

# ANÁLISE DA ADERÊNCIA AÇO-CONCRETO: UM ESTUDO DE DIFERENTES TEORIAS DE CÁLCULO

Douglas Mioto Cerezoli (1); Jackson Deliz Ditz (2)

1 Acadêmico de graduação em engenharia civil. Faculdade Meridional (IMED). E-mail: douglascerezoli8@gmail.com

2 Orientador. Engenheiro civil; mestre em engenharia de estruturas. Faculdade Meridional (IMED). E-mail: jackson.ditz@imed.edu.br

## 1 INTRODUÇÃO

A aderência entre aço e concreto é de fundamental importância para o bom funcionamento das estruturas de concreto armado, sistema largamente utilizado na construção civil. É objetivo de estudo os fatores que influenciam no comportamento de aderência entre aço-concreto bem como as variáveis que podem ampliar ou reduzir a resistência de aderência entre os materiais. Estudos de Dumêt (2003), Almeida Filho (2006), Danin (2010), Santana (2014) e Santos *et al.* (2016) tratam do comportamento de aderência em função da tipologia e das propriedades do concreto, do diâmetro da barra de aço, da espessura do cobrimento e da adição de fibras ou outros aditivos, etc.

O objetivo deste estudo é determinar a tensão de aderência entre aço-concreto por meio de formulações teóricas, aplicando como variáveis a resistência à compressão do concreto, diâmetro e cobrimento da barra de aço, e estabelecer relações com a norma brasileira correspondente, NBR 6118 (ABNT, 2014).

## 2 METODOLOGIA

Na literatura, inúmeros autores propuseram modelos numéricos na tentativa de reproduzir por aproximação os valores de tensão de aderência entre aço e concreto. Usualmente, estas formulações são produzidas a partir de resultados experimentais normatizados (ALMEIDA FILHO, 2007).

A Tabela 1 apresenta formulações propostas por diferentes autores para o cálculo da tensão de aderência da ligação aço-concreto considerando situações sem reforço transversal. Na Tabela 1 e Tabela 2,  $\tau_u$  é a tensão de aderência,  $c$  é o valor do cobrimento da armadura,  $\phi_b$  é o diâmetro da barra de aço,  $l_d$  é o comprimento aderente,  $f_c$  e  $f_{ctd}$  se referem a resistência à compressão e tração do concreto, respectivamente,  $\eta_1$  se refere a rugosidade superficial da barra,  $\eta_2$  a posição da barra dentro da peça de concreto e  $\eta_3$  ao diâmetro da barra.

Tabela 1 – Formulações para aproximação da força de aderência nas ligações aço-concreto

Autor	Equação	Unidade
Oragun <i>et al.</i> (1975)	$\tau_u = \left[ 1,22 + 3,23 \cdot \left( \frac{c}{\phi_b} \right) + 53 \cdot \left( \frac{\phi_b}{l_d} \right) \right] \cdot \sqrt{f_c}$	Psi
Kemp <i>et al.</i> (1986 <i>apud</i> Almeida Filho, 2007)	$\tau_u = 232,2 + 2,716 \cdot \left( \frac{c}{\phi_b} \right) \cdot \sqrt{f_c}$	Psi
Chapman and Shah (1987 <i>apud</i> Almeida Filho, 2007)	$\tau_u = \left[ 3,5 + 3,4 \cdot \left( \frac{c}{\phi_b} \right) + 57 \cdot \left( \frac{\phi_b}{l_d} \right) \right] \cdot \sqrt{f_c}$	Psi

Harajli (1994 <i>apud</i> Almeida Filho, 2007)	$\tau_u = \left[ 1,2 + 3,0 \cdot \left( \frac{c}{\phi_b} \right) + 50 \cdot \left( \frac{\phi_b}{l_d} \right) \right] \cdot \sqrt{f_c}$	Psi
Al-Jahdali <i>et al.</i> (1994 <i>apud</i> Almeida Filho, 2007)	$\tau_u = \left[ -0,879 + 0,324 \cdot \left( \frac{c}{\phi_b} \right) + 5,79 \cdot \left( \frac{\phi_b}{l_d} \right) \right] \cdot \sqrt{f_c}$	S.I.
NBR 6118 (ABNT, 2014)	$\tau_u = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot f_{ctd}$	S.I.

Fonte: Autor (2019)

Para o desenvolvimento deste estudo foram definidas variáveis e desenvolvido modelos que definiam as características do concreto e do aço. Para o desenvolvimento dos modelos, foi efetuado a alteração de apenas uma variável em cada proposta de modelo, os quais estão expostos na Tabela 2. Com o objetivo de evitar inclusão de novas variáveis, o valor de comprimento de ancoragem  $l_d$  foi padronizado em 5 cm para todos os modelos.

Tabela 2 – Modelos analisados nas formulações teóricas

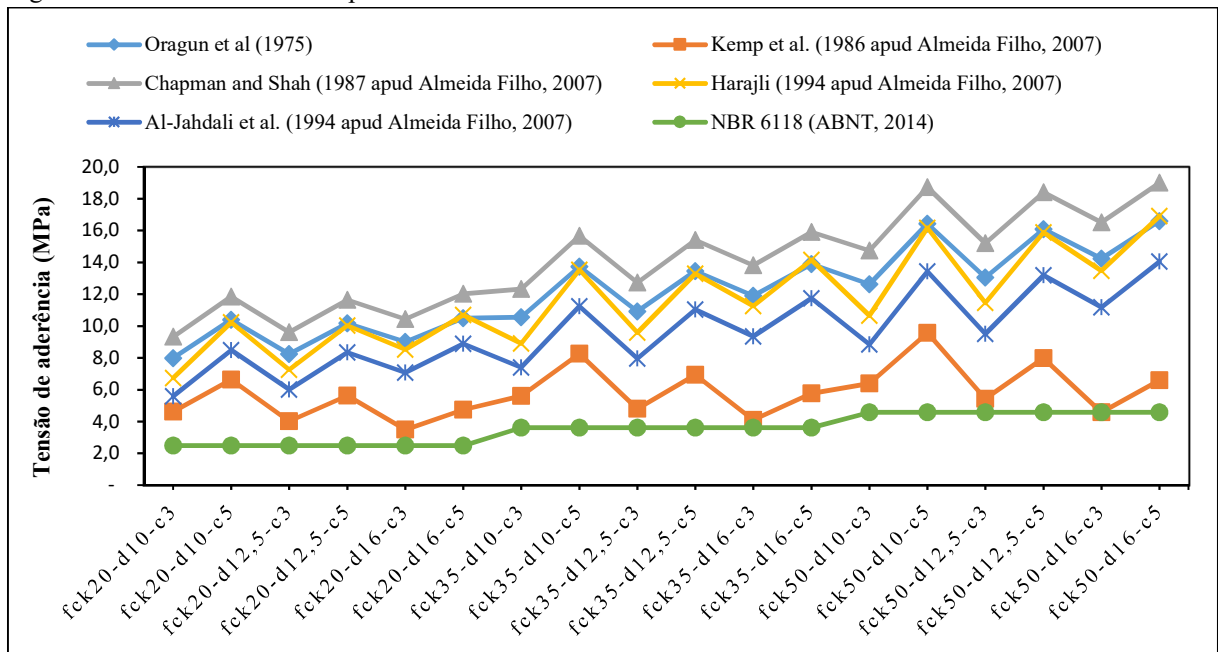
Modelo	$f_{ck}$ (MPa)	$\phi_b$ (mm)	c (cm)
fck20-d10-c3	20,0	10,0	3,0
fck35-d10-c3	35,0	10,0	3,0
fck50-d10-c3	50,0	10,0	3,0
fck20-d12,5-c3	20,0	12,5	3,0
fck35-d12,5-c3	35,0	12,5	3,0
fck50-d12,5-c3	50,0	12,5	3,0
fck20-d16-c3	20,0	16,0	3,0
fck35-d16-c3	35,0	16,0	3,0
fck50-d16-c3	50,0	16,0	3,0
fck20-d10-c5	20,0	10,0	5,0
fck35-d10-c5	35,0	10,0	5,0
fck50-d10-c5	50,0	10,0	5,0
fck20-d12,5-c5	20,0	12,5	5,0
fck35-d12,5-c5	35,0	12,5	5,0
fck50-d12,5-c5	50,0	12,5	5,0
fck20-d16-c5	20,0	16,0	5,0
fck35-d16-c5	35,0	16,0	5,0
fck50-d16-c5	50,0	16,0	5,0

Fonte: Autor (2019)

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos estão apresentados na Figura 1. A partir da análise do gráfico, constata-se que a tensão de aderência calculada a partir da NBR 6118 (ABNT, 2014), dentre todos os modelos avaliados, resulta em valores inferiores de tensão de aderência quando comparados as demais formulações de referência utilizadas neste estudo. O conservadorismo da NBR 6118 (ABNT, 2014) já era algo esperado pois assim a mesma apresenta resultados que estão a favor da segurança. Contribuem com as mesmas conclusões os autores Dumêt (2003) e Almeida Filho (2006).

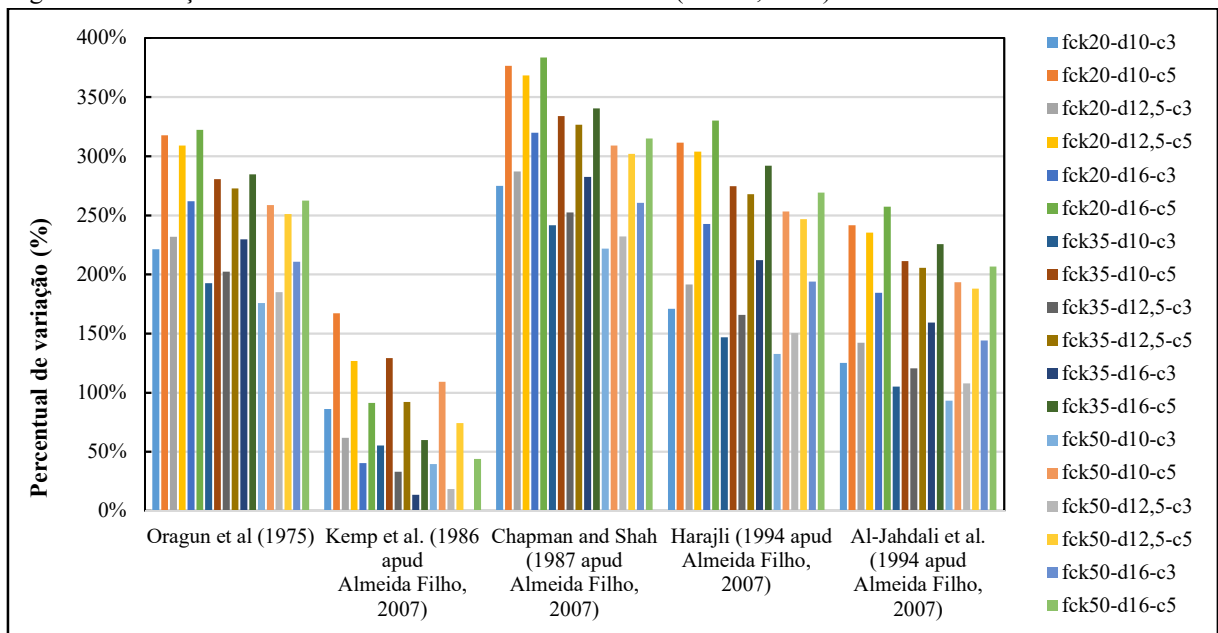
Figura 1 – Tensão de aderência para cada modelo analisado



Fonte: Autor (2019)

A Figura 2 apresenta os percentuais de variação de tensão de aderência para cada proposta de cálculo com relação a tensão obtida a partir da NBR 6118. É possível constatar que, dentre os autores avaliados, a proposta de Kemp *et al.* (1986 *apud* Almeida Filho, 2007), apesar de trazer tensões de aderência superiores, exceto para o modelo fck50-d16-c3, é que a mais se aproxima dos valores da NBR 6118 (ABNT, 2014), com variações que vão de 0 a 167%. Chapman and Shah (1987 *apud* Almeida Filho, 2007) propõem valores de tensão de aderência ainda mais ousados e que são superiores em 222% a 383%, para o mesmo modelo, quando comparados com o resultado obtido a partir da NBR 6118 (ABNT, 2014).

Figura 2 – Variação da tensão de aderência entre a NBR 6118 (ABNT, 2014) e demais teorias de cálculo



Fonte: Autor (2019)

## 4 CONCLUSÕES

As principais conclusões resultantes deste estudo são:

- As formulações desenvolvidas a partir de estudos experimentais são aplicáveis a modelos de trabalho que podem ser desenvolvidos conforme a necessidade do estudo e utilizando grande número de variáveis;
- A NBR 6118 (ABNT, 2014) reproduz resultados de tensão de aderência mais conservadores e, dessa forma, em favor da segurança. Esse fator resulta, na maioria das vezes, na utilização de maiores comprimentos de ancoragem nas estruturas de concreto armado.

### Agradecimentos

Agradeço ao meu amigo e orientador Jackson Deliz Ditz pela confiança e disponibilidade em me orientar nesse estudo.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA FILHO, F.M. **Contribuição ao estudo da aderência entre barras de aço e concretos auto-adensáveis**. Tese – Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

ALMEIDA FILHO, F.M., EL DEBS, M.K., EL DEBS, A.N.H. **Bond-slip behavior of self-compacting concrete and vibrated concrete using pull-out and beam tests**. Materials and Structures, Vol. 41, p. 1073-1089. 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto – procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

DANIN, A.R. **Estudo da aderência entre concreto e armadura: análise da influência da adição de fibras de aço**. Dissertação – Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Mecânica das Estruturas e Construção Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2010.

DUMÊT, T.B. **Aderência de cordoalhas em concretos de alta resistência com e sem fibras de aço**. Tese – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

ORAGUN, C.O., JIRSA, J.O., BREEN, J.E. **The strength of anchored bars: a reevaluation of test data on development length and splices**. Relatório Técnico de Investigação 154-3F. 1975.

SANTANA, I.V. **Estudo da influência das fibras metálicas no comportamento da aderência entre barras de aço e concretos de diferentes classes de resistência**. Dissertação – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

SANTOS, A.C.P., AGUADO, A., VILLEGAS, N. **Bond behavior of self consolidating concrete**. *Revista de la construcción*. Vol. 15, n.3, p. 9-16. 2016.