

DETALHAMENTO DAS ARMADURAS:

Resistência Última de Aderência (f_{bd})

(NBR-6118/2003-item 9.3)

A resistência de aderência de cálculo (f_{bd}) entre armadura e concreto na ancoragem de armaduras passivas deve ser obtida pela seguinte expressão:

$$f_{bd} = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot f_{ctd}$$

Onde:

- $\eta_1 = \begin{cases} 1,00 & \text{para barras lisas (CA-25)} \\ 1,40 & \text{para barras entalhadas (CA-60)} \\ 2,25 & \text{para barras nervuradas (CA-50)} \end{cases}$
- $\eta_2 = \begin{cases} 1,0 & \text{para zonas de boa aderência} \\ 0,7 & \text{para zonas de má aderência} \end{cases}$
- $\eta_3 = \begin{cases} 1,0 & \text{para } \phi \leq 32\text{mm} \\ (132-\phi)/100 & \text{para } \phi > 32\text{mm} \end{cases}$
- $f_{ctd} = \frac{0,21 \cdot f_{ck}^{2/3}}{\gamma_m} \text{ (MPa)}$

Comprimento de ancoragem básico (l_b)

(NBR-6118/2003-item 9.4.2.4)

Define-se como comprimento de ancoragem básico (l_b) o comprimento reto de uma barra de armadura passiva necessário para ancorar a força limite ($A_s \cdot f_{yd}$) atuante nessa barra:

$$l_b = \frac{\phi \cdot f_{yd}}{4 \cdot f_{bd}}$$

Onde:

- l_b = comprimento de ancoragem básico.
- ϕ = diâmetro da barra a ser ancorada.
- f_{bd} = resistência de aderência.

O comprimento de ancoragem tem início na seção teórica onde sua tensão σ_s começa a diminuir (ponto de início de ancoragem) e deve prolongar-se pelo menos 10ϕ além do ponto teórico de tensão σ_s nula (ponto de corte) não podendo em nenhum caso ser inferior ao valor de ($l_{b,nec}$) (item 18.3.2.3.1).

Quando a armadura efetiva for maior do que a armadura calculada, ou houver a presença de ganchos, pode-se empregar o comprimento de ancoragem necessário, dado por:

$$l_{b,nec} = \alpha_1 \cdot l_b \cdot \frac{A_{s,cal.}}{A_{s,ef.}} \geq l_{b,min.} \quad , \quad l_{b,min.} > \begin{cases} 0,3 \cdot l_b \\ 10 \phi \\ 10 \text{ cm} \end{cases}$$

Onde:

- $l_{b,nec}$ = comprimento de ancoragem necessário.
- $l_{b,min.}$ = Valor mínimo permitido por norma.
- ϕ = diâmetro da barra a ser ancorada.

$$- \begin{cases} \alpha_1 = 1,0 \text{ para barras sem ganchos.} \\ \alpha_1 = 0,7 \text{ para barras com ganchos com cobrimento normal ao} \\ \text{plano do gancho de pelo menos } 3\phi. \text{ Ver norma para demais situações.} \end{cases}$$

Se o ponto de início de ancoragem estiver na face do apoio ou além dela (dentro do apoio) e a força R_{sd} diminuir em direção ao centro do apoio, o trecho de ancoragem deve ser medido a partir da face do apoio, com força a ancorar R_{sd} dada por (item 18.3.2.3.1):

$$R_{sd} = \frac{V_{sd} \cdot al}{d} \text{ (na flexão simples)}$$

Onde:

- V_{sd} = esforço cortante de cálculo no apoio.
- al = deslocamento do diagrama de R_{st} .

Armadura de tração nos apoios

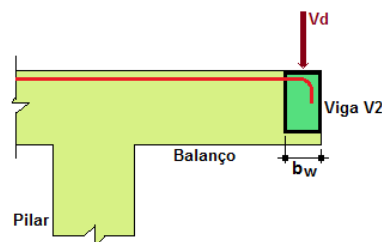
(NBR-6118/2003-item 18.3.2.4)

Os esforços de tração junto aos apoios de vigas devem ser resistidos por armadura longitudinalis que satisfaçam à mais severa das seguintes condições:

- a) Resistir aos momentos positivos caso existam.
- b) Nos apoios extremos, resistir a uma força de tração R_{sd} para garantir a ancoragem da diagonal de compressão:

$$R_{sd} \geq \frac{al \cdot V_d}{d} \rightarrow \text{(flexão simples)}$$

A mesma verificação deverá ser feita nas extremidades de balanços em que atuam cargas concentradas.



- c) Nos apoios extremos e intermediários, por prolongamento de uma parte da armadura de tração do vão que atenda ao maior dos valores:

$$A_{sa} \geq \begin{cases} \frac{A_{svão}}{3} \rightarrow \text{quando } |M_{apoio}| \leq \frac{M_{vão}}{2} \\ \frac{A_{svão}}{4} \rightarrow \text{quando } |M_{apoio}| > \frac{M_{vão}}{2} \end{cases}$$

A armadura mínima necessária nos apoios pode ser obtida a partir da expressão de ($l_{b,nec}$) como indicado abaixo, lembrando que os valores mínimos preconizados por norma devem ser atendidos:

$$l_{b,nec} = \alpha_1 l_b \frac{A_{s,cal.}}{A_{s,ef.}} \Rightarrow A_{s,nec} = \alpha_1 l_b \frac{A_{s,cal.}}{l_{b,disponivel.}}$$

Ancoragem da armadura de tração nos apoios

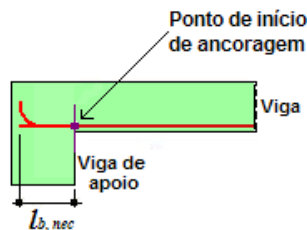
(NBR-6118/2003-item 18.3.2.4.1)

i) Apoios extremos:

Para os casos b) e c) anteriores, em apoios extremos, as barras das armaduras devem ser ancoradas a partir da face do apoio, com comprimentos iguais ou superiores a:

$$l_{b,apoio} > \begin{cases} l_{b,nec} \\ Db/2 + 5,5\phi \\ 6cm \end{cases}$$

Nos casos em que haja um cobrimento da barra no trecho do gancho, medido normalmente ao plano do gancho, de pelo menos 7cm, e as ações acidentais não ocorram com grande frequência com seu valor máximo, o comprimento de ancoragem medido a partir da face do apoio será dado por:



$$l_{b,apoio} > \begin{cases} Db/2 + 5,5\phi \\ 6cm \end{cases}$$

ii) Apoios intermediários:

Para os casos b) e c) anteriores, em apoios intermediários, o comprimento de ancoragem pode ser igual a 10ϕ , medido a partir da face do apoio, desde que não haja possibilidade da ocorrência de momentos positivos no apoio (ventos e recalques).

Decalagem do Diagrama R_{st} :

(NBR-6118/2003-item 17.4.2.2)

Quando no cálculo das armaduras transversais for empregado o modelo de cálculo I, o diagrama da resultante R_{st} deverá ser decalado de um valor (al) como segue:

$$al = d \cdot \left(\frac{V_{sd}}{2(V_{sd} - V_c)} \cdot (1 + \cot g \alpha) - \cot g \alpha \right) \rightarrow \text{modelo I}$$

Com:

$$V_c = 0,6 \cdot f_{ctd} \cdot b_w \cdot d \quad \text{e} \quad f_{ctd} = \frac{0,21 \cdot f_{ck}^{2/3}}{\gamma_m} \text{ (MPa)}$$

Onde:

- d = altura útil da viga.
- Vsd = esforço cortante de cálculo.
- α = inclinação da armadura transversal.

Se $\alpha = 90^\circ$ a expressão anterior fica simplificada à:

$$a_l = d \cdot \left(\frac{V_{sd}}{2(V_{sd} - V_c)} \right) \rightarrow \text{modelo I}$$

Quando no cálculo das armaduras transversais for empregado o modelo de cálculo II (item 17.4.2.3), o diagrama da resultante Rst deverá ser decalado de um valor (a_l) como segue:

$$a_l = 0,50 \cdot d \cdot (\cot g\theta - \cot g\alpha) \rightarrow \text{modelo II}$$

Obs:

- Permanece válida para o modelo II a alternativa dada anteriormente.
- para as barra comprimidas o diagrama de Rsc não deve ser decalado.

Em todos os casos deve-se observar:

$$a_l \geq \begin{cases} 0,5 \cdot d \rightarrow \text{quando forem usados estribos verticais.} \\ 0,2 \cdot d \rightarrow \text{quando forem usados estribos inclinados.} \end{cases}$$

A NBR-6118/2003 não indica valor máximo para (a_l). Porém, com base na análise da expressão de (a_l), modelo I, e da limitação na norma anterior, pode-se adotar:

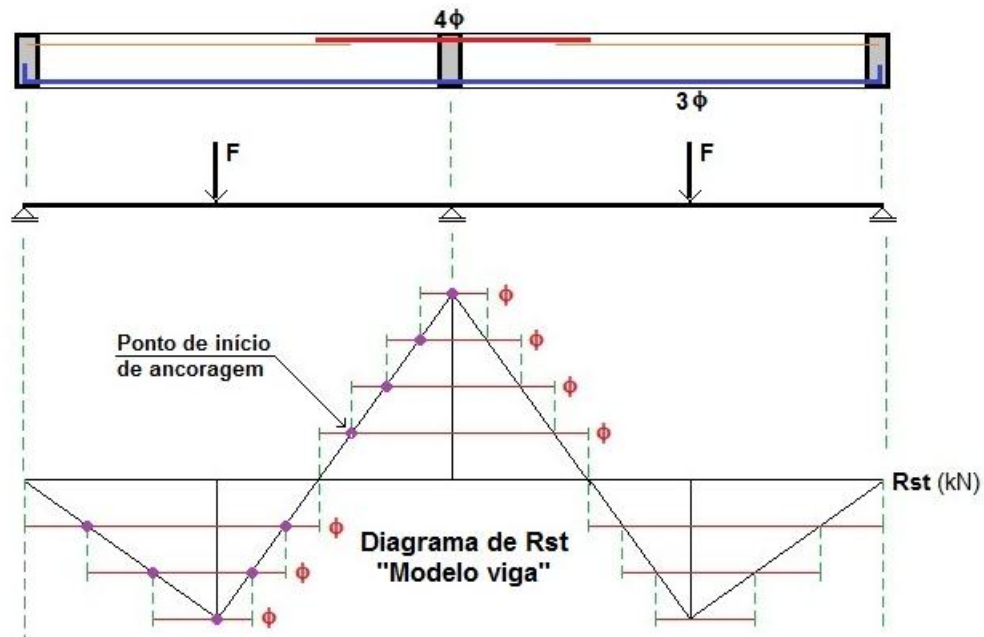
$$a_l \leq d$$

Cobrimento do diagrama de Rst

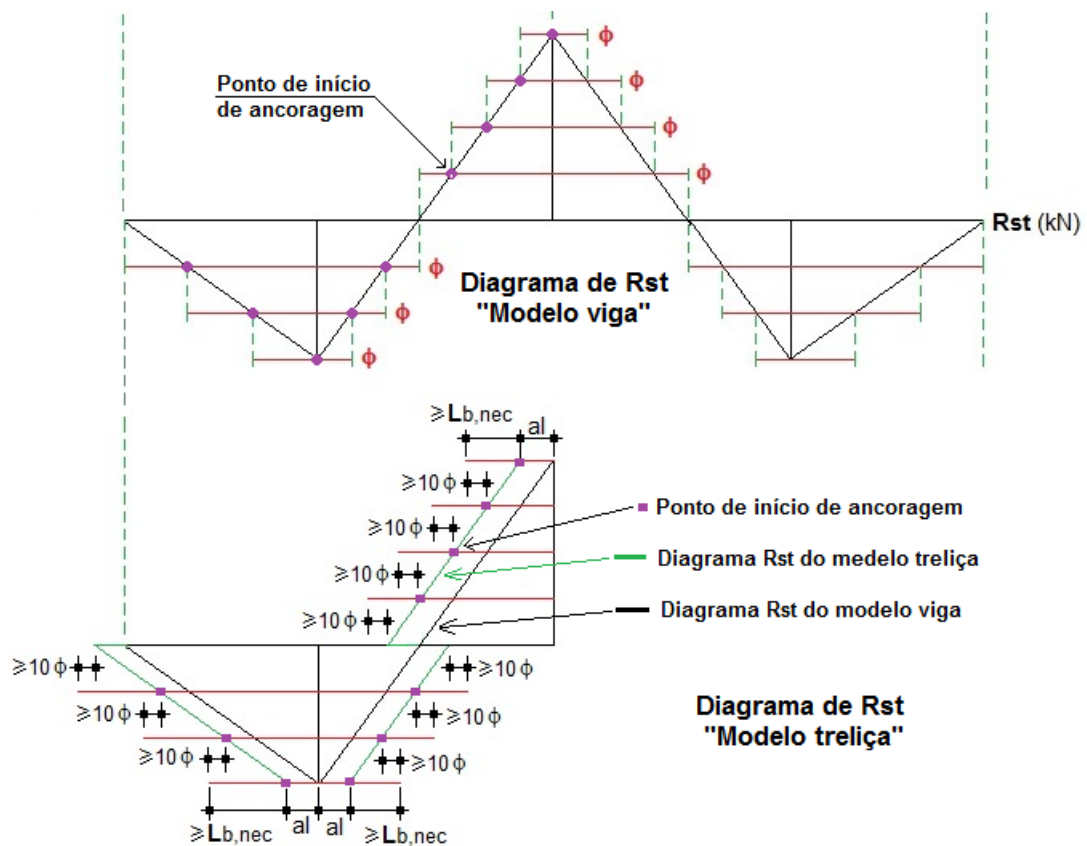
(NBR-6118/2003-item)

Uma vez obtidas as armaduras de flexão, teóricas e de projeto, deve-se definir o ponto de corte de cada barra de aço, ou seja, o ponto em que teoricamente a tensão na mesma seja nula. Esse procedimento se aplica para as barras tracionadas e comprimidas. Para tal, o primeiro procedimento é estabelecer os pontos de início de ancoragem de cada barra.

Esse procedimento pode ser feito graficamente, conforme indicado na figura abaixo, que consiste em traçar o diagrama de Rst para toda a viga. Em cada pico do diagrama, faz-se a divisão em igual número de barras de aço correspondentes aquele ponto, proporcionalmente à área de cada barra, definindo-se nos pontos gerados pelos encontros das linhas horizontais que representam as barras com a linha de fechamento do diagrama, o ponto de Início de Ancoragem.



Contudo, considerando a formação de um sistema de bielas comprimidas de concreto no interior da viga, a NBR-6118 determina um ajuste nesse procedimento para as barras tracionadas, que consiste no deslocamento das linhas de fechamento do diagrama de Rst de um valor al (decalagem do diagrama), conforme indicado abaixo:



Dessa forma, o ponto de corte de cada barra será definido a partir do novo ponto de início de ancoragem, respeitando-se o comprimento de ancoragem ($l_{b, nec}$) de cada barra, além de garantir que ela passe o ponto de tensão nula em pelo menos $10.\phi$.

Observa-se que para as barra comprimidas não existe a necessidade da decalagem do diagrama.