

Impacto da Taxa de Armadura de Flexão na Resistência ao Arrancamento de Conectores com Cabeça em Vigas de CA: Evidência Experimental e Tendência de Projeto

Impact of Flexural Reinforcement Ratio on the Pullout Resistance of Headed Anchors in RC Beams: Experimental Evidence and Design Trend

Impacto de la relación de refuerzo a flexión en la resistencia a la extracción de conectores con cabeza en vigas de hormigón armado: evidencia experimental y tendencias de diseño.

Resumo

Sistemas de ancoragem com conectores pré ou pós-instalados são utilizados na construção civil para fixação de componentes em concreto. Conectores metálicos com cabeça permitem a transferência de forças entre aço e concreto, sendo empregados quando barras não são viáveis. Embora seu comportamento em ligações estruturais, como viga-pilar, seja amplamente estudado, a resistência ao cone de concreto com armadura de superfície ainda é pouco investigada. Este estudo avalia a resistência ao arrancamento de conectores embutidos sob diferentes momentos e analisa a influência da armadura de flexão como armadura de superfície fora da projeção do cone de ruptura. Foi realizado um programa experimental com 16 conectores em duas séries de elementos esbeltos de concreto armado (700×200×3000 mm), com embutimento de 110 mm e concreto de 30 MPa. Os resultados foram comparados com dados da literatura para taxas de armadura de 0,81% e 1,34%. Os resultados mostram que a fissuração influencia significativamente a resistência ao arrancamento dos conectores.

Palavras-chave: Elemento esbelto; Resistência à tração; Arrancamento; Conector com cabeça.

Abstract

Anchorage systems using pre-installed or post-installed connectors are applied in civil construction for fastening components to concrete. Headed metallic connectors enable force transfer between steel and concrete and are used when bars are not feasible. Although their behavior in structural connections, such as beam-column joints, has been widely studied, the concrete cone resistance considering surface reinforcement remains insufficiently investigated. This study evaluates the pull-out resistance of embedded connectors under different bending moments and analyzes the influence of flexural reinforcement acting as surface reinforcement outside the projected failure cone. An experimental program was conducted with 16 connectors in two series of slender reinforced concrete elements (700×200×3000 mm), with an embedment depth of 110 mm and concrete compressive strength of 30 MPa. The results were compared with data from the literature for reinforcement ratios of 0.81% and 1.34%. The results show that cracking significantly influences the pull-out resistance of the connectors.

Key-words: Slender elements; Tensile strength; Pull-out resistance; Headed connectors.

Resumen

Los sistemas de anclaje con conectores preinstalados o postinstalados se utilizan en la construcción civil para la fijación de componentes en concreto. Los conectores metálicos con cabeza permiten la transferencia de fuerzas entre el acero y el concreto y se emplean cuando las barras no son viables. Aunque su comportamiento en conexiones estructurales, como las uniones viga-columna, ha sido ampliamente estudiado, la resistencia del cono de concreto con armadura de superficie aún es poco investigada. Este estudio evalúa la resistencia al arrancamiento de conectores embebidos bajo diferentes momentos flectores y analiza la influencia de la armadura de flexión como armadura de superficie fuera de la proyección del cono de falla. Se llevó a cabo un programa experimental con 16 conectores en dos series de elementos esbeltos de concreto armado (700×200×3000 mm), con una profundidad de embebimiento de 110 mm y concreto con resistencia a compresión de 30 MPa. Los resultados se compararon con datos de la literatura para cuantías de armadura de 0,81% y 1,34%. Los resultados muestran que la fisuración influye significativamente en la resistencia al arrancamiento de los conectores.

Palabras-clave: Elementos esbeltos; Resistencia a la tracción; Arrancamiento; Conectores con cabeza.

1.0 - Introdução

O dimensionamento de fixações em estruturas de concreto armado baseia-se predominantemente no método *Concrete Capacity Design* (CCD), consolidado por normas internacionais como ACI 318 e EN 1992-4. Embora eficaz para ancoragens em blocos massivos de concreto, o modelo CCD baseia-se em premissas de mecânica da fratura linear que assumem uma abordagem simplificada e binária para o efeito da fissuração, tratando-a de forma constante através de um fator de redução fixo ($\psi_{cr} = 0,7$). No entanto, essa padronização negligencia a complexidade fenomenológica de elementos estruturais esbeltos, como vigas, onde o estado de tensões é dinâmico e a evolução das fissuras de flexão gera uma anisotropia induzida no material. Em tais elementos, a abertura das fissuras não é um estado estático, mas uma variável dependente da razão entre o momento solicitante e o momento resistente (M_S/M_R). Ao ignorar a progressividade desse dano e, simultaneamente, desconsiderar o papel da taxa de armadura longitudinal na restrição lateral do cone de ruptura, os modelos normativos vigentes podem incorrer em estimativas de resistência não conservadoras, comprometendo a confiabilidade estrutural de fixações em zonas de alta sollicitação de flexão.

A base teórica para o comportamento de conectores em concreto fissurado foi amplamente estabelecida pelos trabalhos seminais de Eligehausen e Balogh (1995), cujas investigações fundamentaram os coeficientes de redução adotados pelas normas atuais. Tais estudos demonstraram que a presença de fissuras interceptando o cone de ruptura pode reduzir a capacidade de carga do conector em aproximadamente 30%, devido à interrupção da transferência de tensões de tração no concreto. No entanto, é imperativo notar que as condições experimentais que originaram o método CCD basearam-se, em grande parte, em ancoragens instaladas em blocos de concreto submetidos a estados de tensão controlados e fissuras com aberturas constantes. Essa configuração experimental, embora necessária para a calibração inicial do modelo, falha em representar a complexidade de vigas reais, onde a fissura de flexão é acompanhada por um gradiente de deformação e uma interação dinâmica com a armadura longitudinal.

Avanços em modelagem numérica por elementos finitos, notadamente os desenvolvidos por Ozbolt et al. (2007), indicam que a resistência ao arrancamento é sensível não apenas à existência da fissura, mas à sua morfologia e ao estado de tensões global da peça. Embora modelos numéricos sugiram que níveis elevados de sollicitação flexural degradam a rigidez do cone de extração, a literatura técnica carece de evidências experimentais robustas que quantifiquem essa perda em elementos esbeltos de concreto armado. Persiste uma lacuna no entendimento de como a taxa de armadura longitudinal, um parâmetro muitas vezes negligenciado nas equações de arrancamento, atua como um mecanismo de restrição lateral, capaz de mitigar a redução de resistência prevista pelas normas. Assim, torna-se necessário investigar se a abordagem conservadora de Ozbolt (1995) e as diretrizes fixas de Eligehausen et al (2006) permanecem válidas para elementos estruturais que operam próximos aos seus limites de serviço e de ruptura.

Diante da lacuna exposta, o presente trabalho tem como objetivo investigar a influência da taxa de armadura longitudinal e do nível de sollicitação flexural na capacidade de arrancamento de conectores com cabeça. Diferentemente das abordagens normativas simplificadas, esta pesquisa propõe uma análise experimental de vigas esbeltas sob diferentes razões de momento (M_S/M_R), permitindo observar a transição do

47 comportamento do conector desde o estado íntegro até níveis de serviço próximos à
 48 ruptura do elemento. Através do monitoramento da deformação do aço e da abertura de
 49 fissuras, busca-se demonstrar que a armadura de flexão não atua apenas na resistência
 50 global da viga, mas exerce um papel fundamental na preservação da integridade do cone
 51 de concreto.

52 Com isso, pretende-se fornecer evidências para uma futura calibração de modelos de
 53 projeto que incorporem o estado de tensões da estrutura, garantindo ancoragens mais
 54 seguras e condizentes com a realidade de elementos fletidos.

55 2.0 - Modelos Normativos para Ruptura por Cone de Concreto

56 O dimensionamento de conectores com cabeça submetidos à tração é baseado, na
 57 maioria das normas internacionais, no conceito de ruptura por cone de concreto,
 58 desenvolvido a partir do método do *Concrete Capacity Design* (CCD). Esse método
 59 assume que a ruptura ocorre por meio da formação de um cone de concreto com
 60 inclinação aproximada de 35°, cuja capacidade resistente é função da resistência à
 61 compressão do concreto e da profundidade efetiva de embutimento do conector. O
 62 método CCD, com pequenas variações conceituais e coeficientes distintos, foi
 63 incorporado em documentos normativos amplamente utilizados na prática de projeto, tais
 64 como o ACI 318, o Eurocode 2 – Parte 4 e o fib Model Code. Em termos gerais, esses
 65 documentos adotam expressões semelhantes para a estimativa da resistência
 66 característica associada à ruptura do concreto por arrancamento. A condição de concreto
 67 fissurado é tratada, em geral, de forma binária, sendo considerada por meio de
 68 coeficientes redutores globais que não distinguem a origem da fissuração. Dessa forma,
 69 fissuras decorrentes de flexão em elementos esbeltos são tratadas de maneira
 70 equivalente àquelas provenientes de retração, variações térmicas ou outros efeitos. O
 71 nível de sollicitação à flexão do elemento estrutural, bem como a intensidade do campo
 72 de fissuração associado, não é explicitamente incorporado aos modelos normativos.

73 **Tabela 01.** Modelos Normativos

Método	Equação Principal	Descrição / Variáveis
CCD – Concrete Capacity Design	$Nu = 17,33 \cdot \sqrt{f_c} \cdot h_{ef}^{1,5}$	Modelo base para ruptura por cone de concreto. Com uma constante relacionado ao conector; f_c em Mpa, e o h_{ef} em mm.
ACI 318	$Nu^0 = k \cdot \sqrt{f_c} \cdot h_{ef}^{1,5}$	K considera o tipo de conector, com valor 10 para conectores com cabeça pré-instalados.
fib Bulletin 58	$Nu^0 = k_1 \cdot \sqrt{f_c} \cdot h_{ef}^{1,5}$	Segue o modelo CCD com fatores adicionais para fissuração, bordas e agrupamento. Onde k_1 considera o estado de fissuração, 8,9 para concreto fissurado e 12,7 para concreto não fissurado.
Modelo experimental Proposto	$Nu_{exp} = k \cdot \sqrt{f_c} \cdot h_{ef}^{1,5}$	Fator de calibração que leva em consideração o limite médio e o de projeto para a estimativa de resistência ao arrancamento. Onde k_1 $k = 12,7 \psi_{cr}$ para condições de projeto. $k = 12,7 \psi_{cr}$ para condições de projeto.
Modelo Proposto – Fator de Fissuração	$\psi_{cr} = 0,6 \cdot \left(\frac{Mr}{Ms}\right)^{\frac{1}{3}}$	Parâmetro redutor que considera o nível de fissuração do seção de embutimento do conector.

74

75

76



76 3.0 – Programa Experimental

77

77 3.1 - Geometria dos Corpos de Prova e Arranjo da Armadura

78 O programa experimental foi composto por elementos de concreto armado com
 79 geometria esbelta, projetados de modo a promover fissuração por flexão antes da
 80 aplicação do carregamento de arrancamento nos conectores (Tabela 02). Foram
 81 ensaiadas duas séries (01 e 02) de corpos de prova, Figura 01, diferenciadas
 82 exclusivamente pela taxa de armadura longitudinal de flexão, série 01: $\rho = 1,34\%$ e série
 83 02: $\rho = 0,81\%$, mantendo-se constantes as demais variáveis, como geometria,
 84 propriedades do concreto e características dos conectores.

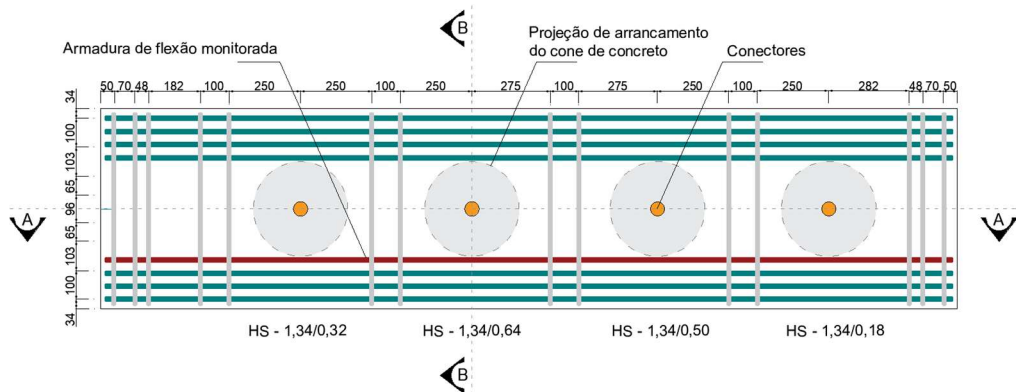
85 **Tabela 02:** Geometria dos espécimes

Série n°	Geometria		Conector			Armadura de flexão			Momento	
	Quant.	Espécime Item	d(mm)	H _{gr} (mm)	d _s (mm)	d _n (mm)	N° bar.	Ø _t	ρ _t (%)	M _y /M _r
S1 	2	HS2-1,34/0,18A	172	110	16	50	8	16	1,34	0,18
		HS2-1,34/0,18B								
	2	HS2-1,34/0,34A								
		HS2-1,34/0,34B								
	2	HS2-1,34/0,50A								
		HS2-1,34/0,50B								
S2 	2	HS4-0,81/0,18A	172	110	12,5	50	8	12	0,81	0,18
		HS4-0,81/0,18B								
	2	HS4-0,81/0,34A								
		HS4-0,81/0,34B								
	2	HS4-0,81/0,50A								
		HS4-0,81/0,50B								
	HS4-0,81/0,64A									
	HS4-0,81/0,64B									

HB(A)-(B)/(C)(D) : (A) Conector com cabeça (B) pf/(%) (C) M_y/M_r (D)Tipo

86
 87
 88 A armadura longitudinal foi posicionada de forma que não interceptasse diretamente a
 89 projeção do cone de ruptura do concreto associado aos conectores, permitindo avaliar a
 90 influência indireta da armadura de flexão no comportamento ao arrancamento.

91 **Figura 01:** Detalhamento das séries.



92
 93 **3.2 - Conectores e Materiais**

94 Foram utilizados conectores metálicos com cabeça de diâmetro e profundidade de
 95 embutimento constantes em todos os ensaios. O concreto empregado apresentou
 96 resistência à compressão determinada por meio de ensaios em corpos de prova
 97 cilíndricos realizados na data dos ensaios estruturais.

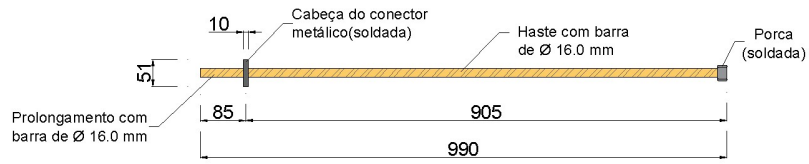
98

99

100

Figura 02: Conector metálico

101



102

103

3.3 - Sistema de Ensaio e Procedimento de Carregamento

104

O sistema de ensaio foi concebido para permitir a aplicação simultânea de carregamentos de flexão e de tração nos conectores. Inicialmente, aplicou-se o carregamento de flexão até atingir níveis predefinidos de momento fletor, induzindo fissuração no concreto da região tracionada do elemento. Esse carregamento foi mantido constante durante a aplicação do esforço de tração nos conectores.

105

106

107

108

109

Figura 03: Detalhamento do sistema de ensaios de arrancamento: (a) Posicionamento do conector; (b) Planta baixa; (c) Vista – Corte A; (d) Vista – Corte B.

110

111

112

113

114

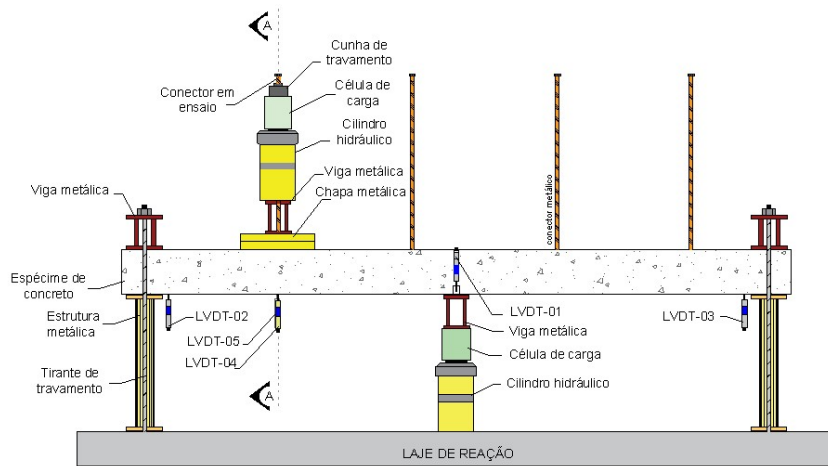
115

116

117

118

119



(a)

120

121

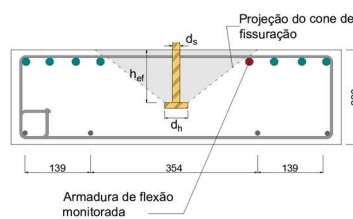
122

123

124

125

126



(b)

120

121

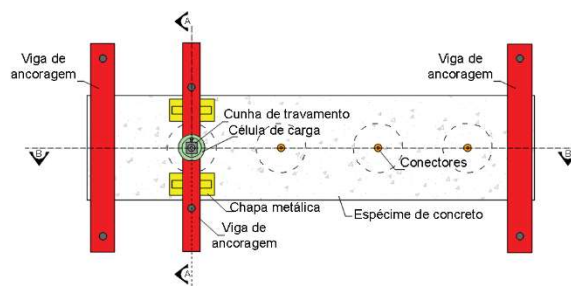
122

123

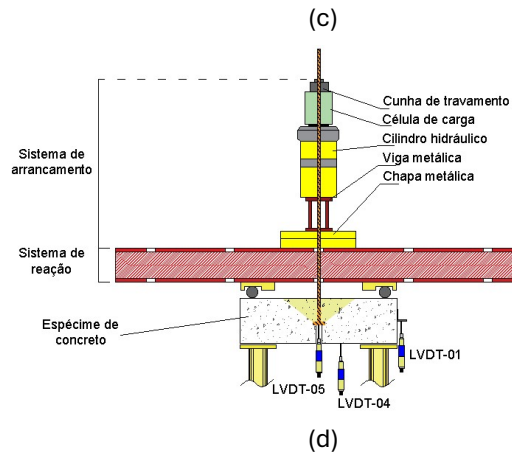
124

125

126





127
128
129
130
131
132
133
134
135
136
137
138
139
140
141
142
143
144
145
146
147
148
149
150
151
152



4.0 - Análise de resultados

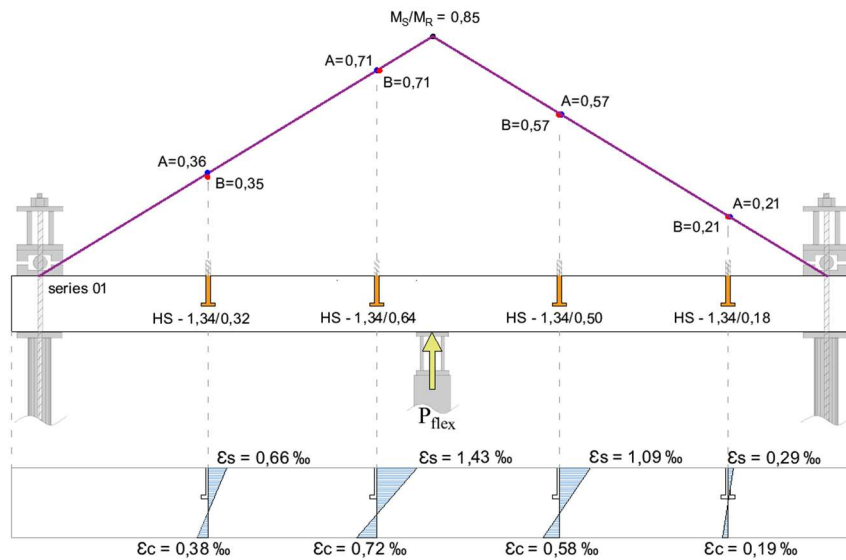
Os resultados experimentais (Tabela 03) são discutidos a seguir com foco na influência do nível de flexão imposto aos elementos esbeltos de concreto armado sobre a resistência ao arrancamento de conectores com cabeça. A análise é conduzida adotando-se a razão entre o momento solicitante e o momento resistente (M_s/M_R) como parâmetro central, uma vez que esse índice representa de forma direta o grau de fissuração do concreto no instante do ensaio de arrancamento.

Tabela 03: Geometria das espécies.

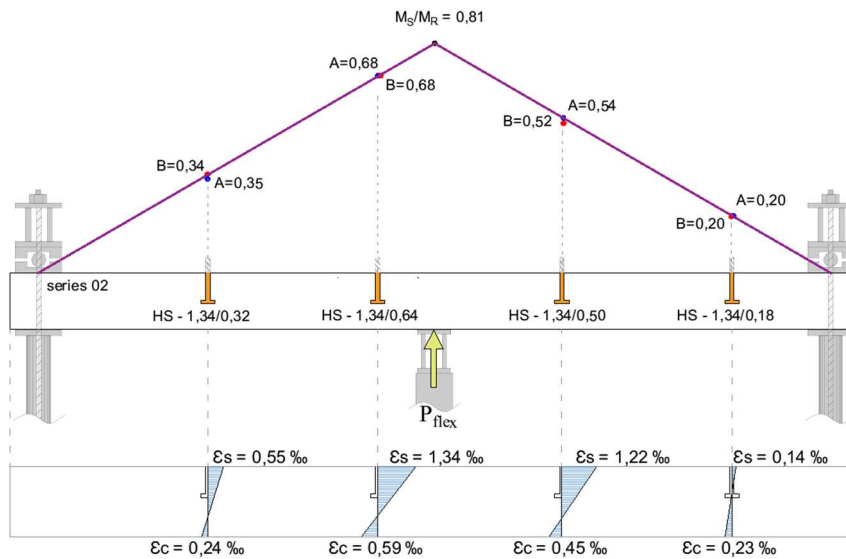
Nomenclatura		Resultados experimentais		N Arrancamento		Parâmetro K	
Série nº	Espécime Item	P. flexão (KN)	$M_{s_{exp}}/M_R$	N_{exp} (KN)	$N_{exp,médio}$ (KN)	K_{exp}	$K_{médio}$
S1 	HS2- 0,18 - 1,34F-A	127,21	0,21	109,77	109,04	17,09	13,87
	HS2- 0,18 - 1,34F-B	126,40	0,21	108,31		16,96	
	HS2- 0,32 - 1,34F-A	128,32	0,36	93,67	92,86	14,63	
	HS2- 0,32 - 1,34F-B	124,61	0,35	92,05	81,59	14,57	
	HS2- 0,50 - 1,34F-A	128,14	0,57	76,24	81,59	11,98	
	HS2- 0,50 - 1,34F-B	128,76	0,57	86,93	81,59	13,72	
	HS2- 0,64 - 1,34F-A	126,65	0,71	68,14	72,42	10,67	
HS2- 0,64 - 1,34F-B	126,24	0,71	76,71	72,42	11,33		
S2 	HS4- 0,18 - 0,81F-A	91,36	0,20	104,42	103,63	16,39	13,29
	HS4- 0,18 - 0,81F-B	87,99	0,20	102,84		16,30	
	HS4- 0,32 - 0,81F-A	87,73	0,33	89,73	90,16	14,09	
	HS4- 0,32 - 0,81F-B	88,10	0,34	90,58	90,16	14,34	
	HS4- 0,50 - 0,81F-A	88,94	0,54	75,43	74,55	11,81	
	HS4- 0,50 - 0,81F-B	85,97	0,52	73,67	74,55	11,63	
	HS4- 0,64 - 0,81F-A	89,49	0,68	71,13	69,22	11,09	
HS4- 0,64 - 0,81F-B	89,40	0,68	67,30	69,22	10,71		

A resposta experimental das armaduras de flexão, apresentada em termos de deformações normalizadas (ϵ/ϵ_y), revelou uma ativação progressiva estritamente vinculada ao gradiente de momentos fletores do sistema biapoiado. Conforme ilustrado na Figura 04, as seções centrais (M_s/M_R de 0,50 e 0,64) exibiram os maiores níveis de deformação unitária, confirmando a zona de máxima sollicitação.

Figura 04: Relação M_s/M_R dos conectores (a) série 01, (b) série (02) - Gráfico de deformações das armaduras conforme cada conector.



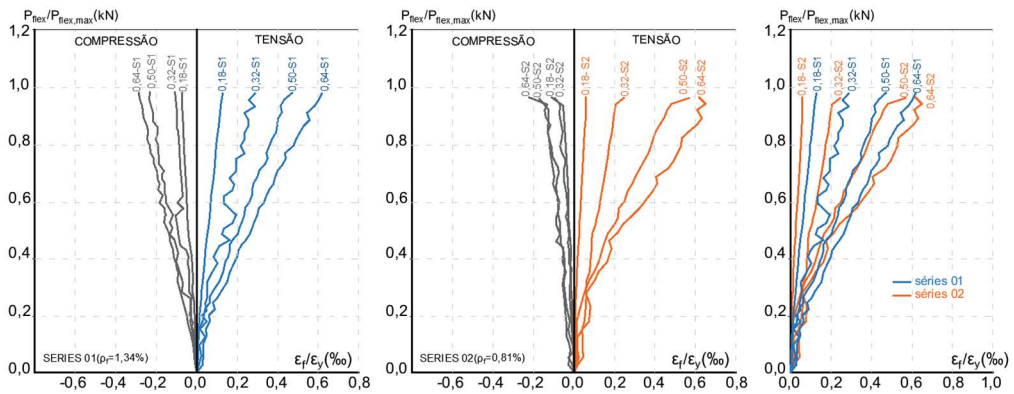
(a)



(b)

Em contrapartida, as regiões adjacentes aos apoios ($M_S/M_R = 0,18$ e $0,32$) apresentaram deformações significativamente reduzidas, mantendo uma reserva de rigidez elevada. É importante destacar que, em todos os espécimes, as armaduras operaram em regime elástico, com valores de ϵ_s abaixo do limite de escoamento do aço.

Figura 05: Deformação das armaduras de flexão;(a) série 01; (b) série 02; (c) Comparativo.



162

163

164

165

166

Em relação ao efeito da taxa de armadura (ρ_f) e distribuição lateral, a comparação entre as Séries 01 ($\rho_f=1,34\%$) e 02 ($\rho_f=0,81\%$) demonstra que o incremento da taxa de armadura não resultou em uma redução linear de deformações em todos os pontos do vão. Observou-se que:

167

168

169

- **Série 01** ($\rho_f=1,34\%$):Apresentou maiores deformações relativas nos conectores centrais, indicando uma maior sollicitação da armadura para compensar a menor seção de aço

170

171

- **Série 02** ($\rho_f=0,81\%$):Mostrou-se mais eficiente na periferia do espécime, sugerindo que o enrijecimento localizado é potencializado pelo maior volume de barras laterais.

172

173

174

175

Uma observação crítica desta investigação reside na geometria de posicionamento das barras. As armaduras foram instaladas fora da zona de projeção do cone de extração do concreto, concentrando-se nas faces laterais. Esta configuração gerou dois efeitos distintos:

176

177

Enrijecimento Local: O menor espaçamento entre as barras nas laterais reduziu a deformabilidade global medida pelos extensômetros.

178

179

180

181

182

183

Ineficiência no Controle de Dano: Apesar dos baixos valores de deformação registrados (Figura 06), esse comportamento não impediu a abertura de fissuras, que, em determinados casos, apresentaram valores superiores quando comparados a configurações com distribuição convencional de armaduras. A hipótese para tal fenômeno reside na disposição das barras, posicionadas fora da zona de projeção do cone de concreto e concentradas nas laterais dos espécimes.

184

185

186

Essa configuração pode ter promovido um enrijecimento localizado devido ao menor espaçamento entre as barras, reduzindo a deformabilidade da armadura nessas regiões específicas, mas sendo menos eficaz no controle da abertura de fissuras na zona central.

187

188

189

190

191

192

193

194

Em relação ao comportamento do banzo comprimido, que refletem o estado de tensão do concreto, foram proporcionalmente menores. Os valores variaram entre $\varepsilon_c = 0,19\%$ e $0,72\%$ no espécime com taxa de armadura de flexão $\rho_f = 1,34\%$, e entre $\varepsilon_c = 0,23\%$ e $0,59\%$ no espécime com taxa $\rho_f = 0,81\%$. Tais resultados não indicam qualquer comportamento incompatível com o regime elástico do material. A consistência entre os resultados das duas séries reforça a eficiência do sistema de ensaio empregado, que permitiu uma avaliação precisa da influência da flexão no comportamento dos conectores metálicos embutidos.

195
196
197
198
199
200
201
202
203
204
205
206
207
208
209
210
211
212
213
214
215
216
217
218
219
220
221
222
223
224
225
226
227
228
229
230
231
232

5.0 - Conclusões e Recomendações Normativas

A investigação experimental permitiu correlacionar a taxa de armadura longitudinal e o posicionamento das barras com a eficiência do controle de danos em elementos submetidos à flexão moderada. Com base nos dados apresentados, conclui-se que:

As armaduras de tração e compressão operaram integralmente em regime elástico. As deformações no banzo comprimido (ϵ_c) mantiveram-se entre 0,19‰ e 0,72‰, valores significativamente inferiores ao limite de esmagamento do concreto (2,0 ‰), validando a estabilidade global dos espécimes durante os ensaios de arrancamento.

A concentração da armadura longitudinal nas laterais dos espécimes promoveu um enrijecimento localizado. Contudo, tal configuração demonstrou-se ineficiente no controle da abertura de fissuras na zona central, onde foram registrados valores superiores aos observados em distribuições convencionais.

A Série 01 ($\rho_f=1,34\%$) apresentou maior eficiência na periferia do vão, longe do ponto de aplicação da carga, enquanto a Série 02 ($\rho_f=0,81\%$) exibiu maior ativação nas seções de momento máximo. (Figura 05) Isso indica que o aumento da taxa de armadura isoladamente não garante o controle de danos se a distribuição espacial negligenciar o núcleo de tração central.

Para situações de embutimento de conectores metálicos onde a flexão é um fator condicionante, não se deve considerar apenas na armadura principal posicionada lateralmente. A norma NBR 6118 sugere o uso de armaduras de pele para elementos com altura elevada, mas este estudo indica a necessidade de reforço transversal ou de distribuição cruzando a zona de projeção do cone de concreto, independentemente da altura da peça, para mitigar a abertura de fissuras observada.

O dimensionamento deve priorizar o Estado Limite de Serviço (fissuração) em detrimento apenas da rigidez global, uma vez que baixas deformações nas barras (ϵ_c) não garantiram, neste modelo experimental, aberturas de fissuras reduzidas.

6.0 - Referências

ACI 349-01. Code Requirements for Nuclear Safety Related Concrete Structures. Reported by ACI Committee 349, Farmington Hill, Michigan, 1985.

ACI Commite 318, Bulding Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318- 19:623) and Commentary, American Concrete Institute, Farmington Hill, Michigan, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5739 – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos de concreto. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118 – Projeto de estruturas de concreto - procedimento. Rio de Janeiro, 2023:238.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7222 – Argamassa e Concreto – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2011.

233 COSTA, H. D. **Resistência à Tração de Conectores de Aço Embutidos em Elementos de**
234 **Concreto Armado**. Dissertação de Mestrado, Instituto de Tecnologia, Universidade
235 Federal do Pará, 105p. 2016.

236 COSTA, H. & PEREIRA FILHO, MANOEL RODRIGUES, LUCAS NETO, AARÃO RASSY,
237 MARCELO & FERREIRA, MAURICIO. (2015). **Resistência de Conectores Pré-fixados de**
238 **Aço Embutidos em Elementos de Concreto**.

239 **EN 1992-4: 2018. Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 4: Design of fastenings**
240 **for use in concrete; 2018:132.**

241 ELIGEHAUSEN, R. e BALOGH, T. **Behavior of Fasteners Loaded in Tension in Cracked**
242 **Reinforced Concrete**. ACI Structural Journal, V. 92, No.3, Junho, 1995.

243 ELIGEHAUSEN, R. e FUCHS, W. **Load Bearing Behavior of Anchor Fastenings under**
244 **Shear, Combined Tension and Shear or Flexural Loadings**. Betonwerk +
245 Fertigertechnik, pp. 48-56, 1988.

246 ELIGEHAUSEN, R. e J. OZBOLT (1992). **Influence of crack width on the concrete cone**
247 **failure load**(Z.P.Bazant ed.), pp. 876–881. Elsevier Applied Science.

248 ELIGEHAUSEN, R. e OZBOLT, J. **Use of the tensile strength in anchorage to concrete**.
249 Tagungsband, IABSE Colloquium Structural Concrete, Stuttgart, p.731- 736, 1991.

250 ELIGEHAUSEN, R. e SAWADE, G. A fracture mechanics based description of the pull-out
251 behavior of headed studs embedded in concrete. **Fracture Mechanics of Concrete**
252 **Structures**, From Theory to Applications. Editors: Elfgren, L., Chapman and Hall, London,
253 New York,. pp. 281-299, 1989.

254 ELIGEHAUSEN, R.; BOUSKA, P.; CERVENKA, V.; PUKL, R. **Size effect of the concrete cone**
255 **failure load of anchor bolts**. In: Bazant, Z. P. (Editor), Fracture Mechanics of Concrete
256 Structures, pp. 517–525, Elsevier Applied Science, London, New York, 1992.

257 ELIGEHAUSEN, R.; MALLÉE, R.; SILVA, J. F. **Anchorage in Concrete Construction**. 1º
258 edition, Ernst & Sohn GmbH & Co. KG. 2006.

259 Fédération Internationale du Béton. **fib Model Code for Concrete Structures 2010;**
260 **2013:402.**

261 FERREIRA, M. FILHO, M. P. LIMA, N. OLIVEIRA, M. **Influence of the flexural and shear**
262 **reinforcement in the concrete cone resistance of headed bars**, Engineering Structures,
263 Volume 248 (2021)

264 JANG J. ; SUH Y. **The experimental investigation of a crack's influence on the concrete**
265 **breakout strength of a cast-in-place anchor** . Korea Electric Power Research Institute,
266 103-16, Munji-Dong, Yuseong-Gu, Daejeon 305-380, Republic of Korea 2005.

267 LIMA, N. W. B. (2019). **Resistência à tração de conectores tipo pino com cabeça**
268 **embutidos em elementos de concreto armado considerando efeito de borda e efeito**
269 **de grupo**. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Publicação E.DM –
270 14A/19, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília,
271 DF, 135p.

272 NILFOROUSH, R. (2019). **A Refined Model for Predicting Concrete-Related Failure Load**
273 **of Tension Loaded Cast-in-Place Headed Anchors in Uncracked Concrete.** Nordic
274 Concrete Research. 60. 105-129. 10.2478/ncr-2019-0091.

275 NILFOROUSH R, ASCE SM, NILSSON M, ELFGREN L. **Experimental evaluation of**
276 **influence of member thickness, anchor-head size, and orthogonal surface**
277 **reinforcement on the tensile capacity of headed anchors in uncracked concrete.** J
278 Struct Eng 2018; 144:1–14.

279 NILFOROUSH, R. M. NILSSON, L. ELFGREN, J. OŽBOLT, J. HOFMANN, AND R.
280 ELIGEHAUSEN. **Influence of Surface Reinforcement, Member Thickness, and Cracked**
281 **Concrete on Tensile Capacity of Anchor Bolts** ACI Structural Journal. 2017. DO -
282 10.14359/51689505

283 NILSSON, M. **Effects of surface reinforcement on bearing capacity of concrete with**
284 **anchor bolts.** Nord Concr Fed 2011;44:161–74

285 NUNZIO G , MUCIACCIA G. **Behavior and design of screwed-head fasteners in**
286 **reinforced concrete under tensile loading** - Department of Civil and Environmental
287 Engineering – Politecnico di Milano, Milan, Italy: 2020.

288 OŽBOLT, J. (1995). **Massstabeffekt in Beton- und Stahlbeton- konstruktionen,**
289 **Postdoctoral Thesis,** University of Stuttgart, Germany, 1995.

290 OZBOLT, J. e ELIGEHAUSEN, R. **Fastening elements in concrete structures numerical**
291 **simulatrns. Fracture and Damage of Concrete and Rock** - FDCR-2, edited by H.P.
292 Rossmannith, p.527-547, 1993.

293 OZBOLT, J. e ELIGEHAUSEN, R. **Numerical analysis of headed studs embedded in large**
294 **plain concrete blocks.** Proceedings of the 2nd International Conference of Computer
295 Aided Analysis and Design of Concrete Structures, pp.465-656, 1990.

296 OZBOLT, J.; ELIGEHAUSEN, R.; PERISKIC, G.; MAYER, U. **3D FE Analysis of anchor bolts**
297 **with large embedment depths.** Engineering Fracture Mechanics 74, p.168–178, 2007.

298 OZBOLT, J.; ELIGEHAUSEN, R.; REINHARDT, H. W. **Size effect on the concrete cone pull-**
299 **out load,** International Journal of Fracture 95, p. 391-404. 1999.

300 SANTANA, M. P. & CÂNDIDA, PATRÍCIA & FERREIRA, MAURICIO & BEZERRA, LUCIANO &
301 DE OLIVEIRA, MARCOS. (2022). **Experimental and numerical study of headed bars**
302 **embedded in RC members under tension.** Structural Engineering & Mechanics. 84. 531-
303 546. 10.12989/sem.2022.84.4.531.

304 SANTOS, K. D. **Resistência ao Arrancamento de Pinos de Aço Embutidos em Elementos**
305 **Estruturais com Agregado Reciclado de Concreto.** Dissertação de Mestrado, Instituto
306 de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, Pará, Brasil. 2018.