

**Universidade de São Paulo
Escola de Engenharia de São Carlos
Departamento de Arquitetura e Urbanismo**

**Grupo de Pesquisa ArqTeMa – Arquitetura, Tecnologia e Materiais
(AÇOS PARA CONCRETO)**



Eduvaldo Paulo Sichieri (Coordenador)

Javier Mazariegos Pablos (Supervisor)

João Adriano Rossignolo

Osny Pellegrino Ferreira

Rosana Caram



**São Carlos, 2005
Código 08037**

1. INTRODUÇÃO	3
2. BARRAS E FIOS DE AÇO DESTINADOS A ARMADURAS PARA CONCRETO ARMADO: NBR 7480 (EB-3)	4
3. AÇO SOLDÁVEL PARA CONCRETO ARMADO	10
4. ENSAIOS MECÂNICOS PARA BARRAS E FIOS DE AÇO DESTINADOS A ARMADURAS PARA CONCRETO ARMADO.	11
4.1 Determinação das propriedades mecânicas à tração de barras e fios de aço: NBR 6152 (MB-4)	11
4.1.1 Diâmetro efetivo: determinação através da medida da massa	11
4.1.2 Determinação da curva tensão x deformação	12
4.2 Ensaio de dobramento de barras e fios de aço: NBR 6153 (MB- 5)	15
4.3 Determinação do coeficiente de conformação superficial de barras e fios de aço: NBR 7477 (MB 1021)	16
4.3.1 Cálculo do coeficiente de conformação superficial	18
5. FIOS DE AÇO PARA CONCRETO PROTENDIDO: NBR 7482 (EB-780)	19
6. FLUÊNCIA DOS AÇOS (TIPO DE RUPTURA ESPECIAL)	25
7. FIO, BARRA E CORDOALHA DE AÇO PARA ARMADURAS DE PROTENSÃO – ENSAIO DE TRAÇÃO: NBR 6349 (MB-864)	29
8. ARAMES DE AÇO – ENSAIO DE DOBRAMENTO ALTERNADO: NBR 6004 (MB 782)	30
9. FIOS, BARRAS E CORDOALHAS DE AÇO DESTINADOS A ARMADURA DE PROTENSÃO – ENSAIO DE RELAXAÇÃO ISOTÉRMICA: NBR 7484 (MB-784)	30
10. CORDOALHAS DE AÇO PARA CONCRETO PROTENDIDO: NBR 7483 (EB781)	31
11. TELAS DE AÇO SOLDADAS - ARMADURA PARA CONCRETO NBR 7481 (EB565)	38
12. ENSAIO DE RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO NAS JUNTAS DE TELAS SOLDADAS DESTINADAS A CONCRETO ARMADO – NBR 5916 (MB 776)	48
13. BIBLIOGRAFIA	49

1. INTRODUÇÃO

Por aço para concreto armado entende-se todos os aços adequados à utilização como armadura nas peças de concreto. Necessitam desenvolver aderência perfeita e total com o material envolvente, no caso o concreto, a fim de que deste trabalho solidário resulte uma estrutura de melhor característica, resistente e durável. O concreto armado empregado por Lambot e difundido por Monier, a partir de 1849, na França, continua sendo o material mais empregado pelo homem em construções civis, devido às suas inúmeras vantagens, tais como: resistência mecânica, durabilidade, fácil montagem e segurança contra fogo.

O concreto protendido, idealizado por Döhning e estudado por Koenen e Mörsch, na Alemanha, a partir de 1888, representa uma evolução em relação ao concreto armado, principalmente porque neste caso o concreto não é tracionado. Portanto, como aço para concreto protendido entende-se todos os aços adequados a essa protensão do concreto. Se diferenciam dos aços para concreto armado por sua resistência à tração, consideravelmente mais alta.

Existem vários tipos de aço para armar ou protender, que se distinguem por suas características geométricas, pelo tipo de fabricação e pela forma e dimensão da seção transversal. Todo arquiteto, engenheiro civil, ou de qualquer outra especialidade necessita conhecer os materiais que lhe são disponíveis comercialmente. Qualquer que seja o seu produto, uma casa, uma ponte ou uma barragem, é necessário o conhecimento profundo do comportamento químico, físico e mecânico dos materiais que serão utilizados. Esse comportamento, particular a cada material, é decorrente de sua microestrutura. Portanto, ao conhecermos o fundamento desse comportamento, poderemos prever as

suas propriedades e entender as suas patologias. Este conhecimento é essencial e configura-se na ferramenta que impulsiona a tecnologia a desenvolver novos produtos e a corrigir as falhas e deficiências dos existentes.

Torna-se necessário, portanto, esclarecer que o presente texto é complementar da apostila "Materiais de Construção II (O Aço na Arquitetura e na Construção Civil)", realizado pelo Grupo de Pesquisa ArqTeMa do Departamento de Arquitetura e Urbanismo – EESC/USP, 2004; na qual encontram-se os conceitos e conhecimentos necessários para um melhor entendimento do material Aço.

2. BARRAS E FIOS DE AÇO DESTINADOS A ARMADURAS PARA CONCRETO ARMADO: NBR 7480 (EB-3)

Esta especificação da ABNT classifica os aços para concreto armado em barras e fios. As barras são os produtos com diâmetro nominal maior ou igual a 5,0 mm, obtidos exclusivamente por laminação a quente. Os fios são aqueles com diâmetros nominais menores ou iguais a 10,0 mm, obtidos por trefilação ou processo equivalente (estiramento por exemplo).

De acordo com o valor característico da resistência de escoamento, as barras de aço são classificadas nas categorias CA-25 e CA-50, e os fios de aço na categoria CA-60. A sigla CA significa "Concreto Armado" e os números destas categorias indicam a resistência característica dos aços à tração (f_y) em kgf/mm². A resistência de escoamento das barras e fios de aço pode ser caracterizada por um patamar no diagrama tensão x deformação ou calculada pelo valor de tensão sob carga correspondente a deformação permanente de 0,2% (ou 0,5%).

Quanto à identificação, todas as barras nervuradas devem apresentar marcas de laminação em relevo, identificando o produtor,

com registro no INPI, a categoria do material e o respectivo diâmetro nominal. A identificação das barras lisas deve ser feita por etiqueta ou marcas em relevo.

As barras e os fios são fornecidos em feixes ou rolos com massa especificada ou não, conforme acordo mútuo entre produtor e comprador.

A NBR 7480 prescreve as seguintes condições especificadas para barras e fios de aço destinados a armaduras de concreto armado:

- a) Requisitos de propriedades mecânicas de tração: os valores mínimos da resistência característica de escoamento (f_y), do limite de resistência (f_{st}) e de alongamento são indicadas na tabela 2;
- b) Requisitos de propriedades mecânicas de dobramento: o corpo-de-prova deve ser dobrado a 180° , em pino com diâmetro conforme tabela 2, sem ocorrer ruptura ou fissuração da zona tracionada;
- c) Características complementares: são requisitos relativos às propriedades de aderência. As barras e fios de diâmetro nominal maior ou igual a 10,0 mm devem apresentar as propriedades de aderência exigidas para a categoria correspondente, definidas pelos coeficientes de conformação superficial (η) conforme tabela 2. As barras de categorias CA-50 são obrigatoriamente providas de nervuras transversais ou oblíquas. Os fios (CA-60) de diâmetro nominal igual a 10,0mm, quando solicitado, devem ter obrigatoriamente entalhes ou nervuras, de forma a atender o valor mínimo do coeficiente de conformação superficial (η).
- d) Soldabilidade: deve atender as prescrições fornecidas pela NBR 8965 e NBR 6118.

As características geométricas das barras e fios estão indicadas na tabela 1.

TABELA 1 – Características de fios e barras de aço (NBR 7480)

Diâmetro nominal (^A) (mm)		Massa e tolerância por unidade de comprimento (kg/m)					Valores nominais	
Fios	Barras	Massa mínima -10%	Massa mínima -6%	Massa nominal(^B)	Massa máxima +6%	Massa máxima +10%	Área da seção (mm ²)	Perímetro (mm)
2,4	-	-	0,034	0,036	0,038	-	4,5	7,5
3,4	-	-	0,067	0,071	0,075	-	9,1	10,7
3,8	-	-	0,084	0,089	0,094	-	11,3	11,9
4,2	-	-	0,102	0,109	0,115	-	13,9	13,2
4,6	-	-	0,123	0,130	0,137	-	16,6	14,5
5,0	5,0	0,139	0,145	0,154	0,163	0,169	19,6	17,5
5,5	-	-	0,175	0,187	0,198	-	23,8	17,3
6,0	-	-	0,209	0,222	0,235	-	28,3	18,8
-	6,3	0,220	0,230	0,245	0,259	0,269	31,2	19,8
6,4	-	-	0,238	0,253	0,268	-	32,2	20,1
7,0	-	-	0,284	0,302	0,320	-	38,5	22,0
8,0	8,0	0,355	0,371	0,395	0,418	0,434	50,3	25,1
9,5	-	-	0,523	0,558	0,589	-	70,9	29,8
10,0	10,0	-	0,580	0,617	0,654	-	78,5	31,4
-	12,5	-	0,906	0,963	1,021	-	122,7	39,3
-	16,0	-	1,484	1,578	1,673	-	201,1	50,3
-	20,0	-	2,318	2,466	2,614	-	314,2	62,8
-	22,0	-	2,805	2,984	3,163	-	380,1	69,1
-	25,0	-	3,622	3,853	4,084	-	490,9	78,5
-	32,0	-	5,935	6,313	6,692	-	804,2	100,5
-	40,0	-	9,273	9,865	10,456	-	1256,6	125,7

Observações:

(A) Outros diâmetros nominais podem ser produzidos a pedido do consumidor, mantendo-se as faixas de tolerâncias.

(B) A densidade linear de massa (em kg/m) é obtida pelo produto da área da seção nominal em m² e 7850 kg/m³ (massa específica média do aço destinado à construção).

Para verificação das propriedades mecânicas e características próprias das barras e fios de aço destinados a armaduras para concreto armado,

deve ser feita uma amostragem de acordo com as seguintes prescrições da NBR 7480:

- a) Formação dos lotes: cabe ao produtor ou fornecedor, em cada partida (conjunto de lotes apresentados para inspeção de uma só vez), repartir as barras, fios ou rolos em lotes aproximadamente iguais, cujas massas máximas não excedam 30t. Quando não houver possibilidade de identificação da corrida, as massas máximas para formação do lote são indicadas em anexo fornecido pela NBR 7480 (Ex.: barras de aço CA-50, com $\varnothing = 8,0\text{mm}$ → massa máxima do lote = 6t);
- b) Lote: grupo de barras ou fios de procedência identificada, da mesma categoria, com o mesmo diâmetro nominal e mesma configuração geométrica superficial, com massa limitada em 30t;
- c) Formação das amostras: cabe ao comprador ou ao seu inspetor, em cada partida, extrair aleatoriamente amostras com 2,20m, desprezando a ponta de 20 cm da barra ou fio, identificá-las e enviá-las ao laboratório;
- d) Quantidade de amostras: em lotes de corridas identificadas (operação de transformação do ferro gusa líquido em aço, desde o carregamento do forno até o vazamento) a amostra representativa de cada lote é composta por um exemplar. Se qualquer corpo-de-prova não satisfizer às exigências da NBR 7480, deve ser feita uma contraprova, sendo a amostra representativa de cada lote composta por dois novos exemplares. Para lotes de corridas não identificadas o número de exemplares deve ser, respectivamente, dois e três (contraprova).
- e) Corpos-de-prova: cabe ao laboratório receber a amostra identificada e preparar os corpos-de-prova. Nestes corpos-de-

prova determinam-se inicialmente as massas reais. Os corpos-de-prova para os ensaios de tração e dobramento devem ser retirados de segmentos de barras ou fios de comprimento adequado. A área da seção transversal de uma barra (ou fio) é adotada como sendo igual à de uma barra cilíndrica que possua a mesma massa por unidade de comprimento.

TABELA 2 - Propriedades mecânicas exigíveis de barras de fios de aço destinados a armaduras para concreto armado (NBR 7480/1996)

Categoria	Ensaio de tração (valores mínimos)			Ensaio de dobramento a 180°		Aderência
	Resistência característica de escoamento ^(A)	Limite de resistência ^(B)	Alongamento em 10ø ^(C)	Diâmetro de pino ^(D)		Coeficiente de conformação superficial mínimo para ø ≥ 10mm
f _y (MPa) ^(F)	f _{st} (MPa) ^(F)	(%)	(mm)		H	
			ø < 20	ø ≥ 20		
CA-25	250	1,20 f _y	18	2ø	4ø	1,0
CA-50	500	1,10 f _y	8	4ø	6ø	1,5
CA-60	600	1,05 f _y ^(E)	5	5ø	-	1,5

Observações:

(A) Valor característico do limite superior de escoamento (LE ou σ_e da NBR 6152 ou f_y da NBR 6118).

(B) O mesmo que resistência convencional à ruptura ou resistência convencional à tração. Conforme a NBR 6152, o símbolo LR ou σ_t .

(C) ϕ é o diâmetro nominal.

(D) As barras de diâmetro nominal maior ou igual a 32 das categorias CA-50 devem ser dobradas sobre pinos de 8 ϕ .

(E) f_{st} mínimo de 600MPa.

(F) Para efeitos práticos de aplicação desta Norma, pode-se admitir MPa = 0,1 kg/mm².

As barras e fios de aço destinados a armaduras para concreto armado devem ser submetidos aos seguintes ensaios indicados pela NBR 7480:

- a) Ensaio de tração: deve ser realizado de acordo com a NBR 6152 (MB-4);
- b) Ensaio de dobramento: deve ser realizado de acordo com a NBR 6153 (MB-5), com a ressalva de que os apoios para realização deste ensaio devem permitir o livre movimento dos corpos-de-prova;
- c) Ensaio de fissuração de concreto: o coeficiente de conformação superficial deve ser determinado de acordo com a NBR 7477 (MB-1021);
- d) Ensaio de fadiga: deve ser realizado de acordo com a NBR 7478 (MB-1108).

Os ensaios de fissuração e de fadiga não são considerados como ensaios de recebimento e são realizados somente para caracterizar o material.

Para aceitação de um lote é necessário atender aos requisitos especificados para os defeitos e massa real das barras e fios, bem como, obter resultados satisfatórios dos ensaios de tração e dobramento de todos os exemplares constituintes da amostra representativa de cada lote. Se um ou mais destes resultados não atender ao estabelecido na NBR 7480, deve ser realizada uma contraprova única para a nova amostra formada.

O lote será rejeitado quando não atender os requisitos referentes aos defeitos e massa real, e se no ensaio de contraprova houver pelo menos um resultado que não satisfaça as exigências da NBR 7480.

A massa real das barras deve ser igual a sua massa nominal, com tolerância de 6% para diâmetro nominal igual ou superior a 10mm, e de 10% para diâmetro inferior a 10mm. Para os fios essa tolerância é de 6%.

3. AÇO SOLDÁVEL PARA CONCRETO ARMADO

A NBR 8965 da ABNT especifica as características de soldabilidade das barras de CA-42-S, destinadas a armaduras para concreto armado.

Os vergalhões soldáveis são geralmente do tipo CA-50 obtido da laminação a quente de tarugo de aço produzido em lingotamento contínuo. Após o último passe de laminação, o produto é submetido a um resfriamento a água capaz de reduzir bruscamente a temperatura da superfície (fig. 1a). O núcleo da barra permanece suficientemente quente para reaquecer a superfície endurecida e promover seu revenimento (fig. 1b). O resultado final é um produto com núcleo tenaz e superfície temperada e revenida, de alta resistência mecânica e excelente ductilidade.

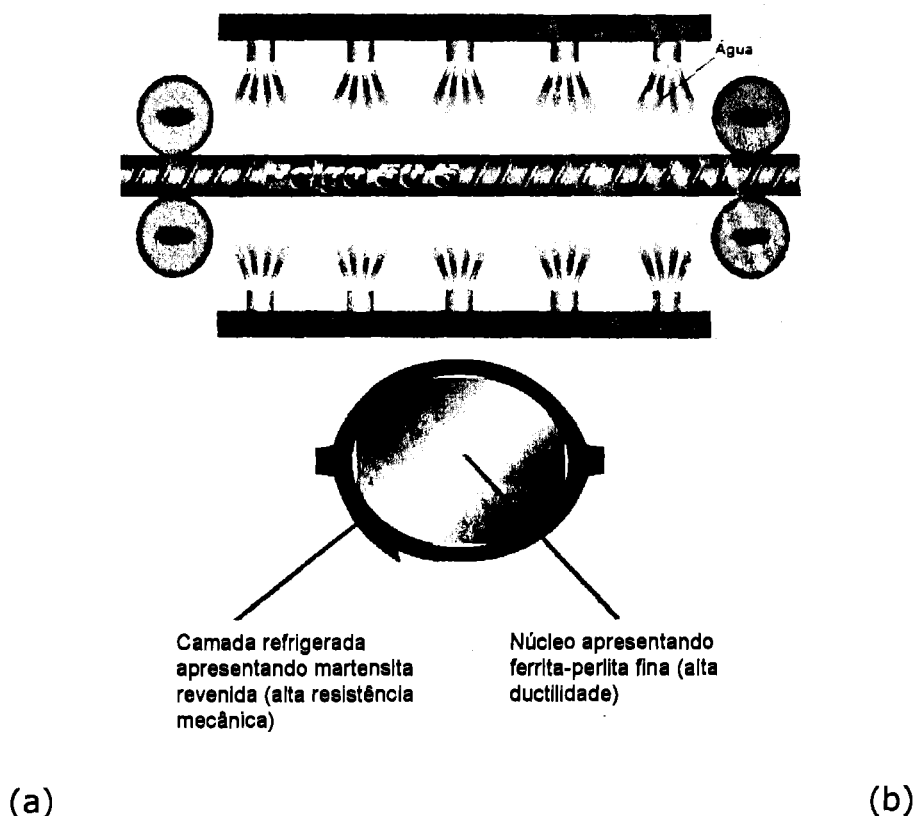


FIGURA 1 - Ilustração do processo de fabricação do CA 50 soldável

O tratamento térmico em linha de laminação confere ao CA-50-S uma grande capacidade de dobramento aliada à alta resistência mecânica. O emprego deste aço possibilita a execução de todos os tipos de soldagem sem prejuízo às propriedades mecânicas, tornando desnecessárias as etapas de pré e pós-aquecimento, especificadas para o CA-50 convencional.

4. ENSAIOS MECÂNICOS PARA BARRAS E FIOS DE AÇO DESTINADOS A ARMADURAS PARA CONCRETO ARMADO.

4.1 Determinação das propriedades mecânicas à tração de barras e fios de aço: NBR 6152 (MB-4)

Este método de ensaio descreve a forma de se obter a curva tensão x deformação de fios e barras de aço, assim como medir o módulo de elasticidade ou módulo de deformação longitudinal E_s . Essas propriedades são determinadas a partir do ensaio de tração em corpos-de-prova de dimensões padronizadas.

Neste ensaio a área da seção inicial é medida através da densidade do aço, admitida constante e igual a $7,85 \text{ kg/dm}^3$, da massa do corpo-de-prova e do seu comprimento total a ser ensaiado (descrição abaixo). Este procedimento é muito útil e prático, uma vez que na maioria dos casos a existência de nervuras, mossas e outras saliências impede a determinação da área inicial através da medida direta do diâmetro da barra.

4.1.1 Diâmetro efetivo: determinação através da medida da massa

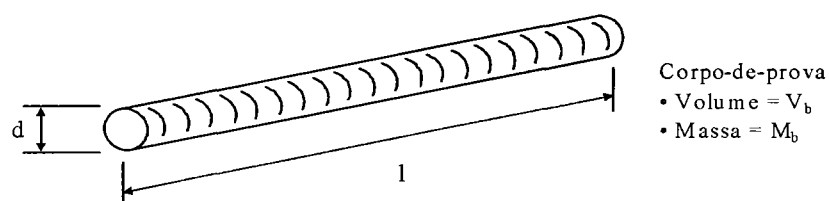


FIGURA 2 – Esquema do Corpo-de-prova

Sabendo que $\rho_{\text{aço}} = 7850 \text{ kg/m}^3 = 7,85 \text{ kg/dm}^3$, podemos calcular o diâmetro efetivo como segue:

$$\rho_{\text{aço}} = \frac{M_b}{V_b} = \frac{4.M_b}{\pi.d^2.l}$$

onde: M_b = massa da barra de aço (kg)

l = comprimento da barra (dm)

d = diâmetro efetivo da barra (dm)

Calculamos então o diâmetro efetivo do corpo-de-prova e, posteriormente, sua área inicial:

$$d = \sqrt{\frac{4Mb}{\pi \times l \times \gamma_a}} \quad S_o = \frac{\pi d^2}{4}$$

4.1.2 Determinação da curva tensão x deformação

A curva tensão x deformação é traçada a partir dos dados obtidos da própria máquina de ensaio, sendo a carga fornecida por dinamômetro e a deformação medida por meio de um extensômetro. Estes podem ser mecânicos, ópticos, elétricos ou eletrônicos. O mais simples e mais utilizado é o extensômetro mecânico com relógio comparador. Esse tipo de extensômetro consiste num micrômetro com precisão de 0,001mm montado num dispositivo formado por dois tubos metálicos interpenetrantes, contendo cada um uma garra que o fixa ao corpo-de-prova.

A tração é feita até a ruptura do corpo-de-prova, obtendo-se para cada material o seu diagrama tensão x deformação típico.

O resultado obtido de um corpo-de-prova não define por si as propriedades do aço que está sendo julgado. Esse resultado é apenas o resultado de um exemplar da amostra que representa um determinado

lote de material das mesmas características. Portanto sempre é necessário estudar o conjunto de resultados obtidos de todos os exemplares de uma amostra para poder concluir a respeito da conformidade ou não do lote às características e propriedades especificadas na EB correspondente (NBR 7480 – EB 3).

A figura 3 apresenta um diagrama tensão x deformação, obtido para um corpo-de-prova de aço cuja resistência é caracterizada por patamar.

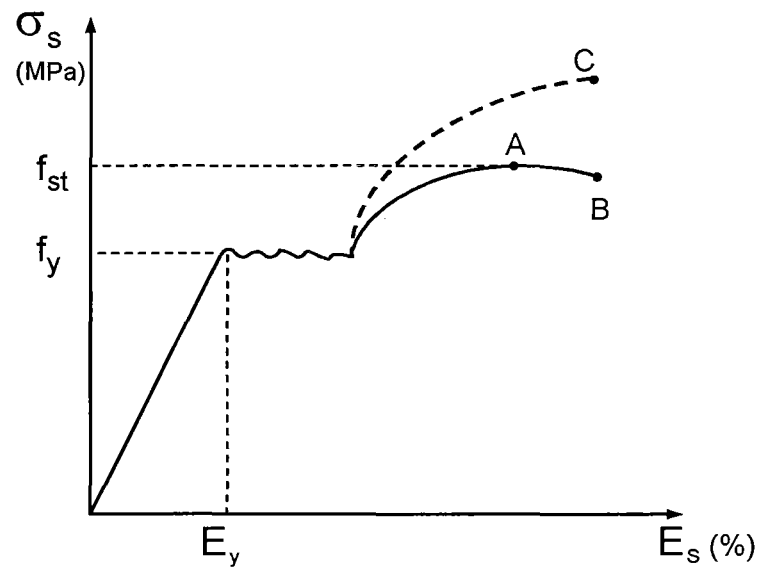


FIGURA 3 – Diagrama tensão x deformação de aço com resistência de escoamento caracterizada por patamar.

Nesse diagrama observa-se:

- a deformação é proporcional à tensão até atingir um determinado ponto;
- verifica-se que a partir daí as deformações são crescentes, apesar da carga não sofrer aumento. É o chamado patamar de escoamento; definindo-se aqui a resistência de escoamento do aço à tração (f_y);
- aumentando a carga, a deformação cresce até atingir a máxima tensão em A, ponto denominado de limite de resistência (f_{st});

- a partir de A, mesmo com a diminuição da carga, as deformações continuam a crescer até a ruptura do material em B.

Na realidade o ponto B indica uma tensão aparente de ruptura, uma vez que em todos os pontos a tensão é obtida dividindo-se a carga pela área da seção transversal inicial. Como vimos anteriormente esta área diminui devido ao fenômeno da estricção e se em cada instante calculássemos a tensão real a curva teria o aspecto tracejado e romperia em C.

A NBR 7480 (1996) considera o valor limite de resistência (f_{st}) o mesmo que a resistência convencional à ruptura ou resistência convencional à tração (com simbologia LR ou σ_t conforme a NBR 6152).

Alguns tipos de aços, quando submetidos a ensaio de tração, podem não apresentar patamar de escoamento nítido no diagrama tensão x deformação. Neste caso as deformações crescem de modo contínuo com as tensões, até a ruptura.

Neste caso a resistência de escoamento do aço (f_y) é calculada, convencionalmente, como a tensão correspondente à deformação permanente de 0,2%. O diagrama obtido no ensaio tem o seguinte diagrama tensão x deformação típico (figura 4).

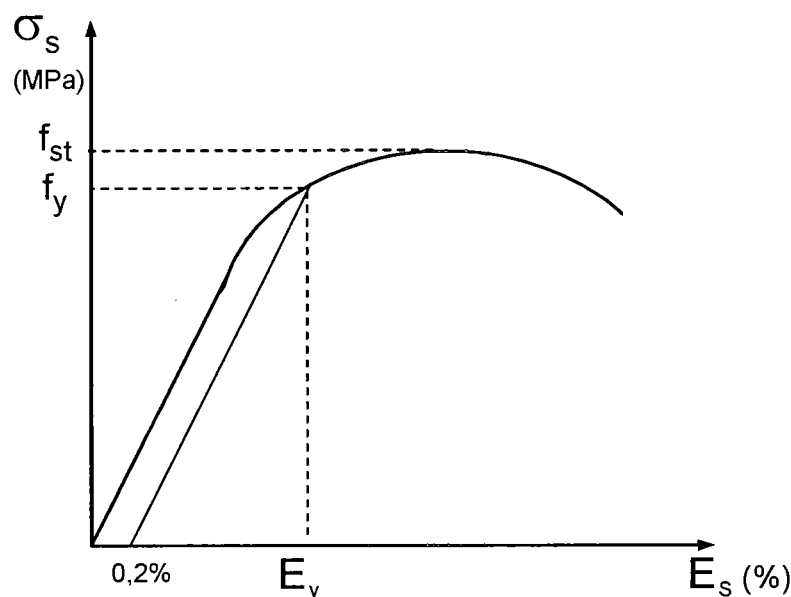


FIGURA 4 - Diagrama tensão x deformação de aço com resistência convencional de escoamento.

No projeto das estruturas de concreto armado, por facilidade e simplicidade de cálculo, o diagrama tensão x deformação real dos aços é substituído por um diagrama fictício, mais simples, onde o material é admitido homogêneo. Nestas condições só se utilizam os valores da resistência característica do aço à tração (f_{yk}), calculado a partir dos valores de f_y obtidos dos exemplares da amostra. Esses valores são ainda minorados por diversas razões tais como, correlação ensaio-peça estrutural, posicionamento das armaduras, etc, cujo coeficiente de minoração dado na NBR 6118 (NB-1) é $\gamma_s = 1,15$. Por sua vez, o módulo de deformação longitudinal é admitido constante e igual a $E_s = 210.000$ MPa.

4.2 Ensaio de dobramento de barras e fios de aço: NBR 6153 (MB-5)

O ensaio de dobramento consiste em efetuar um dobramento de 180° em torno de um cutelo de diâmetro prefixado. Os exemplares de amostras devem suportar o dobramento sem ruptura ou fissuração. O diâmetro do cutelo depende da bitola $\varnothing$ do exemplar da amostra ensaiada.

O dobramento é do tipo livre ou semi-guiado e o resultado do ensaio é a existência ou não de fissuras e fendas na zona tracionada do corpo-de-prova.

A NBR 7480 (1996) estabelece uma distinção entre barras de aço com $\varnothing < 20$ mm e barras com $\varnothing \geq 20$ mm. Os valores fixados para o diâmetro do corpo-de-prova são os seguintes:

TABELA 3: Diâmetro do pino (cutelo) em função do tipo de aço e do diâmetro da barra segundo a NBR 7480 (1996).

Categoria do Aço	Diâmetro do Pino (mm)	
	$\varnothing < 20$ mm	$\varnothing \geq 20$ mm
CA-25	2 $\varnothing$	4 $\varnothing$
CA-50	4 $\varnothing$	6 $\varnothing$
CA-60	5 $\varnothing$	

As barras de $\varnothing \geq 32$ mm das categorias CA-50 devem ser dobradas sobre pinos de 8 $\varnothing$.

4.3 Determinação do coeficiente de conformação superficial de barras e fios de aço: NBR 7477 (MB 1021)

A aderência concreto-aço é o fator básico sobre o qual se fundamenta o funcionamento do concreto armado como material estrutural. Se não existisse aderência, as barras seriam incapazes de absorver qualquer esforço de tração, pois o aço deslizaria em todo o seu comprimento e não acompanharia o concreto em suas deformações, que ao fissurar, romperia bruscamente. É a aderência que garante o trabalho solidário de ambos desde o início e, posteriormente, quando o concreto fissura, o aço garante que as fissuras se distribuam de modo uniforme, mantendo a união entre as partes fissuradas.

A aderência satisfaz a dois objetivos: garantir a ancoragem das barras; e transmitir as tensões tangenciais periféricas que aparecem na armadura principal, como consequência das variações de tensão longitudinal.

O fenômeno da aderência se origina por ações de natureza físico-química e de natureza mecânica. A primeira provoca a adesão do concreto ao aço por meio de forças capilares e moleculares desenvolvidas na interface. A segunda, mais importante, tem origem na resistência ao deslizamento devido à penetração da pasta de cimento nas irregularidades da superfície das barras, mesmo que sejam lisas. Esta ação de origem mecânica, que pode ser denominada de atrito, é a que produz a maior parte da aderência nas barras lisas e varia apreciavelmente com o estado da superfície. No caso de barras corrugadas, a este atrito se soma o efeito de cunhamento de concreto entre os ressalto e mossas.

De forma resumida, podemos dizer que o mecanismo de aderência é composto de três partes: adesão, atrito e cunhamento.

Os valores da aderência entre aço e concreto são tomados sempre em comparação com os das barras lisas. O corpo-de-prova padrão é um tirante de seção quadrada armado com uma única barra de diâmetro nominal ϕ . As dimensões do tirante são:

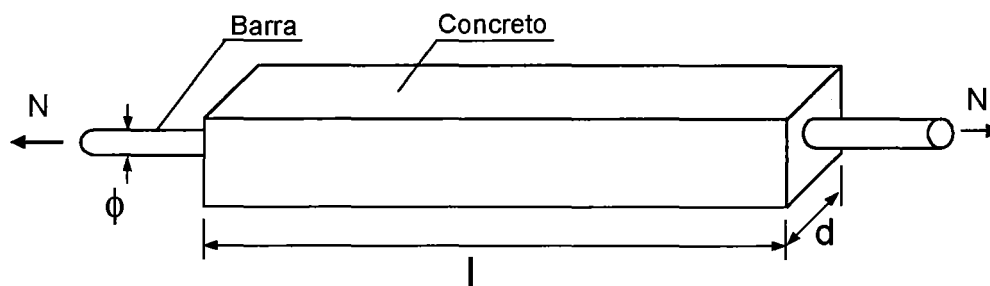


FIGURA 5 – Corpo de prova para determinação da aderência concreto/aço.

Os moldes dos tirantes deverão ser metálicos, de forma prismática, com as seguintes características (em cm):

$$d = \text{lado do tirante} = \sqrt{\pi \phi \left(\frac{\phi}{4} + 7 \right)} \text{ (cm)}$$

Onde:

$\emptyset$ = diâmetro nominal da barra ou fio (cm)

l = comprimento do tirante $\geq 15 \times d$ (cm)

L = comprimento da barra = $l + 120$ (cm)

Feitos os ensaios, aplicando a carga de tração na barra, são medidos os espaçamentos médios entre as fissuras. Ao se aplicar a carga, deverão surgir diversas fissuras no concreto.

Quanto maior a aderência, tanto maior o número de fissuras e menor a sua abertura. Quando não existir aderência, a barra escorrega dentro de seu invólucro de concreto e não aparecerão fissuras.

O carregamento será aplicado até 80% da carga correspondente à tensão de escoamento da barra ou fio submetido ao ensaio.

O MB-1021 estabelece que só devem ser considerados os resultados de ensaio em que surgirem pelo menos 5 fissuras regularmente espaçadas. Além disso, exige pelo menos 9 corpos-de-prova para uma amostra.

4.3.1 Cálculo do coeficiente de conformação superficial

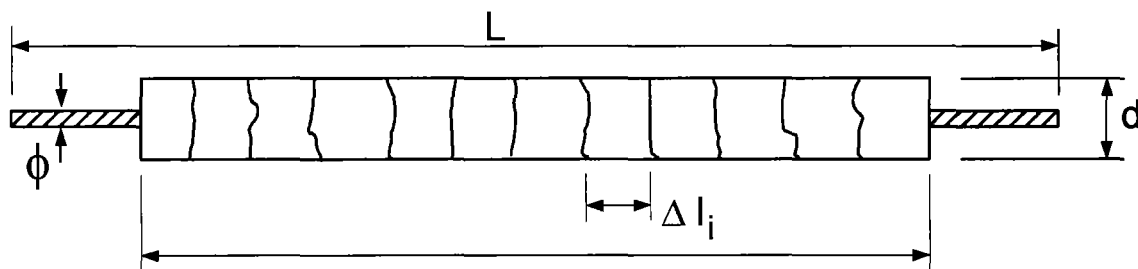


FIGURA 6 – Após ensaiado, o corpo de prova (Figura 5) apresenta fissuras.

$$\eta = \frac{2,25 \times d}{\Delta l_{\text{médio}}}$$

Onde:

η = coeficiente de conformação superficial;

d = lado da seção do tirante;

Δl = distância média entre fissuras, considerando as quatro faces.

5. FIOS DE AÇO PARA CONCRETO PROTENDIDO: NBR 7482 (EB-780)

Esta norma da ABNT fixa as condições exigíveis para fabricação, encomenda e fornecimento de fios de aço de alta resistência, de seção circular, encruados a frio por trefilação, com superfície lisa ou entalhada, destinados a armadura de protensão.

Segundo a NBR 7482 os fios de aço, de acordo com a resistência à tração, classificam-se em duas categorias para cada diâmetro nominal, conforme indicado nas tabelas 3 e 4. Considerando-se o comportamento da relaxação, os fios classificam-se em: fios de relaxação normal (RN) e fios de relaxação baixa (RB). A relaxação é a fluência a comprimento constante (itens 5 e 8).

As resistências consideradas para a classificação dos fios em categorias são o limite mínimo da resistência à tração (f_{st}) e a tensão mínima correspondente a 1% de alongamento determinado no ensaio de tração. O valor mínimo da tensão a 1% de alongamento é considerado equivalente a 0,2% de deformação permanente e corresponde a 85 % (fios do tipo RN) ou 90% (fios do tipo RB) do limite mínimo especificado para a resistência à tração. Considerando-se o valor do limite mínimo especificado para a resistência à tração (f_{st}), os fios de aço para concreto protendido são classificados nas categorias CP-150, CP-160 e CP-170. Estes valores de f_{st} são expressos em kgf/mm^2 .

A completa designação dos fios de aço para concreto protendido informa, além da categoria, o tipo de relaxação (RN ou RB) e o diâmetro nominal em mm. Por exemplo: CP-150 RN 7 significa fio para concreto

protendido (CP), categoria 150, relaxação normal (RN) e diâmetro de 7 mm.

Quanto ao processo de fabricação, os fios de aço para concreto protendido devem ser encruados a frio por trefilação, a partir de fio-máquina de aço carbono, com a seguinte composição química: carbono entre 0,60 e 0,90%; manganês entre 0,50 e 0,90%; silício entre 0,10 e 0,35%. Os teores máximos de enxofre e fósforo nas ligas são limitados em 0,04%. O acabamento da superfície dos fios pode ser liso ou entalhado.

Os fios de aço para concreto protendido são fornecidos em rolos, com os seguintes diâmetros internos, fixados em função dos diâmetros nominais dos fios: 1,2 – 1,5 m para fio de 4 mm; 1,5 – 1,8 m para fio de 5 mm; 1,8 – 2,2 m para fio de 6, 7 e 8 mm. Nos fios acabados, acondicionados em rolos, não são permitidas soldas ou emendas. Quanto à marcação, cada rolo deve ser identificado por uma etiqueta, que deve indicar: nome ou símbolo do produtor, a sigla NBR 7482/1991, a designação do produto (categoria e tipo de relaxação), diâmetro nominal do fio (mm) e número do rolo.

A NBR 7482 prescreve as seguintes condições específicas para os fios de aço destinados a concreto protendido:

1ª Diâmetro e tolerâncias: os diâmetros nominais padronizados e as tolerâncias dos fios são indicados nas tabelas 3 e 4;

2ª Propriedades mecânicas: os fios, fabricados, inspecionados, amostrados e ensaiados conforme as exigências da NBR 7482, devem atender aos valores mínimos especificados para: limite de resistência à tração; tensão a 1% de alongamento; alongamento após ruptura; número de dobramentos alternados, sem fissuras ou ruptura.

As propriedades mecânicas dos fios com relaxação normal e com relaxação baixa são especificadas, respectivamente nas tabelas 3 e 4.

Os ensaios prescritos pela NBR 7482 para a determinação das propriedades mecânicas dos fios de aço destinados a concreto protendido são os seguintes:

- a) Ensaio de tração: deve ser executado conforme a NBR 6349 (MB-864), determinando-se a tensão a 1% de alongamento, o limite de resistência à tração e o alongamento após ruptura, para todos os corpos-de-prova;
- b) Ensaio de dobramento alternado: deve ser executado conforme a NBR 6004 (MB-782);
- c) Ensaio de relaxação dos fios: deve ser executado conforme a NBR 7484 (MB-784) determinando-se os valores de relaxação para uma tensão inicial equivalente a 70% ou 80% do limite de resistência mínimo estabelecido.

TABELA 3 – Características dos fios com relaxação normal – RN – BR 7482

Designação ^(A)	Diâmetro nominal do fio	Tolerância do diâmetro	Área da seção nominal	Massa nominal	Limite de Resistência à tração min.	Tensão a 1% de alongamento min ^(B)	Alongamento após ruptura (em 10 d) – min. %		Número de dobramentos ^(C)	Relaxação máxima após 1000h a 20 °C tensão inicial de	
										70%	80%
	(mm)	(mm)	(mm ²)	(kg/1000m)	(MPa)	(MPa)	Total	Fora da zona de estrição	min.	do limite de resistência mínimo especificado (%)	
CP-150	8		50,3	395	1500	1280	6				
CP-160	8				1600	1360	5				
CP-150	7		38,5	302	1500	1280	6				
CP-160	7				1600	1360	5				
CP-150	6	±0,05	28,3	222	1500	1280	6	2	3	5	8,5
CP-160	6				1600	1360	5				
CP-150	5		19,6	154	1500	1280	6				
CP-160	5				1600	1360	5				
CP-160	4		12,6	98,7	1600	1360	5				
CP-170	4				1700	1490	5				

(A) Os três dígitos na designação correspondem ao limite mínimo da resistência à tração na antiga unidade de kgf/mm². Para os efeitos desta Norma, considera-se 1 kgf/mm² = 10 MPa.

(B) O valor mínimo da tensão a 1% de alongamento é considerado equivalente à tensão a 0,2% de deformação permanente e corresponde a 85% do limite mínimo da resistência especificado.

(C) Para os fios entalhados, o número mínimo de dobramentos alternado é de dois.

TABELA 4 – características dos fios com relaxação baixa – RB – NBR 7482

Designação ^(A)	Diâmetro nominal do fio	Tolerância do diâmetro	Área da seção nominal	Massa nominal	Limite de Resistência à tração min.	Tensão a 1% de alongamento min ^(B)	Alongamento após ruptura (em 10 d) – min. %		Número de dobramentos ^(C)	Relaxação máxima após 1000h a 20o C tensão inicial de	
										70%	80%
	(mm)	(mm)	(mm ²)	(kg/1000m)	(MPa)	(MPa)	Total	Fora da zona de estrição	min.	do limite de resistência mínimo especificado (%)	
CP-150 RB 8	8		50,3	395	1500	1350	6				
CP-160 RB 8	8				1600	1440	5				
CP-150 RB 7	7		38,5	302	1500	1350	6				
CP-160 RB 7	7				1600	1440	5				
CP-150 RB 6	6	± 0,05	28,3	222	1500	1350	6	2	3	2	3
CP-160 RB 6	6				1600	1440	5				
CP-150 RB 5	5		19,6	154	1500	1350	6				
CP-160 RB 5	5				1600	1440	5				
CP-160 RB 4	4		12,6	98,7	1600	1440	5				
CP-170 RB 4	4				1700	1580	5				

(A) Os três dígitos na designação correspondem ao limite mínimo da resistência à tração na antiga unidade de kgf/mm². Para os efeitos desta Norma, considera-se 1 kgf/mm² = 10 MPa.

(B) O valor mínimo da tensão a 1% de alongamento é considerado equivalente à tensão a 0,2% de deformação permanente e corresponde a 90% do limite mínimo da resistência especificado.

(C) Para os fios entalhados, o número mínimo de dobramentos alternado é de dois.

Quanto à amostragem, para os ensaios especificados deve-se retirar de qualquer das duas extremidades de um rolo, de cada lote de 5 unidades ou fração, uma amostra de comprimento suficiente. A determinação do diagrama tensão x deformação deve ser feita para cada corrida ou fração. As amostras não devem ser submetidas a nenhuma forma de tensionamento ou de aquecimento após a fabricação. Se for necessário o endireitamento da amostra, este deve ser feito a frio e todo procedimento deve obedecer a NBR 6349 (ensaio de tração).

A NBR 7482 define lote como determinada quantidade de fio acabado, do mesmo diâmetro nominal e de mesma característica, apresentado para inspeção e ensaios de uma só vez.

Para que haja aceitação do lote é necessário que todo o produto inspecionado, amostrado e ensaiado conforme as prescrições da NBR 7482 atenda aos valores mínimos especificados para o diâmetro e tolerâncias, bem como, para as propriedades mecânicas (tabelas 3 e 4). Se qualquer corpo-de-prova, no ensaio de tração ou de dobramento alternado, não atingir os valores mínimos especificados, deve ser analisado duas amostras adicionais da mesma extremidade do rolo. O lote será aceito somente se os resultados desses dois corpos-de-prova atenderem aos valores especificados. Caso haja falha em uma determinação, o rolo deve ser rejeitado e os rolos restantes do lote devem ser ensaiados um por um, aceitando-se somente os que atenderem aos valores especificados nas tabelas 3 e 4.

A liberação e o emprego do produto não são condicionados ao ensaio de relaxação, em vista de sua longa duração. O comprador pode-se basear em resultados recentes e regularmente obtidos com material da mesma categoria.

6. FLUÊNCIA DOS AÇOS (TIPO DE RUPTURA ESPECIAL)

As características da curva tensão x deformação dos materiais depende do tempo, como mostra esquematicamente a figura 4. Quando um metal é solicitado por uma carga, imediatamente sofre deformação elástica e, num curto período de tempo, ocorrem ajustamentos plásticos adicionais no ponto de tensão ao longo dos contornos de grãos e de defeitos. Após estes ajustamentos iniciais continua a haver uma deformação que progride lentamente com o tempo, denominada fluência: tal deformação continua até ocorrer um estrangulamento, com a conseqüente redução da área transversal. Após esta estricção e até a ruptura, a velocidade de deformação aumenta em virtude da redução da área que suporta a carga.

A fluência só é significativa quando a tensão é superior a certo limite (em geral, cerca da metade do valor da resistência de escoamento) e será tanto mais acentuada quanto maior a tensão. No estudo da fluência, também é importante a temperatura do aço.

Sendo a fluência um fenômeno lento que leva, às vezes, milhares de horas para se completar, deve-se indicar o tempo na apresentação dos resultados dos ensaios.

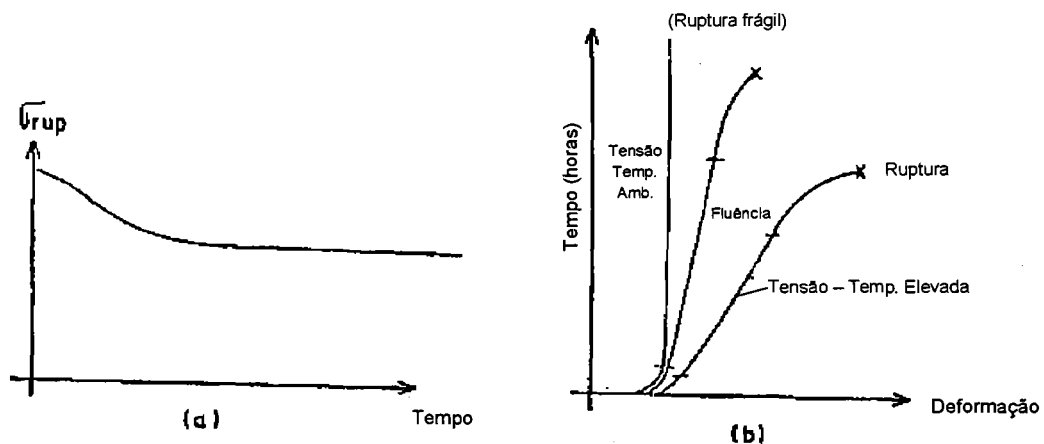


FIGURA 7 – Representação da fluência nos aços. (a) o aço resiste mais a um carregamento imediato que a uma carga de longa duração. (b) as deformações plásticas aumentam com o tempo e podem romper o material. (fonte: Helene, P. – Aços – EPUSP/PCC)

Esta característica dos aços é particularmente importante no dimensionamento do concreto protendido, onde a norma estabelece limites para a fluência:

a) Sob altas temperaturas:

O comportamento dos aços estruturais, quando sujeitos a carregamentos é similar ao comportamento já descrito (temperatura ambiente), mas a forma da curva tensão x deformação e os valores variam com o aumento da temperatura.

A resistência cai cerca de 50% e o módulo de elasticidade, o qual é aproximadamente o mesmo para todos os aços, diminui significativamente, sendo de 60%, para temperaturas na ordem de 500°C.

A ductilidade decresce até um valor de aproximadamente 60% e, a partir daí volta a crescer até um valor muito mais alto.

À temperatura ambiente, uma peça estrutural de aço sujeita a um carregamento tal que a tensão de escoamento não seja atingida, deforma-se de modo relativamente rápido, até um determinado valor, e esta deformação permanece constante no tempo.

Se o mesmo carregamento for aplicado à peça sob condições de altas temperaturas, a peça sofre uma deformação imediata inicial, mas continua a se deformar com o tempo, isto é, sofre uma “deformação lenta” adicional, cuja velocidade é muito menor que a inicial.

Nas figuras 8 e 9 estão esquematizados as variações da tensão de escoamento e do módulo de elasticidade com a temperatura.

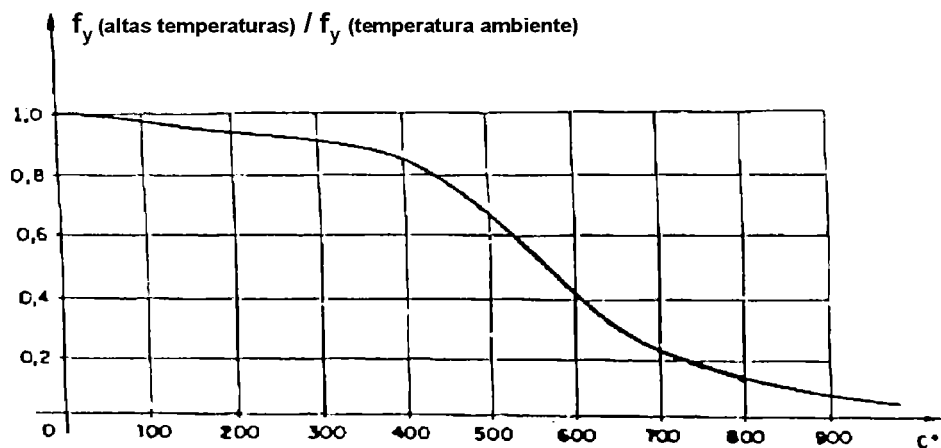


FIGURA 8 – Variação da tensão de escoamento com a temperatura.

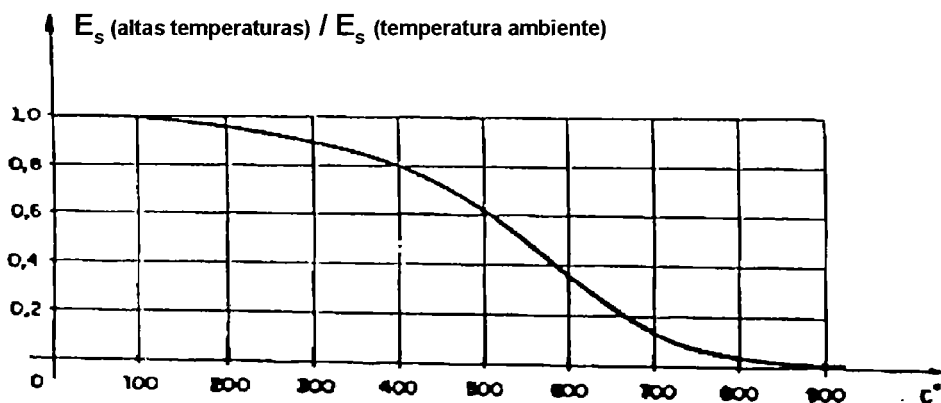


FIGURA 9 – Variação do módulo de elasticidade com a temperatura.

b) Sob baixas temperaturas:

O abaixamento da temperatura geralmente provoca um aumento no limite de escoamento, no limite de ruptura, no módulo de elasticidade e na resistência a fadiga dos aços, ao mesmo tempo que a ductilidade diminui. Além disso, existe uma temperatura abaixo da qual o aço estrutural, sujeito a tensões de tração, pode romper por clivagem com deformações plásticas muito pequenas. Este tipo de ruptura usualmente é chamado de ruptura frágil.

A ruptura frágil ocorre em aços estruturais quando há uma combinação muito desfavorável de tensões de tração, temperatura e descontinuidades geométricas como ranhuras. Como o cálculo da ruptura frágil é praticamente impossível de ser feito, o que se pode fazer é tomar precauções para que a mesma não ocorra, tais como: adoção de raios mínimos para dobramento a frio, evitar superdimensionamento de soldas, evitar descontinuidades geométricas bruscas, usar aços acalmados, usar tratamento térmico, etc.

O risco de ruptura frágil se apresenta principalmente nos aços destinados à protensão. É chamada corrosão sob tensão. A fissura se inicia na superfície e está situada em um plano normal à direção de máxima tração.

A fluência dá-se de duas maneiras:

- a) à tensão constante;
- b) a comprimento constante (relaxação).

No primeiro caso ($\sigma_s = \text{constante}$), é fácil medir-se a fluência, pois basta determinar o alongamento correspondente.

No segundo caso ($L = \text{constante}$ pela fixação das extremidades), haverá uma queda de tensão ao se dar a fluência. Temos, então, que medir uma tensão. Podemos fazer essa determinação indiretamente com o dispositivo da figura 10. Tem-se a barra de comprimento L_0 inicial. Depois de estirada com a força P (deformação imediata) ela fica com comprimento L e, então, suas extremidades são ancoradas de modo a manter-se constante o comprimento L por intermédio de porcas e calços. Imediatamente após esta operação, se quisermos retirar o calço entre a chapa e a porca, devemos aplicar axialmente uma força P' maior que P a fim de afrouxar o calço. Decorridas algumas horas, verificaremos que para retirar o calço basta que apliquemos uma força P'' menor que P , o que significa que a tensão na barra diminuiu. Podemos, então, ir verificando a queda de tensão na barra.

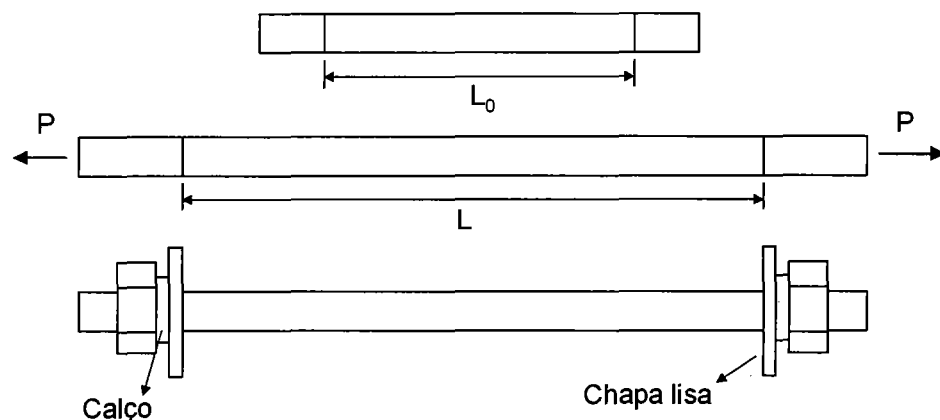


FIGURA 10 – Fluência a comprimento constante (Relaxação)

Está comprovado experimentalmente que o efeito da fluência a comprimento constante é menor e dá-se muito mais rapidamente do que com tensão constante. Verificou-se também que há diminuição da fluência quando, previamente, aplica-se durante curto período de tempo uma tensão maior que a desejada. Assim, a fim de reduzir o efeito da fluência, pode-se esticar a barra de aço inicialmente com uma força maior do que a que vai solicitá-la permanentemente e, depois de poucos minutos, baixá-la ao valor previsto, ancorando então a barra.

7. FIO, BARRA E CORDOALHA DE AÇO PARA ARMADURAS DE PROTENSÃO – ENSAIO DE TRAÇÃO: NBR 6349 (MB-864)

Este ensaio é semelhante ao apresentado na MB-4 com adaptação à terminologia utilizada em concreto protendido e recomendações quanto às garras utilizadas.

Os aços para protensão têm diagramas tensão x deformação semelhante aos aços duros, pois também são estirados a frio e não possuem patamar de escoamento definido.

8. ARAMES DE AÇO – ENSAIO DE DOBRAMENTO ALTERNADO: NBR 6004 (MB 782)

O ensaio de dobramento alternado consiste em fixar uma extremidade do corpo-de-prova e dobrar a outra a 90°, desdobrando-a em seguida. Voltando à situação inicial, a extremidade do corpo-de-prova é novamente dobrada no mesmo plano, porém na direção oposta. Conta-se o número de vezes em que o corpo-de-prova foi submetido ao ensaio, sempre que retorne à posição inicial. Se ocorrer ruptura quando está na posição a 90° não é considerado como um dobramento.

Segundo a EB-780 o ensaio de dobramento alternado deve utilizar mandris cilíndricos de diâmetros variáveis com o diâmetro nominal do fio (NBR 7482, item 5.9).

Os corpos-de-prova da amostra, qualquer que seja o tipo e categoria devem suportar no mínimo 3 dobramentos.

Este ensaio procura representar as condições mais severas a que o aço estará sujeito em obra, por ocasião de sua protensão e ancoragem e mede, indiretamente, a ductilidade do material.

9. FIOS, BARRAS E CORDOALHAS DE AÇO DESTINADOS A ARMADURA DE PROTENSÃO – ENSAIO DE RELAXAÇÃO ISOTÉRMICA: NBR 7484 (MB-784)

Relaxação isotérmica é a perda de carga ocorrida em um corpo-de-prova submetido a uma carga inicial dada e mantido o comprimento e temperatura constantes. É expressa em % da carga inicial para uma dada temperatura e duração. Este ensaio é de extrema utilidade para o dimensionamento correto das armaduras de protensão. Nos casos reais, a fluência a comprimento constante (relaxação), dá-se em condições de temperatura variável e, prevendo isto, as EB-780 e EB 781 sugerem que o ensaio seja requisitado nas condições mais próximas às reais. (NBR 7482 e NBR 7483).



Desde que se considere isto não necessário, o ensaio padrão é feito à temperatura de $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$ e a duração total é de 1000 horas (aproximadamente 42 dias). São feitas leituras de carga ao final dos seguintes intervalos de tempo: 1 min, 3 min, 6 min, 9 min, 15 min, 30 min, 45 min, 1 h, 2 h, 3 h, 4 h, 8 h, 24 h, 48 h, 72 h, 96 h, 120 h, 240 h, 500 h e 1000h.

Com esses valores é construído o diagrama de relaxação isotérmica típico do aço em estudo (figura 11).

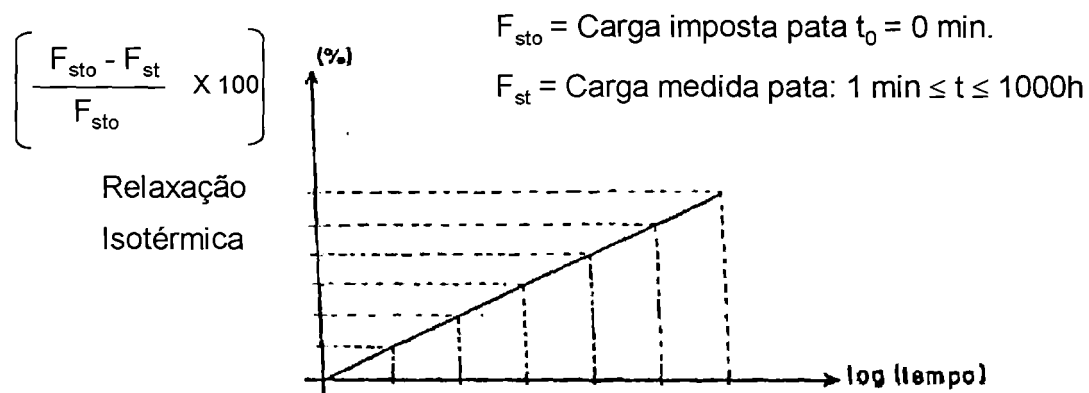


FIGURA 11 - Diagrama de relaxação isotérmica típico de um aço para armadura de protensão.

10. CORDOALHAS DE AÇO PARA CONCRETO PROTENDIDO: NBR 7483 (EB781)

A NBR 7483 fixa as condições exigíveis para a fabricação, encomenda e fornecimento de cordoalhas de aço de alta resistência, de 2, 3 e 7 fios, destinadas a armaduras de protensão.

A cordoalha de 7 fios é constituída de 6 fios de mesmo diâmetro nominal, encordoados juntos, numa forma helicoidal, com um passo uniforme (comprimento ao longo do eixo de uma volta completa), em torno de um fio central.

As cordoalhas de 2 ou 3 fios são constituídas de 2 ou 3 fios do mesmo diâmetro nominal, encordoados juntos, numa forma helicoidal, com um passo uniforme.

A classificação das cordoalhas de aço segundo a NBR 7483 é feita de acordo com os seguintes critérios:

- a) conforme o número de fios: cordoalhas de 7, 3 e 2 fios;
- b) conforme a resistência à tração, cordoalhas de 7 fios: categoria CP-175 e categoria CP-190;
- c) conforme a resistência à tração, cordoalhas de 2 e 3 fios: categoria CP-180;

Obs: os números 175, 180 e 190 (kgf/mm²) expressam os valores aproximados em 0,1 MPa, do quociente da carga de ruptura mínima especificada pela área mínima de seção (valor nominal).

- a) conforme o comportamento na relaxação, cordoalha de 7 fios: relaxação normal (RN) e relaxação baixa (RB);
- b) conforme o comportamento na relaxação, cordoalhas de 2 e 3 fios: relaxação normal (RN).

Quanto ao processo de fabricação, o fio da cordoalha deve ser encruado a frio por trefilação, a partir do fio-máquina de aço-carbono, com a seguinte composição química: carbono entre 0,60 e 0,90%; manganês entre 0,50 e 0,90%; silício entre 0,10 e 0,35%; enxofre abaixo de 0,04%; fósforo abaixo de 0,04%. Durante a fabricação não são permitidas soldas nos fios componentes após a trefilação. Quando do encordoamento não são permitidas soldas ou emendas nos fios.

As cordoalhas devem ser submetidas a um tratamento térmico, ou termomecânico final apropriado a fim de **atender as propriedades mecânicas especificadas pela NBR 7483.**

No processo de fabricação a cordoalha pode receber uma camada de graxa (com função de agente Inibidor de corrosão) e em seguida um

revestimento de polietileno de alta densidade (PEAD) extrudado diretamente sobre a cordoalha já engraxada, em toda a sua extensão (figura 12).

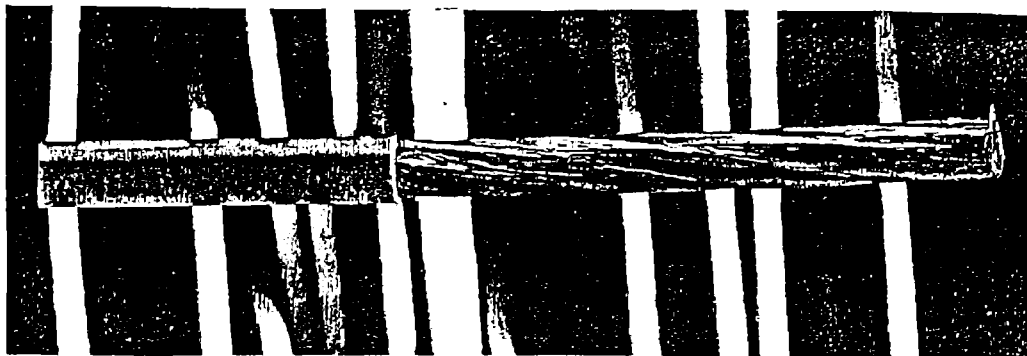


FIGURA 12 – Aspecto da cordoalha de 7 fios engraxada e extrudada.

O acondicionamento das cordoalhas é feito em rolos, com diâmetro interno não inferior a 600 mm, e em carretéis, com diâmetro do núcleo não inferior a 600 mm.

Cada rolo ou carretel deve ser identificado por uma etiqueta indicando: nome ou símbolo do produtor; designação do produto; diâmetro nominal da cordoalha em mm; número ou rolo do carretel; massa líquida em kg e comprimento nominal em m; quantidade em comprimento dos lances (determinado comprimento contínuo de cordoalha).

De acordo com a NBR 7483 a designação da cordoalha é feita indicando-se a categoria, tipo de relaxação e diâmetro nominal. Por exemplo: CP-75 RN 12,7 significa uma cordoalha de 7 fios para concreto protendido (CP), categoria 175, relaxação normal (RN) e diâmetro nominal de 12,7 mm. Já CP-180 RN 3 x 2,5 significa uma cordoalha para concreto protendido (CP), categoria 180, relaxação normal (RN), cordoalha de 3 fios (n) e diâmetro de 2,5 mm (d) por fio (as cordoalhas de 2 e 3 fios são designadas pela indicação $n \times d$, onde n é o número de fios e d o diâmetro nominal destes fios).

A NBR 7483 prescreve as seguintes condições específicas para cordoalhas de aço:

- diâmetro e tolerâncias: diâmetros nominais, tolerâncias e área da seção de aço da cordoalha (tabelas 5, 6 e 7);
- propriedades mecânicas – as cordoalhas devem atender aos valores mínimos especificados de: carga a 1% de alongamento; carga de ruptura; alongamento sob carga de ruptura; estrição dos fios; módulo de elasticidade.

As propriedades mecânicas das cordoalhas de 7 fios com relaxação normal são especificadas na tabela 5, as de 7 fios com relaxação baixa na tabela 6 e as de 2 e 3 fios na tabela 7.

TABELA 5 - Características das cordoalhas de sete fios com relaxação normal – RN

Designação (A)	Diâmetro nominal da cordoalha	Tolerância no diâmetro	Área da seção aço cordoalha (valor nominal)	Massa nominal	Carga de ruptura mínima especificada	Carga mínima a 1% de alongamento	Alongamento sob carga mínimo	Relaxação máxima após 1000h a 20% para carga inicial de:	
								70%	80%
						(B)	(C)	da carga de ruptura acima estimada	
	(mm)	(mm)	(mm ²)	(kg/1000m)	(kN)	(kN)	(%)	(%)	(%)
CATEGORIA CP-175 RN									
CP-175 RN 6,4	6,4	+ 0,3	24,5	194	43	36,5			
CP-175 RN 7,9	7,9	- 0,2	37,4	298	65,8	56			
CP-175 RN 9,5	9,5		52,3	411	92	78,3			
CP-175 RN 11	11,0	+ 0,3	71,0	564	124,9	106,3	3,5	7	12
CP-175 RN 12,7	12,7	- 0,3	94,2	744	165,7	141			
CP-175 RN 15,2	15,2		138,7	1100	244,1	207,6			
CATEGORIA CP-190 RN									
CP-190 RN 9,5	9,5		54,8	432	104,3	88,7			
CP-190 RN 11	11,0	+ 4	74,2	582	140,6	119,5	3,5	7	12
CP-190 RN 12,7	12,7	- 0,2	98,7	775	187,3	159,2			
CP-190 RN 15,2	15,2		140,0	1102	265,8	225,9			

(A) Os três dígitos constantes da designação correspondem ao limite de resistência à tração mínimo na antiga unidade kgf/mm^2 . Para efeito desta norma considera-se $1 \text{ kgf/mm}^2 = 10 \text{ MPa}$;

(B) Carga mínima a 1% do alongamento é considerada equivalente à carga a 0,2% de deformação permanente correspondente a 85% da carga de ruptura mínima especificada;

(C) A base de medida é de 600 mm mínimo.

Nota: Pode ser adotado, para efeito de cálculo, como módulo de elasticidade, o valor de 195 kN/mm^2 . Não deve ser aceito material com módulo de elasticidade inferior a 170 kN/mm^2 .

TABELA 6 - Características das cordoalhas de sete fios com relaxação baixa – RB

Designação (A)	Diâmetro nominal da cordoalha	Tolerância no diâmetro	Área da seção aço cordoalha (valor nominal)	Massa nominal	Carga de ruptura mínima especificada	Carga mínima a 1% de alongamento	Alongamento sob carga mínimo	Relaxação máxima após 1000h a 20% para carga inicial de:	
								70%	80%
						(B)	(C)	da carga de ruptura acima estimada	
	(mm)	(mm)	(mm^2)	(kg/1000m)	(kN)	(kN)	(%)	(%)	(%)
CATEGORIA CP-175 RB									
CP-175 RB 6,4	6,4	+ 0,3	24,5	194	43	38,7			
CP-175 RB 7,9	7,9	- 0,2	37,4	298	65,8	59,2			
CP-175 RB 9,5	9,5		52,3	411	92	82,8			
CP-175 RB 11	11,0	+ 0,3	71,0	564	124,9	112,4	3,5	2,5	3,5
CP-175 RB 12,7	12,7	- 0,3	94,2	744	165,7	149,1			
CP-175 RB 15,2	15,2		138,7	1100	244,1	219,7			
CATEGORIA CP-190 RB									
CP-190 RB 9,5	9,5		54,8	432	104,3	93,9			
CP-190 RB 11	11,0	+ 4	74,2	582	140,6	126,5	3,5	2,5	3,5
CP-190 RB 12,7	12,7	- 0,2	98,7	775	187,3	168,6			
CP-190 RB 15,2	15,2		140,0	1102	265,8	239,2			

(A) Os três dígitos constantes da designação correspondem ao limite de resistência à tração mínimo na antiga unidade kgf/mm^2 . Para efeito desta norma considera-se $1 \text{ kgf/mm}^2 = 10 \text{ MPa}$;

(B) Carga mínima a 1% do alongamento é considerada equivalente à carga a 0,2% de deformação permanente correspondente a 90% da carga de ruptura mínima especificada;

(C) A base de medida é de 600 mm mínimo.

Nota: Pode ser adotado, para efeito de cálculo, como módulo de elasticidade, o valor de 195 kN/mm^2 . Não deve ser aceito material com módulo de elasticidade inferior a 170 kN/mm^2 .

TABELA 7 - Características das cordoalhas de dois e três fios

Designação (A)	Diâmetro nominal da cordoalha	Tolerância no diâmetro	Área da seção aço cordoalha (valor nominal)	Massa nominal	Carga de ruptura mínima especificada	Carga mínima a 1% de alongamento	Alongamento sob carga (mínimo)
	(mm)	(mm)	(mm ²)	(kg/1000m)	(kN)	(B)	(C)
	(mm)	(mm)	(mm ²)	(kg/1000m)	(kN)	(kN)	(%)
CATEGORIA CP-180 RN							
CP-180 RN 2 x 2	2 x 2,0		6,3	51	11,35	9,65	
CP-180 RN 2 x 2,5	2 x 2,5		9,8	80	17,65	15	
CP-180 RN 2 x 3	2 x 3,0		14,1	114	25,4	21,6	
CP-180 RN 2 x 3,5	2 x 3,5	± 0,3	19,2	155	34,55	29,35	3,5
CP-180 RN 3 x 2	3 x 2,0		9,4	76	16,9	14,35	
CP-180 RN 3 x 2,5	3 x 2,5		14,7	119	26,45	22,5	
CP-180 RN 3 x 3	3 x 3,0		21,2	172	38,15	32,45	

(A) Os três dígitos constantes da designação correspondem ao limite de resistência à tração mínimo na antiga unidade kgf/mm^2 . Para efeito desta norma considera-se $1 \text{ kgf/mm}^2 = 10 \text{ MPa}$;

(B) Carga mínima a 1% do alongamento é considerada equivalente à carga a 0,2% de deformação permanente correspondente a 90% da carga de ruptura mínima especificada;

(C) A base de medida é de 600 mm mínimo.

Nota: Pode ser adotado, para efeito de cálculo, como módulo de elasticidade, o valor de 195 kN/mm^2 . Não deve ser aceito material com módulo de elasticidade inferior a 170 kN/mm^2 .

Os ensaios especificados para as cordoalhas de aço, de acordo com a NBR 7483, são:

- ensaio de tração;
- ensaio de relaxação.

O ensaio de tração, deve ser executado conforme a NBR 6349 (MB-864), determinando-se: carga a 1% de alongamento, carga de ruptura e alongamento sob carga de ruptura, para todos os corpos-de-prova. O traçado do gráfico carga x deformação deve ser feito para cinco corpos-de-prova ou fração.

No ensaio de tração, a determinação do valor da estrição em todos os fios da cordoalha deve ser executada sobre um rolo ou carretel de cada dez unidades ou fração, adotando-se 25% de estrição como valor mínimo.

O ensaio de relaxação das cordoalhas deve ser executado conforme a NBR 7484 (MB-784), determinando-se os valores da relaxação para uma carga inicial equivalente a 70% ou 80% da carga de ruptura mínima especificada.

Denomina-se lote uma determinada quantidade de cordoalhas, de mesmas características, apresentada para inspeção e ensaio de só uma vez. Os lotes devem ser identificados com a quantidade e numeração dos rolos e carretéis fornecidos.

Segundo a NBR 7483, item amostragem, para os ensaios de tração e estrição deve-se retirar da extremidade de cada rolo ou carretel do lote uma amostra de comprimento suficiente (corpo-de-prova).

Quanto à aceitação ou rejeição do lote, as indicações da NBR 7483, são:

- a) o produto inspecionado, amostrado e ensaiado é aceito, desde que todos os resultados atendam aos valores mínimos especificados nas condições específicas e nas condições gerais;
- b) se qualquer corpo-de-prova não atender aos valores mencionados nos ensaios de tração, devem ser retiradas e

submetidas a novos ensaios duas amostras adicionais da mesma extremidade do mesmo rolo ou carretel. Se os resultados desses dois corpos-de-prova atenderem aos valores mínimos especificados, o rolo ou carretel correspondente é aceito. Se o valor da estrição nos fios (1 rolo ou carretel a cada 10 unidades) não atender ao especificado sua determinação deve ser feita nos carretéis correspondentes. Se qualquer dos resultados do ensaio falhar, o rolo ou carretel correspondente é rejeitado;

- c) a liberação e o emprego do produto não são condicionados ao ensaio de relaxação, em vista de sua longa duração. O comprador pode-se basear em resultados recentes e regularmente obtidos com material da mesma categoria.

11. TELAS DE AÇO SOLDADAS - ARMADURA PARA CONCRETO NBR 7481 (EB565)

A NBR-7481 fixa as condições exigíveis para a encomenda, fabricação e fornecimento de telas de aço soldadas, destinadas à armadura para concreto e tubos de concreto.

Tela de aço soldada é a armadura pré-fabricada, destinada a armar concreto, em forma de rede de malhas retangulares, constituídas de fios de aço longitudinais e transversais, sobrepostos e soldados em todos os pontos de contato (nós), por resistência elétrica (caldeamento).

A malha é a menor figura geométrica, retângulo ou quadrado, obtido pela intersecção de dois pares de fios (contíguos) ortogonais.

Armadura principal é aquela que apresenta major seção de fios por metro, na direção considerada no cálculo. A armadura secundária apresenta menor seção de fios por metro, na direção considerada no cálculo.

As telas padronizadas produzidas pelos fabricantes devem

obedecer às prescrições da NBR-7491. As tabelas elaboradas para as telas padronizadas de fabricação normal, devem conter, no mínimo, as seguintes indicações: nome do fabricante; tipo de aço; designação da tela; área das seções dos fios longitudinais e transversais (em cm²); diâmetro dos fios longitudinais e transversais (em mm); espaçamento entre fios longitudinais e transversais ou entre feixes longitudinais (em cm); massa por unidade de área (em kg/m²).

As telas não padronizadas são aqueles onde os diâmetros dos fios, os espaçamentos entre fios, as dimensões ou quaisquer outras características sejam diferentes das padronizadas. O fornecimento destas telas deve ser motivo de acordo prévio entre produtor e comprador.

A classificação das telas segundo a NBR-7481 é feita de acordo com os seguintes critérios:

- a) Conforme as propriedades mecânicas: os fios, que devem atender as exigências da NBR-7480 (barras e fios de aço destinados à armadura para concreto armado), são classificados nas categorias CA-50 (com limite de escoamento mínimo de 500 MPa) e CA-60 (com limite de escoamento mínimo de 600 MPa);
- b) Conforme a armadura principal, considerada como elemento indicativo do tipo de tela, tem-se:
 - tipo "Q": seção por metro da armadura longitudinal igual à da armadura transversal; usualmente com malha quadrada; aço CA-60;
 - tipo "L": seção por metro da armadura longitudinal maior que a da armadura transversal; usualmente com malha retangular; aço CA-60;
 - tipo "T": seção por metro da armadura transversal maior que a da

armadura longitudinal; usualmente com malha retangular; aço CA-60;

- tipo "QA": idem ao tipo "Q"; aço CA-50;
- tipo "LA": idem ao tipo "L"; aço CA-50;
- tipo "TA": idem ao tipo "T"; aço CA-50.

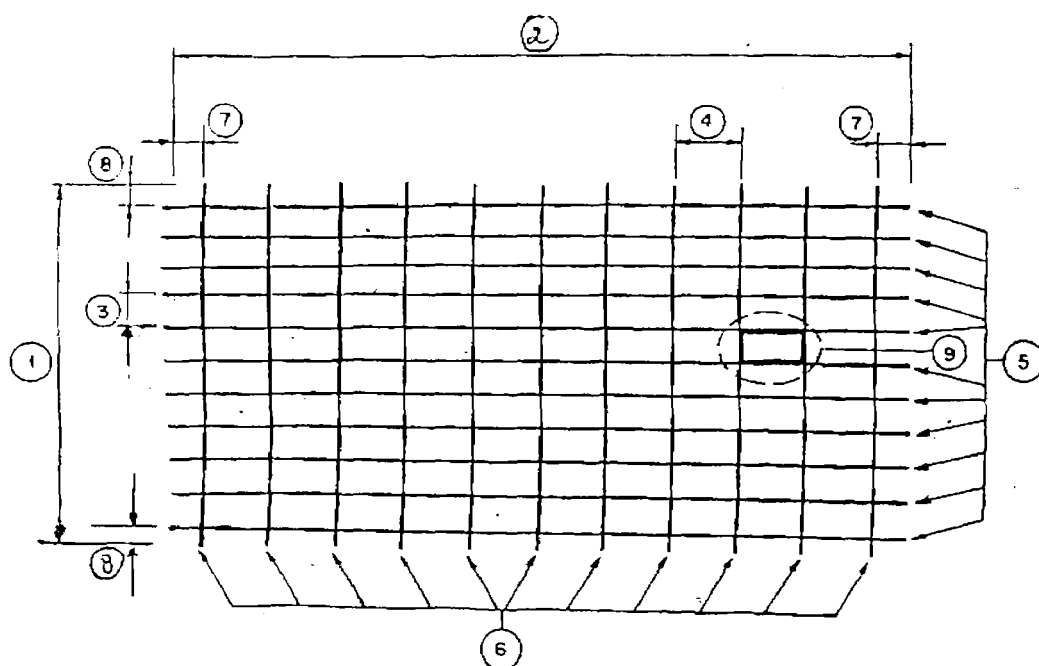
c) Conforme a forma do tubo, elemento indicativo do tipo de telas para tubos de concreto armado, tem-se:

- tipo "PB": para armação de tubos de encaixe tipo ponta e bolsa; aço CA-60;
- tipo "MF": para armação de tubos de encaixe tipo macho e fêmea; aço CA-60;
- tipo "PBA": idem tipo "PB"; aço CA-50;
- tipo "MFA": idem tipo "MF"; aço CA-50.

As telas podem ser fornecidas em rolos ou em painéis. Salvo acordo prévio entre produtor e comprador, as telas com diâmetros dos fios longitudinais maiores que 4,2 mm devem ser fornecidas em painéis.

A largura usual de fabricação da tela, em rolos ou painéis, deve ser de 2,45m, correspondendo ao comprimento de seus fios transversais. O comprimento usual dos painéis deve ser de 4,2 m e 6m. O comprimento usual dos rolos deve ser de 60m a 120m.

As características das telas e o espaçamento entre fios são representados, respectivamente, nas figuras 13 e 14.



- (1) largura em m (2,45 m)
- (2) comprimento, em m (4,2 m – 6m – painéis)
- (3) C_l - espaçamento entre os fios longitudinais, em cm
- (4) C_t - espaçamento entre os fios transversais, em cm
- (5) $\varnothing_l$ - diâmetro dos fios longitudinais, em mm
- (6) $\varnothing_t$ - diâmetro dos fios transversais, em mm
- (7) f_l - franjas longitudinais, em cm
- (8) f_t - franjas transversais, em cm (2,5 cm)
- (9) malha, cm x cm

FIGURA 13 – Características das telas

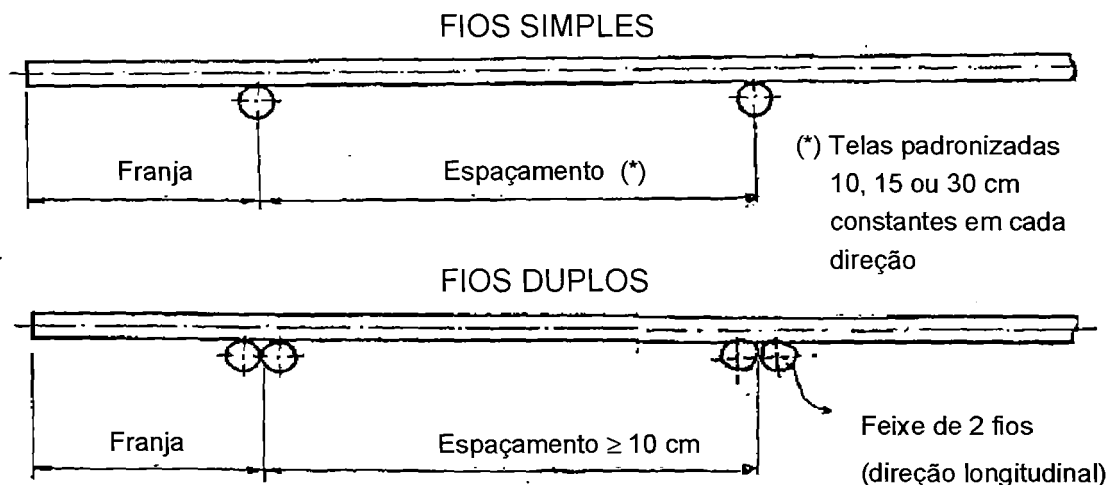


FIGURA 14- Espaçamento dos fios das telas

A largura da tela para tubos de concreto armado é determinada em função do comprimento do tubo (1,0, 1,2, 1,5 e 2,0 m) variando de 1,12 m a 2,20 m para tubos tipo ponta e bolsa e de 0,9875 m a 1,975 m para tubos tipo macho e fêmea. As telas soldadas para armação de tubos de concreto armado são fornecidas em rolos de comprimento 60 m e 120 m.

Os diâmetros analisados dos fios, em milímetros, para telas de armadura para concreto devem ser: 3,0 - 3,2 - 3,4 - 3,6 - 3,8 - 4,0 - 4,2 - 4,5 - 4,3 - 5,0 - 5,3 - 5,6 - 6,0 - 6,3 - 6,5 - 7,1 - 8,0 - 9,0 - 10,0 - 11,2 e 11,5.

Para telas de tubos de concreto armado os diâmetros normalizados dos fios, em milímetros, devem ser: 3,0 - 3,2 - 3,4 - 3,6 - 3,8 - 4,0 - 4,2 - 4,5 - 4,3 - 5,0 - 5,3 - 5,6 - 6,0 - 6,3 - 6,5 - 7,1.

Os fios podem ser lisos, entalhados ou nervurados, empregados como fios simples ou em feixes de dois fios (só devem ser usados na direção longitudinal, com espaçamento mínimo de 10 cm – figura 11).

A NBR-7431 prescreve as seguintes informações referentes á designação das telas para armaduras de concreto:

- a) principais características das telas: tipo de aço (CA-50 ou CA-

60); seção dos fios por metro, na direção da armadura principal; seção dos fios por metro, na direção da armadura secundária

- b) as telas padronizadas devem ser designadas através do seu tipo, acrescido da área da seção principal dos fios, em mm²/m

Ex: L 138 de 2,45 m x 60 m

- L armadura principal é a longitudinal
 - seção dos fios = 1,38 cm²/m
 - aço CA-60
 - seção dos fios transversais - tabela do produtor
- c) as telas de aço CA-60 não padronizadas devem ser designadas através do espaçamento entre fios longitudinais, espaçamento entre fios transversais, diâmetro dos fios longitudinais e diâmetro dos fios transversais

Exemplo: 10x20 – 8,0 x 5,6

10 = espaçamento longitudinal dos fios em cm

20 = espaçamento transversal dos fios em cm

8,0 = diâmetro dos fios longitudinais em mm

5,6 = diâmetro dos fios transversais em mm

- d) as telas de aço CA-50 não padronizados devem receber, após a designação do diâmetro dos fios, a letra A

Ex: 15x30- 11,2 x 10,0 A

Quanto á identificação, as telas devem conter etiquetas fornecendo as seguintes indicações: marca ou símbolo e nome do produtor; tipo de aço; designação da tela; comprimento e largura dos painéis ou rolo.

A designação das telas para tubos de concreto armado, feito através da NBR - 7481, deve indicar tipo e seção longitudinal de aço por

metro de tela em mm^2/m .

Exemplo: MF.138 tipo macho e fêmea, seção longitudinal de $138 \text{ mm}^2/\text{m}$, aço CA-60.

A unidade de comercialização das telas é o metro quadrado. Nas encomendas devem constar: quantidade pedida, número de rolos ou painéis; dimensões: largura e comprimento; tipo de aço; designação da tela.

As condições específicas (propriedades mecânicas) prescritas pela NBR-7481 para as telas de aço soldadas destinadas ao concreto armado, são as seguintes:

- a) resistência á tração e o dobramento: os fios de tela soldada devem apresentar propriedades mecânicas conforme prescrito na NBR-7480;
- b) resistência ao cisalhamento: a média dos resultados dos ensaios de resistência ao cisalhamento não deve ser inferior ao produto da força de escoamento em N, do fio de maior diâmetro, pela fração:

Tipo de aço	Fios lisos	Fios entalhados ou nervurados
CA - 50	0,35	0,30
CA - 60	0,30	0,25

Os ensaios especificados pela NBR-7481 referentes às telas de aço soldadas para concreto armado, são:

- a) ensaio de tração: deve ser realizado conforme a NBR-6207. O alongamento após ruptura deve ser determinado sobre uma base de medida de comprimento igual a dez vezes o diâmetro;
- b) ensaio de dobramento: deve ser realizado conforme a NBR-6153 (MB-5);

- c) ensaio de cisalhamento das juntas soldadas: deve ser realizado conforme NBR-5916 (MB-776).

Para efeito de recebimento, durante a inspeção, o lote constituído por telas de mesma designação tem massa definida por:

- a) $MT = 2(\varnothing_l + \varnothing_t)$, para telas com fio de maior diâmetro até 5 mm (inclusive);
- b) $MT = (\varnothing_l + \varnothing_t)$, para telas com fio de maior diâmetro acima de 5 mm.

Quanto à aceitação ou rejeição de um lote de telas de aço soldadas a NBR-7481 prescreve as seguintes considerações para as amostras:

- a) fios: para o ensaio de tração e dobramento de cada lote, deve ser retirada aleatoriamente uma amostra para eventual controle, antes da fabricação do lote;
- b) telas: para efeito de recebimento de cada lote de telas deve ser retirado aleatoriamente um painel ou rolo, e, deste, retira-se como amostra uma faixa transversal contendo todos os fios longitudinais e com dimensões adequadas para a execução dos ensaios previstos. Desta faixa transversal, devem ser retirados 2 corpos-de-prova para o ensaio de tração e 2 para o ensaio de dobramento, sendo 1 corpo-de-prova da armadura principal e 1 da armadura secundária, para ambos os ensaios. Para o ensaio de cisalhamento, devem ser retirados aleatoriamente, como corpos-de-prova, 4 juntas soldadas.

Metade dos corpos-de-prova para ensaios de tração deve conter juntas soldadas, sendo estas localizadas aproximadamente no meio do comprimento e com fio ortogonal cortado, de modo que apresentem cerca de 25 mm de cada lado, conforme figura 15.

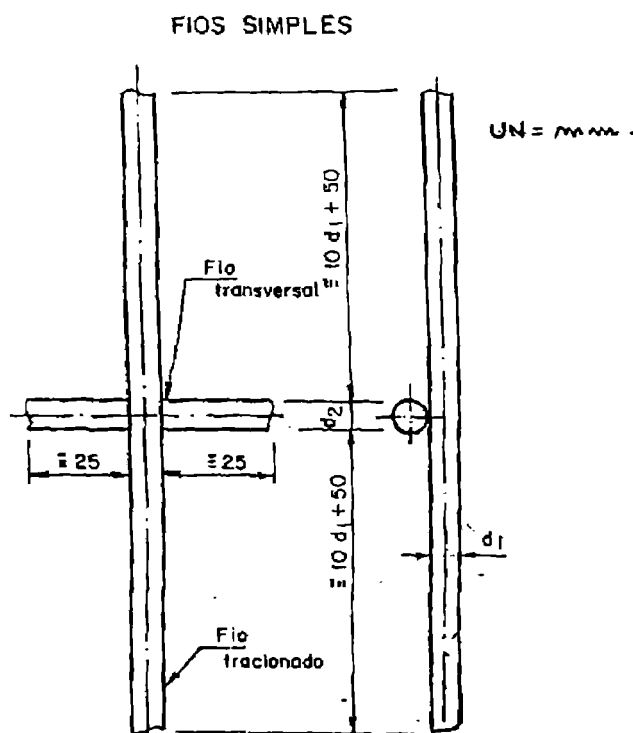


FIGURA 15 – Corpos-de-prova pra ensaios de tração

Para o ensaio de dobramento, os corpos-de-prova devem ser retirados fora da região de juntas soldadas; para o ensaio de cisalhamento, os corpos-de-prova devem ter as dimensões especificadas conforme a NBR-5916. O resultado deve ser a média dos valores obtidos nas 4 juntas soldadas.

Quanto à aceitação ou rejeição de um lote de telas de aço soldadas para concreto armado, as principais considerações da NBR-7481, são as seguintes:

- a) O produtor deve realizar os ensaios de tração e de dobramento nos fios que constituem as telas, antes da soldagem, apresentando os resultados quando solicitados;
- b) O lote que estiver de acordo com as exigências desta Norma deve ser aceito;

- c) Se os resultados dos ensaios de tração, dobramento ou cisalhamento não forem satisfatórios, devem ser repetidos somente aqueles cujos valores não atenderem às especificações. Neste caso, para cada ensaio de tração e de dobramento, devem ser retirados dois novos corpos-de-prova de outros fios da mesma tela. Para o ensaio de cisalhamento, tomam-se oito juntas soldadas da mesma amostra. O lote deve ser aceito se, no ensaio de tração, os dois resultados adicionais para os fios de cada armadura, principal e secundária, atenderem às exigências desta Norma. Não constitui motivo de rejeição o rompimento do corpo-de-prova na garra da máquina de tração. Não deve existir junta soldada no trecho do corpo-de-prova preso pela mesma garra. No ensaio do dobramento, para que o lote seja aceito, os dois corpos-de-prova adicionais para os fios de cada armadura, principal e secundária, devem atender às exigências desta Norma. Se a média dos resultados dos ensaios das doze juntas soldadas da mesma amostra não atender as exigências desta Norma, retiram-se aleatoriamente quatro amostras de quatro telas diferentes, tirando de cada amostra quatro novos corpos-de-prova. Se ainda assim a média destes ensaios de cisalhamento não atender às exigências desta Norma, o lote deve ser rejeitado;
- d) As telas devem suportar o transporte e o manuseio normal. As quebras de juntas soldadas, causadas por negligência do manuseio, não devem constituir motivo de rejeição, a menos que o número das quebras exceda a 1% do número total por painel de no mínimo 14,7 m². No caso de rolos, é permissível 1% do número total de juntas soldadas quebradas em cada 15 m² de tela, desde que 50% ou mais do número máximo permitido de juntas soldadas quebradas não sejam localizados em um único fio;

- e) Devem ser rejeitados apenas os painéis ou rolos do um lote que não satisfizerem às características dimensionais estabelecidas. Se o número de rolos ou painéis rejeitados exceder 25% do número total do lote, este não deve ser aceito.

12. ENSAIO DE RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO NAS JUNTAS DE TELAS SOLDADAS DESTINADAS A CONCRETO ARMADO – NBR 5916 (MB 776)

Este método tem por objetivo estabelecer as condições e o procedimento para determinação da resistência ao cisalhamento nas juntas soldadas de telas a armaduras para concreto. Só é aplicável quando o diâmetro das barras soldadas atenderem à seguinte condição:

$$0,55 \leq \phi_1 / \phi_2 \leq 1,00$$

É um ensaio que trata de comprovar a eficiência da emenda feita por solda. Um dos fios, o de maior diâmetro é fixado e o outro é tracionado na direção perpendicular ao eixo do primeiro, segundo o esquema:

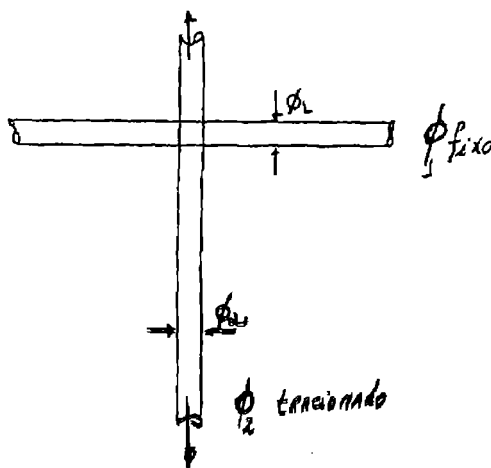


FIGURA 16 – Esquema para comprovação da eficiência da emenda feita por solda. O resultado é dado em N e corresponde à carga necessária pra romper a emenda.

13. BIBLIOGRAFIA

- **Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT;** NBR-5916, NBR-6004, NBR-6118, NBR-6152, NBR-6153, NBR-6207, NBR-6251, NBR-6349, NBR-7477, NBR-7480, NBR-7481, NBR-7482, NBR-7483, NBR-8965.
- **Sichieri, Eduvaldo P. e outros;** Materiais de Construção II (O Aço na Arquitetura e na Construção Civil), Grupo de Pesquisa ArqTeMa, Departamento de Arquitetura e Urbanismo – EESC – USP; São Carlos; 2004.
- **Falcão Bauer, L.A.;** Materiais de Construção.
- **Petrucci, E.G.;** Materiais de Construção.
- **Helene, P.R.L.;** Aços, Apostila EPUSP.
- **Chiaverini, V.;** Aços e Ferros Fundidos; ABM.
- **Agnesini, M.V.C. e Silva, L.F.;** Notas de Aula.