



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE TUCURUÍ
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL

TIAGO BARROS GOMES

**RESISTÊNCIA AO ARRANCAMENTO DO CONE DE CONCRETO EM
CONECTORES PRÉ-INSTALADOS EM ELEMENTOS FLEXÍVEIS DE
CONCRETO ARMADO**

TUCURUÍ
2023

TIAGO BARROS GOMES

**RESISTÊNCIA AO ARRANCAMENTO DO CONE DE CONCRETO EM
CONECTORES PRÉ-INSTALADOS EM ELEMENTOS FLEXÍVEIS DE
CONCRETO ARAMADO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia Civil, do Campus Universitário de Tucuruí, da Universidade Federal do Pará, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador(a): Dr. Manoel José Mangabeira Pereira Filho

TUCURUÍ
2023

G633r Gomes, Tiago Barros.

Resistência ao arrancamento do cone de concreto em conectores pré-instalados em elementos flexíveis de concreto armado / Tiago Barros Gomes. – 2023.

34 f.

Orientador(a): Prof. Dr. Manoel José Mangabeira Pereira Filho

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal do Pará,
Campus Universitário de Tucuruí, Faculdade de Engenharia Civil, Tucuruí, 2023.

1. Introdução. 2. Revisão Bibliográfica. 3. Banco de Dados. 4. Resultados. 5.
Conclusão.

CDD 011.54

TIAGO BARROS GOMES

**RESISTÊNCIA AO ARRANCAMENTO DO CONE DE CONCRETO EM
CONECTORES PRÉ-INSTALADOS EM ELEMENTOS FLEXÍVEIS DE
CONCRETO ARMADO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia Civil, do Campus Universitário de Tucuruí, da Universidade Federal do Pará, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Data da aprovação: ____/____/____

Conceito: _____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Manoel José Mangabeira Pereira Filho (UFPA – CAMTUC)
Doutor em Estruturas e Construção Civil (Orientador)

Prof. Carolina Coelho da Rosa (UFPA – CAMTUC)
Doutora em Engenharia Civil (Examinadora Interna)

Karoline Dantas dos Santos (UFPA – ITEC)
Mestra em Estruturas e Construção Civil (Examinadora Externa)

Dedico este trabalho à minha mãe, a pessoa mais importante da minha vida, e a minha vó Zelita (em memória).

Vocês são as minhas inspirações.

AGRADECIMENTOS

À medida que encerro este capítulo significativo da minha vida acadêmica, sinto-me impelido a expressar com ainda mais profundidade a minha gratidão a todos vocês, que desempenharam papéis cruciais na minha jornada até aqui.

Minha mãe Francinete e meu pai Laurival, suas vidas são um testemunho de dedicação incansável e amor incondicional. Cada conquista minha é também um reflexo do apoio imensurável que recebi de vocês ao longo dos anos. Seu exemplo moldou meu caráter, ensinando-me valores que levo para toda a vida. Agradeço a minha irmã Leticia, que sempre se manteve presente na minha vida e sempre me apoiou em tudo.

À minha falecida avó Zelita, embora sua presença física não esteja mais entre nós, sua influência perdura. As lições de humildade, compaixão e perseverança que aprendi com você continuam a guiar meus passos diariamente.

Meu primo Gilberto e sua esposa Neia, que me acolheram em sua residência e me deram todo o suporte durante o início desse sonho e sempre se mantiveram presente em toda essa jornada.

Minha amiga Ariellen, sua amizade foi um presente inestimável durante meus dias de estudo. Os desafios acadêmicos foram mais leves com sua presença encorajadora, e as memórias que compartilhamos serão tesouros para toda a vida.

À minha querida namorada, Maria Tereza, seu amor, apoio e compreensão foram essenciais. Com você, celebro não apenas a conclusão deste trabalho, mas também os sucessos compartilhados e as superações conjuntas.

Ao meu respeitado orientador, Dr. Manoel Mangabeira Ferreira Filho, minha gratidão transcende as palavras. Sua orientação perspicaz, apoio incansável e sabedoria compartilhada foram fundamentais para o meu crescimento acadêmico. Este trabalho é, em grande parte, um reflexo do seu comprometimento com a excelência e da sua capacidade de inspirar o melhor em seus orientandos.

A todos vocês, minha mais profunda e sincera gratidão. Este marco acadêmico não seria possível sem a presença e contribuição valiosa de cada um de vocês.

“Genialidade é esforço.”

(Goethe)

RESUMO

O uso de conectores de aço pré-instalados em elementos de concreto é comum na construção civil em situações de fixações entre componentes estruturais, não estruturais ou em situação de reforço. Entretanto, quando fixados em elementos flexíveis podem estar sujeitos a diferentes níveis de fissuração, a qual é considerada de forma simplificada pelas recomendações normativas internacionais. Nesse sentido, este trabalho visa avaliar o desempenho de conectores embutidos em elementos de concreto armado fissurados devido à flexão. A avaliação foi realizada através da análise dos resultados de 17 ensaios experimentais de Ferreira *et al.* (2021), Santos (2018) e Silva (2018). A fissuração nesses elementos aconteceu devido ao momento fletor gerado ao aplicar força nos conectores e o controle da fissuração aconteceu em função da variação da taxa da armadura de flexão. O desempenho dos conectores foi avaliado em função da abertura de fissura do elemento de concreto (w_k), da razão do momento solicitante pelo momento resistente na seção em que o conector está posicionado (M_s/M_R) e pela taxa de armadura de flexão (ρ). Além disso, foram comparados com as previsões teóricas das normas ACI 318 (2019) e EUROCODE 2-4 (2018). A abertura de fissuras apresentou a maior influência entre os parâmetros avaliados. As normas apresentam resultados seguros para elementos muito fissurados, porém apresentam uma tendência extremamente conservadora conforme se diminui o grau de fissuração.

Palavras-Chaves: Conectores, cone de concreto, arrancamento, abertura de fissura.

ABSTRACT

The use of pre-installed steel connectors in concrete elements is common in the construction industry for fixing structural and non-structural components or for strengthening purposes. However, when attached to flexible elements, they may be subject to different levels of cracking, which is considered in a simplified manner by international code recommendations. In this sense, this study aims to evaluate the performance of embedded connectors in cracked reinforced concrete elements due to bending. The evaluation was performed through the analysis of the results of 17 experimental tests by Ferreira et al. (2021), Santos (2018) and Silva (2018). The cracking in these elements occurred due to the bending moment generated when force was applied to the connectors and the cracking control was based on the variation of the flexural reinforcement ratio. The performance of the connectors was evaluated based on the crack width of the concrete element (w_k), the ratio of the applied moment to the resisting moment at the section where the connector is positioned (M_S/M_R), and the bending reinforcement ratio (ρ). Furthermore, they were compared with the theoretical predictions of ACI 318 (2019) and EUROCODE 2-4 (2018) codes. Crack width showed the greatest influence among the evaluated parameters. The codes provide safe results for heavily cracked elements, but tend to be extremely conservative as the degree of cracking decreases.

Keywords: Connectors, concrete cone, pullout, crack opening.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Seção Transversal da falha do cone de concreto.....	16
Figura 2 – Barco de concreto armado.....	18
Figura 3 – Fábrica construída com pré-moldados	19
Figura 4 – Modos de falha à tração	20
Figura 5 – Seção transversal do cone de concreto.....	20
Figura 6 – Ruptura do cone de concreto.....	21
Figura 7 – Geometria do elemento estrutural	25

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1- Comparativo de k_{exp} x wk	28
Gráfico 2 - Comparativo de k_{exp} x ρ	29
Gráfico 3 - comparativo de k_{exp} em função de M_S/M_R	30

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dados Analisados e Parâmetros Considerados.....	24
Tabela 2 – Resultados das análises.....	27

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABECE	Associação Brasileira de Engenharia e Consultoria Estrutural
ACI	American Concrete Institute
CCD	Concrete Cone Design
EC2	Eurocode 2

LISTA DE SÍMBOLOS

f_c	Resistência do concreto
N_u	Carga última a ruptura do cone de concreto (N) de um conector
k	Fator que considera o tipo de conector e o estado de fissuração do concreto
f_c	Resistência à compressão do concreto
d (mm)	Altura útil do elemento de concreto armado
h_{ef} (mm)	Embutimento efetivo
ρ_f (%)	Taxa de armadura de flexão
F_{ys} (MPa)	Tensão de escoamento do aço
w_k	Abertura de fissura no instante da ruptura
M_S	Momento solicitante
M_R	Momento resistente
N_{ACI}	Carga última a ruptura prevista pela ACI 318 (2019)
N_{EC2}	Carga última a ruptura prevista pela Eurocode 2-4
k_{exp}	Fator experimental que considera o tipo de conector e estado de fissuração do concreto
w_k	Abertura de fissura

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 Justificativa	16
1.2 Objetivos	16
1.2.1 Objetivo geral.....	16
1.2.2 Objetivos específicos.....	16
2 REVISÃO BIBIOGRÁFICA	18
2.1 Contexto histórico	18
2.2 Definição de ancoragem	19
2.2.1 Modo de ruptura.....	19
2.2.2 Falha no cone de concreto.....	20
2.3 Recomendações normativas	21
2.3.1 Recomendação americana.....	21
2.3.2 Recomendação europeia	22
3 BANCO DE DADOS	23
3.1 Amostra e coleta de dados	23
4 RESULTADOS	26
4.1 Análise da influência da abertura de fissura sob k_{exp}	28
4.2 Análise da influência da taxa de armadura sob k_{exp}	29
4.3 Análise da influência do quociente entre o momento solicitante e momento resistente sob k_{exp}	30
5 CONCLUSÃO	31
REFERÊNCIAS	32

1 INTRODUÇÃO

É fato que os conectores de aço desempenham um papel crucial na construção civil. Ao projetar vigas com elementos mistos, como aço-concreto, deve-se considerar que na combinação desses dois diferentes materiais é imprescindível garantir que a viga de aço e a laje de concreto atuem em conjunto, de forma a resistirem aos esforços solicitados do elemento estrutural pretendido. Assim, a finalidade dos conectores é resistir essas forças e estabelecer uma ligação mecânica sólida entre o aço e o concreto (El Debs e Nardin, 2008).

Os conectores na construção civil são utilizados em diversas aplicações, como conexões estruturais (vigas, pilares), ligações em estruturas de madeira e concreto, sistemas pré-fabricados, fixação de revestimentos, conexões elétricas e hidráulicas, e em estruturas de concreto protendido. No entanto, a falha de um conector ou grupo de conectores pode levar à perda de estabilidade e equilíbrio em uma estrutura. Existem diferentes mecanismos de falha para conectores submetidos a esforços de tração e cisalhamento. As falhas por esforços de tração podem ser falha no aço, falha na adesão, falha por escorregamento, destacamento lateral, falha por fendilhamento e falha do cone de concreto.

Ao projetar conectores, é essencial considerar esses mecanismos de falha e realizar verificações de resistência conforme as normas técnicas aplicáveis, como a norma americana ACI 318 (2019) e a europeia Eurocode 2-4 (2018). Várias equações são utilizadas para calcular a resistência característica dos conectores, levando em conta diversos parâmetros e fatores que afetam diretamente o desempenho e a eficácia da ancoragem.

Dentre os modos de ruptura, a falha do cone de concreto é umas das mais estudadas devido ao seu modo de ruptura frágil. Tal ruptura caracteriza-se pela formação de uma fissura circunferencial, em aproximadamente 35° , que começa na região da cabeça do conector e segundo Eligehausen e Sawade (1989) cresce de forma estável até a ruptura, resultando na falha do sistema de transferência de carga. Para evitar essa falha, é necessário garantir que a resistência ao arrancamento seja adequada.

Em síntese, a resistência ao arrancamento do cone de concreto em conectores pré-instalados individuais em elementos flexíveis de concreto armado e livre de efeitos de borda, como ilustrado na Figura 1, depende de vários fatores como: a resistência do concreto (f_c), comprimento de ancoragem (h_{ef}), e presença de fissuração. É essencial considerar esses aspectos no projeto e na construção para garantir a integridade estrutural e a segurança da estrutura.

Figura 1 – Seção Transversal da falha do cone de concreto



Fonte: Nilforoush, Nilsson, Elfgren (2018)

1.1 Justificativa

As normas apresentam fatores para considerar a fissuração na resistência ao arrancamento, sendo escolhida uma constante para concreto fissurado e outra para não fissurado. Essas recomendações desconsideram a variação para diferentes graus de fissuração, apenas indicam um valor para concreto fissurado e outro para não fissurado, sem meio termo. No entanto, conectores posicionados em elementos flexionados de concreto armado podem apresentar diferentes níveis de fissuração, nos quais as recomendações normativas apresentam previsões excessivamente conservadoras. Com isso, este trabalho busca avaliar a influência de fatores que acabam por contribuir em diferentes níveis de fissuração e como isso pode afetar a resistência ao arrancamento.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Esse trabalho visa avaliar a resistência ao arrancamento do cone de concreto em conectores pré-instalados em elementos flexíveis de concreto armado através da análise feita com os dados experimentais coletados de Ferreira *et al.* (2021), Santos (2018) e Silva (2018).

1.2.2 Objetivos específicos

- Interpretar o comportamento dos conectores de aço em elementos flexíveis de concreto armado;

- Avaliar a influência da abertura de fissura na resistência ao arrancamento do cone de concreto em elementos flexíveis de concreto armado;
- Avaliar a influência da taxa de armadura na resistência ao arrancamento do cone de concreto em elementos flexíveis de concreto armado;
- Avaliar a influência da razão do momento de solicitante pelo momento resistente na resistência ao arrancamento do cone de concreto em elementos flexíveis de concreto armado.

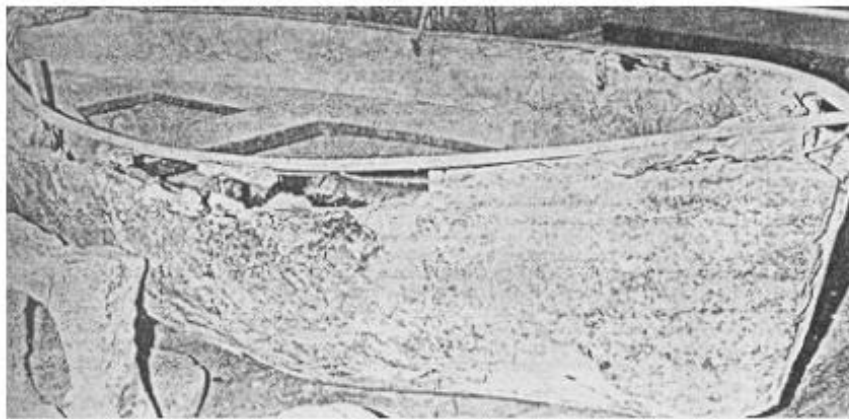
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Segundo Eligehausen *et al.* (2006), os requisitos para fixações destacam a necessidade de projetá-las de forma a cumprir sua função, serem duráveis e robustas, e apresentarem capacidade adequada de carga e deformação. Fixações para aplicações menos críticas podem ser escolhidas com base na experiência do usuário, sem a necessidade de análise estrutural, enquanto aquelas imprescindíveis para a segurança devem ser selecionadas com considerações estruturais e projetadas por um engenheiro. O dimensionamento é crucial para verificar se os requisitos de utilização e estados limites são atendidos, abrangendo aspectos como deformação, durabilidade e resistência. O estado limite último exige a comprovação de que as ações calculadas não excedem a resistência da fixação.

2.1 Contexto histórico

A história das construções abrange quatro mil anos, desde as pirâmides de Gisé até as edificações em estruturas metálicas no século XVII, exemplificadas pelo Palácio do Kremlin. Conforme Santos (2008), a utilização do concreto armado é mais recente, iniciando-se na França na metade do século XIX, com ampla adoção no início do século XX. O concreto, desejado como uma pedra artificial moldável, durável e econômica, tornou-se viável com o desenvolvimento do cimento no século XVIII. A associação do concreto com barras de aço, visando maior resistência à tração, foi motivada pela proteção contra corrosão. A técnica de concreto armado foi usada pela primeira vez na França em 1849, quando Lambot construiu um barco (Figura 2).

Figura 2 – Barco de concreto armado



Fonte: Kaefer (1998)

O desenvolvimento da ancoragem em concreto armado remonta ao início do século XX, à medida que os engenheiros e arquitetos exploravam novas técnicas para reforçar

estruturas. Eligehausen *et al.* (2006) afirma que a tarefa de conectar componentes de construção é tão antiga quanto a própria construção e, ao longo da história, o trabalho foi realizado de diferentes maneiras, dependendo do material de construção, do sistema construtivo e dos requisitos particulares da construção, como na Figura 3.

Figura 3 – Fábrica construída com pré-moldados



Fonte: Kaefer (1998)

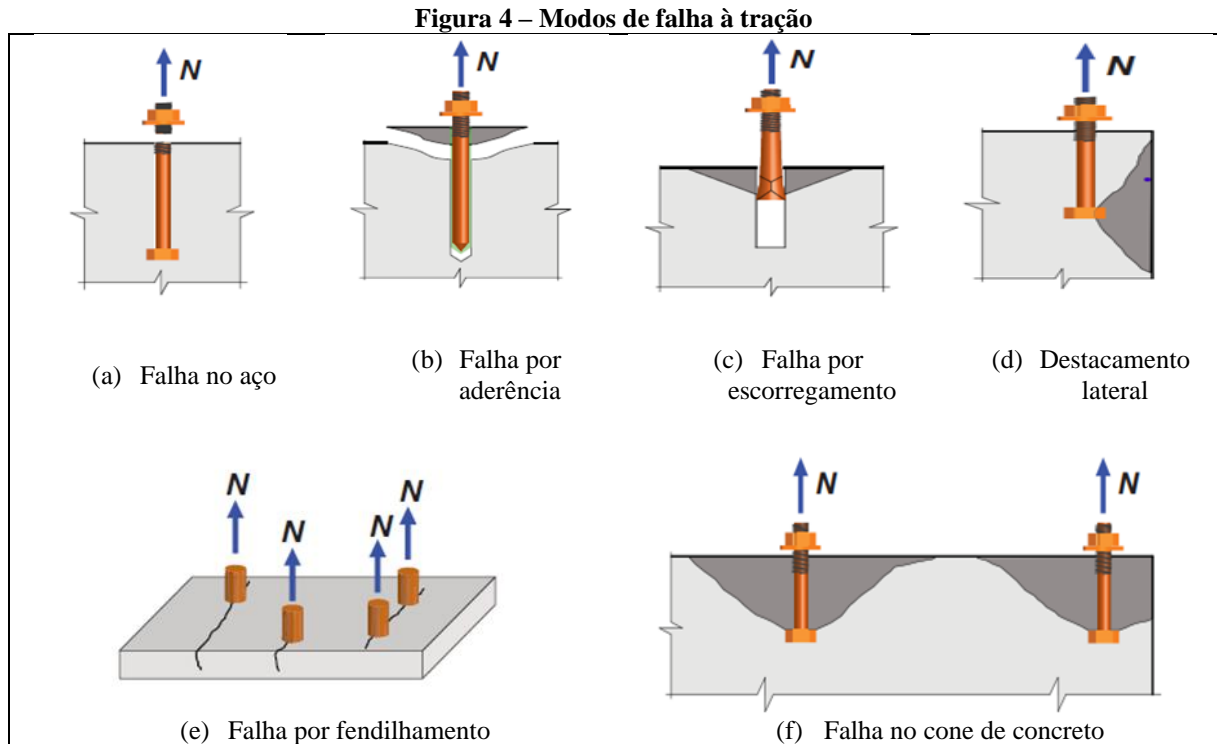
2.2 Definição de ancoragem

Segundo Cauduro (2002), o conceito de ancoragem engloba um conjunto de peças e componentes essenciais destinados a fixar uma variedade de elementos, tanto estruturais quanto não estruturais. Essa prática tem como objetivo estabelecer uma conexão sólida entre elementos, garantindo uma transmissão contínua e permanente de cargas ao longo da ligação. Em outras palavras, a ancoragem desempenha um papel fundamental na segurança e estabilidade de estruturas, proporcionando uma base firme para a transferência eficiente de forças entre os diversos elementos interligados. Sendo assim um processo indispensável para garantir a integridade estrutural e o desempenho adequado de sistemas construtivos.

2.2.1 Modo de ruptura

A ACI 318 (2019) afirma que barras de ancoragem submetidas à tração podem apresentar seis tipos de modos de ruptura, sendo: falha no aço, falha por aderência, falha por escorregamento, destacamento lateral, falha por fendilhamento e falha no cone de concreto, ilustrado na Figura 4. Por consequência, conforme a Eurocode 2-4 (2018), a ruptura de conectores pode afetar cenários relacionados à segurança, nos quais o insucesso das fixações pode resultar no colapso total ou parcial da estrutura e apresentar ameaças à vida humana ou

resultar em significativas perdas econômicas. Dentro dessa abordagem, também são abrangidos elementos não estruturais.



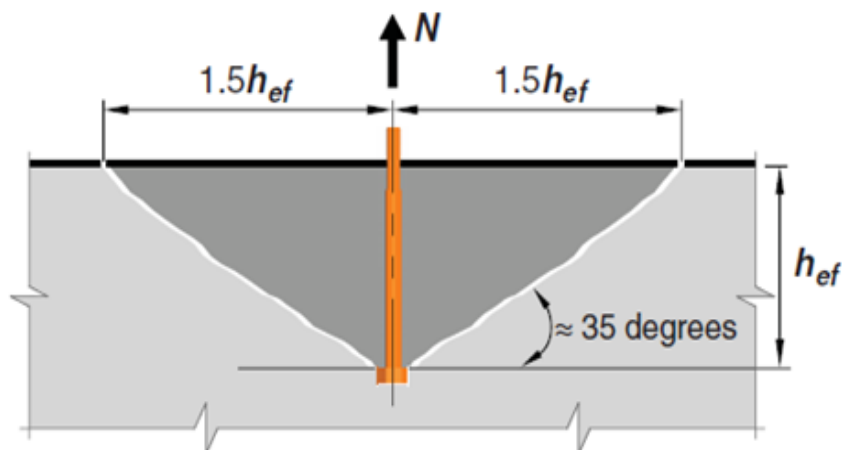
Fonte: ACI 318-19

2.2.2 Falha no cone de concreto

O modelo da capacidade do cone de concreto (CCD – *Concrete Cone Design*) é relativamente fácil de aplicar, capaz de ser estendido para layouts irregulares e prevê a resistência de um conector ou grupo de conectores. Utiliza-se uma equação básica para tração em concreto fissurado, multiplicada por fatores que consideram o número de fixações, distância da borda, espaçamento, excentricidade e ausência de fissuras (Eligehausen *et al.*, 2006).

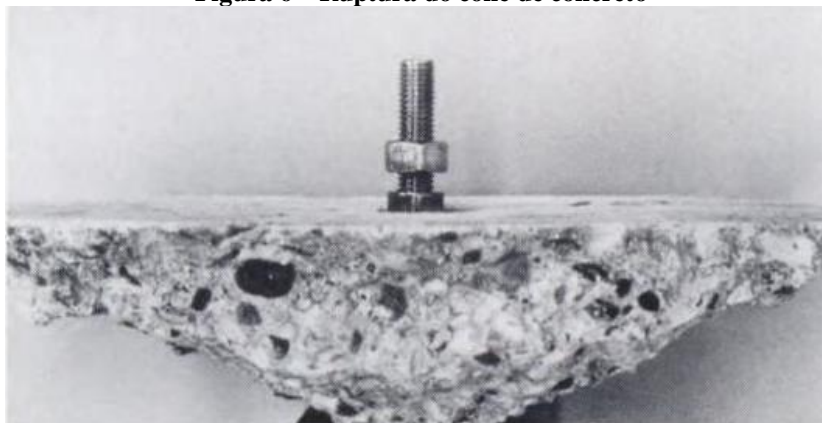
ACI 318 (2019) recomenda que a equação para a resistência básica de ruptura do cone de concreto foi derivada assumindo uma ruptura do concreto com um ângulo de aproximadamente 35 graus, com a distância crítica da borda do elemento de concreto, para conectores com cabeça, de 1,5 vezes h_{ef} , considerando conceitos de mecânica da fratura, ilustrado pelas Figuras 5 e 6.

Figura 5 – Seção transversal do cone de concreto



Fonte: ACI 318-19

Figura 6 – Ruptura do cone de concreto



Fonte: Eligehausen (1984)

2.3 Recomendações normativas

Nesta seção serão descritos os pontos principais abordados pelas recomendações normativas, as quais serão analisadas neste estudo. Vale ressaltar, que não existe recomendação normativa para ancoragem no Brasil aprovada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), mas a Associação Brasileira de Engenharia e Consultoria Estrutural (ABECE) oferece uma recomendação para auxiliar na instalação de conectores, a qual não será alvo neste estudo.

2.3.1 Recomendação americana

Para o modelo de ancoragem, a ACI 318 (2019) recomenda que a carga última seja estimada pela Equação 1, com uma constante k igual a $10 \text{ N}^{0,5}/\text{mm}^{0,5}$, e para considerar se o conector está em uma zona fissurada ou não, ele apresenta um fator ψ_c de correção que assume

valores de 1,00 para conectores em locais de fissuras e 1,25 para conectores posicionados em zonas não fissuradas, logo:

$$N_U = k \cdot \Psi_c \cdot \sqrt{f_c} \cdot h_{ef}^{1,5} \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

N_U é a resistência última a ruptura do cone de concreto (N) de um conector;

k é um fator que considera o tipo de conector, com valor igual a $10 \text{ N}^{0,5}/\text{mm}^{0,5}$ para conectores com cabeça e pré-instalados;

f_c é a resistência à compressão do concreto (N/mm^2);

h_{ef} é o embutimento efetivo do conector (mm)

2.3.2 Recomendação europeia

Para verificação do cone de concreto, o modelo proposto pela Eurocode 2-4 (2018), é recomendado a resistência característica última (N_U) de um único conector não seja influenciado por elementos adjacentes fixados ou fixados na borda do elemento do concreto. Para estimar a resistência características, a Equação 2 é sugerida, baseando-se na equação fundamental. Visando considerar os efeitos da diminuição da resistência última devido à presença de fissuras, a Eurocode 2-4 (2018) recomenda uma constante k com valores de $8,9 \text{ N}^{0,5}/\text{mm}^{0,5}$ e $12,7 \text{ N}^{0,5}/\text{mm}^{0,5}$, para concreto fissurado e não fissurado, respectivamente.

$$N_U = k \cdot \sqrt{f_c} \cdot h_{ef}^{1,5} \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:

N_U é a resistência última a ruptura do cone de concreto (N) de um conector;

k é um fator que considera o tipo de conector, com valor igual a $8,9 \text{ N}^{0,5}/\text{mm}^{0,5}$ para conectores com cabeça e pré-instalados;

f_c é a resistência à compressão do concreto (N/mm^2);

h_{ef} é o embutimento efetivo do conector (mm)

3 BANCO DE DADOS

Nesta seção, são apresentados os experimentos realizados para analisar o comportamento dos conectores de aço em elementos flexíveis de concreto armado e validar as previsões normativas em relação à resistência ao arrancamento do cone de concreto. Para esse propósito, foram utilizados dados experimentais de três trabalhos distintos: Ferreira *et al.* (2021), Santos (2018), Silva (2018).

3.1 Amostra e coleta de dados

Foi analisada 1 amostra, compostas por 9 dados provenientes do estudo de Ferreira *et al.* (2021), 4 dados do estudo de Santos (2018) e 4 dados do estudo de Silva (2018). Os trabalhos foram selecionados por apresentarem as seguintes características: Não apresentarem efeito de grupo; não apresentarem efeito de borda; estar conectado em elementos esbelto de concreto armado e apresentar fissuração não induzida (com a fissuração surgindo devido ao momento fletor atuando no elemento).

O resumo das características é apresentado na Tabela 1 e a Figura 3 ilustra a geometria em que o conector foi posicionado no elemento de concreto armado. Na Tabela 1 é possível observar os parâmetros considerados neste estudo, juntamente com os dados analisados

Onde:

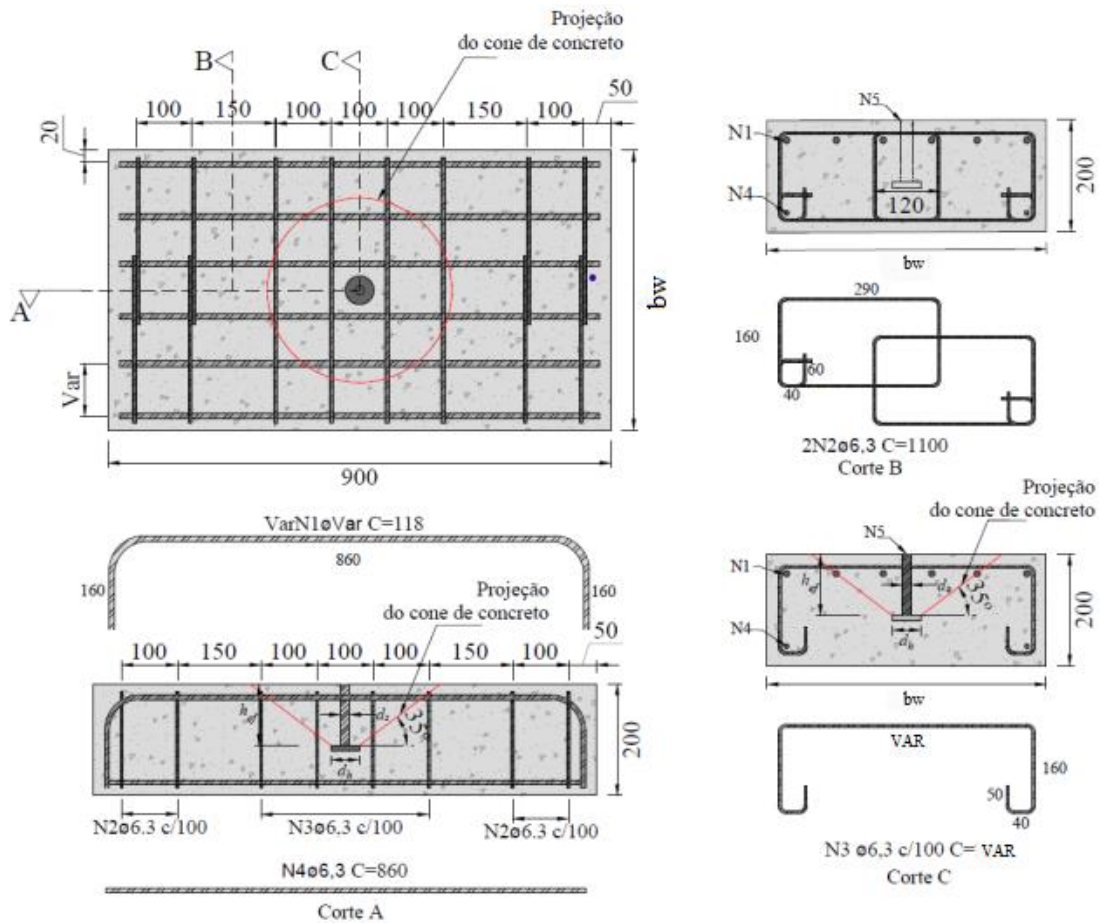
- I. d (mm) – Altura útil do elemento de concreto armado;
- II. h_{ef} (mm) – Embutimento efetivo;
- III. f_c (MPa) – Resistência do Concreto;
- IV. ρ_f (%) – Taxa de armadura de flexão;
- V. f_{ys} (MPa) – Tensão de escoamento do aço;
- VI. w_k - Abertura de fissura no instante da ruptura.

Tabela 1 – Dados Analisados e Parâmetros Considerados

Autores e embutimentos	Espécimes	d	h_{ef}	f_c	ρ_r	f_{ys}	w_k
		(mm)	(mm)	(MPa)	(%)	(MPa)	(mm)
Ferreira <i>et al.</i> (2021)	F-60-0.1	171	61	34,5	0,13	544	0,06
	F-60-0.3	172	63	34,5	0,33	580	0,02
	F-60-0.5	170	62	34,5	0,53	504	0,028
	F-60-1.2	170	60	34,5	1,24	515	0,011
	F-110-0.3	175	116	34,5	0,33	580,16	0,6
	F-110-0.5	176	114	34,5	0,51	504	0,17
	F-110-0.8	176	115	34,5	0,8	515,29	0,15
	F-110-1.7	166	116	34,5	1,69	515,29	0,07
	F-110-3.2	168	113	34,5	3,21	586	0,03
	F1-0.5-0	168,7	119	27,1	0,5	504	0,189
Santos (2018)	F2-1.1-0	167,45	115	25,2	1,1	515	0,071
	F3-2.2-0	163,7	120	27,1	2,2	546	0,01
	F4-3.5-0	161,2	112	25,2	3,5	546	0
Silva (2018)	H-60.1	183	66	21,5	1,24	599	0
	H-60.2	180	58	30,1	1,24	599	0
	H-110.1	181	114	21,5	1,69	576	0,03
	H-110.2	180	109	30,1	1,69	576	0,08

Fonte: Autor (2023)

Figura 7 – Geometria do elemento estrutural



Fonte: Ferreira *et al.* (2021)

Os elementos estruturais de concreto armado em que os conectores foram embutidos tinham geometria prismática de 350 mm de largura (bw), 200 mm de espessura (h) e 900 mm de comprimento (L). Os espécimes ensaiados foram projetados para representar modelos locais das ligações viga-pilar mostrados na Figura 7, e suas dimensões foram ajustadas para garantir a formação do cone de concreto sem efeito de borda ($bw > 3 \times h_{ef}$) e ter comportamento a flexão dos espécimes.

Diante disso, foram posicionados acima dos blocos de concreto de forma que as barras com cabeça ficassem posicionados em sua face superior através de um sistema de reação, composto por dois suportes de rolos e uma viga de aço.

4 RESULTADOS

Os dados experimentais de Ferreira *et al.* (2021), Santos (2018) e Silva (2018) foram utilizados como base para os cálculos obtidos nesse estudo. Esses dados foram selecionados levando em consideração parâmetros distintos, tendo como objetivo principal deste estudo, avaliar o comportamento dos conectores de aço em relação à resistência ao arrancamento do cone de concreto, comparando os resultados obtidos com as previsões normativas das normas ACI 318 (2019) e Eurocode 2-4 (2018).

A Tabela 2 apresenta os resultados de k_{exp} , da carga de ruptura dos espécimes de concreto (N_u), momento solicitante (M_S) no instante da ruptura, momento resistente (M_R) do elemento de concreto armado, razão entre M_S e M_R e a razão entre N_u e N_{ACI} e N_u e N_{EC2} . As normas apresentaram respostas conservadoras com médias 1,44 e 1,62 e desvio-padrão de 0,32 e 0,36.

Tabela 2 – Resultados das análises

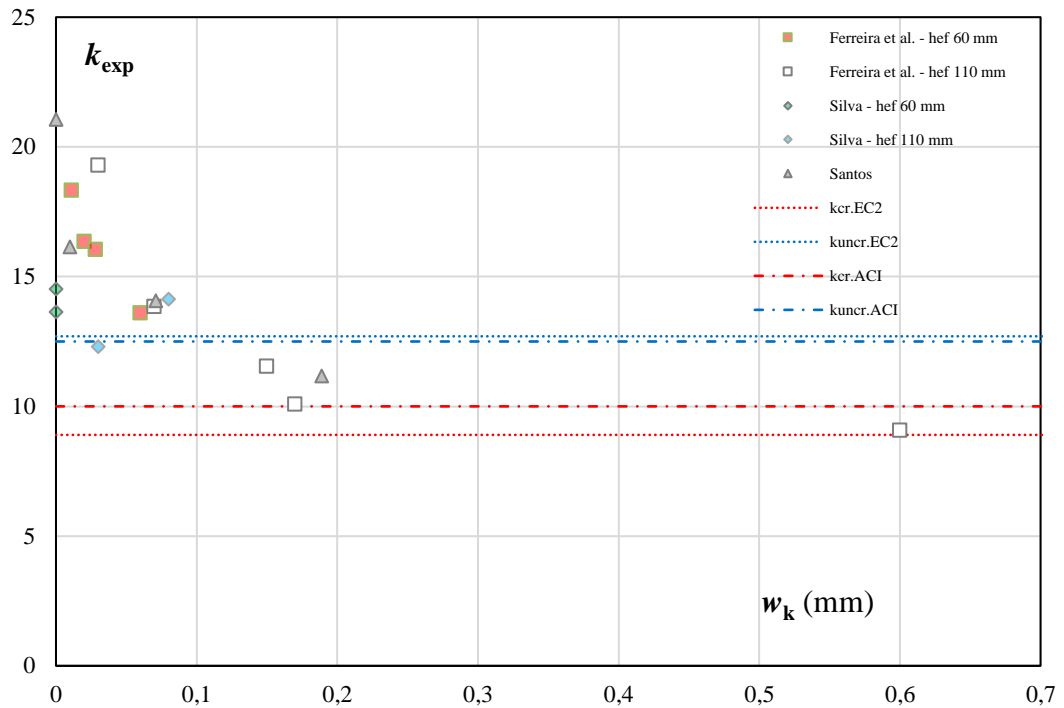
Autores e embutimentos	Espécimes	k_{exp}	N_u (kN)	M_S (kN.m)	M_R (kN.m)	M_S/M_R	N_u/N_{ACI}	N_u/N_{EC2}
Ferreira <i>et al.</i> (2021)	F-60-0.1	13,58	38,00	6,65	7,16	0,93	1,36	1,53
	F-60-0.3	16,34	48,00	8,40	19,24	0,44	1,63	1,84
	F-60-0.5	16,04	46,00	8,05	25,92	0,31	1,60	1,80
	F-60-1.2	18,32	50,00	8,75	58,30	0,15	1,83	2,06
	F-110-0.3	9,10	66,50	11,64	19,92	0,58	0,91	1,02
	F-110-0.5	10,10	72,00	12,60	26,77	0,47	1,01	1,13
	F-110-0.8	11,50	83,50	14,61	41,88	0,35	1,15	1,30
	F-110-1.7	13,80	101,50	17,76	72,83	0,24	1,38	1,55
	F-110-3.2	19,30	136,00	23,80	132,50	0,18	1,93	2,17
	Santos (2018)	F1-0.5-0	11,16	75,40	13,20	34,10	0,39	1,12
F2-1.1-0		14,07	87,10	15,24	70,02	0,22	1,41	1,58
F3-2.2-0		16,13	110,40	19,32	123,40	0,16	1,61	1,81
F4-3.5-0		21,04	125,20	21,91	149,19	0,15	2,10	2,36
Silva (2018)	H-60.1	13,62	33,87	5,93	71,23	0,08	1,36	1,53
	H-60.2	14,51	35,16	6,15	73,29	0,08	1,45	1,63
	H-110.1	12,29	69,36	12,14	85,02	0,14	1,23	1,38
	H-110.2	14,13	88,23	15,44	91,60	0,17	1,41	1,59
						Média	1,44	1,62
						Desvio padrão	0,32	0,36

Fonte: Autor (2023)

Os Gráficos 1, 2 e 3 apresentam as influências dos parâmetros como abertura de fissura, taxa de armadura e a razão entre o momento solicitante e o momento resistente e como cada um pode influenciar os resultados do k_{exp} , que segundo Santos (2018), se trata de uma constante de calibração do modelo de previsão de carga. As linhas na horizontal representam o k das normas ACI e EC2, tanto para concreto não fissurado como para concreto fissurado, especificado nos gráficos.

4.1 Análise da influência da abertura de fissura sob k_{exp}

Gráfico 1- Comparativo de k_{exp} x w_k

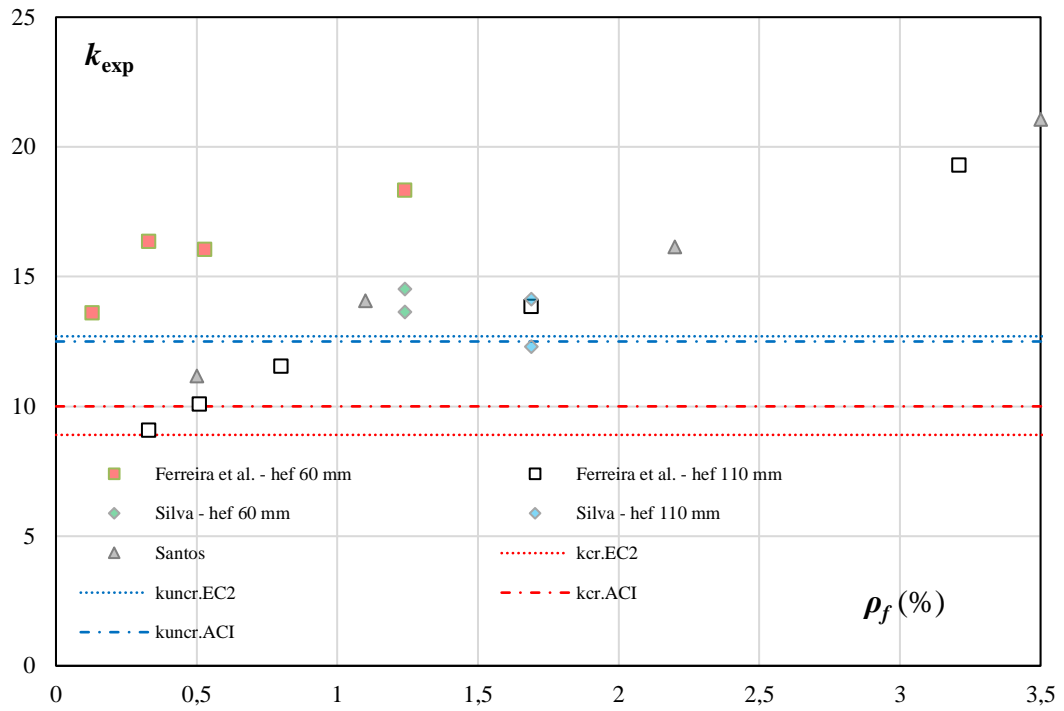


Fonte: Autor (2023)

O Gráfico 1 mostra a relação k_{exp} x w_k e se há interferência da abertura de fissura nos resultados de k_{exp} . Como pode ser observado no gráfico, ainda que de maneira não tão clara, pode-se notar uma propensão de dados bastante coerente para o parâmetro analisado. A abertura de fissura (w_k) se mostra como um potencial influenciador nos resultados obtidos de k_{exp} . A maioria dos dados estão condizente com o valor indicado pelas previsões normativas internacionais.

4.2 Análise da influência da taxa de armadura sob k_{exp}

Gráfico 2 - Comparativo de k_{exp} x ρ_f

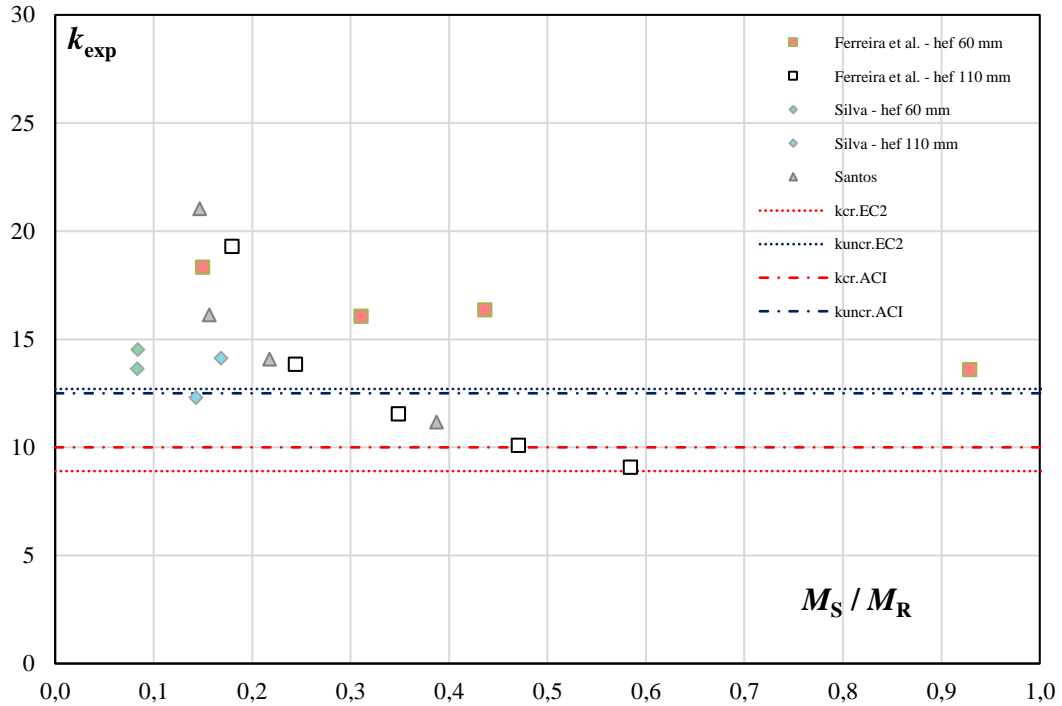


Fonte: Autor (2023)

Na análise do Gráfico 2, os resultados se mostram de maneira dispersa, sem apresentar uma resposta mínima aceitável para uma conclusão. O que não permite verificar se há influência da taxa de armadura sobre o fator de calibragem, diferente da abertura de fissura. Ainda em comparação às normas internacionais, os dados permanecem dentro do que é previsto.

4.3 Análise da influência do quociente entre o momento solicitante e momento resistente sob k_{exp}

Gráfico 3 - comparativo de k_{exp} em função de M_S/M_R



Fonte: Autor (2023)

Por último, a razão entre o momento solicitante e o momento resistente, após a análise, apresenta um resultado semelhante ao da taxa de armadura, e não mostra uma resposta clara a respeito de sua influência. Porém, continuando dentro do que as normas ACI e EC2 prescrevem para os valores de k .

Em vista disso, conclui-se que os Gráficos 1, 2 e 3 representam o mesmo comportamento negativo na estrutura, sendo a abertura de fissura, o parâmetro que apresenta uma tendência de dados mais coeso diante dos três analisados. Podendo influenciar diretamente na resistência ao arrancamento do cone de concreto, uma vez que pode afetar no valor do fator de calibragem, apesar da resposta ainda não ser tão visível.

5 CONCLUSÃO

Diante do exposto, percebe-se que os conectores de aço desempenham função extremamente importante, no que se refere a ligações de elementos estruturais mistos (aço-concreto), garantindo resistência ao cisalhamento e distribuição dos esforços desses materiais. No entanto, a falha desses componentes pode ocasionar a perda de estabilidade e equilíbrio em uma estrutura, partindo dessa afirmação faz-se necessário o estudo e análise da influência desses conectores.

Baseado nos dados experimentais coletados nos estudos de Ferreira *et al.* (2021), Santos (2018) e Silva (2018), foi conduzida uma análise abrangente do desempenho dos conectores de aço em relação à resistência ao arrancamento do cone de concreto. Os resultados foram contrastados com as previsões estabelecidas pelas normas ACI 318 (2019) e Eurocode 2-4 (2018).

A análise dos resultados revelou que as prescrições das normas apresentam respostas conservadoras a respeito do valor de k , podendo ser visto na média e no desvio padrão da Tabela 2, razão entre N_u e N_{ACI} e entre N_u e N_{ec2} .

A abertura de fissura se mostrou como um fator que pode ser bastante relevante e pode expressar resultados significativos para a resistência ao arrancamento do cone de concreto, apresentando uma baixa na resistência com níveis de fissuração mais elevados.

A taxa de armadura não apresentou resultados claros a respeito da influência na resistência ao arrancamento, pois os resultados não se apresentaram com coerência, com a resistência oscilando entre baixa porcentagem de armadura com resistência elevada e vice-versa.

A razão entre o momento solicitante e o resistente também apresentou resultado semelhante com o da taxa de armadura, mostrou resultados confusos a respeito da influência na resistência ao arrancamento do cone de concreto.

Dessa maneira, sugere-se trabalhos futuros mais aprofundados e precisos a fim de analisar de forma mais eficaz a influência da abertura de fissura sobre os valores de k , e relacionar como isso afetará a resistência do cone de concreto sobre as estruturas de concreto armado submetido à flexão.

REFERÊNCIAS

- ABECE. **Associação brasileira de engenharia e consultoria estrutural**. Acesso em:<
<https://site.abece.com.br/>>.
- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **ACI 318-19: Building Code Requirements for Structural Concrete**. Farmington Hills: American Concrete Institute, 2019.
- CADURO, E.L. **Manual para boa execução de estruturas protendidas usando cordoalhas de aço engraxadas e plastificadas**, 2ª edição. Belgo Bekaert Arames S.A., 2017.
- COMITÉ EURO-INTERNATIONAL DU BÉTON. **CEB-FIP Model Code 1990**. London, Thomas Telford, 1993.
- DE NARDIN, S.; EL DEBS, A. L. H. de C. **Avaliação da influência da posição dos conectores de cisalhamento no comportamento de vigas mistas parcialmente revestidas**.
- REM - International Engineering Journal, Minas Gerais, jun. 2008.
- ELIGEHAUSEN, R.; SAWADE, G. **A fracture mechanics-based description of the pull-out behavior of headed studs embedded in concrete**. Fracture Mechanics of Concrete Structures, From Theory to Applications. Editors: Elfgren, L., Chapman and Hall, London, New York, pp. 281-299, 1989.
- ELIGEHAUSEN, R. FUCHS, W., **“Load Bearing Behavior of Anchor Fastenings under Shear, Combined Tension and Shear or Flexural Loadings,”** Betonwerk + Fertigteiltechnik, pp. 48-56, 1988.
- ELIGEHAUSEN, R.; BALOGH, T. **Behavior of Fasteners Loaded in Tension in Cracked Reinforced Concrete**. ACI Structural Journal, V. 92, No.3, May-June, 1995.
- ELIGEHAUSEN, R.; MALLÉE, R.; SILVA, J. F. **Anchorage in Concrete Construction**. 1º edition, Ernst & Sohn GmbH & Co. KG. 2006.
- FUCHS, W.; ELIGEHAUSEN, R.; BREEN, J.E.: **Concrete Capacity Design (CCD) Approach for Fastening to Concrete, Authors’ Closure to Discussion**. ACI Structural Journal, Vol. 92, No. 6, S. 794-802, 1995.
- BULLETIN 58. **Fédération Internationale du Béton. Design of Anchorages in Concrete.**, Lausanne, Switzerland, 2011.
- FERREIRA, M. J. M. **Resistência de conectores pré-fixados de aço embutidos em elementos de concreto**. 56º Congresso Brasileiro do Concreto, 2015.
- FERREIRA, M. J. M. *et al.* **Influence of the flexural and shear reinforcement in the concrete cone resistance of headed bars**. Elsevier, 2021.
- KAEFER, L. F. **A Evolução do Concreto Armado**. São Paulo: unesp dezembro de 1998
acesso: <https://www.feb.unesp.br/lutt/Concreto%20Protendido/HistoriadoConcreto.pdf>

NILFOROUSH, R; NILSSON, M; ELFGREN, L. **Experimental Evaluation of Influence of Member Thickness, Anchor-Head Size, and Orthogonal Surface Reinforcement on the Tensile Capacity of Headed Anchors in Uncracked Concrete.** Journal of Structural Engineering, v.144, 4ª edição, 2018. Acesso em:< [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ST.1943-541X.0001976](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0001976)

SANTOS, K. D. dos. **Resistência ao Arrancamento de Pinos de Aço Embutidos em Elementos Estruturais com Agregado Reciclado de Concreto.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Pará, Belém, 2018.

SILVA, P. C. **Resistência à Tração de Diferentes Tipos de Ancoragens Embutidas em Elementos de Concreto Armado.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade de Brasília, Brasília, 2018.

SANTOS, R. E. dos. **A armação do concreto no Brasil: história da difusão do sistema construtivo concreto armado e da construção de sua hegemonia /** Roberto Eustáquio dos Santos. – Belo Horizonte, 2008.