e a resistência à tração  
 Reduz a relaxação do aço de 1/3 a 1/5 das obtidas com o tratamento de alívio de tensões, classificando-os como de relaxação baixa (RB)

(Prof. Leonardo Miranda)

A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

**TIPOS DE AÇOS PARA CONCRETO**

**Aços para concreto protendido – “patenting”**



Rolos de fios  
 Cordoalhas de 7 fios

Fios e cordoalhas para CP são muito sensíveis à corrosão, devem ser armazenados em local coberto, caso molhados, devem ser desbobinados e enxutos.

A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

**TIPOS DE AÇOS PARA CONCRETO**

**Fios aliviados (RN)**

Propriedades:  
 Valor mínimo da tensão a 1% de alongamento ou do limite a 0,2% de deformação permanente é de 85% do limite de resistência mínimo especificado.

O alongamento após a ruptura em 10 Ø mínimo:  
 CP-150 RN = 6% CP-160 RN = 5% CP-170 RN = 5%

Módulo de elasticidade médio é de 210 GPa (21.000 kgf/mm<sup>2</sup>).

Perda máxima por relaxação após 1.000 h a 20 °C é de:  
 5% para tensões de 70% do limite de resistência mínima  
 8,5% para tensões de 80% do limite de resistência mínima

A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

**TIPOS DE AÇOS PARA CONCRETO**

**Fios de relaxação baixa (RB) (estabilizados)**

Propriedades:  
 O valor mínimo da tensão a 1% de alongamento ou do limite a 0,2% de deformação permanente é de 90% do limite de resistência mínimo especificado.

O alongamento sobre a carga em 600 mm é de no mínimo 3,5%.

Módulo de elasticidade médio é de 210 GPa (21.000 kgf/mm<sup>2</sup>).

Perda máxima por relaxação após 1.000 h a 20°C é de:  
 2% para tensões de 70% do limite de resistência mínima  
 3% para tensões de 80% do limite de resistência mínima

Maiores resistências à fadiga e corrosão que os aços RN

A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

**TIPOS DE AÇOS PARA CONCRETO**

**Cordoalhas de relaxação normal (RN)**

Propriedades: (com fios aliviados)

O valor mínimo da tensão a 1% de alongamento ou do limite a 0,2% de deformação permanente é de 85% do limite de resistência mínimo especificado.

O alongamento sobre a carga em 600 mm é de no mínimo 3,5%.

Módulo de elasticidade médio é de 195 GPa (19.500 kgf/mm<sup>2</sup>).

Perda máxima por relaxação após 1.000 h a 20°C é de:  
 7% para tensões de 70% do limite de resistência mínima;  
 12% para tensões de 80% do limite de resistência mínima

A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

## TIPOS DE AÇOS PARA CONCRETO

### Cordoalhas de relaxação baixa (RB)

Propriedades: (com fios estabilizados)

O valor mínimo da tensão a 1% de alongamento ou do limite a 0,2% de deformação permanente é de 90% do limite de resistência mínimo especificado.

Alongamento sobre a carga em 600 mm é de no mínimo 3,5%.

Módulo de elasticidade médio é de 195 GPa (19.500 kgf/mm<sup>2</sup>).

Perda máxima por relaxação após 1.000 h a 20°C é de:

- 2,5% para tensões de 70% do limite de resistência mínima
- 3,5% para tensões de 80% do limite de resistência mínima


Maiores resistências à fadiga e corrosão que os aços RN.

A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

## TIPOS DE AÇOS PARA CONCRETO

### Aços para concreto protendido – “patenting”

Tensão Inicial	$\psi$	Classe de Relaxação	
		Relaxação Normal	Relaxação Baixa
$\sigma_{pi} = 0,60 f_{psk}$	$\psi_{60}$	4,5%	1,5%
$\sigma_{pi} = 0,70 f_{psk}$	$\psi_{70}$	7,0%	2,5%
$\sigma_{pi} = 0,80 f_{psk}$	$\psi_{80}$	12,0%	3,5%



A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

## TIPOS DE AÇOS PARA CONCRETO

### Aços para concreto protendido – “patenting”

#### DESIGNAÇÃO DE FIOS

**CP 150 RN 7**

- ← Diâmetro do fio (7mm)
- ← RN Relaxação normal (alívio de tensões) e RB significa relaxação baixa (estabilização)
- ← Tensão nominal de ruptura 1500 MPa – 150; 160 e 170 (1500 MPa = 150 kgf/mm<sup>2</sup>)
- ← Concreto protendido

A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

## TIPOS DE AÇOS PARA CONCRETO

### Aços para concreto protendido – “patenting”

#### DESIGNAÇÃO DE CORDOALHAS

**CP 175 RB 12,7**

- ← Cordoalha de 7 fios Diâmetro nominal 12,7mm (7,9; 9,5; 11; 12,7; 15,2mm)
- ← RB Relaxação Baixa (estabilização) e RN significa relaxação normal (alívio de tensões)
- ← Tensão nominal de ruptura 1750 MPa – 175 e 190 (1750 MPa = 175 kgf/mm<sup>2</sup>)
- ← Concreto protendido

A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

## TIPOS DE AÇOS PARA CONCRETO

### Aços para concreto protendido – “patenting”

#### DESIGNAÇÃO DE CORDOALHAS

**CP 180 RN 3x2,5**

- ← Cordoalha de 3 Fios de diâmetro 2,5mm podem ser 2 ou 3 fios com vários diâmetros (2; 2,5; 3 ou 3,5mm)
- ← RN relaxação normal (alívio de tensões)
- ← Tensão nominal de ruptura - 1800 MPa (1800 MPa = 180 kgf/mm<sup>2</sup>)
- ← Concreto protendido

A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

## TIPOS DE AÇOS PARA CONCRETO

### Aços para concreto protendido – “patenting”

#### Cordoalhas engraxadas

Cordoalhas de 7 fios c/ revestimento, impermeável à água, extrudado diretamente sobre a cordoalha, já engraxada, que permite livre movimentação da cordoalha em seu interior.




BELO

Não necessita de bainha, possibilita peças protendidas com menor altura, como lajes.

A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

### TIPOS DE AÇOS PARA CONCRETO

Aços para concreto protendido – "patenting"

**Cordoalhas engraxadas**

A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

### CONCRETO PROTENDIDO

**Cordoalhas engraxadas**

Representação esquemática de um cabo de monocordoalha engraxada em corte longitudinal

Protensão com cordoalha engraxada

A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

### CONCRETO PROTENDIDO

**Cordoalhas engraxadas**

Montagem típica de uma laje com monocordoalha

Corte da ancoragem fundida

Fôrmas plásticas 4 cm x 90° 5 ou 6,5 cm x 90°

A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

### CONCRETO PROTENDIDO

**Cordoalhas engraxadas**

Lajes protendidas permitem estruturas sem vigas

**BELGO**

A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

### Protensão com cordoalhas engraxadas

**BELGO**

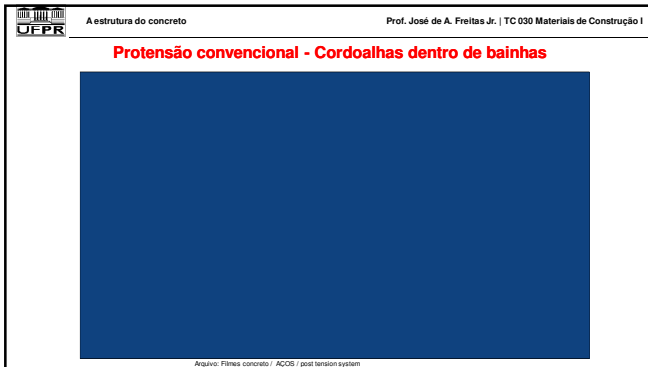
Arquivo: Filmes concreto / AÇOS / Protendido 2

A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

### CONCRETO PROTENDIDO- Sistema convencional

**Cordoalhas/Fios dentro de bainhas**

Esquema de protensão convencional de cordoalhas aderentes com bainha



A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

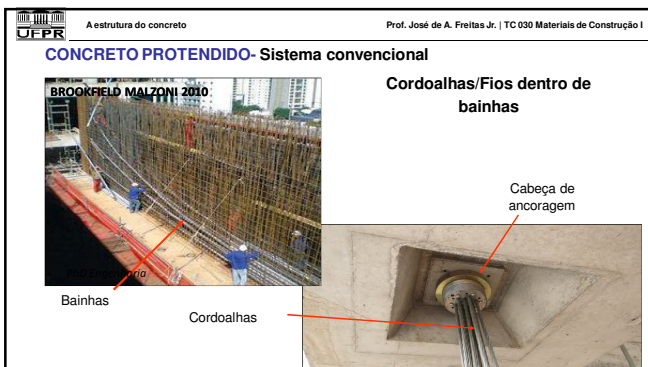
**CONCRETO PROTENDIDO- Sistema convencional**

**Cordoalhas/Fios dentro de bainhas**

**CARACTERÍSTICAS DAS CORDOALHAS DE AÇO CP 190 PARA PROTENSÃO ADERENTE**

ESPECIFICAÇÃO	Ø 12,7 mm ou Ø 1/2"	Ø 15,2 mm ou Ø 5/8"
Dímetro nominal da cordoalha *	12,7 mm	15,2 mm
Área nominal da seção de aço da cordoalha (valor recomendado para cálculo estrutural) *	100,9 mm <sup>2</sup>	143,4 mm <sup>2</sup>
Massa nominal *	0,792 kg/m	1,126 kg/m
Carga de ruptura mínima *	18.730 kgf = 187,30 kN	26.580 kgf = 265,80 kN
Carga a 1% de deformação mínima *	16.860 kgf = 168,60 kN	23.920 kgf = 239,20 kN
Relaxação após 1.000h *	3,5%	3,5%
Módulo de elasticidade **	202 kN/mm <sup>2</sup> , +/- 3%	202 kN/mm <sup>2</sup> , +/- 3%

\* Conforme NBR 7483/2004 \*\* Conforme NBR 7483/2004 este valor é fornecido pelo fabricante. (Fornecido BELGO 2003).





A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

**CONCRETO PROTENDIDO- Sistema convencional**  
Cordoalhas/Fios dentro de bainhas

EDIFÍCIO HUMBERTO DE ALENCAR CASTELO BRANCO

Museu Oscar Niemeyer Curitiba - PR

A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

**CONCRETO PROTENDIDO- Sistema convencional**  
Cordoalhas/Fios dentro de bainhas

Ancoragens

Posicionamento do macaco para protensão

A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

**CONCRETO PROTENDIDO- Sistema convencional**  
Cordoalhas/Fios dentro de bainhas

Laje com protensão aderente, no detalhe, seção transversal de um corpo-de-prova de ensaio de aderência.

A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

**CONCRETO PROTENDIDO- Sistema convencional**

A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

**CONCRETO PROTENDIDO- Sistema convencional**

Equipamento para mistura e injeção da calda de cimento

Fundamental para a durabilidade

A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

**CONCRETO PROTENDIDO - Pré-moldados**

Os fios de protensão são colocados e tensionados antes da concretagem.

Após o endurecimento do concreto aplicado as peças são cortadas conforme as necessidades de comprimento.

Com o corte o fio tracionado comprime o concreto por aderência.

Pista de concretagem de estacas protendidas com os fios já tensionados

VSL

A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

**CONCRETO PROTENDIDO - Pré-moldados**



Estacas protendidas já cortadas

Pista com laje alveolar concretada

A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

**Protensão em pré-moldados**



Arquivo: Filmes concreto / ACOS / Pre-stressed Wall

A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

**EMENDAS EM AÇOS PARA CONCRETO ARMADO**

**Justificativas para uso:**

- Aproveitamento de sobras.
- Redução da taxa de armaduras, para melhor concretagem.
- Restauração de peças de CA ou de esperas danificadas.

As emendas em armaduras, sempre devem ter resistência à tração igual ou superior a das barras originais. NBR-8548/84.

**Tipos de emendas:**

- Emendas por soldas
  - Caldeamento (para aproveitamento de sobras)
  - Solda elétrica a arco (razões técnicas)
- Emendas com dispositivos mecânicos (razões técnicas)

A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

**EMENDAS EM AÇOS PARA CONCRETO ARMADO**

**Solda elétrica por resistência:**  
(caldeamento por resistência elétrica de topo)

Aplicada em peças de aço, (não esperas)  
Viável para bitolas  $\geq 10$  mm.

Coloca-se as barras em máquina própria que pressiona os dois topos um contra o outro.

Aplica-se uma corrente elétrica, aquecendo os topos até um estado pastoso que após o resfriamento une-os firmemente.

- Solda simples, confiável e barata.
- Usada para aproveitamento de sobras.

A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

**EMENDAS EM AÇOS PARA CONCRETO ARMADO**

**Solda elétrica por resistência: (caldeamento)**



(Andrade, José L. M.; Secco, Arnaldo M. R.)

(José A. Freitas Jr.)

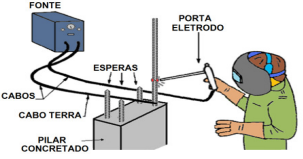
Uso para aproveitamento de sobras.

A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

**EMENDAS EM AÇOS PARA CONCRETO ARMADO**

**Solda elétrica a arco, com eletrodos revestidos :**

- Pode ser aplicada em esperas.
- Aplicação manual de eletrodos de aço revestidos.
- Custo maior que por caldeamento.
- Uso para minimizar taxas de armaduras.
- Aplicação mais demorada que dispositivos mecânicos.
- Custo mais baixo que dispositivos mecânicos.



(J. A. Freitas Jr.)

A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

### EMENDAS EM AÇOS PARA CONCRETO ARMADO

**Solda elétrica a arco, com eletrodos revestidos :**

Pelo topo em barras com diâmetros  $\geq 16$  mm (cortes em  $60^\circ$  nas extremidades das barras e preenchendo as laterais com o eletrodo)

Uso para minimizar taxas de armaduras

Plano de soldas para minimizar a redução da seção livre para a passagem do concreto.

A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

### EMENDAS EM AÇOS PARA CONCRETO ARMADO

**Emendas com dispositivos mecânicos :**

Alto custo mas muito práticas (rápida aplicação)  
Uso limitado as barras  $\geq 20$  mm.  
Feita por luvas fixadas mecanicamente.

Uso para minimizar taxas de armaduras

A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

### EMENDAS EM AÇOS PARA CONCRETO ARMADO

**Emendas com dispositivos mecânicos :**

Prensa hidráulica para fixação dos dispositivos

Dispositivos mecânicos para emenda de barras

A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

### Luva para emenda de vergalhões

Fonte: Filmes concreto / ACOS - Luva em vergalhão de aço

A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

### TIPOS DE RUPTURA ESPECIAIS

#### FLUÊNCIA

O metal é solicitado por uma carga, imediatamente sofre uma deformação elástica e, num curto período de tempo, ocorrem ajustamentos plásticos adicionais no ponto de tensão ao longo dos contornos de grãos e defeitos.

Formas:

- Sob tensão constante – ocorre um alongamento.
- Sob comprimento constante – ocorre uma relaxação da tensão.

(P.Helene)

A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

### TIPOS DE RUPTURA ESPECIAIS - FLUÊNCIA

**Exemplo: Relaxação de tensão**

Cordoalhas em **concreto protendido**, com o tempo, sob comprimento constante, ocorre uma relaxação da tensão (perda de tensão).

Regiões onde as fissuras iniciam no caso do aparecimento de tração no concreto.

Se a relaxação não for previamente compensada por um acréscimo na carga inicial de protensão, podem vir a surgir tensões de tração no concreto que provavelmente levarão a estrutura à falência.




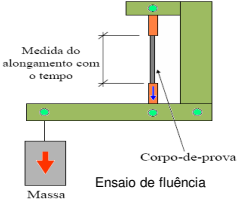
A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

### TIPOS DE RUPTURA ESPECIAIS - FLUÊNCIA

Exemplo: **Deformações lentas de alongamento**

Tirantes, com o tempo, sob tensão constante (principalmente sob tensões elevadas), sofrem deformações de alongamento que se não previstas podem levar a sua ruptura.

Tirantes

Medida do alongamento com o tempo

Corpo-de-prova

Ensaio de fluência

Massa

(J. S. Coutinho)

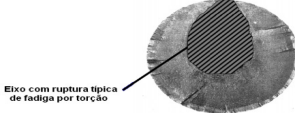
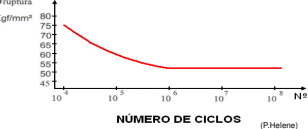
A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

### TIPOS DE RUPTURA ESPECIAIS

#### FADIGA

A tensão que um material pode suportar ciclicamente é muito menor que a suportável em condições estáticas.

A resistência de escoamento é uma medida da tensão estática sob a qual o material resiste sem deformação permanente, pode ser usada como um guia apenas para estruturas que operam em condições de carregamento estático.

σruptura Kg/mm²

NÚMERO DE CICLOS

(P.Helena)



(J. S. Coutinho)

A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

### TIPOS DE RUPTURA ESPECIAIS

#### FADIGA

Torcidas de futebol em estádios, com movimentos sincronizados assim como pontes e viadutos ferroviários, são exemplos onde os esforços decorrentes de cargas cíclicas são significativos em relação ao carregamento permanente. Nestas situações é possível a ocorrência de fadiga nos vergalhões.

(J. S. Coutinho)

A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

### CRITÉRIOS DE ACEITAÇÃO DE AÇO PARA ESTRUTURAS DE CONCRETO

NBR-7480/85 - ensaios para aceitação ou rejeição de um lote de aço.

A amostragem:

Lotes de 500 kg por bitola - CA-25 e CA-32, 300 kg p/ demais categorias.

De cada lote separa uma barra, e extrai um segmento de 2 m.

Da-se a aceitação do lote quando todos os ensaios forem satisfatórios.

Com resultados insuficientes, a barra da amostra é rejeitada. Para eventual aceitação do lote, serão retiradas amostras de duas novas barras como corpo de contra-prova.

O lote será aceito se resultados forem suficientes, se não o lote será rejeitado. Se mais de 20% dos lotes forem rejeitados, o fornecimento total será rejeitado ou desclassificado para categoria inferior.

A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

### PRINCIPAIS ENSAIOS

#### Determinação das propriedades mecânicas à tração de materiais Metálicos - NBR-6152/80 (MB-4/77).

Para obter a curva tensão x deformação de um aço, assim como medir o módulo de elasticidade ou módulo de deformação longitudinal Es



(J. S. Coutinho)

A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

### Ensaio à tração em aço



Arquivo: Filmes concreto / AC08 / Tração aço

UFPR A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

### PRINCIPAIS ENSAIOS

#### Determinação das propriedades mecânicas à tração de materiais Metálicos - NBR-6152/80 (MB-4/77).

Para obter a curva tensão x deformação de um aço, assim como medir o módulo de elasticidade ou módulo de deformação longitudinal  $E_s$

**AÇO - CA-50** **AÇO - CA-60**

NBR-6152/80

UFPR A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

### PRINCIPAIS ENSAIOS

#### Determinação das propriedades mecânicas à tração de materiais Metálicos - NBR-6152.

Categoria	Resistência característica do aço à tração $f_y$		Tensão de Ruptura	Alongamento em 10 diâmetros
	MPa	Kg/cm <sup>2</sup>		
CA-24	240	2.400	1,3 x $f_y$	18 %
CA-32	320	3.000	1,3 x $f_y$	14 %
CA-40	400	4.000	1,1 x $f_y$	10 %
CA-50	500	5.000	1,08 x $f_y$	8 %
CA-60	600	6.000	1,05 x $f_y$	5 %

**Determinação do Alongamento**

Alongamento (%) =  $\frac{L_f - L_0}{L_0} \times 100$

UFPR A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

### PRINCIPAIS ENSAIOS

#### Determinação das propriedades mecânicas à tração de materiais Metálicos - NBR-6152/80 (MB-4/77).

**AÇO - CA-50** **Diagrama Real** **Diagrama de cálculo**

NBR-6152/80

UFPR A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

### PRINCIPAIS ENSAIOS

#### Determinação das propriedades mecânicas à tração de materiais Metálicos - NBR-6152/80 (MB-4/77).

**AÇO - CA-60** **Diagrama Real** **Diagrama de cálculo**

NBR-6152/80

UFPR A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

### PRINCIPAIS ENSAIOS

#### Ensaio de dobramento :

Obedece a NBR-6153/80, consiste em efetuar um dobramento de 180° em torno de um cutelo de diâmetro prefixado.

A amostra deve suportar o dobramento sem ruptura ou fissuração.

Não podem surgir fissuras nas regiões traçadas do vergalhão BELGO

Bitola a dobrar	Diâmetro mínimo do pino por categoria		
	CA 25	CA 50	CA 60
- menor que 20mm	2 $\phi$	3 $\phi$	5 $\phi$
- igual ou maior que 20mm	4 $\phi$	6 $\phi$	-

$\phi$  = Diâmetro Nominal CA50 32mm e maior, diâmetro do pino 8  $\phi$

UFPR A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

### PRINCIPAIS ENSAIOS

#### Ensaio de relaxação isotérmica:

Para os aços para concreto protendido, obedece NBR-7484/91.

Não é um ensaio comum de recebimento, é importante para o estudo da fluência.

É a perda de carga ocorrida em um corpo de prova submetido a uma carga inicial dada e mantido a comprimento e temperatura constantes.

Expressa em % da carga inicial para uma determinada temperatura e duração.

**Ensaio de relaxação 1.000 h**

RB = ESTABILIZADO  
RN = ALIVADO DE TENSÕES

A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

**TIPOS DE AÇOS PARA CONCRETO**

**Ensaio de determinação do coeficiente de conformação superficial (aderência):**

Avalia a aderência da barra e do fio de aço ao concreto pelo espaçamento de fissuras.

Comparativo entre a barra nervurada e a barra lisa.  
Não é ensaio de recebimento.

NBR 7477

Altura média das nervuras transversais

h	$\phi$
0,04 $\phi$	$\geq 10$ mm
0,02 $\phi$	< 10 mm

Diagram labels: Eixo da barra, Nervura Longitudinal, Nervura Transversal, 45°, 0,5 x 0,5  $\phi$ , BELGO, 30

A estrutura do concreto Prof. José de A. Freitas Jr. | TC 030 Materiais de Construção I

**Materiais de Construção**

**AÇOS PARA CONCRETO**

**Referências Bibliográficas:**

Apostila USP – AÇOS, Prof. Paulo R. do Lago Helene

BT/PCC 256 - Produção e Obtenção de barras e fios de aço para concreto armado, Oswaldo Cascudo e Paulo R. do Lago Helene

Metais e Ligas – Joana Souza Coutinho - (jcouti@fe.up.pt)

[www.belgomineira.com.br](http://www.belgomineira.com.br)

[www.vsl-intl.com](http://www.vsl-intl.com)