

conteúdo 35

aderência - ancoragem

35.1 Aderência

35.1.1 Introdução

A existência do concreto armado decorre essencialmente da solidariedade existente entre os seus materiais componentes, o concreto e o aço. Essa solidariedade impede que haja escorregamento relativo entre a armadura e o concreto que a envolve, daí decorrendo peculiaridades de comportamento, próprias do concreto armado.

A solidariedade da armadura ao concreto é garantida pela existência de uma certa aderência entre os dois materiais. Na realidade, essa aderência é composta por diversas parcelas, que decorrem de diferentes fenômenos que intervêm na ligação dos materiais. Esses fenômenos podem ser explicitados por meio de diferentes ensaios. Esquemáticamente, podem ser consideradas as seguintes parcelas:

- **Aderência por adesão:** essa parcela de aderência é constatada pela resistência à separação dos dois materiais, quando se tenta separar um bloco concretado diretamente em contato com uma placa de aço (figura 35.1). Em virtude das ligações físico-químicas que se estabelecem na interface dos dois materiais durante as reações de pega do cimento, aparece uma certa resistência de adesão R_{b1} (bond=aderência) que se opõe à separação dos dois materiais.

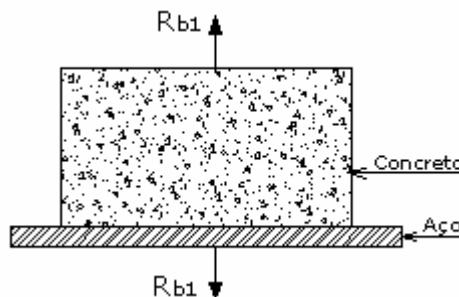


Figura 35.1 – Aderência por adesão

- **Aderência por atrito:** realizando o “ensaio de arrancamento” de uma barra de aço parcialmente mergulhada no concreto (figura 35.2), verifica-se que a força de arrancamento R_{b2} é significativamente superior aos limites que podem ser previstos a partir da resistência R_{b1} , obtida no ensaio anterior.

Os ensaios realizados sugerem que esse acréscimo de aderência seja devido a forças de atrito existentes entre os dois materiais. Essas forças de atrito dependem do coeficiente de atrito entre o aço e o concreto, o qual é função da rugosidade superficial da barra, e decorrem da existência de uma pressão transversal P_t exercida pelo concreto sobre a barra, em virtude de sua retração. A presença da barra inibe parcialmente as deformações de retração do concreto, daí surgindo a pressão transversal que provoca o acréscimo de aderência.

Nas barras curvas, sob a ação de forças de tração, surgem elevadas pressões de contato, pelo que o atrito pode ser particularmente intenso, favorecendo-se assim a solidarização dos dois materiais. Da mesma forma, uma compressão transversal externa aumenta a capacidade de aderência por atrito. Essa situação é usualmente encontrada nos apoios diretos das vigas.

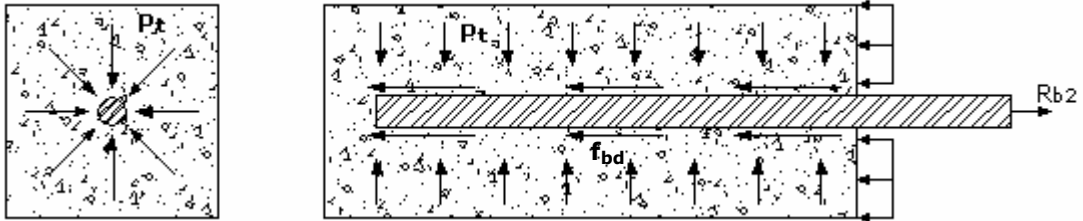


Figura 35.2 – Aderência por atrito

- **Aderência mecânica:** uma terceira parcela de aderência é decorrente da presença de saliências na superfície da barra. Essas saliências funcionam como peças de apoio, mobilizando tensões de compressão no concreto (figura 35.3). Nas chamadas "barras de alta aderência", essas saliências são dispostas intencionalmente ao longo da superfície da barra. A solidariedade dessas barras ao concreto é baseada essencialmente na aderência mecânica resultante das saliências, as quais caracterizam a conformação superficial das mesmas.

Note que o efeito de aderência mecânica também está presente nas chamadas "barras lisas", em virtude das irregularidades superficiais inerentes ao processo de laminação. Esse fato pode ser constatado por meio de ensaios comparativos de arrancamento de barras ensaiadas no estado "como laminado" e de barras torneadas e polidas. Nas barras lisas, a aderência mecânica e a aderência por atrito praticamente se confundem.

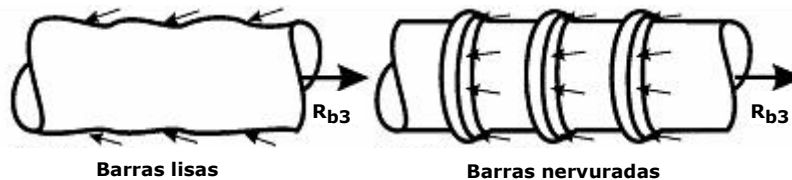


Figura 35.3 – Aderência mecânica

Na realidade, a separação da aderência nas três parcelas acima indicadas é meramente esquemática, não sendo possível determinar-se cada uma delas isoladamente. Além disso, a aderência de uma barra de aço ao concreto que a envolve é função de ponto, sendo o seu valor fortemente influenciado pela retração, pela fluência e pela fissuração do concreto. Desse modo por meio de ensaios são determinados valores médios globais de aderência, que são suficientes para efeito de projeto, não havendo necessidade de um estudo em escala microscópica.

Embora a intuição indique que a aderência se dá pela simples mobilização de tensões tangenciais, no esquema real, o equilíbrio é obtido por meio de bielas diagonais comprimidas, acompanhadas por tensões transversais de tração. Estas tensões de tração criam uma região microfissurada em torno da barra, tendendo a fendilhar o concreto paralelamente ao eixo da barra e destruir a ligação existente (figura 35.4).



Figura 35.4 – Fendilhamento longitudinal do concreto

A eficiência da ligação pode ser aumentada se a fissuração transversal for impedida através de: uma compressão transversal, que anule ou minimize a tração; um cintamento helicoidal, que produza um estado de compressão transversal; ou de uma armadura transversal de costura, que equilibre a tração transversal, mantendo a integridade da peça (figura 35.5).

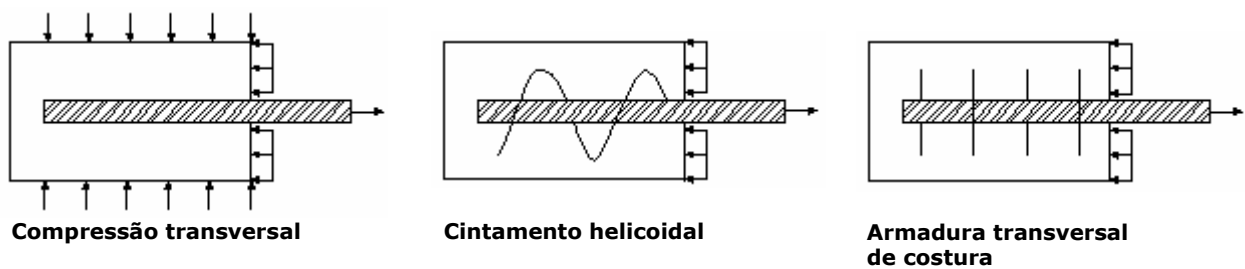


Figura 35.5 – Mecanismos de resistência ao fendilhamento

35.1.2 Zonas de Aderência

A aderência depende, principalmente, de um bom envolvimento da armadura pelo concreto. A vibração do concreto provoca a movimentação da água, em excesso na mistura, para as partes superiores da peça. Esta água tende a ficar presa, em forma de gotículas, junto às faces inferiores das armaduras (partes sólidas em geral). Com o tempo aparecem no seu lugar vazios que diminuem a área de contato da barra com o concreto (figura 35.6). Isto justifica o fato das barras horizontais posicionadas nas partes superiores das peças estarem em condições de má aderência, em contraposição as partes inferiores das peças constituem zonas de boa aderência. Quando a espessura da peça é pequena ($h \leq 30\text{cm}$, para finalidade prática) a quantidade de água de exudação é pequena, e não chega a reduzir em demasia a aderência.

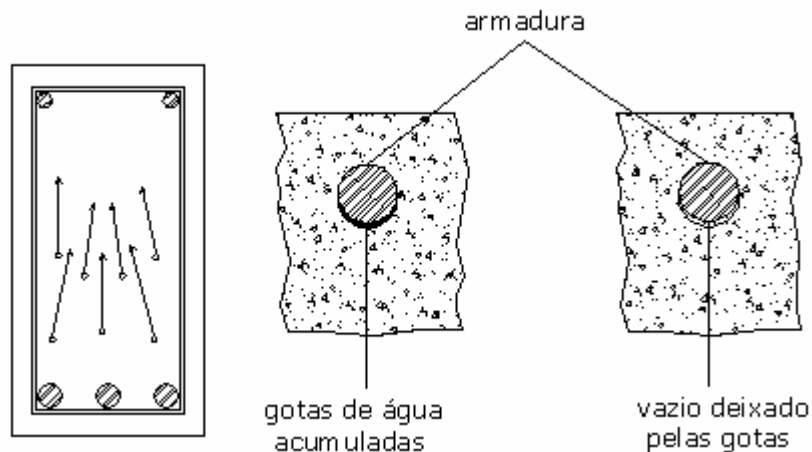


Figura 35.6 – Ação da água na armadura

(NBR6118/2003 – Item 9.3.1) Considera-se em boa situação quanto à aderência os trechos das barras que estejam em uma das posições seguintes:

a) com inclinação maior que 45° sobre a horizontal;

b) horizontais ou com inclinação menor que 45° sobre a horizontal, desde que:

- para elementos estruturais com $h < 60\text{cm}$, localizados no máximo 30cm acima da face inferior do elemento ou da junta de concretagem mais próxima;

- para elementos estruturais com $h \geq 60\text{cm}$, localizados no mínimo 30cm abaixo da face superior do elemento ou da junta de concretagem mais próxima.

Os trechos das barras em outras posições e quando do uso de formas deslizantes devem ser considerados em má situação quanto à aderência.

A figura 35.7, apresenta as situações de boa aderência (zona I), e má aderência (zona II).

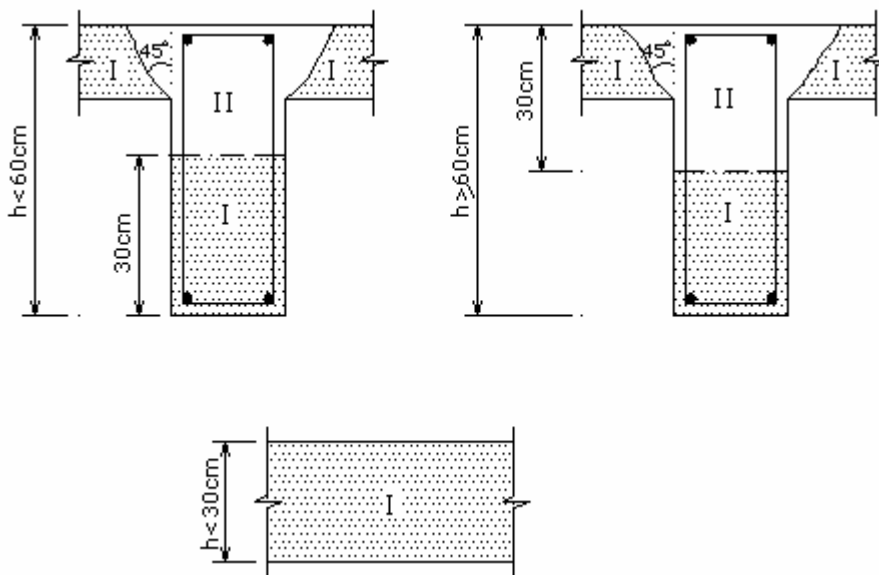


Figura 35.7 – Zonas de aderência

35.1.3 Ensaio de arrancamento - Resistência de aderência de cálculo

A determinação da resistência de aderência, tendo em vista a ancoragem das barras de aço, é classicamente feita por meio do “ensaio de arrancamento”. O comportamento teórico das tensões de aderência num ensaio desta natureza está mostrado na figura 35.8.

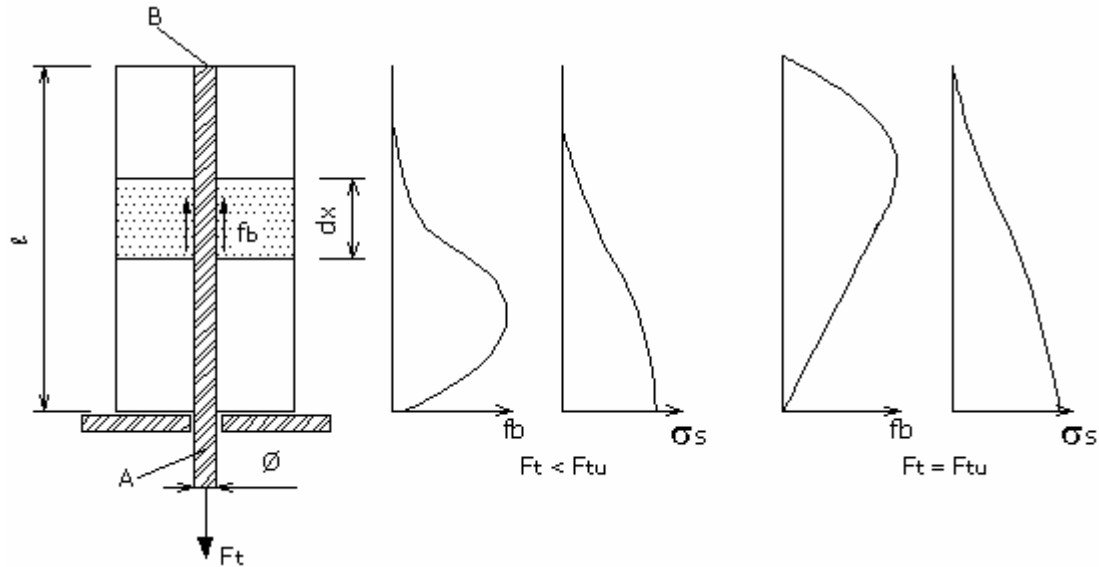


Figura 35.8 – Ensaio de arrancamento

Sob a ação da força de tração F_t , na barra age a tensão σ_s , sendo mobilizadas tensões de aderência f_b (bond). A tensão σ_s diminui à medida que se consideram seções mais afastadas do ponto de entrada da barra de aço no bloco de concreto.

Considerando o equilíbrio do elemento de comprimento dx , figura 35.9

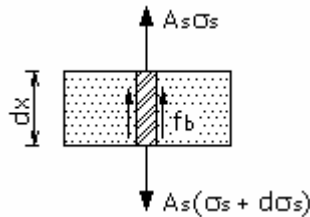


Figura 35.9 – Elemento de comprimento dx

sendo A_s a área da seção transversal da barra de aço, ϕ o seu diâmetro e $u = \pi \cdot \phi$ o seu perímetro, tem-se:

$$\begin{aligned} \sigma_s \cdot \pi \cdot \frac{\phi^2}{4} + f_b \cdot \pi \cdot \phi \cdot dx &= (\sigma_s + d\sigma_s) \cdot \pi \cdot \frac{\phi^2}{4} \\ f_b \cdot \pi \cdot \phi \cdot dx &= d\sigma_s \cdot \pi \cdot \frac{\phi^2}{4} \\ f_b &= \frac{\phi}{4} \cdot \frac{d\sigma_s}{dx} \end{aligned} \quad (35.1)$$

pode-se verificar que a aderência f_b é mobilizada enquanto a tensão de normal na barra varia, isto é, enquanto $d\sigma_s/dx \neq 0$.

Para forças $F_t < F_{t_u}$, apenas parte do comprimento total está trabalhando. Nos trechos em que se chega ao escorregamento, a aderência por adesão é destruída, restando as aderências mecânica e por atrito. Esta última, vai se alterando durante o ensaio em virtude da microfissuração do concreto circundante à barra.

O escorregamento total da barra só ocorre a partir de uma força $F_t = F_{t_u}$, quando a aderência ainda pode aumentar até $F_t = F_{t_u}$. Em virtude da maior capacidade de mobilização da aderência mecânica, este aumento é maior no caso das barras nervuradas do que no das lisas. Nas

barras lisas, uma vez iniciado o escorregamento, o valor último é logo atingido. Por esta razão, é obrigatório o emprego de gancho na extremidade das barras lisas, que inibem o início do escorregamento e tornam a ancoragem mais segura.

No arrancamento, quando $F_t = F_{tu}$ (intensidade última), a capacidade máxima de aderência está mobilizada. Como usualmente ocorre um processo de fissuração antes do arrancamento, a capacidade de resistência de aderência é tomada com o valor convencional correspondente a um certo valor do deslocamento da extremidade descarregada.

(NBR6118/2003 - Item 9.3.2.1) A resistência de aderência de cálculo entre armadura e concreto na ancoragem de armaduras passivas deve ser obtida pela seguinte expressão:

$$f_{bd} = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot f_{ctd} \quad (35.2)$$

sendo:

$$f_{ctd} = 0,15 \cdot \sqrt[3]{f_{ck}^2} \quad (35.3)$$

onde:

$\eta_1 = 1,0$ para barras lisas;

$\eta_1 = 1,4$ para barras dentadas;

$\eta_1 = 2,25$ para barras nervuradas;

$\eta_2 = 1,0$ para situações de boa aderência;

$\eta_2 = 0,7$ para situações de má aderência;

$\eta_3 = 1,0$ para $\phi < 32\text{mm}$;

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

35.2 Ancoragem

35.2.1 - Introdução

As disposições construtivas básicas das ancoragens retas e das emendas por traspasse das armaduras passivas estão esquematizadas na figura 35.10, tanto para barras tracionadas quanto para barras comprimidas.

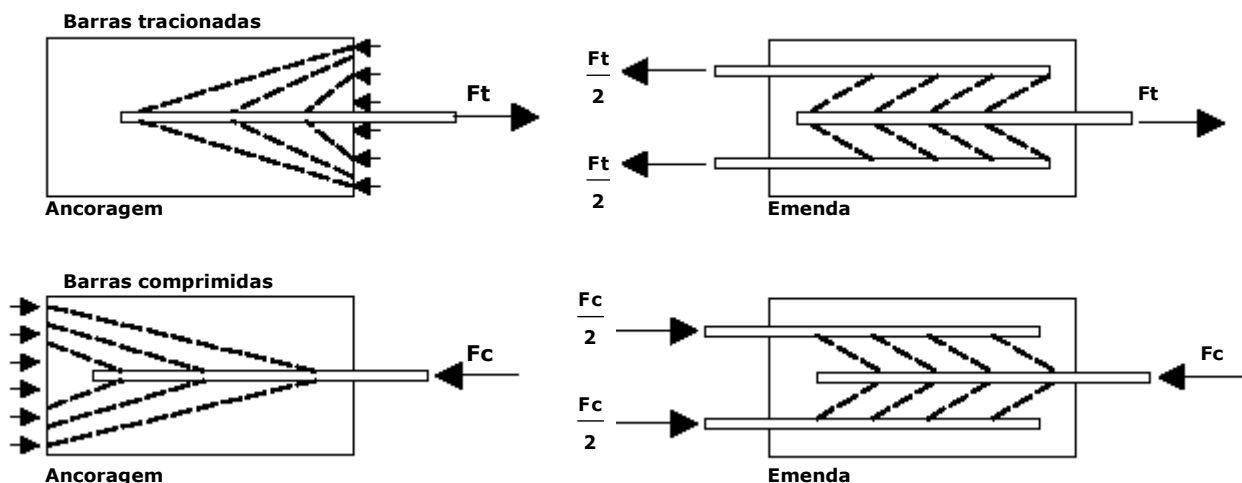


Figura 35.10 - Esquema resistente nas ancoragens retas e emendas por traspasse

De acordo com o que foi visto, o equilíbrio dos esforços é obtido por meio de um efeito de arqueamento das tensões. A transmissão de esforços é feita por meio de bielas diagonais comprimidas de concreto conforme se indica nos exemplos da figura 35.10.

É importante observar que nas ancoragens das barras tracionadas, o essencial é garantir a manutenção da integridade das bielas diagonais comprimidas e assegurar que os esforços transversais de tração possam ser adequadamente resistidos.

A ancoragem de barras de aço no concreto acarreta o aparecimento de solicitações transversais de tração, que devem ser resistidas por uma armadura de costura. Mas, freqüentemente desaparece a necessidade de colocação de uma armadura especial de costura, porquanto essa função pode ser desempenhada pelas armaduras transversais colocadas nas peças em virtude de outros tipos de solicitação.

As emendas e as ancoragens das barras comprimidas têm basicamente o mesmo comportamento que o das barras tracionadas. A transmissão de esforços é feita por bielas diagonais comprimidas com o conseqüente aparecimento de tensões transversais de tração. No entanto, há duas diferenças básicas entre as ancoragens tracionadas e aquelas comprimidas.

No caso das ancoragens tracionadas, as tensões longitudinais de tração produzem fissuração da peça. Essa fissuração reduz em parte a capacidade de ancoragem da barra, pois ela é acompanhada por uma microfissuração que desagrega o concreto ao longo de um certo comprimento. Os comprimentos de ancoragem recomendados para as barras tracionadas já levam em conta todos esses efeitos.

No caso da ancoragem de barras comprimidas, existe maior integridade do concreto, decorrente da própria compressão longitudinal da peça. Em princípio, a eficiência dessas ancoragens pode ser maior do que as das barras tracionadas.

Além disso, nas barras comprimidas, a eficiência da ancoragem também é aumentada pela existência de um efeito de ancoragem de ponta, pois existe uma compressão direta do topo da barra. Esse efeito de ancoragem de topo permite a ancoragem reta de barras lisas, pois ele substitui o efeito dos ganchos, necessários nas ancoragens tracionadas.

Em princípio, as ancoragens e as emendas das barras comprimidas devem ser retas, sem ganchos da extremidade. No entanto, nas barras lisas sujeitas a esforços alternados de tração e de compressão, os ganchos são obrigatórios para a resistência aos esforços de tração.

Nesse caso, a armadura transversal contra o fendilhamento deve ser cuidadosamente respeitada.

35.2.2 – Ancoragens retas e curvas

Nas ancoragens retas, a transmissão de esforços é feita por meio de solicitações tangenciais.

Além da tendência ao fendilhamento ao longo da ancoragem, existe uma concentração de tensões nas extremidades, que tende a produzir uma ruptura localizada. Desta forma, as barras da armadura de costura transversal à ancoragem devem ser dispostas de forma mais concentrada junto às extremidades (figura 35.11).

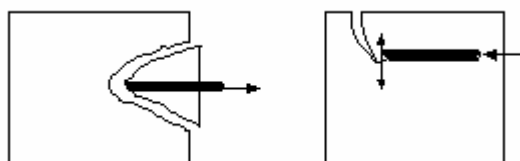


Figura 35.11 – Ancoragens retas – concentração de tensões nas extremidades

Nas ancoragens curvas, a transferência dos esforços se faz por meio da aderência, como nas ancoragens retas, e por solicitações normais, que transmitem por compressão ao concreto parte da força a ser ancorada. Estas tensões de compressão aumentam a capacidade de ancoragem por atrito ao longo do trecho curvo, mas são acompanhadas por tensões de tração, transversais ao plano de dobramento, que tendem a fendilhar o concreto. Quando o raio de curvatura é suficientemente grande, as tensões de fendilhamento são pequenas e podem ser absorvidas pelo próprio concreto. Por este motivo, as normas prescrevem valores mínimos para os raios de curvatura, a partir dos quais não são necessárias precauções contra este fendilhamento (figura 35.12).

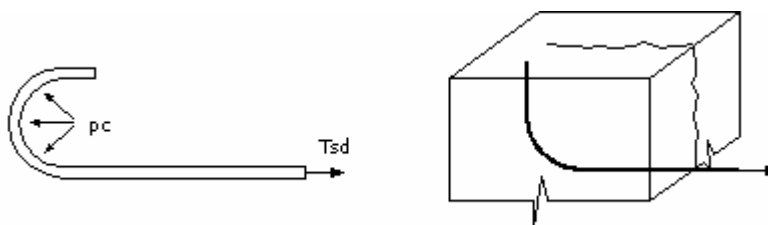


Figura 35.12 – Ancoragens curvas - tendência ao fendilhamento no plano de dobramento

35.2.3 Ancoragem por aderência

(NBR6118/2003 – Item 9.4.1.1) Quando os esforços são ancorados por meio de um comprimento reto ou com grande raio de curvatura, seguido ou não de gancho.

A exceção das regiões situadas sobre apoios diretos, as ancoragens por aderência devem ser confinadas por armaduras transversais ou pelo próprio concreto, considerando-se este caso quando o cobrimento da barra ancorada for maior ou igual a 3ϕ .

35.2.4 Ancoragem por meio de dispositivos mecânicos

(NBR6118/2003 – Item 9.4.1.2) Quando os esforços a ancorar são transmitidos ao concreto por meio de dispositivos acoplados à barra.

35.2.5 Prolongamento retilíneo da barra ou grande raio de curvatura

(NBR6118/2003 – Item 9.4.2.1) As barras tracionadas podem ser ancoradas ao longo de um comprimento retilíneo ou com grande raio de curvatura em sua extremidade, de acordo com as condições a seguir:

- a) obrigatoriamente com gancho para barras lisas;
- b) sem gancho nas que tenham alternância de solicitação, de tração e compressão;
- c) com gancho ou sem gancho nos demais casos, não sendo recomendado o gancho para barras de $\phi \geq 32\text{mm}$ ou feixes de barras.

As barras comprimidas devem ser ancoradas sem ganchos.

35.2.6 Barras transversais soldadas

(NBR6118/2003 – Item 9.4.2.2) Podem ser utilizadas várias barras transversais soldadas para a ancoragem de barras, desde que (ver figura 35.13):

- a) diâmetro da barra soldada $\phi_t \geq 0,60 \phi$;
- b) a distância da barra transversal ao ponto de início da ancoragem seja $\geq 5 \phi$;
- c) a resistência ao cisalhamento da solda deve superar a força mínima de $0,3 A_s f_{yd}$ (30% da resistência da barra ancorada).

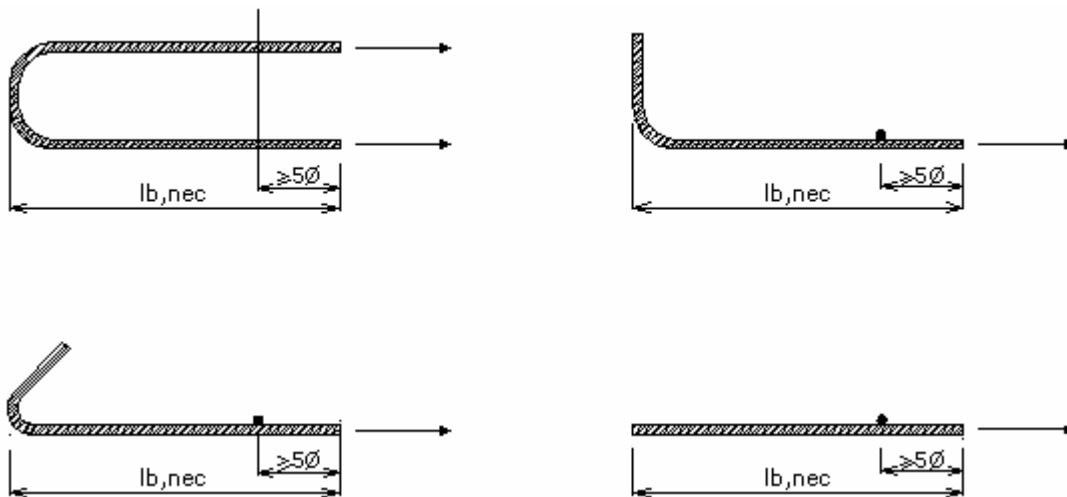


Figura 35.13– Ancoragem com barras transversais soldadas

35.2.7 Ganchos das armaduras de tração

(NBR6118/2003 – Item 9.4.2.3) Os ganchos das extremidades das barras da armadura longitudinal de tração podem ser (figura 35.14):

- a) semicirculares, com ponta reta de comprimento não inferior a 2ϕ ;
- b) em ângulo de 45° (interno), com ponta reta de comprimento não inferior a 4ϕ ;
- c) em ângulo reto, com ponta reta de comprimento não inferior a 8ϕ .

Para as barras lisas, os ganchos devem ser semicirculares.

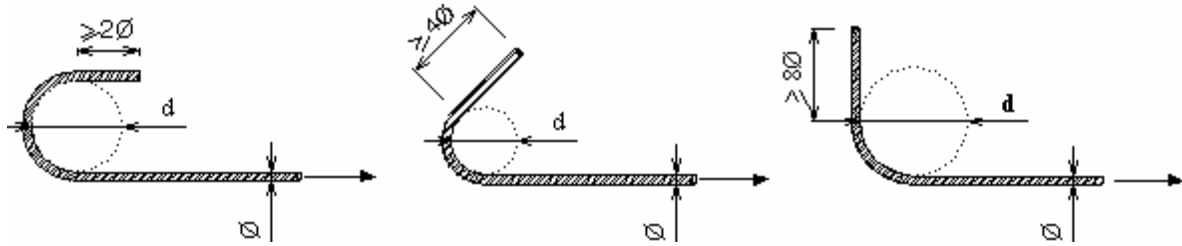


Figura 35.14 – Ganchos das extremidades das barras

O **diâmetro** interno da curvatura dos ganchos das armaduras longitudinais de tração deve ser pelo menos igual ao estabelecido na tabela 35.1.

Bitola mm	Tipo de aço		
	CA-25	CA-50	CA-60
< 20	4φ	5φ	6φ
≥20	5φ	8φ	-

Tabela 35.1 – Diâmetro dos pinos de dobramento (d)

Quando houver barra soldada transversal ao gancho, e as operações de dobramento ocorrer após a soldagem, devem ser mantidas os diâmetros dos pinos de dobramento da tabela, se o ponto de solda situar-se na parte reta da barra, a uma distância mínima de 4φ do início da curva.

Caso essa distância seja menor, ou o ponto se situe sobre o trecho curvo, o diâmetro do pino de dobramento deve ser no mínimo igual a 20φ.

Quando a operação de soldagem ocorrer após o dobramento, devem ser mantidos os diâmetros da tabela 35.1.

35.2.8 Comprimento de ancoragem básico

(NBR6118/2003 – Item 9.4.2.4) Define-se comprimento de ancoragem básico como o comprimento reto de uma barra de armadura passiva necessário para ancorar a força limite $A_s \cdot f_{yd}$ nessa barra, ao longo desse comprimento, resistência de aderência uniforme e igual a f_{bd} . O comprimento de ancoragem básico é dado por:

$$l_b = \frac{\phi}{4} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{bd}} \quad (35.4)$$

35.2.9 Comprimento de ancoragem necessário

(NBR6118/2003 – Item 9.4.2.5) O comprimento de ancoragem necessário pode ser calculado por:

$$l_{b, nec} = \alpha_1 \cdot l_b \cdot \frac{A_{s, calc}}{A_{s, ef}} \geq l_{b, min} \quad (35.5)$$

sendo:

$\alpha_1 = 1,0$ para barras sem gancho;

$\alpha_1 = 0,7$ para barras tracionadas com gancho, com cobrimento no plano normal ao gancho $\geq 3\phi$;

l_b = comprimento de ancoragem básico;

$l_{b, min}$ = maior valor entre $0,3l_b$, 10ϕ e 100mm .

35.2.10 Armadura transversal na ancoragem

(NBR6118/2003 – 9.4.2.6) Consideram-se as armaduras transversais existentes ao longo do comprimento de ancoragem, caso a soma das áreas dessas armaduras seja maior ou igual às especificadas nos itens a) e b) que seguem.

a) Barras com $\phi < 32$ mm

Ao longo do comprimento de ancoragem deve ser prevista armadura transversal capaz de resistir a 25% do esforço de uma das barras ancoradas. Se a ancoragem envolver barras diferentes, prevalece para esse efeito, a de maior diâmetro.

b) Barras com $\phi \geq 32$ mm

Deve ser verificada a armadura em duas direções transversais ao conjunto de barras ancoradas. Essas armaduras transversais devem suportar os esforços de fendilhamento segundo os planos críticos, respeitando espaçamento máximo de 5ϕ (onde ϕ é o diâmetro da barra ancorada).

Quando se tratar de barras comprimidas, pelo menos uma das barras constituintes da armadura transversal deve estar situada a uma distância igual a quatro diâmetros (da barra ancorada) além da extremidade da barra.

35.2.11 Ancoragem de estribos

(NBR6118/2003 – 9.4.6) A ancoragem dos estribos deve necessariamente ser garantida por meio de ganchos ou barras longitudinais soldadas.

Os ganchos dos estribos podem ser :

a) semi circulares ou em ângulo de 45° (interno), com ponta reta de comprimento igual a $5\phi_t$, porém não inferior a 5 cm;

b) em ângulo reto, com ponta reta de comprimento maior ou igual a $10\phi_t$, porém não inferior a 7 cm (este tipo de gancho não deve ser utilizado para barras e fios lisos).

O **diâmetro** interno da curvatura dos estribos deve ser, no mínimo, igual ao índice dado na tabela 35.2.

Bitola mm	Tipo de aço		
	CA-25	CA-50	CA-60
≤ 10	$3\phi_t$	$3\phi_t$	$3\phi_t$
$10 < \phi < 20$	$4\phi_t$	$5\phi_t$	-
≥ 20	$5\phi_t$	$8\phi_t$	-

Tabela 35.2 – Diâmetro dos pinos de dobramento dos estribos

35.2.12 Barras transversais soldadas

(NBR6118/2003 – 9.4.6.2) Desde que a resistência ao cisalhamento da solda para uma força mínima de $A_s \cdot f_{yd}$ seja comprovada por ensaio, pode ser feita a ancoragem de estribos, por meio de barras transversais soldadas, de acordo com a figura 16, obedecendo às condições dadas a seguir (figura 35.16) :

- duas barras soldadas com diâmetro $\phi_t > 0,7\phi$ para estribos constituídos por 1 ou 2 ramos;
- uma barra soldada com diâmetro $\phi_t \geq 1,4\phi$, para estribos de 2 ramos.

Sendo: As f_{yd} a resistência da barra ancorada.

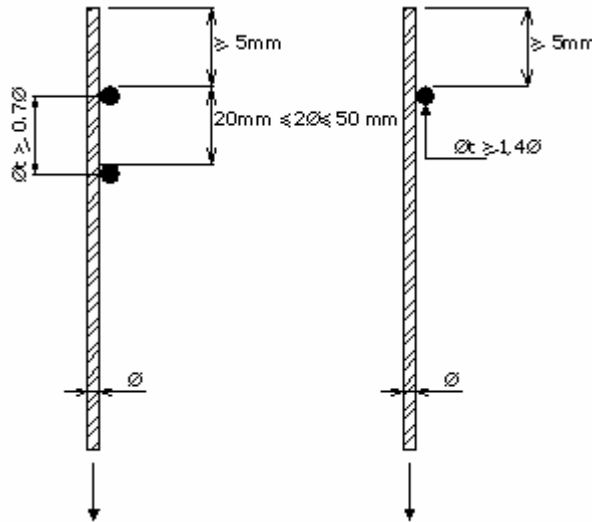


Figura 35.16– Ancoragem de armadura transversal por meio de barras soldadas

35.2.13 Ancoragem por meio de dispositivos mecânicos

(NBR6118/2003 – 9.4.7) Quando forem utilizados dispositivos mecânicos acoplados às armaduras a ancorar, a eficiência do conjunto deve ser justificada e quando for o caso, comprovada através de ensaios.

O escorregamento entre a barra e o concreto, junto ao dispositivo de ancoragem, não deve exceder 0,1 mm para 70% da carga limite última, nem 0,5 mm para 95% dessa carga.

A resistência de cálculo da ancoragem não deve exceder 50% da carga limite ensaiada, nos casos em que sejam desprezíveis os efeitos de fadiga, nem 70% da carga limite obtida em ensaio de fadiga, em caso contrário.

O projeto deve prever os efeitos localizados desses dispositivos, através de verificação da resistência do concreto e da disposição de armaduras adequadas para resistir aos esforços gerados e manter as aberturas de fissuras nos limites especificados na NBR6118-2003, item 21.2.

35.2.14 Barra transversal única

(NBR6118/2003 – 9.4.7.1) Pode ser usada uma barra transversal soldada como dispositivo de ancoragem integral da barra desde que:

– $\phi_t = \phi_t$ barra ancorada;

– ϕ não deve ser maior que 1/6 da menor dimensão do elemento estrutural na região da ancoragem ou 25 mm;

- o espaçamento entre as barras ancoradas não deve ser maior que 20ϕ ;
- a solda de ligação das barras deve ser feita no sentido longitudinal e transversal das barras, contornando completamente a área de contato das barras;
- a solda deve respeitar o prescrito na NBR6118-2003, item 9.5.4 .

35.3 Emendas

(NBR6118/2003 – 9.5.1) As emendas das barras podem ser:

- por traspasse;
- por luvas com preenchimento metálico ou rosqueadas;
- por solda;
- por outros dispositivos devidamente justificados.

35.3.1 Emendas por traspasse

(NBR6118/2003 – 9.5.2) Este tipo de emenda não é permitido para barras de bitola maior que 32 mm, nem para tirantes e pendurais (elementos estruturais lineares de seção inteiramente tracionada).

No caso de feixes, o diâmetro do círculo de mesma área, para cada feixe, não deve ser superior a 45 mm.

35.3.2 Proporção das barras emendadas

(NBR6118/2003 – 9.5.2.1) Consideram-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.

Quando as barras têm diâmetros diferentes, o comprimento de traspasse deve ser calculado pela barra de maior diâmetro (ver figura 35.17).

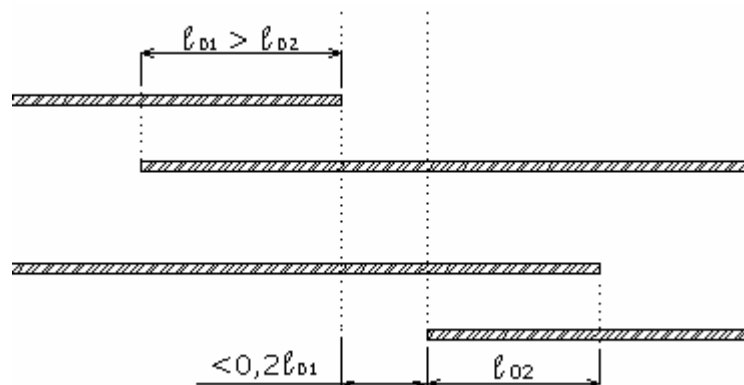


Figura 35.17– Emendas supostas como na mesma seção transversal

A proporção máxima de barras tracionadas da armadura principal emendadas por traspasse na mesma seção transversal do elemento estrutural deve ser a indicada na tabela 35.3.

A adoção de proporções maiores que as indicadas deve ser justificada quanto à integridade do concreto na transmissão dos esforços e da capacidade resistente da emenda, como um conjunto, frente à natureza das ações que a solicitem.

Tipo de barra	Situação	Tipo de carregamento	
		Estático	Dinâmico
Alta aderência	em uma camada	100 %	100 %
	em mais de uma camada	50 %	50 %
Lisa	$\phi < 16$ mm	50 %	25 %
	$\phi \geq 16$ mm	25 %	25 %

Tabela 35.3 - Proporção máxima de barras tracionadas emendadas

Quando se tratar de armadura permanentemente comprimida ou de distribuição, todas as barras podem ser emendadas na mesma seção.

35.3.3 Comprimento de traspasse de barras tracionadas, isoladas

(NBR6118/2003 – 9.5.2.2) Quando a distância livre entre barras emendadas estiver compreendida entre 0 e 4ϕ , o comprimento do trecho de traspasse para barras tracionadas deve ser:

$$l_{0t} = \alpha_{0t} \cdot l_{b,nec} \geq l_{0t,min} \quad (35.6)$$

onde:

$l_{0t,min}$ é o maior valor entre $0,3 \cdot \alpha_{0t} \lambda_b$, 15ϕ e 200 mm.

α_{0t} é o coeficiente função da porcentagem de barras emendadas na mesma seção, conforme tabela 35.4.

Quando a distância livre entre barras emendadas for $> 4\phi$, ao comprimento calculado em (35.6), deve ser acrescida a distância livre entre barras emendadas. A armadura transversal na emenda deve ser justificada considerado o comportamento conjunto concreto-aço, atendendo ao estabelecido na NBR6118-2003 item 9.5.2.4.

Barras emendadas na mesma seção %	≤ 20	25	33	50	> 50
Valores de α_{0t}	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0

Tabela 35.4 - Valores do coeficiente α_{0t}

35.3.4 Comprimento por traspasse de barras comprimidas, isoladas

(NBR6118/2003 – 9.5.2.3) Quando as barras estiverem comprimidas, adota-se a seguinte expressão para cálculo do comprimento de traspasse:

$$l_{0c} = l_{b,nec} \geq l_{0c, \min} \quad (35.7)$$

sendo:

$l_{0c, \min}$ o maior valor entre $0,6 l_b$, 15ϕ e 200mm .

35.3.5 Armadura transversal nas emendas – barras tracionadas (figura 35.18)

(NBR6118/2003 – 9.5.2.4.1) Quando $\phi < 16\text{ mm}$ ou a proporção de barras emendadas na mesma seção for menor que 25%, a armadura transversal deve satisfazer NBR6118-2003 item 9.4.2.6.

Nos casos em que $\phi \geq 16\text{ mm}$ ou quando a proporção de barras emendadas na mesma seção for maior ou igual a 25%, a armadura transversal deve:

- ser capaz de resistir a uma força igual à de uma barra emendada, considerando os ramos paralelos ao plano da emenda;
- ser constituída por barras fechadas se a distância entre as duas barras mais próximas de duas emendas na mesma seção for $< 10 \phi$ (ϕ = diâmetro da barra emendada);
- concentrar-se nos terços extremos da emenda.

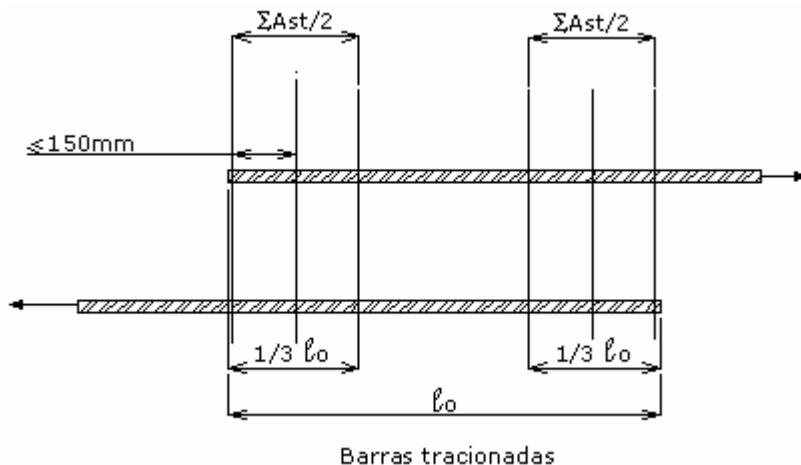


Figura 35.18 - Armadura transversal nas emendas – barras tracionadas

35.3.6 Armadura transversal nas emendas – barras comprimidas (figura 35.19)

(NBR6118/2003 – 9.5.2.4.2) Devem ser mantidos os critérios estabelecidos para o caso anterior, com pelo menos uma barra de armadura transversal posicionada 4ϕ além das extremidades da emenda.

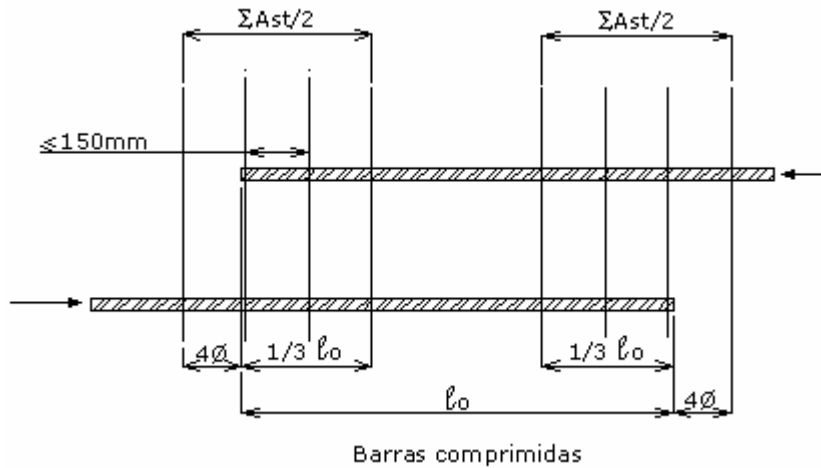


Figura 35.19 - Armadura transversal nas emendas comprimidas

35.3.7 Emendas por traspasse em feixes de barras

(NBR6118/2003 – 9.5.2.5) Podem ser feitas emendas por traspasse em feixes de barras quando, respeitado o estabelecido no item 35.3.1, as barras constituintes do feixe forem emendadas uma de cada vez, sem que em qualquer seção do feixe emendado resultem mais de quatro barras.

As emendas das barras do feixe devem ser separadas entre si 1,3 vezes o comprimento de emenda individual de cada uma.

35.3.8 Emendas por luvas roscadas

(NBR6118/2003 – 9.5.3) Para este tipo de emenda, as luvas roscadas devem ter resistência maior que as barras emendadas.

35.3.9 Emendas por solda

(NBR6118/2003 – 9.5.4) As emendas por solda podem ser:

- de topo, por caldeamento, para bitola não menor que 10 mm;
- de topo, com eletrodo, para bitola não menor que 20 mm;
- por traspasse com pelo menos dois cordões de solda longitudinais, cada um deles com comprimento não inferior a 5ϕ afastados no mínimo 5ϕ (ver figura 35.20);
- com outras barras justapostas (cobrejuntas), com cordões de solda longitudinais, fazendo-se coincidir o eixo baricêntrico do conjunto com o eixo longitudinal das barras emendadas, devendo cada cordão ter comprimento de pelo menos 5ϕ (ver figura 35.20).

As emendas por solda podem ser realizadas na totalidade das barras em uma seção transversal do elemento estrutural.

Devem ser consideradas como na mesma seção as emendas que de centro a centro estejam afastadas entre si menos que 15ϕ medidos na direção do eixo da barra.

A resistência de cada barra emendada deve ser considerada sem redução.

Em caso de barra tracionada e havendo preponderância de carga acidental, a resistência deve ser reduzida em 20%.

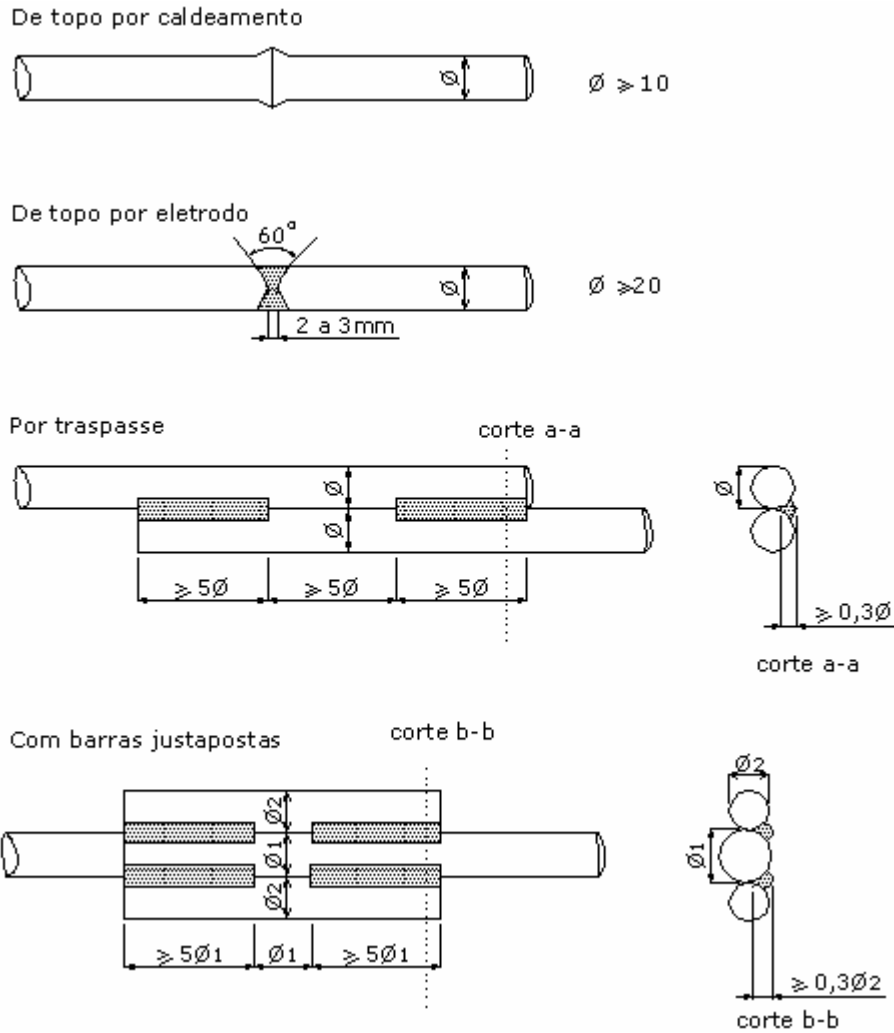


Figura 35.20 – Emendas por solda

35.4 Aplicações

Exemplo 35.1 – Determine o comprimento de ancoragem necessário, para as barras da armadura positiva da direção x, para a laje esquematizada na figura 35.21.

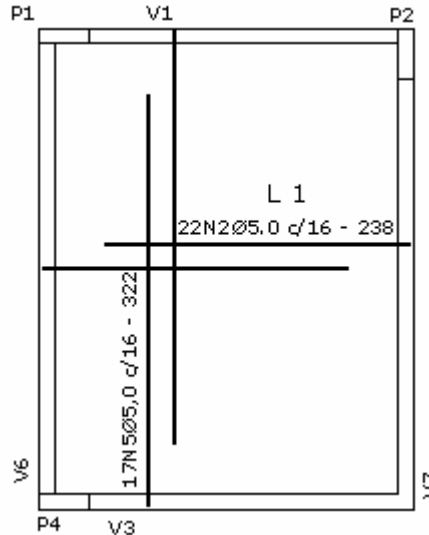


Figura 35.21 – Armadura positiva da Laje 1

Considere:

Concreto 25 MPa

$$\text{AÇO CA-50A} \rightarrow f_{yd} = \frac{f_{yk}}{1,15} \rightarrow f_{yd} = 434,78 \text{ MPa}$$

$\eta_1 = 2,25$ (barras nervuradas)

$$A_{s,cal} = 0,909 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$c_{ob_L} = 2 \text{ cm}$$

$$h_L = 10 \text{ cm}$$

A altura da laje é menor que 30cm portanto de acordo com o item 35.1.2, as armaduras estão em região de boa aderência. Assim:

$$\eta_2 = 1,0$$

$$\eta_3 = 1,0 (\phi = 5,0\text{mm} < 32\text{mm})$$

1º) Resistência de aderência de cálculo

$$f_{ctd} = 0,15 \cdot \sqrt[3]{f_{ck}^2} = 0,15 \cdot \sqrt[3]{25^2} \rightarrow f_{ctd} = 1,282 \text{ MPa}$$

$$f_{bd} = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,282 \rightarrow f_{bd} = 2,886 \text{ MPa}$$

2º) Comprimento de ancoragem básico

$$\ell_b = \frac{\phi}{4} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{bd}} = \frac{0,5}{4} \cdot \frac{434,78}{2,886} = 18,83 \rightarrow \ell_b = 19 \text{ cm}$$

3º) Comprimento de ancoragem necessário

$$A_{s,efet} = \frac{A_{\phi}}{s} \cdot 100 = \frac{0,196}{16} \cdot 100 \rightarrow A_{s,efet} = 1,225 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$\ell_{b,mín} = \text{máximo} (0,3\ell_b; 10\phi; 10\text{cm}) = \text{máximo} (5,7; 5; 10) \rightarrow \ell_{b,mín} = 10 \text{ cm}$$

$\alpha = 1$ (barras sem gancho)

$$\ell_{b,nec} = \alpha \cdot \ell_b \cdot \frac{A_{s,calc}}{A_{s,efet}} = 1,0 \cdot 19 \cdot \frac{0,909}{1,225} = 14,09 \text{ cm} > \ell_{b,mín} \rightarrow \ell_{b,nec} = 15 \text{ cm}$$

Exemplo 35.2 – Complete a tabela abaixo onde ℓ_b^B e ℓ_b^M são os comprimentos básicos de ancoragem para regiões de boa e má aderência, respectivamente.

Considerar:

- barras nervuradas $\rightarrow \eta_1 = 2,25$
- diâmetro nominal das barras $\phi < 32\text{mm} \rightarrow \eta_3 = 1,0$
- região de boa aderência $\rightarrow \eta_2 = 1,0$
- região de má aderência $\rightarrow \eta_2 = 0,7$

	fck (MPa)	$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{1,15}$ (MPa)	$f_{ctd} = 0,15 \cdot \sqrt[3]{f_{ck}^2}$ (MPa)	$f_{bd}^B = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot f_{bd}$ (MPa)	$\ell_b^B = \frac{\phi}{4} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{bd}}$	$\ell_b^M = \frac{\phi}{4} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{bd}}$
CA-50A	20	434,78	1,105	2,487	44. ϕ	63. ϕ
	25	434,78	1,282	2,886	38. ϕ	55. ϕ
CA-60A	20	521,74	1,105	2,487	53. ϕ	76. ϕ
	25	521,74	1,282	2,886	46. ϕ	66. ϕ

Exemplo 35.3 – Para a viga esquematizada na figura 35.22, determinar o traspasse das duas barras à direita, localizadas na primeira camada da armadura tracionada.

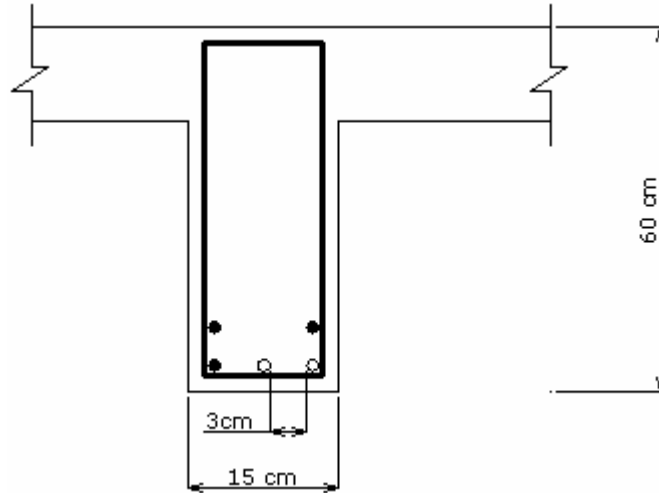


Figura 35.22 – Seção transversal da viga

Considerar:

Concreto 20 MPa

$$\text{AÇO CA-50A} \rightarrow f_{yd} = \frac{f_{yk}}{1,15} \rightarrow f_{yd} = 434,78 \text{ MPa}$$

$$A_{s,calc} = 3,50 \text{ cm}^2$$

$$A_{s,efet} = 5\phi 10 \text{ mm}$$

$$\text{Cobrimento} = 2,5 \text{ cm}$$

$$\phi_t = 5,0 \text{ mm}$$

Barras ancoradas com gancho.

1º.) Coeficiente α_{0t}

Tabela 35.3 → Barras de alta aderência, em uma camada, podemos emendar 100% das barras.

Composição da armadura = 5 barras }
Emendar = 2 barras } Portanto 2/5 das barras serão emendadas = 40%

Tabela 35.4 }
50% → $\alpha_{0t} = 1,8$ }
33% → $\alpha_{0t} = 1,6$ } $\frac{50 - 33}{1,8 - 1,6} = \frac{50 - 40}{1,8 - \alpha_{0t}} \rightarrow \alpha_{0t} = 1,68$

2º.) Comprimento de ancoragem básico

Viga com 60cm de altura, armadura tracionada na região de boa aderência.

Da tabela preenchida no exemplo 35.2, obtemos:

Para $f_{ck} = 20\text{MPa}$, aço CA-50A $\rightarrow \ell_b^B = 44.\phi$; mas $\phi = 10\text{mm} = 1\text{ cm} \rightarrow \ell_b = 44\text{ cm}$

3º.) Comprimento de ancoragem necessário

$A_{s,efet} = 5.A\phi = 5.0,785 \rightarrow A_{s,efet} = 3,925\text{ cm}^2$

$\ell_{b,mín} = \text{máximo}(0,3\ell_b; 10\phi; 10\text{cm}) = \text{máximo}(13,2; 10; 10) = 13,2\text{cm}$

$\alpha = 0,7$ (barras com gancho, com cobrimento normal ao gancho = $3,0\text{cm} = 3\phi$)

$\ell_{b,nec} = \alpha.\ell_b \cdot \frac{A_{s,calc}}{A_{s,efet}} = 0,7.44 \cdot \frac{3,50}{3,925} = 27,46\text{ cm} > \ell_{b,mín} \rightarrow \ell_{b,nec} = 28\text{ cm}$

4º.) Comprimento de traspasse de barras tracionadas isoladas

Distância livre entre as barras a serem emendadas = 3 cm (entre 0 e $4.\phi$).

$\ell_{0t,min} = \text{máximo}(0,3 \cdot \alpha_{0t}.\ell_b; 15.\phi; 20\text{cm}) = \text{máximo}(22,18; 15; 20) = 22,18\text{cm}$

$\ell_{0t} = \alpha_{0t}.\ell_{b,nec} = 1,68.28 = 47,04\text{ cm} > \ell_{0t,min} \rightarrow \ell_{0t} = 48\text{ cm}$

$0,2 \cdot \ell_{0t} = 0,2.48 = 9,6\text{ cm}$

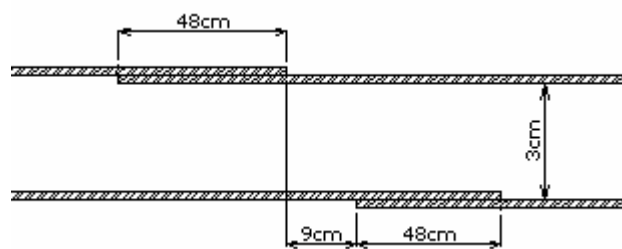


Figura 35.23 – Emenda por traspasse das barras