

# **Alças de Içamento com Cordoalhas: Estudo Teórico da Capacidade de Carga pelas Normas ABNT 6118 (2007), Eurocode (2002) e FIB (2011)**

## **Lifting Handles with Tensile Steel Cable: Theoretical Study of Load Capacity by Standards ABNT 6118 (2007), Eurocode (2002) and FIB (2011)**

**Artur Lenz Sartorti<sup>(1)</sup> e Libânio Miranda Pinheiro<sup>(2)</sup>**

<sup>(1)</sup> *Centro Universitário Adventista de São Paulo – UNASP, Engenheiro Coelho, SP*  
*e-mail: artur.sartorti@unasp.edu.br*

<sup>(2)</sup> *Universidade de São Paulo - Escola de Engenharia de São Carlos – EESC-USP, São Carlos, SP*  
*e-mail: libanio@sc.usp.br*

**RESUMO:** O manuseio das peças pré-moldadas, tanto internamente na fábrica como no transporte e na montagem, apresenta certas particularidades e procedimentos específicos. O adequado posicionamento dos pontos de içamento e o correto projeto dos dispositivos para este fim são partes fundamentais no processo de traslado de peças pré-moldadas. A ABNT NBR 9062 [1] "Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado" permite a utilização de alças para içamento feitas com cordoalhas de aço para protensão. O projeto de uma alça deve ser baseado na capacidade de ancoragem entre ela e o concreto bem como na resistência do aço da alça ao escoamento. O objetivo deste artigo é o estudo da capacidade de carga desse tipo de alça, feita com cordoalhas de aço para protensão. Com esse propósito, os mecanismos de aderência entre aço e concreto são descritos de forma sucinta, fornecendo subsídios para o cálculo do comprimento das alças dentro do concreto. Apresenta-se também uma comparação dos comprimentos de ancoragem obtidos com os códigos: ABNT NBR 6118 [3] "Projeto de estruturas de concreto", Eurocode 2 [4] "*Design of concrete structures*" e FIB [5] "*Model Code 2010*".

**ABSTRACT:** The handling of precast parts, either internally at the factory and in transport and assembly, has certain peculiarities and specific procedures. The proper positioning of the erection points and the correct design of devices for this purpose are key parts in the process of transfer of precast members. The Brazilian code ABNT NBR 9062 [1] "Design and construction of precast concrete structures" allows the use of erection handles made with steel cables. The design of a handle should be based on bonding capacity between it and the concrete as well as the yield strength of the steel. The aim of this paper is to study of load capacity of this kind of handle made with steel cables. For this purpose, the mechanisms of bonding between steel and concrete are described in a concise way, providing information to calculate the length of the handles within the concrete. Is also presented a comparison of bonding lengths obtained with the codes: the Brazilian ABNT NBR 6118 [3] "Design of concrete structures", Eurocode 2 [4] "Design of concrete structures" and FIB [5] "Model Code 2010".

### **1. INTRODUÇÃO**

O manuseio das peças pré-moldadas, tanto internamente na fábrica como no transporte e na montagem, apresenta certas particularidades e procedimentos específicos. O adequado posicionamento dos pontos de içamento bem

como o projeto correto dos dispositivos de içamento são partes fundamentais do processo.

De acordo com El Debs [10], as alças são os dispositivos de içamento mais comuns, e em função da grande capacidade de carga das cordoalhas de protensão, elas tornam-se particularmente interessantes.

A ABNT NBR 9062 [1] “Projeto e Execução de Estruturas de Concreto Pré-Moldado”, no item 5.3.3, afirma que:

“As alças e pinos de levantamento são considerados como ligações temporárias com o equipamento de manuseio e montagem das peças. Na sua parte externa funcionam predominantemente à tração e na parte imersa no concreto, ao cisalhamento por aderência.”

A mesma norma ainda afirma que as alças devem ter capacidade de carga verificada para que não ocorra a ruptura por falta de ancoragem no concreto ou por escoamento do aço da alça. Na utilização de cordoalhas para a confecção das alças, somente é permitido o içamento no plano formado pelos ramos das alças. As cordoalhas devem seguir as especificações da ABNT NBR 7483 [2] “Cordoalhas de aço para concreto protendido”.

Para a ABNT NBR 9062 [1] o uso de feixes é permitido desde que executados de maneira que todas as cordoalhas trabalhem em conjunto. Obviamente é proibido o uso de cordoalhas engraxadas, que praticamente anulam a aderência entre o aço e o concreto.

Este artigo tem como objetivos:

- Descrever sucintamente os mecanismos de aderência entre aço e concreto, dando subsídios para a apresentação da formulação de ancoragem de cordoalhas destinadas a alças de içamento;
- Apresentar a formulação para o cálculo do comprimento de ancoragem de cordoalhas conforme os seguintes códigos normativos: ABNT NBR 6118 [3] “Projeto de estruturas de concreto”; Eurocode 2 [4] “*Design of concrete structures*” e FIB [5] “*Model Code 2010*”;
- Exemplificar por meio de tabelas a capacidade de carga das alças para os diversos códigos, em função do ângulo de içamento, da quantidade de laços e da resistência do aço e do concreto;
- Fazer uma análise crítica dos resultados.

## 2. COMPORTAMENTO CONJUNTO AÇO-CONCRETO

Conforme Leonhardt e Mönning [6], o concreto armado deve suas boas características, como um material amplamente empregado na construção civil, à solidarização que existe entre a armadura e o concreto, proveniente da aderência.

Carvalho e Figueiredo Filho [7] afirmam que a

aderência pode ser encarada como o fenômeno que permite o funcionamento do concreto armado como material estrutural. Sem ela, a armadura deslizaria dentro da matriz de concreto e a peça teria um comportamento similar ao de uma estrutura de concreto simples.

O dimensionamento das alças de içamento de peças de concreto pré-moldado está diretamente ligado com a aderência das alças de aço com a matriz de concreto. Portanto, é justificada esta resumida introdução ao fenômeno da aderência aço-concreto.

Apesar da grande importância da aderência entre concreto e aço, este assunto é um dos mais difíceis de serem plenamente compreendidos, segundo Almeida Filho [8]. Isto se deve ao número elevado de dificuldades teóricas e experimentais encontradas quando do estudo da aderência. De acordo com Fusco [9], a aderência pode ser explicada com a soma de três mecanismos resistentes: adesão; atrito e engrenamento mecânico.

### 2.1 Aderência por adesão

A aderência por adesão é a parcela de resistência verificada na separação direta de uma chapa de aço do concreto, devida a uma força normal a essa chapa. Sua origem é nas ligações físico-químicas que se desenvolvem na interface dos dois materiais, durante a hidratação do cimento. Possui um valor relativamente baixo e exerce pouca influência no valor total da aderência. A Figura 1 ilustra esta parcela de resistência.

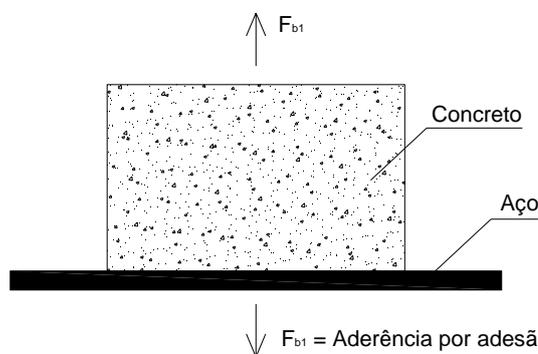


Figura 1: Parcela de resistência por adesão.

FONTE: Adaptado de Fusco [9] (p. 135).

### 2.2 Aderência por atrito

Leonhardt e Mönning [6] comentam que, uma vez rompida a adesão para um deslocamento

relativo insignificante, aparece a aderência por atrito, desde que existam pressões transversais às armaduras. Essas pressões transversais são devidas a forças ou à própria retração do concreto. A Figura 2 ilustra o mecanismo de aderência por atrito.

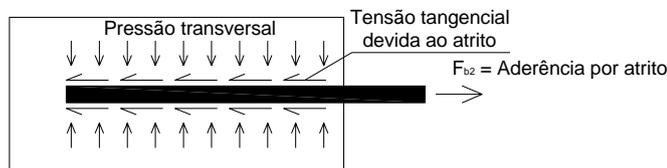


Figura 2: Parcela de resistência por atrito.

FONTE: Adaptado de [9] (p. 136).

Segundo Fusco [9], as forças de atrito dependem também do coeficiente de atrito entre aço e concreto, o qual é função da rugosidade superficial da barra. Quando essa rugosidade é muito grande, a parcela resistida pelo atrito confunde-se com a aderência de engrenamento mecânica, comentada no item 2.3.

A Figura 3 ilustra o acabamento superficial de barras e fios de aço comumente utilizados nas estruturas de concreto armado e protendido.

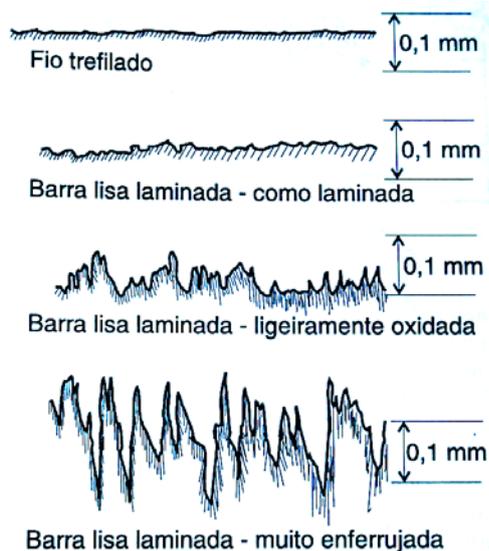


Figura 3: Conformação superficial de barras de aço.

FONTE: [9] (p. 137).

### 2.3 Aderência por engrenamento mecânico

Com o engrenamento mecânico oferecido pelas moças e nervuras das barras, formam-se “consolos de concreto”, que são solicitados ao corte antes que a armadura possa deslizar dentro do concreto, conforme Leonhardt e Mönnig [6].

Esta parcela de resistência é a mais efetiva e confiável.

Fusco [9] ainda comenta que esta aderência existe também nas chamadas barras lisas, devido à conformação superficial irregular dessas barras, como foi mostrado na Figura 3. Isto favorece a aderência das alças de içamento feitas com cordoalhas de fios lisos. A Figura 4 ilustra o efeito do engrenamento mecânico.

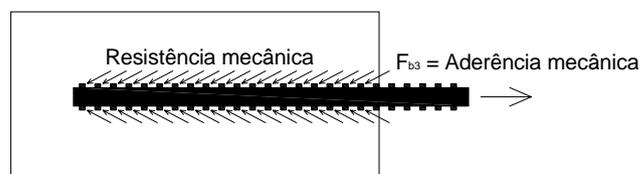


Figura 4: Parcela de resistência por engrenamento mecânico. FONTE: Adaptado de [9] (p. 136).

Vale ser destacado que, na prática, a separação da aderência nas três parcelas é somente esquemática, pois é impossível determinar cada uma separadamente. Outros fatores que interferem no comportamento são destacados por Almeida Filho [8] e são:

- Traço do concreto, temperatura e umidade da matriz;
- Idade do concreto e valores da resistência do concreto à tração;
- Tipo de barra e comprimento de ancoragem;
- Velocidade do carregamento e sua repetição.

Em relação ao tipo de barra, em alças feitas com cordoalhas de fios lisos, a aderência mecânica, apesar de ser prejudicada pelo fio liso, em contrapartida é melhorada pelo esquema trançado dos fios da cordoalha, conforme comentado por Fusco [9].

Quanto à repetição da carga (ação cíclica), El Debs [10] comenta que a tensão de cisalhamento resistente é prejudicada, principalmente se a carga cíclica for alternada.

Outro fator de extrema importância é a posição da armadura. Na parte superior das peças de concreto, a exsudação é maior e a adesão é prejudicada. A ABNT NBR 6118 [3] trata as regiões de uma peça em zonas de boa e de má aderência. A Figura 5 ilustra as condições estabelecidas no item 9.3.1 da referida norma, que estabelece as regiões de boa e de má aderência.

Observa-se que as pernas das alças de

çamento, se tiverem um ângulo com a horizontal maior que  $45^\circ$ , estarão em zona de boa aderência.

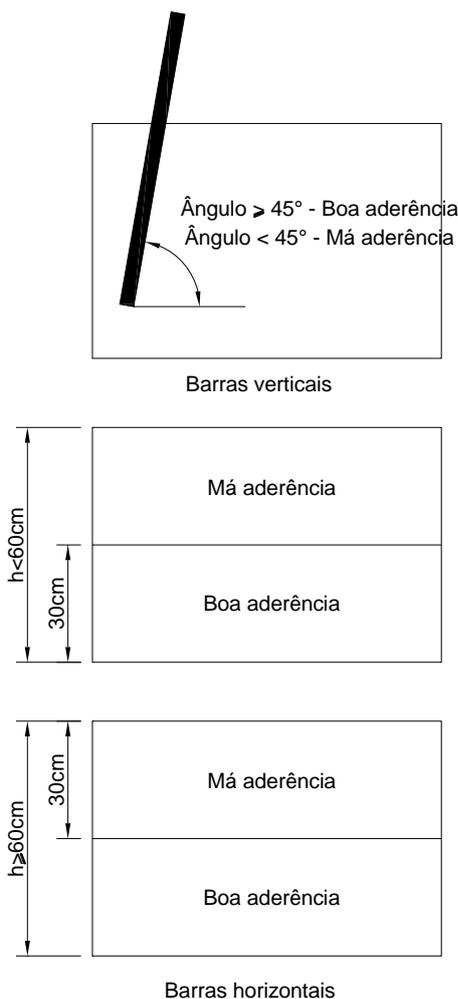


Figura 5: Regiões de boa e de má aderência nas peças de concreto. FONTE: Adaptado de Araújo [11] (p. 224).

## 2.4 Mecanismos de ruptura da aderência

Almeida Filho [8] descreve alguns tipos de ruptura da aderência, entre os quais se destacam: deformação elástica, fissuração secundária, fissuração por fendilhamento longitudinal e esmagamento do concreto nas nervuras das barras longitudinais. A Figura 6 ilustra esses quatro mecanismos de ruptura.

O deslizamento e o arrancamento da barra são consequências de uma das formas de ruptura indicadas na Figura 6. Via de regra essas rupturas são frágeis, pois estão relacionadas com o concreto. Exceção faz-se à deformação elástica excessiva, que se refere à barra de aço.

Uma última observação diz respeito à ruptura por escoamento do aço (deformação elástica). Quando o comprimento de ancoragem é grande o

suficiente para evitar a ruína frágil por algum dos mecanismos ora citados (fissuração secundária, fissuração longitudinal e esmagamento do concreto), a ruptura dar-se-á por escoamento do aço da alça. Esta forma de ruptura é mais dúctil.

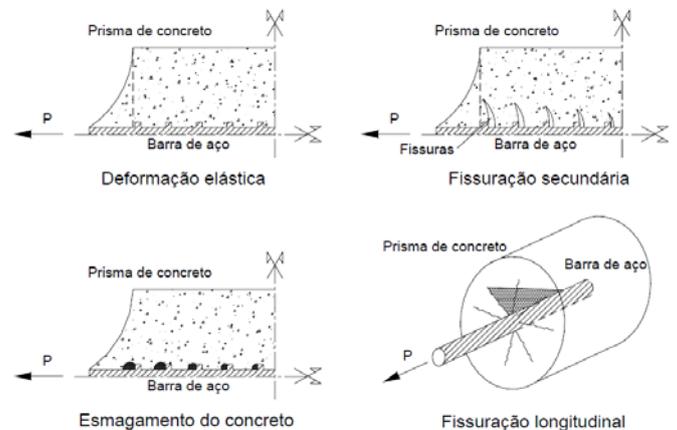


Figura 6: Mecanismos de ruptura da aderência aço-concreto. FONTE: Almeida Filho [8] (p. 63).

## 3. RECOMENDAÇÕES NORMATIVAS QUANTO À ADERÊNCIA

A capacidade de carga das alças de içamento de peças de concreto pré-moldado é função direta da aderência. Sendo assim, neste item são comentados os requisitos normativos de três códigos, para a determinação da tensão de aderência, a qual influencia diretamente na capacidade de carga da alça e no comprimento de embutimento da alça no concreto.

### 3.1 ABNT NBR 6118 [3]

A ABNT NBR 6118 [3] trata a resistência de aderência como uma tensão que se desenvolve tangencialmente à superfície da armadura. No item 9.3.2.1 da referida norma, encontra-se a equação que fornece a tensão de aderência para armaduras passivas. Nessas indicações, a norma estabelece coeficientes de ajuste que levam em conta a rugosidade da barra, região de boa ou de má aderência e diâmetro da barra.

Entretanto, observa-se que uma cordoalha de içamento, apesar de ser uma armadura passiva, não teria sua resistência de aderência corretamente avaliada pelos critérios estabelecidos no item de armadura passiva. Portanto, para este trabalho foram utilizadas as recomendações e indicações do item 9.3.2.2, que trata da tensão resistente de aderência de

armaduras ativas. A tensão de aderência é dada pela Equação 1.

$$f_{bpd} = \eta_{p1} \cdot \eta_{p2} \cdot f_{ctd} \quad (1)$$

$f_{bpd}$  é a tensão resistente de aderência para armaduras ativas;  $\eta_{p1}$ , o coeficiente que relaciona a rugosidade da barra, e para cordoalhas de três e sete fios vale 1,2;  $\eta_{p2}$  é o coeficiente que relaciona a situação de aderência, e vale 1,0 e 0,7, para região de boa e de má aderência, respectivamente;  $f_{ctd}$  é a resistência característica inferior de tração do concreto na idade do içamento, determinada pela Equação 2.

$$f_{ctd} = \frac{f_{ctk,inf}}{\gamma_c} = \frac{0,7 \cdot f_{ct,m}}{\gamma_c} = \frac{0,7 \cdot 0,3 \cdot f_{ck}^{2/3}}{\gamma_c} \quad (2)$$

$f_{ck}$  é a resistência característica do concreto à compressão aos 28 dias e  $\gamma_c$ , o coeficiente de minoração da resistência do concreto, que pode ser adotado igual a 1,40 para pré-moldado sem controle de qualidade e 1,30 para pré-moldado com rígido controle de qualidade (pré-fabricado), conforme estabelecido na ABNT NBR 9062 [1].

As Equações 1 e 2 são válidas para idades diferentes de 28 dias desde que  $f_{ckj} \geq 7MPa$  (resistência característica do concreto à compressão aos j dias de idade). A ABNT NBR 6118 [3] estabelece no item 9.4.5.1 o comprimento de ancoragem necessário para cordoalhas de três ou sete fios. A Equação 3 indica como este valor pode ser obtido.

$$\ell_{bp} = \frac{7 \cdot \phi}{36} \cdot \frac{f_{pyd}}{f_{bpd}} \quad (3)$$

$\ell_{bp}$  é o comprimento de ancoragem básico;  $\phi$ , o diâmetro nominal da cordoalha e  $f_{pyd}$ , a resistência de cálculo da cordoalha ao escoamento, dada pela Equação 4.

$$f_{pyd} = \frac{f_{pyk}}{\gamma_s} \quad (4)$$

$f_{pyk}$  é a resistência característica da cordoalha ao escoamento e  $\gamma_s$ , o coeficiente de minoração

da resistência do aço, e pode ser adotado com os valores de 1,15 para pré-moldado sem controle de qualidade e 1,10 para pré-moldado com rígido controle de qualidade (pré-fabricado), conforme estabelecido na ABNT NBR 9062 [1].

Como na alça de içamento não existe protensão, o comprimento necessário de ancoragem equivale ao comprimento básico expresso na Equação 3.

Quando são utilizadas mais de uma cordoalha na alça de içamento (alças duplas, triplas, etc.), deve ser feita uma correção, considerando um diâmetro equivalente dado pela Equação 5. Esse diâmetro equivalente será utilizado para a determinação do comprimento efetivo de ancoragem, discutido no item 4 deste artigo.

$$\phi_n = \phi \cdot \sqrt{n} \quad (5)$$

$\phi_n$  é o diâmetro equivalente de n cordoalhas (n alças).

Quando  $\phi_n$  for menor ou igual a 25 mm, o problema pode ser tratado como barra única, substituindo  $\phi$  por  $\phi_n$  na Equação 15.

Se  $\phi_n$  for maior que 25 mm, o problema pode ser tratado como barra única, substituindo  $\phi$  por  $\phi_n$  na Equação 3, dispondo, entretanto, armadura transversal conforme estabelecido no item 9.4.2.6 da ABNT NBR 6118 [3].

O comprimento de mínimo de embutimento da alça pode ser adotado como  $10 \cdot \phi$  ou 10 cm.

### 3.2 Eurocode 2 [4]

O Eurocode 2 [4] possui a mesma filosofia de verificação da aderência vista na ABNT NBR 6118 [3], tratando a aderência como uma tensão resistente tangencial à superfície da barra, que depende do concreto (resistência), da pressão transversal e da conformação superficial da barra. As regiões de boa e de má aderência seguem as mesmas premissas estabelecidas no item 3.3 deste trabalho.

No item 8.10.2.3 do Eurocode 2 [4] encontram-se as prescrições para o cálculo do comprimento de ancoragem de armaduras de protensão com aderência inicial. A tensão resistente de aderência é dada pela Equação 6.

$$f_{bpd} = \eta_{p1} \cdot \eta_1 \cdot f_{ctd} \quad (6)$$

$f_{bpd}$  é a tensão resistente de aderência para armaduras ativas;  $\eta_{p1}$ , o coeficiente que relaciona a rugosidade da barra, que para cordoalhas de três e sete fios vale 1,2;  $\eta_1$  é o coeficiente que relaciona a situação de aderência, que vale 1,0 e 0,7 para região de boa e de má aderência, respectivamente;  $f_{ctd}$  é a resistência característica de tração do concreto na idade do içamento, determinada pela Equação 7.

$$f_{ctd} = \frac{0,7 \cdot f_{ct,m}}{\gamma_c} \quad (7)$$

$f_{ct,m} = 0,3 \cdot f_{ck}^{2/3}$  é a resistência média do concreto à tração e  $\gamma_c$ , o coeficiente de minoração da resistência do concreto, que pode ser adotado igual a 1,50.

Segundo o Eurocode 2 [4] podem ser utilizados valores de  $\gamma_c$  menores, desde que justificados por medidas que reduzam a incerteza na resistência calculada.

É observado ainda que o cálculo do comprimento básico de ancoragem é igual ao da ABNT NBR 6118 [3] (Equação 3). Utiliza-se  $\gamma_s = 1,15$ .

Para alças múltiplas é permitida a correção do diâmetro conforme a Equação 8.

$$\phi_n = \phi \cdot \sqrt{n_b} \leq 55mm \quad (8)$$

$\phi_n$  é o diâmetro equivalente a  $n_b$  cordoalhas ( $n_b$  alças), sendo  $n_b$  limitado a quatro barras, quando estão verticais e solicitadas a compressão, e a três barras, em outros casos, como o das alças de içamento.

Portanto, nota-se que a diferença básica entre o Eurocode 2 [4] e a ABNT NBR 6118 [3] está apenas no valor adotado para  $\gamma_c$  e na consideração de feixe de barras.

### 3.3 FIB [5]

Da mesma forma que as normas já comentadas, a FIB [5] trata a tensão resistente de aderência como uma tensão tangencial à

superfície da barra. As recomendações de região com boa ou má aderência seguem o seguinte:

- Boa aderência, para armaduras com inclinação entre 45° e 90° com a horizontal e para armaduras horizontais que estejam em uma faixa de 250 mm da face inferior ou abaixo de 300 mm da face superior;

- Má aderência, nos demais casos.

No item 6.1.8.2 da FIB [5] encontram-se as prescrições para a determinação da tensão resistente de aderência, dada pela Equação 9.

$$f_{bpd} = \eta_{p1} \cdot \eta_{p2} \cdot f_{ctd} \quad (9)$$

$f_{bpd}$  é a tensão resistente de aderência para armaduras ativas;  $\eta_{p1}$ , o coeficiente que relaciona a rugosidade da barra, que para cordoalhas de três e sete fios vale 1,20;  $\eta_{p2}$  é o coeficiente que relaciona a situação de aderência, que vale 1,0 e 0,7 para região de boa e de má aderência, respectivamente;  $f_{ctd}$  é a resistência característica do concreto à tração na idade do içamento, determinada pela Equação 10.

$$f_{ctd} = \frac{f_{ctk,min}}{\gamma_c} = \frac{0,7 \cdot f_{ct,m}}{\gamma_c} = \frac{0,7 \cdot 0,3 \cdot f_{ck}^{2/3}}{\gamma_c} \quad (10)$$

$f_{ck}$  é a resistência característica do concreto à compressão aos 28 dias;  $\gamma_c$ , o coeficiente de minoração da resistência do concreto, que pode ser adotado com o valor de 1,50.

Segundo a FIB [5], item 6.1.8.3, o comprimento básico de ancoragem  $\ell_{bp}$  é dado pela Equação 11.

$$\ell_{bp} = \frac{A_{sp}}{\phi \cdot \pi} \cdot \frac{f_{ptd}}{f_{bpd}} \quad (11)$$

$\phi$  é o diâmetro nominal da cordoalha;  $A_{sp}$ , a área da cordoalha e  $f_{ptd}$  é a sua resistência de cálculo de escoamento, dada pela Equação 12.

$$f_{ptd} = \frac{f_{ptk}}{\gamma_s} \quad (12)$$

$f_{ptk}$  é a resistência característica de escoamento da cordoalha, equivalente a  $f_{pyk}$  da

ABNT NBR 6118 [3], e  $\gamma_s$  é o coeficiente de minoração da resistência do aço, que vale 1,15.

Para alças múltiplas é permitida a correção do diâmetro do mesmo modo que o da ABNT NBR 6118 [3].

Nota-se, novamente, semelhança e igualdade entre as duas normas já discutidas.

#### 4. FORÇA RESISTENTE MÁXIMA EM UMA ALÇA DE IÇAMENTO

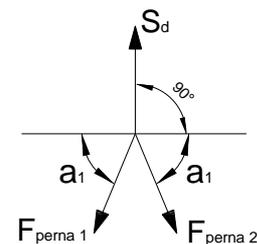
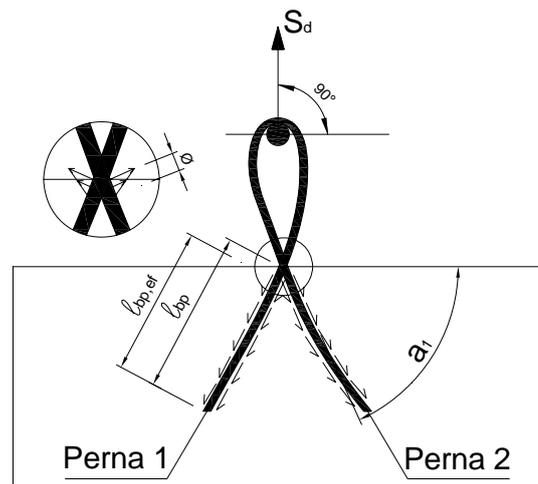
O mecanismo de içamento em uma alça feita com cordoalhas pode ser idealizado como ilustrado na Figura 7.

Na maior parte dos códigos normativos, recomenda-se que o ângulo formado entre a horizontal e a força solicitante esteja entre  $45^\circ$  e  $90^\circ$ .

Ao ser analisada a Figura 7, situação A (ângulo de aplicação da sollicitação igual a  $90^\circ$ ), podem ser observadas tensões de tração no início do comprimento de ancoragem  $\ell_{bp}$ . Estimou-se neste trabalho que essas tensões são significativas em um comprimento de uma vez o diâmetro da cordoalha ou feixe de cordoalhas.

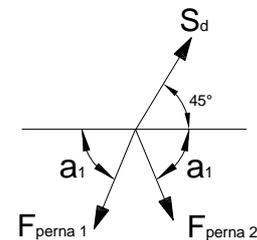
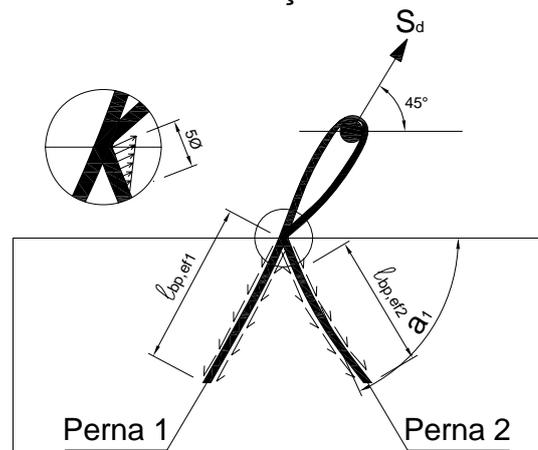
Portanto, o comprimento de ancoragem efetivo deve ser o determinado pelas equações dispostas nas diversas normas menos uma vez diâmetro da armadura, pois essas tensões de tração tendem a diminuir a força resistente de aderência.

Em contrapartida, na Figura 7, situação B (ângulo de aplicação da sollicitação entre  $45^\circ$  e  $90^\circ$ ), as tensões de tração desenvolvem-se apenas na perna 2.



$$F_{\text{perna 1}} = F_{\text{perna 2}}$$

SITUAÇÃO A



$$F_{\text{perna 1}} > F_{\text{perna 2}}$$

SITUAÇÃO B

Figura 7: Situações de funcionamento das alças confeccionadas com cordoalhas.

Foi estimado para este trabalho que essas tensões de tração são significativas ao longo de

cinco diâmetros da cordoalha ou feixe de cordoalhas, para um ângulo de aplicação da solicitação igual a  $45^\circ$ .

Portanto, o comprimento de ancoragem efetivo deve ser o determinado pelas equações dispostas nas diversas normas menos cinco vezes o diâmetro da armadura na perna 2.

Já a perna 1 possui o comprimento de ancoragem efetivo igual à extensão do embutimento da perna 1 no concreto. Isto acarreta que a força resistida pela perna 1 seja ligeiramente maior que a da perna 2.

É ainda adotado neste trabalho que, para ângulos de aplicação da solicitação na alça entre  $45^\circ$  e  $90^\circ$ , pode ser feita uma interpolação linear entre o comprimento de abatimento da ancoragem.

Preestabelecendo-se um comprimento de embutimento ( $\ell_{bp}$ ) da perna da alça de içamento no concreto, pode-se determinar a capacidade resistente pelas Equações 13 e 14, adotando-se o menor valor.

El Debs [10] recomenda que seja empregado um coeficiente de segurança igual a 4.

Observa-se que a Equação 13 diz respeito à capacidade portante devida ao escoamento da cordoalha, já a Equação 14 leva em conta a aderência da cordoalha no concreto.

$$R_{d1} = \frac{\pi \cdot \phi^2}{16} \cdot f_{pyk} \quad (13)$$

$R_{d1}$  é a capacidade portante da alça devida ao escoamento do aço da cordoalha e  $f_{pyk}$ , a resistência característica da cordoalha ao escoamento, que para CP-190 vale  $170 \text{ kN/cm}^2$ .

$$R_{d2} = u \cdot f_{bpd} \cdot (\ell_{bp,ef1} + \ell_{bp,ef2}) \cdot \frac{\gamma_c}{4} \quad (14)$$

$R_{d2}$  é a capacidade portante da alça devida à aderência entre a cordoalha e o concreto e  $u$  é o perímetro da cordoalha.

Para uma barra redonda o perímetro é dado pela Equação 15. No caso de cordoalhas de três ou sete fios, existe um perímetro maior em contato com o concreto. Para as cordoalhas utilizadas neste trabalho, os perímetros estão ilustrados na Figura 8.

$$u = \pi \cdot \phi \quad (15)$$

Um comentário importante deve ser feito nesta etapa: a parcela multiplicadora  $\gamma_c/4$  na Equação 14 é a correção necessária para a consideração do coeficiente de segurança 4. Sendo assim, verifica-se que todas as três normas analisadas apresentarão os mesmos resultados.

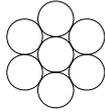
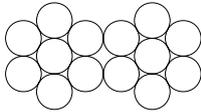
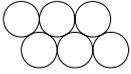
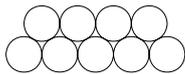
	CP-190 RB 12,7 7 fios de Ø4,5mm cada	CP-190 RB 3x5,0 3 fios de Ø5mm cada
Laço Simples	 $u = 5,65\text{cm}$	 $u = 3,93\text{cm}$
Laço Duplo	 $u = 9,87\text{cm}$	 $u = 6,28\text{cm}$
Laço Triplo	 $u = 14,14\text{cm}$	 $u = 8,64\text{cm}$

Figura 8: Perímetros das cordoalhas.

## 5. CAPACIDADE DE CARGA DAS ALÇAS

As Tabelas 1 a 4 (ver final do artigo) indicam a capacidade de carga de alças de içamento para cordoalhas de sete fios CP-190 RB 12,7 levando-se em conta:

- Concretos C20, C25, C30 e C35;
- Resultados das três normas comentadas.

Percebe-se, entretanto, que o Eurocode 2 [4] e a FIB [5] levaram a um mesmo resultado. Na ABNT NBR 6118 [3] foram considerados os coeficientes de minoração das resistências do aço e do concreto, para pré-moldado sem controle de qualidade;

- Laços simples, duplos e triplos;
- Comprimentos de embutimento (em centímetros): 15, 25, 35, 45, 55, 65, 75, 85;
- Ângulo de aplicação da solicitação na alça (ver Figura 7):  $45^\circ$  e  $90^\circ$ ;
- Região de boa aderência;
- Capacidade de carga da alça dada pelas Equações 13 e 14;
- Laços duplos e triplos, admitindo-se que a força solicitante é distribuída de forma igualitária

entre os laços, conforme indicação do PCI [12].

## 6. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Observando-se a formulação das três normas comentadas, percebe-se que a diferença básica entre a ABNT NBR 6118 [3], o Eurocode 2 [4] e a FIB [5] reside no valor do coeficiente de minoração da resistência do concreto,  $\gamma_c$ .

Apesar dos valores de  $\gamma_c$  serem diferentes, a norma brasileira gera um mesmo resultado que o das outras duas, devido à correção que se faz para a utilização de um coeficiente de segurança igual a 4 na Equação 14.

Outro ponto que merece destaque é que, quando a resistência característica do concreto à compressão ( $f_{ck}$ ) aumenta, a tensão de aderência ( $f_{bpd}$ ) eleva de tal forma a resistência ao deslizamento e ao arrancamento da barra que, quando da utilização de laço simples e de comprimentos de embutimento maiores, o modo de falha é o escoamento do aço da cordoalha (ver como exemplo a Tabela 4).

Para efeito de comparação e análise, apresentam-se na Tabela 6 os valores obtidos com o PCI [12], para a capacidade de carga de alças de içamento confeccionadas com cordoalhas de 12,7 mm de diâmetro e 190 kN/cm<sup>2</sup> de tensão resistente última.

Observando-se os valores da Tabela 5 e da Tabela 1, nota-se que os valores obtidos neste artigo são cerca de 10% a 15% menores. Infelizmente a referência de onde foi extraída a Tabela 6 não indica como foi feito o cálculo dos valores.

A correção do perímetro das cordoalhas, na Figura 8, mostra-se favorável e eleva a resistência da alça. Entretanto, isto deve ser verificado experimentalmente.

Outros pontos que devem ser verificados experimentalmente são as reduções do comprimento de embutimento adotadas por conta do surgimento de tensões de tração transversais à cordoalha, que tende a “descolar” do concreto, em um de seus lados.

Apesar dos valores obtidos neste trabalho serem menores que os apresentados na Tabela 5, verifica-se que as alças feitas de cordoalhas possuem uma grande capacidade de carga, mesmo com um coeficiente de segurança

elevado, viabilizando sua utilização.

## 7. CONCLUSÃO

As principais conclusões deste trabalho são:

- As alças de içamento de cordoalhas possuem grande capacidade de carga;
- A aderência bem estabelecida entre o concreto e o aço é de fundamental importância para a melhora das características técnicas da alça de içamento;
- É necessária a validação experimental da consideração de comprimento reduzido de embutimento e de perímetro corrigido, do contato da cordoalha com o concreto;
- Quando o comprimento de embutimento é grande e a resistência do concreto é aumentada, a ruptura do material passa a ser governada pelo escoamento da cordoalha;
- Os resultados de capacidade de carga, para o Eurocode 2 [4] e a FIP (2011), são idênticos aos da ABNT NBR 6118 [3], por conta dos coeficientes de segurança especificados.

## REFERÊNCIAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9062: Projeto e Execução de Estruturas de Concreto Pré-Moldado. Rio de Janeiro, 2006.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7483: Cordoalhas de aço para concreto protendido – Especificação, Rio de Janeiro, 2004.
3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - procedimento. Rio de Janeiro, 2007.
4. EUROPEAN STANDARD. Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 1: General rules and rules for buildings. Bruxelas, 2002.
5. FEDERATION INTERNATIONALE DU BETON. FIB Model Code 2010. Lausanne, 2011.
6. LEONHARDT, F.; MÖNNIG, E. Construções de Concreto v.1. Rio de Janeiro: Interciência, 1977. 305p.
7. CARVALHO, R. C; FIGUEREDO FILHO, J. R. Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado. São Carlos: Edufscar, 2007. 367p.
8. ALMEIDA FILHO, F. M. Contribuição ao

- estudo da aderência entre barras de aço e concretos auto-adensáveis. Tese de doutorado. São Carlos, EESC – SET (USP), 2006. 310p.
9. FUSCO, P. B. Técnica de armar as estruturas de concreto. São Paulo. PINI, 1995. 382p.
10. EL DEBS, M. K. Concreto pré-moldado: fundamentos e aplicações. São Carlos: EESC - USP, 2000. 441p.

11. ARAÚJO, J. M. Curso de concreto armado. v.1. Rio Grande, Dunas, 2010. 257p.
12. PRECAST/PRESTRESSED CONCRETE INSTITUTE. Recommended practice for erection of precast concrete. Chicago, 1985. 87p.

Tabela 1: Capacidade de carga das alças, cordoalha de sete fios CP-190 RB 12,7, C20 e ângulo de 45°.

$f_{ck}$ (MPa)	$\emptyset$ (Laço Simples) (mm)	$\emptyset_n$ (Laço Duplo) (mm)	$\emptyset_n$ (Laço Triplo) (mm)	Perímetro Laço Simples (cm)	Perímetro Laço Duplo (cm)	Perímetro Laço Triplo (cm)
20	12,70	17,96	22,00	5,65	9,87	14,14
Ângulo	ABNT NBR 6118:2007			Eurocode 2 (2002) e FIP (2011)		
45°	$f_{bpd}$ (kN/cm <sup>2</sup> )		0,133	$f_{bpd}$ (kN/cm <sup>2</sup> )		0,124
$l_{bp}$ (cm)	Laço Simples (kN)	Laço Duplo (kN)	Laço Triplo (kN)	Laço Simples (kN)	Laço Duplo (kN)	Laço Triplo (kN)
15	6,20	9,63	12,47	6,20	9,63	12,47
25	11,45	18,79	25,60	11,45	18,79	25,60
35	16,69	27,96	38,73	16,69	27,96	38,73
45	21,94	37,12	51,85	21,94	37,12	51,85
55	27,18	46,28	64,98	27,18	46,28	64,98
65	32,43	55,45	78,11	32,43	55,45	78,11
75	37,67	64,61	91,24	37,67	64,61	91,24
85	42,92	73,77	104,36	42,92	73,77	104,36

Tabela 2: Capacidade de carga das alças, cordoalha de sete fios CP-190 RB 12,7, C25 e ângulo de 45°.

$f_{ck}$ (MPa)	$\emptyset$ (Laço Simples) (mm)	$\emptyset_n$ (Laço Duplo) (mm)	$\emptyset_n$ (Laço Triplo) (mm)	Perímetro Laço Simples (cm)	Perímetro Laço Duplo (cm)	Perímetro Laço Triplo (cm)
25	12,70	17,96	22,00	5,65	9,87	14,14
Ângulo	ABNT NBR 6118:2007			Eurocode 2 (2002) e FIP (2011)		
45°	$f_{bpd}$ (kN/cm <sup>2</sup> )		0,154	$f_{bpd}$ (kN/cm <sup>2</sup> )		0,144
$l_{bp}$ (cm)	Laço Simples (kN)	Laço Duplo (kN)	Laço Triplo (kN)	Laço Simples (kN)	Laço Duplo (kN)	Laço Triplo (kN)
15	7,20	11,17	14,47	7,20	11,17	14,47
25	13,28	21,81	29,71	13,28	21,81	29,71
35	19,37	32,44	44,94	19,37	32,44	44,94
45	25,46	43,07	60,17	25,46	43,07	60,17
55	31,54	53,71	75,40	31,54	53,71	75,40
65	37,63	64,34	90,64	37,63	64,34	90,64
75	43,72	74,97	105,87	43,72	74,97	105,87
85	49,80	85,60	121,10	49,80	85,60	121,10

Tabela 3: Capacidade de carga das alças, cordoalha de sete fios CP-190 RB 12,7, C30 e ângulo de 45°.

$f_{ck}$ (MPa)	$\varnothing$ (Laço Simples) (mm)	$\varnothing_n$ (Laço Duplo) (mm)	$\varnothing_n$ (Laço Triplo) (mm)	Perímetro Laço Simples (cm)	Perímetro Laço Duplo (cm)	Perímetro Laço Triplo (cm)
30	12,70	17,96	22,00	5,65	9,87	14,14
Ângulo	ABNT NBR 6118:2007			Eurocode 2 2 (2002) e FIP (2011)		
45°	$f_{bpd}$ (kN/cm <sup>2</sup> )		0,174	$f_{bpd}$ (kN/cm <sup>2</sup> )		0,162
$\ell_{bp}$ (cm)	Laço Simples (kN)	Laço Duplo (kN)	Laço Triplo (kN)	Laço Simples (kN)	Laço Duplo (kN)	Laço Triplo (kN)
15	8,13	12,62	16,34	8,13	12,62	16,34
25	15,00	24,63	33,54	15,00	24,63	33,54
35	21,87	36,63	50,75	21,87	36,63	50,75
45	28,75	48,64	67,95	28,75	48,64	67,95
55	35,62	60,65	85,15	35,62	60,65	85,15
65	42,49	72,65	102,35	42,49	72,65	102,35
75	49,37	84,66	119,55	49,37	84,66	119,55
85	53,84	96,67	136,75	53,84	96,67	136,75

Tabela 4: Capacidade de carga das alças, cordoalha de sete fios CP-190 RB 12,7, C35 e ângulo de 45°.

$f_{ck}$ (MPa)	$\varnothing$ (Laço Simples) (mm)	$\varnothing_n$ (Laço Duplo) (mm)	$\varnothing_n$ (Laço Triplo) (mm)	Perímetro Laço Simples (cm)	Perímetro Laço Duplo (cm)	Perímetro Laço Triplo (cm)
35	12,70	17,96	22,00	5,65	9,87	14,14
Ângulo	ABNT NBR 6118:2003			Eurocode 2 2 (2002) e FIP (2011)		
45°	$f_{bpd}$ (kN/cm <sup>2</sup> )		0,193	$f_{bpd}$ (kN/cm <sup>2</sup> )		0,180
$\ell_{bp}$ (cm)	Laço Simples (kN)	Laço Duplo (kN)	Laço Triplo (kN)	Laço Simples (kN)	Laço Duplo (kN)	Laço Triplo (kN)
15	9,01	13,99	18,11	9,01	13,99	18,11
25	16,62	27,29	37,17	16,62	27,29	37,17
35	24,24	40,60	56,24	24,24	40,60	56,24
45	31,86	53,90	75,30	31,86	53,90	75,30
55	39,48	67,21	94,36	39,48	67,21	94,36
65	47,09	80,52	113,43	47,09	80,52	113,43
75	53,84	93,82	132,49	53,84	93,82	132,49
85	53,84	107,13	151,55	53,84	107,13	151,55

Tabela 5: Capacidade de carga de alças de içamento de cordoalhas de 12,7 mm de diâmetro.

Ângulo de inclinação da força solicitante	Comprimento de embutimento	Laço Simples	Laço Duplo	Laço Triplo
45°	16in = 40,64cm	5kip = 22,24kN	8,5kip = 37,81kN	11,5kip = 51,15kN
	22in = 55,88cm	8kip = 35,59kN	13kip = 57,83kN	17,5kip = 77,84kN
	28in = 71,12cm	10kip = 44,48kN	18kip = 80,07kN	23kip = 102,31kN
	34in = 86,36cm	11kip = 48,93kN	23kip = 102,31kN	29kip = 129,00kN
90°	16in = 40,64cm	7,5kip = 33,36kN	12,5kip = 55,60kN	16,5kip = 73,40kN
	22in = 55,88cm	11,5kip = 51,15kN	19kip = 84,52kN	24,5kip = 108,98kN
	28in = 71,12cm	15,5kip = 68,95kN	25,5kip = 113,43kN	33kip = 146,79kN
	34in = 86,36cm	16kip = 71,17kN	32,5kip = 144,57kN	41kip = 182,38kN

Valores obtidos em função da aderência com coeficiente de segurança igual a 4.  
 Concreto com  $f_{ck}$  igual a 20 MPa.

FONTE: Adaptado de PCI [12] (p. 33).