

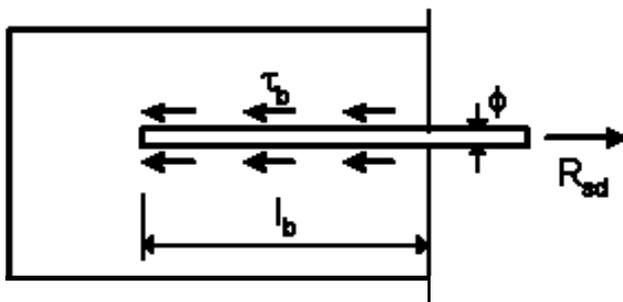
## CAPÍTULO 7 – Volume 1

# ANCORAGEM E EMENDAS DAS BARRAS DA ARMADURA

Prof. José Milton de Araújo - FURG

1

## 7.1 – Ancoragem por aderência



$R_{sd}$  = Força de tração de cálculo

$\tau_b$  = tensões de aderência

$f_{bd}$  = valor médio de cálculo das tensões de aderência

As tensões de aderência  $\tau_b$  são variáveis ao longo do comprimento de ancoragem  $l_b$ . Entretanto, para efeito de projeto é suficiente considerar o valor médio de cálculo  $f_{bd}$ .

Prof. José Milton de Araújo - FURG

2

Se a tensão na barra é igual à tensão de escoamento de cálculo do aço,  $f_{yd}$ , a força  $R_{sd}$  é dada por

$$R_{sd} = A_s f_{yd} = \frac{\pi \phi^2}{4} f_{yd} \quad (7.1.1)$$

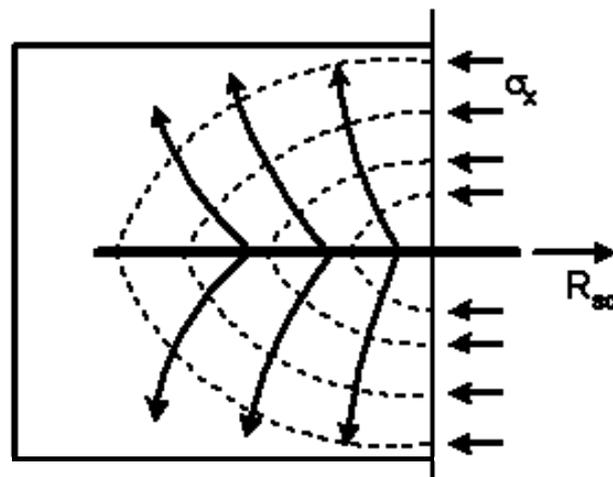
onde  $\phi$  é o diâmetro da barra.

**Equilíbrio:**  $u_s l_b f_{bd} = R_{sd}$  (7.1.2)

$u_s = \pi \phi$  é o perímetro da seção da barra.

Das duas equações, obtém-se o comprimento básico de ancoragem

$$l_b = \frac{\phi f_{yd}}{4 f_{bd}} \quad (7.1.3)$$



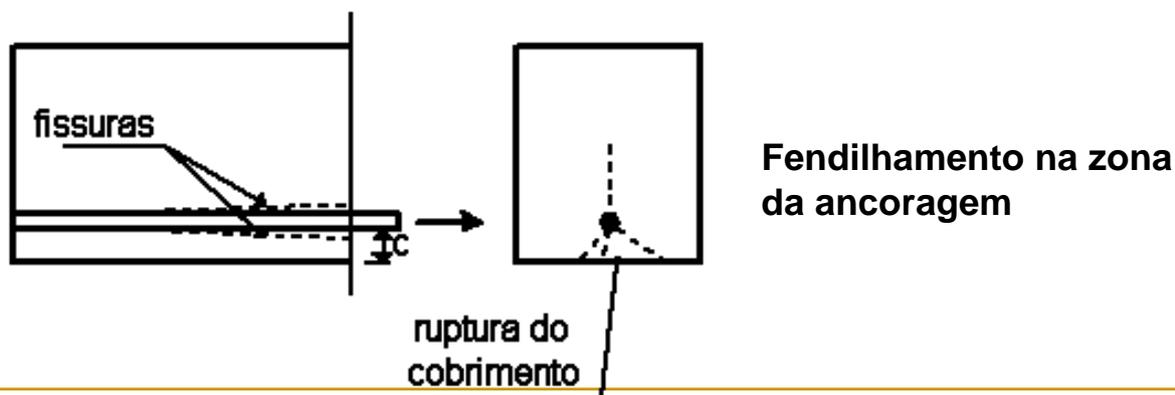
↔ tração

----- compressão

**Trajétórias das tensões principais na ancoragem**

Na direção transversal à barra surgem tensões de tração, cuja resultante produz o esforço de tração transversal denominado esforço de fendilhamento. O valor máximo do esforço de fendilhamento é aproximadamente igual a  $R_{sd}/4$ , nos casos de ancoragem por aderência.

Em virtude das tensões de tração, surge sempre o risco de aparecerem fissuras longitudinais ou de fendilhamento na região da ancoragem. Se o cobrimento de concreto,  $c$ , for pequeno em relação ao diâmetro da barra, ele pode romper-se, como indicado na figura.



Os efeitos desfavoráveis do fendilhamento podem ser eliminados quando existe uma compressão transversal na zona da ancoragem, como ocorre nos apoios diretos das vigas.

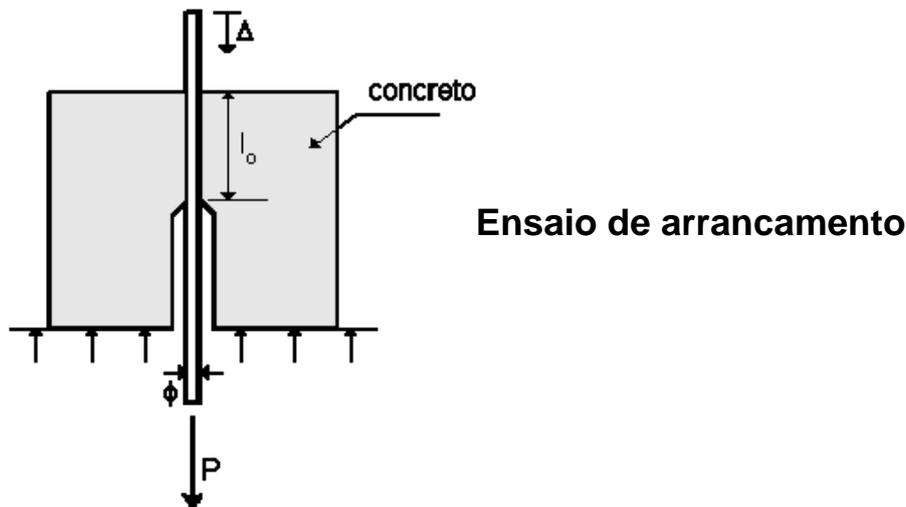
Se essa compressão não existir, é necessário colocar uma armadura transversal, ao longo do comprimento de ancoragem, capaz de absorver os esforços de fendilhamento.

Por isso, a NBR-6118 exige que, à exceção das regiões sobre apoios diretos, as ancoragens por aderência sejam confinadas por armaduras transversais ou pelo próprio concreto. Neste último caso, é necessário que o cobrimento da barra ancorada seja maior ou igual a  $3\phi$  e que a distância entre barras ancoradas também seja no mínimo igual a  $3\phi$ .

## 7.2 – Tensão de aderência

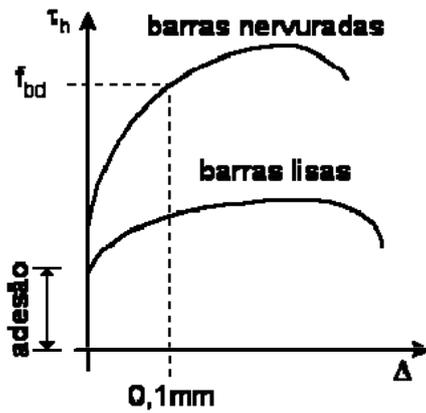
Convencionalmente, a aderência entre o aço e o concreto é separada em três componentes: a aderência por adesão, a aderência por atrito e a aderência mecânica.

- A aderência por adesão decorre das ligações físico-químicas que se estabelecem no contato entre o aço e o concreto (efeito de colagem) durante o processo de pega do cimento. Esse efeito é destruído para pequenos deslocamentos da barra de aço e, portanto, dá uma contribuição muito pequena para a resistência da aderência.
- A aderência por atrito decorre do deslocamento da barra de aço em relação ao concreto. As forças de atrito dependem da rugosidade superficial da barra e das pressões transversais às armaduras. Assim, uma compressão transversal também é favorável para aumentar a aderência por atrito.
- A aderência mecânica ocorre em barras nervuradas, através do contato direto entre o concreto e as saliências na superfície da barra.



A tensão de aderência média,  $\tau_b$ , é dada por

$$\tau_b = \frac{P}{u_s l_o} = \frac{P}{\pi \phi l_o} \quad (7.2.1)$$

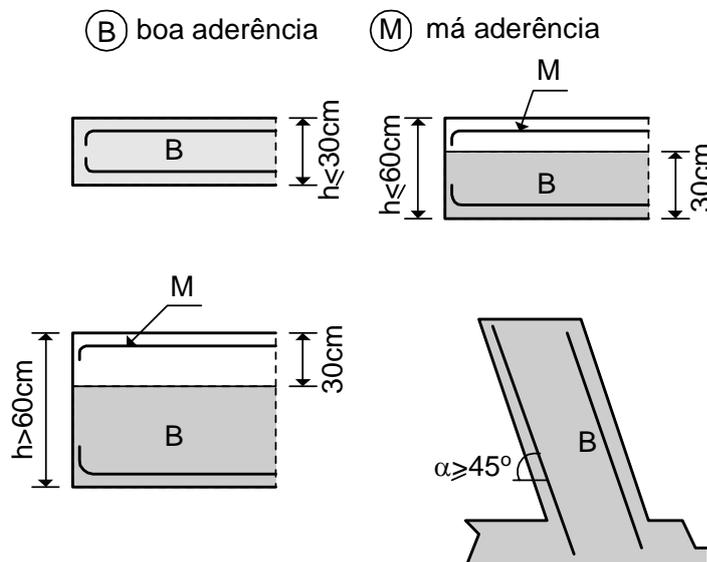


Relação tensão de aderência-escorregamento

A resistência da aderência depende, ainda, da posição das barras de aço na estrutura. Barras verticais estão sempre em uma posição favorável, enquanto que barras horizontais podem estar em uma situação desfavorável, dependendo de sua localização. Devido à sedimentação do concreto fresco, pode ocorrer um acúmulo de água sob as barras horizontais, com a conseqüente formação de vazios na parte inferior das mesmas. Por causa disto, a resistência da aderência fica reduzida.

## 7.3 – Tensão última de aderência

Na figura abaixo, são ilustrados os casos possíveis para concretagem sobre formas fixas. Usando formas deslizantes, devem-se considerar todas as barras em posição de má aderência.



Posições de boa e de má aderência

O valor de cálculo da tensão última de aderência é obtido com o emprego da expressão

$$f_{bd} = \eta_1 \eta_2 \eta_3 f_{ctd} \quad (7.3.1)$$

onde  $f_{ctd}$  é o valor de cálculo da resistência à tração do concreto, obtido a partir da resistência característica inferior  $f_{ctk,inf}$ , e os coeficientes  $\eta$  levam em conta os demais fatores que influenciam na resistência da aderência.

$\eta_1 = 1,0$  para barras lisas (CA-25 e CA-60 liso);  
 $\eta_1 = 1,4$  para barras entalhadas (CA-60 entalhado);  
 $\eta_1 = 2,25$  para barras nervuradas (CA-50);  
 $\eta_2 = 1,0$  para situações de boa aderência;  
 $\eta_2 = 0,7$  para situações de má aderência;  
 $\eta_3 = 1,0$  para barras de diâmetro  $\phi \leq 32$  mm;

$$\eta_3 = \frac{132 - \phi}{100} \text{ (com } \phi \text{ em mm) para } \phi > 32 \text{ mm.}$$

A resistência à tração de cálculo é dada por

$$f_{ctd} = \frac{f_{ctk,inf}}{\gamma_c} \quad (7.3.2)$$

Considerando  $\eta_1 = 2,25$  (para barras nervuradas),  $\eta_2 = 1,0$  (para situações de boa aderência),  $\eta_3 = 1,0$  (para barras com  $\phi \leq 32$  mm),  $\gamma_c = 1,4$  e as relações entre  $f_{ctk,inf}$  e  $f_{ck}$  do capítulo 1, pode-se escrever

$$f_{bd} = 0,42(f_{cd})^{2/3}, \text{ se } f_{ck} \leq 50 \text{ MPa} \quad \star \quad (7.3.3)$$

$$f_{bd} = 2,4 \ln(1 + 0,15 f_{cd}), \text{ se } f_{ck} > 50 \text{ MPa} \quad (7.3.4)$$

As expressões (7.3.3) e (7.3.4) são válidas para barras nervuradas em uma situação de boa aderência, desde que  $\phi \leq 32$  mm.

Considerando apenas os casos usuais em que  $\phi \leq 32$  mm, para as situações de boa aderência, a tensão de cálculo  $f_{bd}$  é dada por

$$f_{bd} = k 0,42(f_{cd})^{2/3}, \text{ se } f_{ck} \leq 50 \text{ MPa} \quad (7.3.5)$$

$$f_{bd} = k 2,4 \ln(1 + 0,15 f_{cd}), \text{ se } f_{ck} > 50 \text{ MPa} \quad (7.3.6)$$

$k = 1,00$  para barras nervuradas,

$k = 0,62$  para barras entalhadas,

$k = 0,44$  para barras lisas.

Para as barras em situações de má aderência, as expressões (7.3.5) e (7.3.6) devem ser multiplicadas por 0,7.

## 7.4 – Comprimento de ancoragem reta

$$l_{b,nec} = l_b \frac{A_{s,cal}}{A_{se}} \geq l_{b,min} \quad (7.4.1)$$

$$l_b = \frac{\phi f_{yd}}{4 f_{bd}} \geq 25\phi \quad (7.4.2)$$

$$l_{b,min} \geq 0,3l_b; 10\phi; 10cm \quad (7.4.3)$$

No caso de feixes de barras, o comprimento básico de ancoragem  $l_b$  é calculado considerando-se o diâmetro do círculo de mesma área do feixe. Por exemplo, para um feixe de  $n$  barras de diâmetro  $\phi_o$ , o diâmetro equivalente é  $\phi_n = \phi_o \sqrt{n}$ .

As barras constituintes de feixes devem ter ancoragem reta, sem ganchos, e devem atender às seguintes condições:

**a)** quando o diâmetro equivalente do feixe for menor ou igual a 25mm, o feixe pode ser tratado como uma barra única, de diâmetro  $\phi_n$ , valendo todas as prescrições para ancoragem de barras isoladas;

**b)** quando o diâmetro equivalente for maior que 25mm, a ancoragem deve ser calculada para cada barra isolada, defasando as suas extremidades para reduzir os efeitos de concentrações de tensões de aderência; essa defasagem das extremidades não deve ser inferior a 1,2 vezes o comprimento de ancoragem de cada barra isolada;

**c)** quando, por razões construtivas, não for possível proceder como recomendado no item (b), o feixe pode ser tratado como uma barra única de diâmetro  $\phi_n$ ; neste caso, é obrigatório o emprego de armadura transversal adicional na região da ancoragem.

O comprimento de ancoragem das barras comprimidas também é calculado com a expressão (7.4.1). Nesses casos, as barras só podem ser ancoradas com ancoragem reta.



**Exceção:** Ancoragem das barras de espera dos pilares nas sapatas ou nos blocos de fundação

Neste caso, o gancho tem apenas a função construtiva de facilitar a montagem.

Se a barra do pilar estiver comprimida, o gancho não sofre nenhum esforço, pois a ancoragem é feita no topo da sapata ou do bloco, através das bielas de compressão.

Se a barra do pilar estiver tracionada, tem-se a ancoragem com gancho usual. O limite  $0,6l_b$  dentro da sapata leva em conta os efeitos favoráveis do gancho, do cobrimento de concreto e da relação  $A_s,cal/A_{se}$ .

## 7.5 – Barras com ganchos

Segundo a NBR-6118, os ganchos das extremidades das barras da armadura longitudinal de tração podem ser semicirculares (**Tipo 1**), em ângulo de  $45^\circ$  (**Tipo 2**) ou em ângulo reto (**Tipo 3**). As extremidades retas desses ganchos devem ter os comprimentos mínimos indicados na figura. Para as barras lisas, os ganchos deverão ser sempre semicirculares.

Nos ganchos dos estribos, os comprimentos mínimos são de  $5\phi \geq 5\text{ cm}$  para o Tipo 1 e o Tipo 2 e de  $10\phi \geq 7\text{ cm}$  para o Tipo 3. Este último tipo de gancho não deve ser utilizado para estribos de barras e fios lisos.

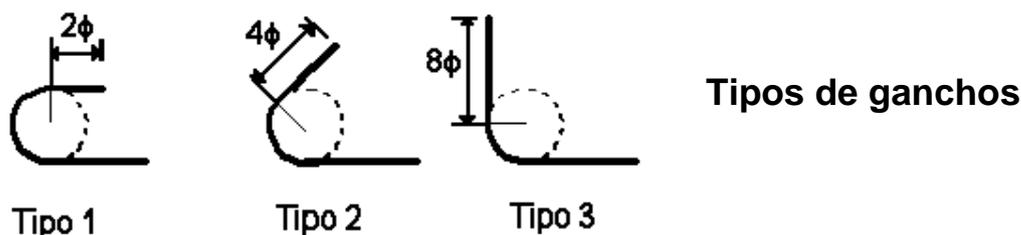


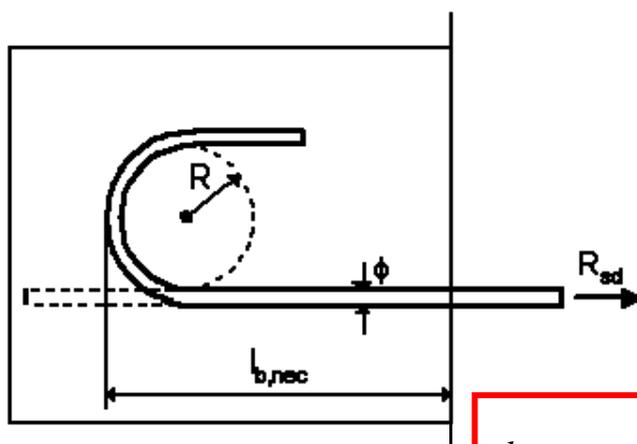
Tabela 7.5.1 - Diâmetros mínimos de dobramento (ganchos e estribos)

Bitola	CA-25	CA-50	CA-60
$\phi < 20$	$4\phi$	$5\phi$	$6\phi$
$\phi \geq 20$	$5\phi$	$8\phi$	

Para estribos de bitola não superior a 10, o diâmetro mínimo de dobramento é igual a  $3\phi$ .

- As barras lisas tracionadas devem ser ancoradas com gancho, obrigatoriamente.
- As barras que forem sempre comprimidas devem ser ancoradas apenas com ancoragens retilíneas, pois os ganchos aumentam o risco de fendilhamento na extremidade da barra. Nas barras sujeitas a esforços alternados de tração e de compressão, deve-se fazer a ancoragem sem ganchos. Não é recomendado o emprego de gancho para barras de  $\phi > 32\text{ mm}$ .

Para levar em conta o efeito favorável do gancho, o comprimento de ancoragem pode ser reduzido em relação à ancoragem reta, como indicado na figura.



**Ancoragem de barras tracionadas com ganchos**

$$l_{b,nec} = \alpha_1 l_b \frac{A_{s,cal}}{A_{se}} \geq l_{b,min} \quad (7.5.2)$$

$\alpha_1 = 0,7$  se o cobrimento de concreto no plano normal ao gancho for maior ou igual a  $3\phi$ ;

$\alpha_1 = 1,0$  se o cobrimento for menor que  $3\phi$ .

## 7.6 – Outros fatores de redução do comprimento de ancoragem

Segundo o CEB/90, o comprimento de ancoragem necessário é dado por

$$l_{b,nec} = \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \alpha_4 \alpha_5 l_b \frac{A_{s,cal}}{A_{se}} \geq l_{b,min} \quad (7.6.1)$$

Os cinco coeficientes introduzidos na equação (7.6.1) levam em conta os seguintes fatores favoráveis para a ancoragem:

$\alpha_1$ : efeito de gancho ou laços;

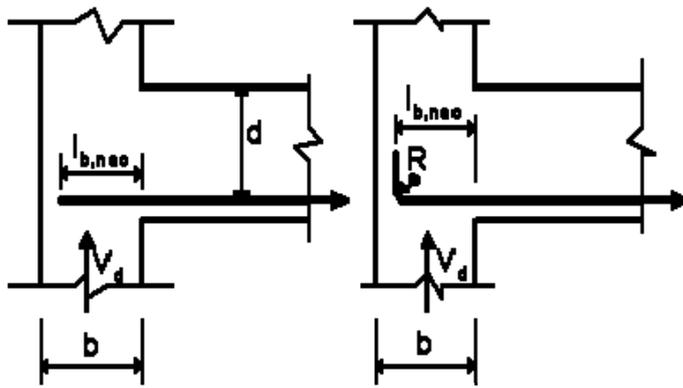
$\alpha_2$ : efeito de barras transversais soldadas;

$\alpha_3$ : efeito do cobrimento das armaduras;

$\alpha_4$ : efeito de barras transversais não soldadas;

$\alpha_5$ : efeito da pressão transversal.

## 7.7 – Ancoragem em apoio de extremidade



Ancoragem em apoio de extremidade

Força a ser ancorada: 
$$R_{sd} = \frac{a_l}{d} V_d \quad (7.7.3)$$

onde  $a_l$  é obtido da equação (6.5.9) do capítulo anterior.

Armadura calculada: 
$$A_{s,cal} = R_{sd} / f_{yd} \quad (7.7.4)$$

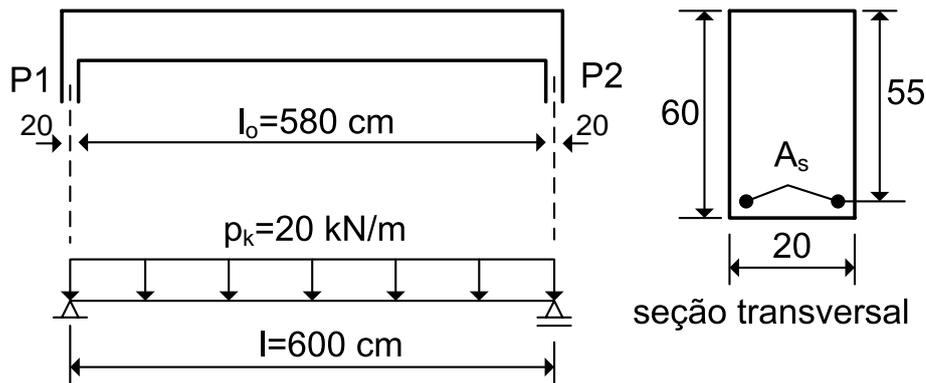
e  $A_{se}$  é a armadura que realmente chega ao apoio.

- O comprimento de ancoragem é medido a partir da face do apoio.
- O comprimento de ancoragem  $l_{b,nec}$  é obtido da expressão (7.6.1), considerando-se os fatores de redução indicados na tabela 7.6.1.
- No caso de ancoragem reta, o valor mínimo  $l_{b,min}$  é dado na equação (7.4.3).
- Quando a barra termina em gancho no apoio, deve-se verificar que

$$l_{b,nec} \geq \begin{cases} R + 5,5\phi \\ 6\text{cm} \end{cases} \quad (7.7.5)$$

sendo  $\phi$  o diâmetro da barra e  $R$  o raio de dobramento do gancho.

## Exemplo



Concreto:  $f_{ck}=30$  MPa Aço: CA-50

### A) Dimensionamento da armadura longitudinal

$$M_k = \frac{p_k l^2}{8} = 90 \text{ kNm} \quad A_s = 5,61 \text{ cm}^2$$

Armando a viga com barras de  $\phi = 16$  mm, tem-se:

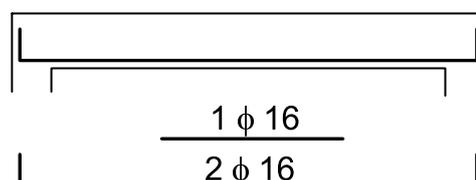
- área de uma barra:  $A_{s1} = \frac{\pi \phi^2}{4} = 2,01 \text{ cm}^2$

- número de barras necessárias:  $n = \frac{5,61}{2,01} = 2,79 \Rightarrow n = 3$  barras

- área de aço adotada:  $A_{s,adot} = 3 \times 2,01 = 6,03 \text{ cm}^2$

### B) Escalonamento da armadura longitudinal

Uma barra será cortada (ficando mais curta que o vão) e duas barras serão passadas de apoio a apoio.



### C) Ancoragem no vão (da barra que será cortada)

$$A_{s,cal} = 5,61 \text{ cm}^2 \text{ (para } M_k). \quad A_{se} = 6,03 \text{ cm}^2 \text{ (adotado).}$$

- **resistência da aderência:**  $f_{cd} = \frac{f_{ck}}{1,4} = \frac{30}{1,4} = 21,43 \text{ MPa}$

$$f_{bd} = 0,42(f_{cd})^{2/3} = 0,42(21,43)^{2/3} \Rightarrow f_{bd} = 3,24 \text{ MPa}$$

- **comprimento básico de ancoragem:**

$$l_b = \frac{\phi f_{yd}}{4 f_{bd}} = \frac{1,6 \cdot 434,8}{4 \cdot 3,24} \Rightarrow l_b \cong 54 \text{ cm}$$

Como  $54 > 25\phi = 40 \text{ cm}$   
 $\rightarrow l_b = 54 \text{ cm}$

onde  $f_{yd} = 500/1,15 = 434,8 \text{ MPa}$ .

- **comprimento mínimo de ancoragem:**

Para ancoragem no vão, reta ou com gancho, tem-se:

$$l_{b,\min} \geq \begin{cases} 0,3l_b = 0,3 \times 54 = 16,2 \text{ cm} \\ 10\phi = 10 \times 1,6 = 16 \text{ cm} \\ 10 \text{ cm} \end{cases}$$

Logo,  $l_{b,\min} \cong 17 \text{ cm}$ .

- **comprimento de ancoragem reta:**

$$l_{b,nec} = l_b \frac{A_{s,cal}}{A_{se}} = 54 \times \frac{5,61}{6,03} \Rightarrow l_{b,nec} = 50 \text{ cm}$$

Como  $l_{b,nec} > l_{b,\min}$ , adota-se  $l_{b,nec} = 50 \text{ cm}$ . ☀

## D) Ancoragem nos apoios de extremidade

$$\text{Cortante: } V_k = \frac{p_k l}{2} = \frac{20 \times 6}{2} = 60 \text{ kN.} \quad V_d = 1,4V_k = 84 \text{ kN.}$$

$$A_{s,cal} = \frac{a_l}{d} \frac{V_d}{f_{yd}}$$

Para as vigas dos edifícios:  $a_l = d$  (simplificação)

$$A_{s,cal} = \frac{V_d}{f_{yd}} = \frac{84}{43,48} \Rightarrow A_{s,cal} = 1,93 \text{ cm}^2$$

$$A_{se} = 2 \times 2,01 = 4,02 \text{ cm}^2 \text{ (só duas barras nos apoios).}$$

### - comprimento de ancoragem reta:

$$l_{b,nec} = l_b \frac{A_{s,cal}}{A_{se}} = 54 \times \frac{1,93}{4,02} \Rightarrow l_{b,nec} = 26 \text{ cm}$$

$$l_{b,min} = 17 \text{ cm (visto anteriormente)}$$

Como  $l_{b,nec} > l_{b,min}$ , deve-se adotar  $l_{b,nec} = 26 \text{ cm}$ .

Largura dos pilares: 20 cm. Cobrimento: 3 cm (Classe II)

Espaço disponível: 17 cm

**Impossível fazer ancoragem reta!**

**- comprimento de ancoragem com gancho:**

$$l_{b,nec} = 0,7l_b \frac{A_{s,cal}}{A_{se}} = 0,7 \times 54 \times \frac{1,93}{4,02} \Rightarrow l_{b,nec} = 18 \text{ cm}$$

$$l_{b,min} \geq \begin{cases} R + 5,5\phi \\ 6 \text{ cm} \end{cases} ; R = 2,5\phi \text{ (tabela 7.5.1)}$$

$$l_{b,min} \geq \begin{cases} 8\phi = 8 \times 1,6 = 12,8 \\ 6 \text{ cm} \end{cases} \Rightarrow l_{b,min} = 13 \text{ cm}$$

Como resultou  $l_{b,nec} > l_{b,min}$ , deve-se adotar  $l_{b,nec} = 18 \text{ cm}$ .

**Impossível fazer ancoragem com gancho!**

**Solução:** passar as três barras corridas (não escalonar)

$A_{se} = 3 \times 2,01 = 6,03 \text{ cm}^2$ . O comprimento de ancoragem necessário seria

$$l_{b,nec} = 0,7l_b \frac{A_{s,cal}}{A_{se}} = 0,7 \times 54 \times \frac{1,93}{6,03} \Rightarrow l_{b,nec} = 12 \text{ cm.}$$

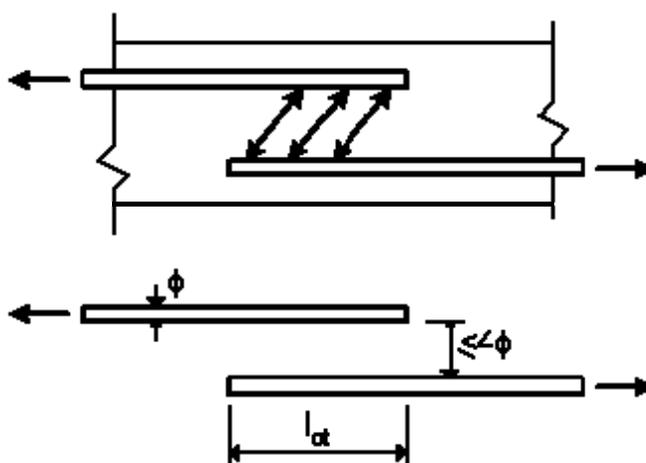
$l_{b,min} = 13 \text{ cm}$ . Adotar  $l_{b,nec} = 13 \text{ cm}$ .

Na prática:  $l_{b,nec} = 17 \text{ cm}$ . ☀

## 7.8 – Emendas das barras da armadura

- As emendas das barras da armadura devem ser evitadas sempre que possível. Quando necessário, as emendas podem ser feitas por traspasse, através de solda, com luvas rosqueadas ou com outros dispositivos devidamente justificados. As emendas com solda ou luvas rosqueadas exigem um controle especial para garantir a resistência da emenda.
- A emenda por traspasse é mais barata, por ser de fácil execução, e faz uso da própria aderência entre o aço e o concreto. De acordo com a NBR-6118, esse tipo de emenda não é permitido para barras de bitola superior a 32 ( $\phi > 32\text{mm}$ ), nem para tirantes e pendurais (peças lineares de seção inteiramente tracionada).
- No caso de feixes, o diâmetro do círculo de mesma área, para cada feixe, não pode ser superior a 45mm. Além disso, as barras constituintes do feixe devem ser emendadas uma de cada vez sem que, em qualquer seção do feixe emendado, resultem mais de quatro barras.

Nas emendas por traspasse, a transferência da força de uma barra para outra se faz através de bielas comprimidas inclinadas, como indicado na figura abaixo. A distância entre as barras emendadas deve ser no máximo igual a  $4\phi$ .



**Emenda por traspasse**

O comprimento do traspasse,  $l_{ot}$ , das barras tracionadas é dado por

$$\star l_{ot} = \alpha_{ot} l_{b,nec} \geq l_{ot,min} \quad (7.9.1)$$

onde  $l_{b,nec}$  é o comprimento de ancoragem, dado na expressão (7.6.1), e  $\alpha_{ot} \geq 1$  é um coeficiente que leva em conta as piores condições na região da emenda, em relação à ancoragem de uma barra isolada.

Segundo a NBR-6118, o comprimento mínimo da emenda de barras tracionadas é dado por

$$\star l_{ot,min} \geq \begin{cases} 20\text{cm} \\ 15\phi \\ 0,3\alpha_{ot}l_b \end{cases} \quad (7.9.2)$$

onde  $l_b$  é o comprimento básico de ancoragem.

Tabela 7.9.1 - Valores do coeficiente  $\alpha_{ot}$

Porcentagem de barras emendadas na mesma seção	$\leq 20\%$	25%	33%	50%	$> 50\%$
Valores de $\alpha_{ot}$	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0

Considera-se como na mesma seção transversal, as emendas que se superpõem ou cujas extremidades mais próximas estejam afastadas de menos que 20% do comprimento do trecho de traspasse, conforme indicado na fig. 7.9.2. Assim, para reduzir o comprimento das emendas, elas devem ser distribuídas de maneira defasada ao longo do eixo da peça.

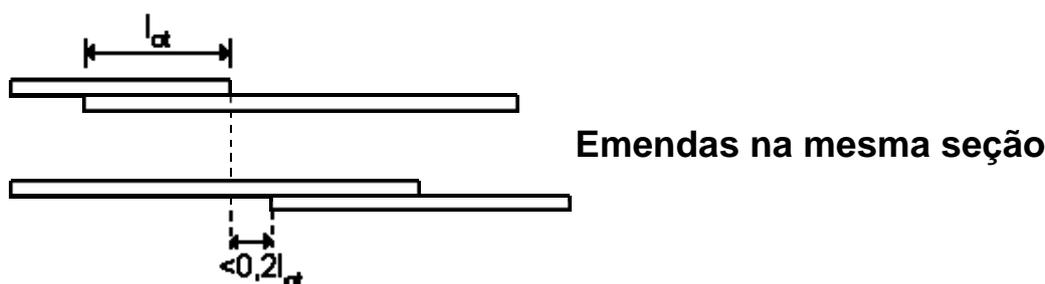


Tabela 7.9.2 - Proporção máxima de barras tracionadas emendadas

Tipo de barra	Situação	Carregamento	
		estático	dinâmico
alta aderência	em uma camada	100%	100%
	em mais de uma camada	50%	50%
lisa	$\phi < 16\text{mm}$	50%	25%
	$\phi \geq 16\text{mm}$	25%	25%

O comprimento do trecho de traspasse das barras comprimidas,  $l_{oc}$ , é dado por

$$\star l_{oc} = l_{b,nec} \geq l_{oc,min} \quad (7.9.3)$$

com o valor mínimo dado por

$$\star l_{oc,min} \geq \begin{cases} 20\text{cm} \\ 15\phi \\ 0,6l_b \end{cases} \quad (7.9.4)$$