

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

Thomás Eduardo Lorber

**ANÁLISE TEÓRICA E EXPERIMENTAL DE BARRAS ROSQUEADAS E
VERGALHÕES ANCORADOS EM CONCRETO COM RESINA EPÓXI**

Santa Cruz do Sul
2019

Thomás Eduardo Lorber

**ANÁLISE TEÓRICA E EXPERIMENTAL DE BARRAS ROSQUEADAS E
VERGALHÕES ANCORADOS EM CONCRETO COM RESINA EPÓXI**

Trabalho de conclusão de curso entregue ao Curso de Engenharia Civil da Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC para a aquisição do título de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. M.Sc. Christian Donin



Prof. M.Sc. Christian Donin

Professor Orientador – UNISC



Prof. Dr. Eduardo Rizzatti

Professor Examinador – UFSM



Prof. M. Henrique Rupp

Professor Examinador - UNISC

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a minha família, pelo apoio, carinho e compreensão nos momentos difíceis, estando sempre presente na minha vida.

A minha namorada Laura Heinen, me dando forças e me apoiando nos momentos mais difíceis.

Ao Prof. M. Sc. Christian Donin, pela oportunidade de desenvolver o meu trabalho de conclusão de curso sob sua orientação e pelo apoio e dedicação ao decorrer do curso.

Ao pessoal do laboratório de estruturas da Universidade de Santa Cruz do Sul, principalmente o Henrique Eichner, a Lidiane Kist e o Rafael Henn que foram providenciais para execução do trabalho experimental.

Aos meus colegas, nos quais considero irmãos, Átila Carpes, Felipe Cristofari, Gabriel Franke, Leonardo Brun, Maurício Ângelo Kohls, Rodrigo Mahl e Scherrington Cassius Sabóia, que sempre prestaram todo tipo de ajuda na etapa da conclusão do trabalho e também ao longo de todo o curso.

RESUMO

O trabalho apresenta comparações entre resultados obtidos experimentalmente e através dos métodos de cálculo. Sendo executado dezesseis blocos de concreto a fim de ancorar uma barra por bloco, com a utilização do adesivo epóxi. Foram realizados três diferentes traços, alcançando resistências médias de 33,78 MPa no primeiro traço, 35,28 MPa no segundo e 55,80 MPa no último traço.

Com o intuito de analisar os diferentes meios de ruptura, usufruiu-se dos seguintes métodos de cálculo (ACI 318:2014, McVay et al., Cook et al., Cook, Marti e Eligehausen et al.). Dois modos de ruptura foram atingidos, sendo a ruptura por fendilhamento do bloco e a ruptura por escoamento da barra.

Os dados experimentais são comparados com os resultados teóricos através de sete métodos de cálculo presentes nessa pesquisa, sendo observado que o método de Eligehausen et al. e o método de Cook, ligação elástica, foram os que mais se aproximaram dos resultados médios obtidos experimentalmente.

Palavras chave: adesivo epóxi, modos de ruptura, fendilhamento do bloco, escoamento da barra.

ABSTRACT

The work presents comparisons between results obtained experimentally and through the calculation methods. Sixteen concrete blocks was executed to anchor one bar per block, and using epoxy adhesive. Three different types of composition of concrete were achieved, reaching average resistance of 33.78 MPa in the first trace, 35.28 MPa in the second and 55.80 MPa in the last trace.

In order to analyze the different means of rupture, the following calculation methods were used (ACI 318: 2014, McVay et al., Cook et al., Cook, Marti, and Eligehausen et al.). Two modes of rupture were reached, being the rupture by cracking of the block and the rupture by flow of the bar.

The experimental data are compared with the theoretical results through seven calculation methods present in this research, being observed that the method of Eligehausen et al. and the Cook method, elastic bonding, were the ones that most approached the average results obtained experimentally.

Key words: epoxy adhesive, modes of rupture, cracking of the block, flow of the bar.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Tensões de aderência.....	20
Figura 2 – Comprimento de ancoragem.....	23
Figura 3 – Sistema de fixação em detalhe.....	28
Figura 4 – Chumbadores químicos utilizados em concreto.....	29
Figura 5 – Método de aplicação do chumbador químico de ampola.....	32
Figura 6 – Chumbador de injeção baseado em resina e cimento.....	33
Figura 7 – Detalhe do adesivo estrutural aplicado.....	34
Figura 8 – Aplicação do adesivo estrutural.....	36
Figura 9 – Procedimento instalação de um chumbador mecânico.....	37
Figura 10 – Detalhe da zona de tensão do concreto.....	37
Figura 11 – Vista dos protótipos.....	45
Figura 12 – Fôrma dos protótipos.....	46
Figura 13 – Barras rosqueadas posicionadas para recebimento do concreto.....	47
Figura 14 – Protótipos traço A.....	48
Figura 15 – Barra rosqueada com a porca.....	51
Figura 16 – Barras rosqueadas e vergalhões de Ø8mm utilizadas.....	52
Figura 17 – Escoamento dos materiais ancorados.....	53
Figura 18 – Adesivo estrutural utilizado.....	54
Figura 19 – Prensa de compressão.....	55
Figura 20 – Máquina Universal.....	56
Figura 21 – Furadeira industrial utilizada.....	56
Figura 22 – Pistola de ar comprimido	57
Figura 23 – Centro em relação as barras rosqueadas previamente ancoradas.....	58
Figura 24 – Centro transportado para a face superior do cubo.....	58
Figura 25 – Realização do furo.....	59

Figura 26 – Limpeza do furo.....	59
Figura 27 – Aplicação do adesivo estrutural através da gravidade.....	60
Figura 28 – Suporte inferior.....	61
Figura 29 – Suporte inferior instalado.....	61
Figura 30 – Bloco fixado com suportes inferior e superior instalados.....	62
Figura 31 – Ensaio do cubo do grupo A.....	64
Figura 32 – Escoamento da barra rosqueada.....	65
Figura 33 – Fendilhamento do concreto.....	65
Figura 34 – Fendilhamento do bloco B9.....	67
Figura 35 – Escoamento do vergalhão.....	68
Figura 36 – Blocos com ruptura por fendilhamento do concreto.....	79

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Relação entre η_1 e η_b	22
Tabela 2 – Modelo para dimensionar o C_{ac}	27
Tabela 3 – Arranjo químico dos procedimentos de ancoragem química.....	30
Tabela 4 – Características dos arranjos químicos.....	30
Tabela 5 – Modelo teórico fundamentado para prever a resistência final do chumbador.....	39
Tabela 6 – Traço dos concretos.....	49
Tabela 7 – Resistências do traço A.....	49
Tabela 8 – Resistências do traço B.....	50
Tabela 9 – Resistências do traço C.....	50
Tabela 10 – Média das forças de ruptura das barras rosqueadas.....	52
Tabela 11 – Média das forças de ruptura dos vergalhões.....	53
Tabela 12 – Forças de ruptura para o grupo A.....	66
Tabela 13 – Forças de ruptura para o grupo B.....	67
Tabela 14 – Forças de ruptura para o grupo C.....	68
Tabela 15 – Comparação entre resultados obtidos experimentalmente e pelo método ACI 318:2014.....	69
Tabela 16 – Comparação entre resultados obtidos experimentalmente e pelo método de McVay, Cook e Krishnamurthy.....	70
Tabela 17 – Comparação entre resultados obtidos experimentalmente e pelo método de Cook, Kunz, Fuchs e Konz	72
Tabela 18 – Comparação entre resultados obtidos experimentalmente e pelo modelo de ligação uniforme (método de Cook)	73
Tabela 19 – Comparação entre resultados obtidos experimentalmente e pelo modelo de ligação elástica (método de Cook)	74
Tabela 20 – Comparação entre resultados obtidos experimentalmente e pelo método de Marti.....	76

Tabela 21 – Comparação entre resultados obtidos experimentalmente e pelo método de Eligehausen, Cook e Appl.....	77
Tabela 22 – Comparação entre resultados experimentais e teóricos do grupo A.....	81
Tabela 23 – Comparação entre resultados experimentais e teóricos do grupo B.....	81
Tabela 24 – Comparação entre resultados experimentais e teóricos do grupo C.....	82

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Comparação entre forças de ruptura obtidas experimentalmente e o método teórico da ACI 318:2014.....	70
Gráfico 2 – Comparação entre forças de ruptura obtidas experimentalmente e o método teórico de McVay, Cook e Krishnamurthy.....	71
Gráfico 3 – Comparação entre forças de ruptura obtidas experimentalmente e o método teórico de Cook, Kunz, Fuchs e Konz.....	72
Gráfico 4 – Comparação entre forças de ruptura obtidas experimentalmente e o método teórico de ligação uniforme.....	74
Gráfico 5 – Comparação entre forças de ruptura obtidas experimentalmente e o método teórico de ligação elástica.....	75
Gráfico 6 – Comparação entre forças de ruptura obtidas experimentalmente e o método teórico de Marti.....	76
Gráfico 7 – Comparação entre forças de ruptura obtidas experimentalmente e o método teórico de Eligehausen, Cook e Appl.....	78
Gráfico 8 – Comparação final entre forças experimentais e teóricas do grupo A.....	84
Gráfico 9 – Comparação final entre forças experimentais e teóricas do grupo B.....	84
Gráfico 10 – Comparação final entre forças experimentais e teóricas do grupo C....	85

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACI	American Concrete Institute
MPa	Mega Pascal
kN	Quilonewton
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
UNISC	Universidade de Santa Cruz do Sul

LISTA DE SÍMBOLOS

A_{Na}	Área de influência projetada de chumbadores adesivos
C_{ac}	Distância da aresta em relação aos chumbadores pós instalados.
$C_{a,mín}$	Distância mínima do centro do eixo de ancoragem até a borda do concreto
d	Diâmetro do chumbador
d_a	Diâmetro externo do chumbador
d_0	Diâmetro do furo
E	Zona axial da haste roscada
e'_N	Distância entre a força de tensão resultante e o centroide
f_{bd}	Tensão de aderência de cálculo entre a barra e o concreto
f_c	Resistência à compressão do concreto
$f_{c,médio}$	Resistência média à compressão do concreto
f'	Resistência a compressão do concreto medido com cilindros padrão
f_{yd}	Resistência ao escoamento de cálculo da barra
G	Rigidez do adesivo ao cisalhamento
h_{ef}	Comprimento efetivo de ancoragem
h_{cone}	Profundidade do cone
ℓ_b	Comprimento de ancoragem
N_u	Força de arrancamento
$P_{ACI\ 318:2014}$	Força de ruptura obtida pelo método teórico.
$P_{experimental}$	Força de ruptura obtida experimentalmente;
t	Espessura da camada adesiva.
σ_{sd}	Tensão de projeto
ϕ	Diâmetro nominal da barra
τ_{cr}	Tensão de ligação característica do chumbador adesivo em concreto rachado.
$\Psi_{ec,Na}$	Fator de modificação carregados com uma tensão excêntrica

$\Psi_{ed,Na}$	Fator de modificação para efeitos de borda
τ_0	Tensão uniforme de aderência;
τ_{max}	Máxima tensão de aderência para chumbadores adesivos;
Ψ_b	Fator de modificação para a área de aderência;
Ψ_c	Fator de modificação para a força do concreto;

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	Justificativa	17
1.2	Objetivos gerais	17
1.3	Objetivos específicos	18
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1	Introdução	19
2.2	Ancoragem	19
2.2.1	Fundamentos	20
2.2.2	NBR 6118:2014	21
2.2.3	Normas estrangeiras	22
2.2.3.1	Eurocode 2	22
2.2.3.2	ACI 318:2014	24
2.2.3.2.1	Requisitos para força de tração	24
2.3	Tipos de chumbadores	27
2.3.1	Químicos	28
2.3.1.1	Ampola	31
2.3.1.2	Injeção	32
2.3.1.3	Adesivo estrutural	34
2.3.2	Mecânicos	36
2.4	Modelos para cálculo de ancoragem	37
2.5	Pesquisas sobre o tema	41
3	METODOLOGIA	45
3.1	Programa experimental	45
3.1.1	Definição dos protótipos	45
3.1.2	Confecção dos protótipos	46
3.1.2.1	Execução das fôrmas	46
3.1.2.2	Concretagem dos protótipos	47

3.1.3	Materiais dos protótipos.....	48
3.1.3.1	Traço do concreto.....	48
3.1.3.1.1	Resistência dos concretos à compressão	49
3.1.3.2	Material ancorado no protótipo	50
3.1.3.2.1	Resistências das barras rosqueadas e vergalhões.....	52
3.1.3.3	Adesivo epóxi utilizado	53
3.1.4	Equipamentos utilizados	54
3.1.5	Instalação dos chumbadores químicos	57
3.1.6	Ensaio dos protótipos	60
3.2	Programa teórico.....	62
3.2.1	Método para verificação dos cálculos teóricos.....	62
4	RESULTADOS	64
4.1	Procedimento experimental.....	64
4.2	Chumbadores químicos.....	64
4.2.1	Grupo A.....	64
4.2.2	Grupo B.....	66
4.2.3	Grupo C.....	68
4.3	Procedimento teórico.....	69
4.3.1	Método ACI 318:2014	69
4.3.2	Método de McVay, Cook e Krishnamurthy.....	70
4.3.3	Método de Cook, Kunz, Fuchs e Konz	71
4.3.4	Método de Cook	73
4.3.4.1	Modelo de ligação uniforme.....	73
4.3.4.2	Modelo de ligação elástica.....	74
4.3.5	Método de Marti.....	75
4.3.6	Método de Eligehausen, Cook e Appl	77
5	ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	79
5.1.	Modelos de ruptura	79
5.2.	Análise entre o modelo experimental e teórico	80
6	CONCLUSÕES	86
7	REFERÊNCIAS	88

1 INTRODUÇÃO

Com o decorrer dos anos, as construções civis se adequaram as novas demandas geradas pelo mercado e pelas necessidades das antigas estruturas, inserindo, dessa forma, novas tecnologias ao ramo construtivo.

Consoante Âncora (2015), o mercado da construção civil expande, constantemente, a velocidade e a eficiência de suas construções. Devido a uma crescente demanda, em âmbito de novas tendências e conceitos, insere-se a necessidade da modernização de práticas e de métodos construtivos utilizados, como a busca de elementos de fixação mais adequados para o uso, em troca dos tradicionais.

Porém, a utilização da fixação de elementos não é exclusiva de novas estruturas, visto que se tornou muito utilizada em obras de adequação, mesclada aos ideais de *retrofit* e obras de reparo e de reforço estrutural (CARDOSO, 2015).

A fixação possui grande importância no ramo das construções civis, mesmo não sendo usufruído do correto uso e dimensionamento pelos seus colaboradores. Seja fixando um suporte na parede, ou tratando de uma haste roscada de aço instalada utilizando um método de ancoragem química, no qual se torna responsável pela fixação dos pilares de uma estrutura. Sendo assim, a fixação sempre está condicionada à segurança e à integridade de um sistema.

O processo de fixação das armaduras com resina epóxi possui grandes solicitações, e tratando da existente necessidade de readaptar as antigas estruturas para que recebam novas utilizações, sendo por reparo ou por reforço das estruturas, esse método torna-se cada vez mais viável e usual nas edificações.

Atendendo à ideia de segurança e de integridade, o chumbador deve ser escolhido para que mantenha e distribua todas as forças para as quais foi calculado, e, conseqüentemente, para garantir a eficácia em conduzir os esforços ao material base.

As carências no ramo da engenharia civil geram inovações, as quais, originadas por situações desfavoráveis, são bem recebidas para a evolução tecnológica da área.

1.1 Justificativa

O assunto de ancoragens e de técnicas de fixação, atualmente, se encontra em constante utilização no meio da construção civil, devido à necessidade de adaptação das novas construções.

No Brasil, esse método de fixação se apresenta em contínua aplicação. Porém, na norma brasileira ABNT NBR 6118:2014 não há registros específicos sobre tais situações, sendo necessário, então, o estudo a partir das normas estrangeiras, as quais apresentam conteúdo sobre o assunto tratado.

Dessa forma, a execução do processo de ancoragem e de fixações, tanto química quanto mecânica, se limita as recomendações dos fabricantes, que, quando solicitados, encaminham dados, os quais necessitam ser examinados pelos engenheiros responsáveis pela estrutura que usufruirá do método. Com relação aos chumbadores químicos, dos quais se trata o presente trabalho, há diversos modelos, com diferentes composições, que visivelmente dispõem da mesma função.

Na construção civil existe uma grande dificuldade em relação à carência de conhecimento no emprego dos chumbadores químicos e dos adesivos estruturais, com a aplicação de forma equivocada pelos colaboradores, sendo desprezada sua correta maneira de aplicação. Com os descuidos, originam-se problemas e imprevistos na execução das fixações.

Levando em consideração a existência desse contexto na maioria das construções brasileiras, e tendo em vista que se trabalha com um déficit de informações, o referido trabalho objetiva colaborar com a melhoria de tais métodos, a partir de estudos, de pesquisas e de testes laboratoriais.

1.2 Objetivos gerais

O estudo desta dissertação almeja auferir o aperfeiçoamento dos processos de ancoragem com resina epóxi, através da comparação com testes laboratoriais e com pesquisas experimentais.

1.3 Objetivos específicos

Os objetivos específicos deste trabalho estão listados abaixo:

- Verificar bibliograficamente as definições a respeito de ancoragem química, com maior ênfase em ancoragem química com adesivo estrutural a base epóxi;
- Verificar os critérios de cálculo para a análise estrutural de ancoragem química;
- A partir de análises experimentais já existentes, realizar pesquisas sobre ancoragem química;
- Pesquisar sobre normas que auxiliem na pesquisa sobre métodos de execução e estudos sobre ancoragem química;
- Moldar protótipos com um vergalhão e uma barra rosqueada ancorados em cada um deles, com o objetivo de testar a efetividade da resina e de escolher o melhor método a ser seguido.
- Apresentar comparativos e conclusões em relação aos resultados obtidos através de ensaios experimentais e cálculos teóricos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Introdução

Com a evolução dos tempos, iniciou-se o aperfeiçoamento dos métodos de execução de elementos estruturais, com ênfase à importância do surgimento do cálculo de ancoragem, possibilitando maior precisão e segurança no dimensionamento das peças.

De acordo com Araújo (2014), a ancoragem tem seu desempenho em função da aderência entre o concreto e o aço, fazendo com que ocorram tensões entre os dois elementos. Os esforços das barras de aço são direcionados ao longo da mesma, onde denomina-se o comprimento de ancoragem.

Com a necessidade de adaptar as peças estruturais já existentes, a ancoragem pós-concretagem tornou-se cada vez mais usual, possibilitando o surgimento de novos componentes exercendo funções estruturais, a fim de fixa-las nas peças antigas.

Os chumbadores químicos se tornaram um dos meios mais empregados na construção civil. Com uma variedade ampla em relação a modelos, fabricantes e fornecedores, há fácil acesso pelos consumidores.

2.2 Ancoragem

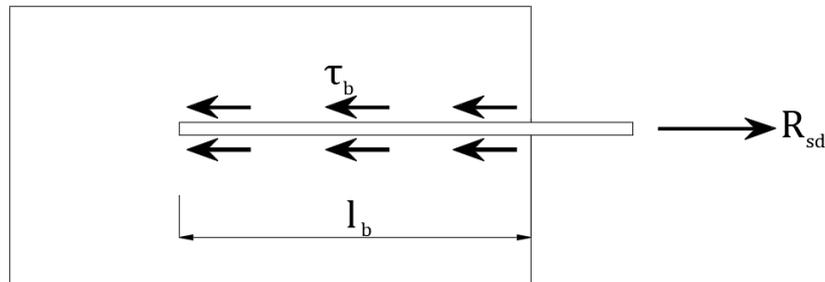
Para Carvalho (2014), as barras estão sujeitas a tensões previstas em cálculo. Para realizar a transferência das forças ao concreto, deve-se dimensionar e executar um comprimento adicional nas barras, o comprimento de ancoragem. A transferência existente entre as barras e o concreto é chamada de ancoragem.

Conforme a ABNT NBR 6118:2014, as barras das armaduras devem ser ancoradas no concreto, sendo o mesmo responsável pelo recebimento dos esforços solicitados. De acordo com a norma, a ancoragem pode ser realizada por dispositivos mecânicos, por aderência ou, ainda, utilizando os dois mecanismos.

De acordo com Araújo (2014), na figura 1, apresenta-se um bloco de concreto com uma barra de aço ancorada, sujeita a uma força de tração de cálculo R_{sd} . Sendo assim, originam-se tensões tangenciais τ_b entre o concreto e o aço através da

aderência entre os elementos. Diante disso, o esforço de tração ocasionado na barra de aço acaba sendo transferido para o concreto a partir do comprimento l_b .

Figura 1 - Tensões de aderência



Fonte: adaptado Araújo (2014).

2.2.1 Fundamentos

Como citado no item 2.2, usufrui-se de dois tipos de ancoragem, um com dispositivos mecânicos e o outro utilizando a aderência entre concreto e aço, segundo a ABNT NBR 6118:2014.

- a) **Dispositivos mecânicos:** com a necessidade de transmitir os esforços de ancoragem, coloca-se dispositivos mecânicos nas barras a fim de transferir as forças ao concreto.
- b) **Aderência entre aço e concreto:** para realizar a ancoragem necessita de um comprimento de ancoragem reto ou com raio de curvatura, podendo ou não possuir gancho.

De acordo com Carvalho (2014), a aderência é a principal responsável pelo desempenho do concreto armado, tendo em vista a necessidade de se possuir um material estrutural. Com a ausência de aderência, as barras de concreto desprezam os efeitos de tração, ocasionando o deslizamento das barras dentro do concreto e transformando a estrutura em um concreto simples. Para que ocorra a transferência de esforços entre o concreto e o aço, a aderência é imprescindível, fazendo com que ambos os elementos trabalhem juntos e possuam a mesma deformação.

Conforme Leonhardt & Mönning (1977) a aderência se constitui por três componentes:

- **Adesão:** caracterizada por forças capilares entre os materiais, possui, assim, uma reação de fixação realizada pela nata de cimento e a face do aço.
- **Atrito:** tendo em vista o efeito de deslocamento entre o concreto e a barra, o atrito é a força que atua entre as superfícies dos materiais, impedindo a locomoção dos mesmos; varia de acordo com o tipo da face da barra e com a penetração da pasta de cimento nas falhas; conforme a pressão do concreto sobre a barra, quanto maior essa pressão, maior o atrito entre os mesmos.
- **Engrenamento:** possui resistência mecânica ao arrancamento devido à configuração superficial do aço, no qual as moedas e as saliências têm a função de elementos de apoio, exercendo esforços de compressão ao concreto e aumentando consideravelmente a sua aderência.

2.2.2 NBR 6118:2014

De acordo com a ABNT NBR 6118:2014, no item 9.4.2, sobre ancoragem de armaduras passivas por aderência, utiliza-se o método de ancoragem com prolongamento retilíneo ou com grande raio de curvatura para dimensionar o comprimento de ancoragem necessário para a estrutura.

Para dimensionar o comprimento básico de ancoragem emprega-se a fórmula 1, consoante a norma:

$$\ell_b = \frac{\phi}{4} \frac{f_{yd}}{f_{bd}} \quad (1)$$

Onde:

ℓ_b = comprimento de ancoragem;

ϕ = diâmetro nominal da barra;

f_{yd} = resistência ao escoamento de cálculo da barra;

f_{bd} = tensão de aderência de cálculo entre a barra e o concreto.

Conforme a NBR 6118:2014, os valores de resistência à aderência podem ser expressos a partir da expressão 2:

$$f_{bd} = \eta_1 \eta_2 \eta_3 f_{ctd} \quad (2)$$

Sendo:

$$f_{ctd} = f_{ctk,inf} / \gamma_c \text{ (item 8.2.5 da NBR 6118:2014)}$$

$$f_{ctk,inf} = 0,7 f_{ct,m}$$

$$f_{ct,m} = 0,3 f_{ck}^{2/3}$$

$\eta_1 = 1,0$ para barras lisas (tabela 1);

$\eta_1 = 1,4$ para barras entalhadas (tabela 1);

$\eta_1 = 2,25$ para barras nervuradas (tabela 1);

$\eta_2 = 1,0$ para situações de boa aderência (de acordo com item 9.3.1 da NBR 6118:2014);

$\eta_2 = 0,7$ para situações de má aderência (de acordo com item 9.3.1 da NBR 6118:2014);

$\eta_3 = 1,0$ para $\phi < 32$ mm;

$\eta_3 = (132 - \phi)/100$, para $\phi \geq 32$ mm;

Tabela 1 - Relação entre η_1 e η_b

Tipo de barra	Coeficiente de conformação superficial	
	η_b	η_1
Lisa (CA-25)	1,0	1,0
Entalhada (CA-60)	1,2	1,4
Alta aderência (CA-50)	$\geq 1,5$	2,25

Fonte: adaptado da NBR 6118:2014.

2.2.3 Normas estrangeiras

2.2.3.1 Eurocode 2

Conforme o Eurocode (2010), sendo determinada a tensão de aderência final, o comprimento básico de ancoragem, de acordo com a figura 2, pode ser calculado através da fórmula 3 expressa a seguir:

$$\ell_b = \frac{\phi \cdot \sigma_{sd}}{4 \cdot f_{bd}} \quad (3)$$

Onde:

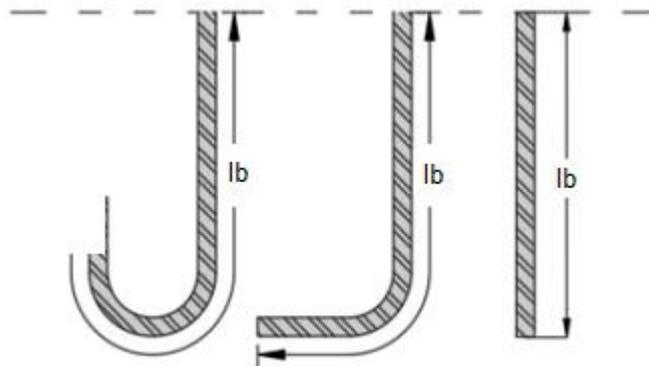
σ_{sd} = tensão de projeto da barra na posição de onde a ancoragem é medida;

ℓ_b = comprimento de ancoragem;

ϕ = diâmetro nominal da barra;

f_{bd} = tensão de aderência de cálculo entre a barra e o concreto.

Figura 2 - Comprimento de ancoragem



Fonte: adaptado de AC Eurocode 2, 2010.

Em relação à tensão final de ligação “*Ultimate bond stress*”, a Eurocode (1992) emprega a seguinte expressão:

$$f_{bd} = 2,25 \eta_1 \eta_2 f_{ctd} \quad (4)$$

Sendo:

f_{bd} = tensão de aderência de cálculo entre a barra e o concreto.

η_2 é o parâmetro ligado ao diâmetro da barra, onde:

$\eta_2 = (132 - \phi)/100$, para $\phi \geq 32$ mm;

$\eta_2 = 1,0$ para $\phi < 32$ mm;

$\eta_1 = 1,0$, quando possui uma “boa” ligação entre concreto e armadura

- Para todas barras que a inclinação de ancoragem está entre 45° e 90° a partir da horizontal, durante a fase de concretagem;

- Para barras que a inclinação de ancoragem está entre 0° e 45° a partir da horizontal, durante a fase de concretagem e que possuam uma distância menor que 250 mm da região inferior da seção ou para lajes mais espessas que 600 mm, com uma distância maior que 300 mm da região superior da seção;

$\eta_1 = 0,7$, para os outros casos.

$$f_{ctd} = \alpha_{ct} f_{ctk,0,05} / \gamma_c$$

2.2.3.2 ACI 318:2014

A norma americana, American Concrete Institute (ACI), engloba diversos casos relacionados à ancoragem e procedimentos com base na necessidade a ser calculada.

Há uma variedade de critérios para a definição de cada caso de ancoragem, sendo fundido no local “cast in place”, chumbadores químicos, chumbadores mecânicos, entre outros. Neste tópico será tratado a respeito dos chumbadores químicos e suas exigências em relação à norma americana.

Conforme a ACI (2014), os chumbadores devem ser instalados por pessoas qualificadas, de acordo com normas de construção e, quando aplicável, as instruções do fabricante. Quando necessário, a partir dos documentos de construção, é especificado o carregamento de prova, de acordo com a ACI 355.4. Além disso, devem ser especificados todos os parâmetros associados à tensão de ligação característica usada para o projeto, incluindo a idade mínima do concreto, a faixa de temperatura do concreto, as condições de umidade do concreto no momento da instalação, o tipo de concreto leve, se aplicável, e os requisitos para perfuração e para preparação de furos.

2.2.3.2.1 Requisitos para força de tração

A fórmula 5 deve ser eficaz para chumbadores adesivos sujeitos à tensões. Para grupos de chumbadores adesivos, a mesma equação deve satisfazer o chumbador para resistir à maior tensão.

$$0,55\phi N_{ba} \geq N_{ua,s} \quad (5)$$

Onde N_{ba} é a resistência de ligação básica de um único chumbador adesivo com tensão em concreto fissurado, o qual pode ser determinado através da fórmula 6:

$$N_{ba} = k_c \cdot (fck)^{0,5} \cdot h_{ef}^{1,5} \quad (6)$$

Onde:

$k_c = 7$ para pós-instalado e 10 para pré-instalado.

Tratando-se da força de ligação nominal, N_a é designado para um único chumbador adesivo e N_{ag} representa um grupo de chumbadores adesivos, segue abaixo o modelo de cálculo para cada caso:

a) Para um único chumbador adesivo

$$N_a = \frac{A_{Na}}{A_{Na0}} \Psi_{ed,Na} \Psi_{cp,Na} N_{ba} \quad (7)$$

b) Para um grupo de chumbadores adesivo

$$N_{ag} = \frac{A_{Na}}{A_{Na0}} \Psi_{ec,Na} \Psi_{ed,Na} \Psi_{cp,Na} N_{ba} \quad (8)$$

De acordo com a ACI (2014), A_{Na} é a área de influência projetada de chumbadores adesivos, a qual deve ser próxima a uma área que projeta uma distância c_{Na} da linha central do chumbador adesivo ou, no caso de um grupo de chumbadores adesivos, através de uma linha de chumbadores adesivos adjacentes. A_{Na} não pode ultrapassar nA_{Na0} , onde n é o número de chumbadores adesivos que resistem às forças de tensão. A_{Na0} é a área de influência projetada de um único chumbador adesivo com uma distância da borda igual ou maior que c_{Na} .

$$A_{Na0} = (2c_{Na})^2 \quad (9)$$

Onde:

$$c_{Na} = 10d_a \sqrt{\frac{\tau_{cr}}{7,6}} \quad (10)$$

d_a = diâmetro externo do chumbador;

τ_{cr} = tensão de ligação característica do chumbador adesivo em concreto rachado.

O fator de modificação para grupos de chumbadores adesivos carregados com uma tensão excêntrica ($\Psi_{ec,Na}$), deve ser calculado a partir da seguinte expressão:

$$\Psi_{ec,Na} = \frac{1}{C_{Na}} \left(1 + \frac{e'_N}{C_{Na}} \right) \quad (11)$$

Sendo que:

e'_N = é a distância entre a força de tensão resultante em um grupo de chumbadores carregados e o centróide desse grupo;

O fator de modificação, para efeitos de borda ($\Psi_{ed,Na}$), para chumbadores adesivos individuais ou em grupos carregados com uma tensão, é representado pelas relações a seguir:

$$\text{Se } C_{a,\text{mín}} \geq C_{Na}, \text{ então } \Psi_{ed,Na} = 1,0 \quad (12)$$

$$\text{Se } C_{a,\text{mín}} < C_{Na}, \text{ então } \Psi_{ed,Na} = 0,7 + 0,3 \frac{C_{a,\text{mín}}}{C_{Na}} \quad (13)$$

Onde:

$C_{a,\text{mín}}$ = distância mínima do centro do eixo de ancoragem até a borda do concreto;

O fator de modificação para chumbadores adesivos projetados para um concreto não fissurado, sem reforço suplementar para controlar a divisão ($\Psi_{cp,Na}$), pode ser atribuído a partir da concordância abaixo:

$$\text{Se } C_{a,\text{mín}} \geq C_{ac}, \text{ então } \Psi_{cp,Na} = 1,0 \quad (14)$$

$$\text{Se } C_{a,\text{mín}} < C_{ac}, \text{ então } \Psi_{cp,Na} = \frac{C_{a,\text{mín}}}{C_{ac}} \quad (15)$$

Sendo C_{ac} definido abaixo:

Tabela 2 – Modelo para dimensionar o C_{ac}

Modelo do chumbador	
Chumbadores adesivos	$2h_{ef}$
Chumbadores recortados	$2,5h_{ef}$
Chumbadores de expansão controlados por torque	$4h_{ef}$
Chumbadores de expansão controlados por deslocamento	$4h_{ef}$

Fonte: adaptado da ACI 318-14.

Sendo:

h_{ef} = comprimento efetivo de ancoragem;

C_{ac} = distância da aresta em relação aos chumbadores pós instalados.

Em ancoragens sem fissuração do concreto, pode-se utilizar o fator $\Psi_{cp,Na} = 1,25$ para ancoragens pré-instaladas e $\Psi_{cp,Na} = 1,4$ para ancoragens pós-instaladas e o valor de $k_c = 7$.

2.3 Tipos de chumbadores

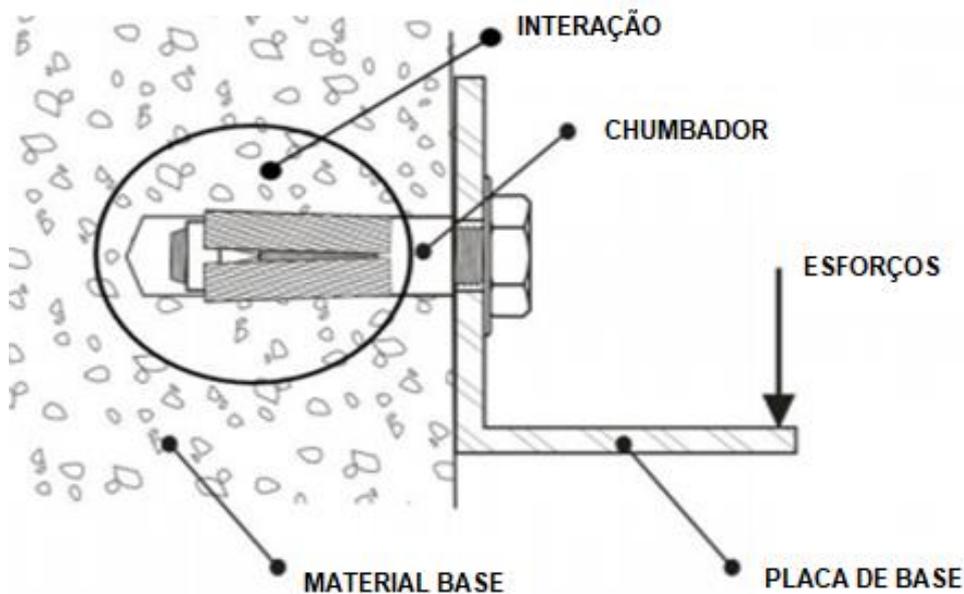
Os chumbadores responsabilizam-se pela transmissão dos esforços entre os elementos estruturais. A compreensão do desempenho e das forças exercidas no elemento estudado, o qual será ancorado, possibilita a escolha do chumbador adequado à fixação. Na construção civil, existem diversos modelos de material base e compete ao projeto definir o chumbador ideal para ser empregado em cada situação, tendo em vista a eficiência caracterizada em projeto.

Em concordância com o Eurocode (2010), as aplicações de chumbadores possuem exclusiva função estrutural, sendo utilizados quando podem resultar na queda total ou parcial da estrutura, acarretando na ameaça as pessoas e caso possua prejuízo material significativo. De acordo com a figura 3, separando o sistema em quatro segmentos, é possível determinar e analisar uma fixação (HSA, 2006):

- Chumbador: tem a função de transmitir os esforços. Encontram-se diversos modelos de chumbadores, sendo a sua utilização determinada de acordo com os esforços e o material base a ser trabalhado.

- Material base ou substrato: local onde o chumbador transmite seus esforços. Na maioria dos casos é composto por concreto, porém, pode variar de acordo com o modelo construtivo, podendo ser constituído por rochas, por exemplo.
- Interação: resultado elaborado entre o material base e o chumbador. De acordo com o esforço exercido, a interação está apta a suportar o esforço cortante e também a decorrência do cone em concreto.
- Placa de base: peça a ser presa sobre o material base. Normalmente, sua composição é de aço, porém pode alterar de acordo com o processo construtivo escolhido.

Figura 3 - Sistema de fixação em detalhe



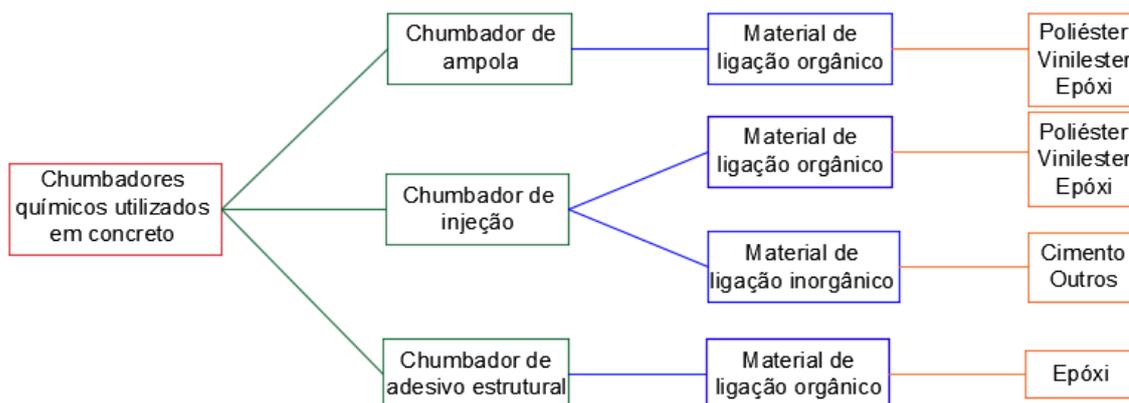
Fonte: Âncora (2015).

2.3.1 Químicos

O chumbador químico baseia-se na mistura de mais de uma substância, resultando em uma reação química. Com a finalização da mistura, surge um elemento homogêneo de resistência mais elevada que a do material base (substrato). De acordo com o material que o chumbador foi fabricado, torna-se possível encontrar as características que resultam na adesão e em uma alta resistência. Embora possuam

diferentes modelos e métodos de utilização, os chumbadores químicos possuem o mesmo preceito básico de funcionar em função da adesão. A figura 4 apresenta os chumbadores químicos mais relevantes.

Figura 4 - Chumbadores químicos utilizados em concreto



Fonte: adaptado de Eligehausen, Mallée e Silva (2006).

Os chumbadores químicos são amplamente empregados no travamento das barras rosqueadas e em vergalhões a base de concreto. Ademais, podem ser aplicados em diferentes substratos, como em alvenaria de blocos cerâmicos, em alvenaria de blocos de concreto, em concreto armado e em rochas. Possuem a capacidade de sustentar elementos com elevadas forças e que demandam maior resistência, mas também, podem ser empregados para elementos que possuem baixas forças.

Na ancoragem química, o processo é realizado após a concretagem das peças estruturais, com um material químico aplicado no furo, que entra em contato com a barra de aço inserida.

Tendo em vista o processo químico, são utilizados materiais específicos para a situação, as resinas. Tais resinas se enrijecem na reação química, adquirindo um alto grau de adesão entre si.

Com a utilização da resina, a região se torna impermeável a diferentes líquidos, diferentemente do que ocorre com os materiais aplicados por atrito, que permitem a passagem de líquidos pelo furo executado.

O processo de execução subdivide-se em aplicação por cápsula, por injeção ou por adesivo estrutural. Na tabela 3 encontram-se os principais itens da composição

dos chumbadores químicos e na tabela 4 apresentam-se as propriedades dos mesmos.

Tabela 3 - Arranjo químico dos procedimentos de ancoragem química

PRINCIPAIS ARRANJOS QUÍMICOS EM VIRTUDE DOS PROCEDIMENTOS DE ANCORAGEM QUÍMICA		
Sistema de Injeção	Sistema de Ampola	Adesivo Estrutural
Epóxi	Metacrilato (Vinilester)	Epóxi
Metacrilato (Vinilester)	Poliéster	
Poliéster		

Fonte: adaptado de Âncora (2016).

Tabela 4 - Características dos arranjos químicos

CARACTERÍSTICAS DOS ARRANJOS QUÍMICOS APLICADOS A CHUMBADORES	
Não utilizado para fins estruturais	
Poliéster	Dispõe de resistências menores em relação aos outros componentes, sendo assim recomendada para utilização em estruturas não estruturais ou leves. Conforme a sua composição química, possui uma cura mais acelerada, porém apresenta ocorrências de retração da resina limitando o uso em ancoragens superiores a bitolas de 16 milímetros.
Utilizado para fins estruturais	
Metacrilato (Viniléster)	O viniléster possui satisfatórias características térmicas e mecânicas em sua composição. Com alta resistência química e pequena taxa de retração. Além de possuir rápida cura, apresenta uma propriedade tixotrópica, não escorrendo, o que acarreta numa maior multifuncionalidade para aplicação.

Epóxi	Possui a maior resistência entre os componentes químicos dos chumbadores, logo, torna-se o elemento mais indicado para construções e para reforços estruturais. Tachado por possuir menores propriedades térmicas e mecânicas em relação ao metacrilato, apresenta um índice de retração insignificante e um maior tempo de cura.
--------------	---

Fonte: adaptado de Âncora (2016).

2.3.1.1 Ampola

Conforme Âncora (2016), os chumbadores de ampola podem ser ordenados em plástico selado ou em cápsulas de vidro. A ampola, estruturada por um arranjo de resinas e de endurecedores, dispõe de uma porção definida para efetuar a fixação.

De acordo com Eligehausen, Mallée e Silva (2006), as cápsulas possuem uma dosagem previamente definida, contendo a resina polimérica, os catalizadores e os agregados de quartzo. As ampolas, por sua vez, detêm resinas de epóxi, poliéster e viniléster em sua composição.

O chumbador químico de ampola é utilizado quando há necessidade de ancorar elevados esforços, podendo ser usufruído em locais com pouco espaçamento e com afastamento restrito da borda. Desprezando a utilização de ferramentas especiais, acarreta em um procedimento limpo, simples e eficiente com o emprego da marreta, segundo Âncora (2017). Tal processo apresenta-se na figura 5.

A mistura dos elementos existentes provoca uma reação com elevada velocidade, fazendo com que a cura do processo seja rápida. Devido a essa peculiaridade, tais chumbadores são empregados em situações com exigência de cura imediata, sendo aplicáveis em estruturas de concreto/aço ou em equipamentos industriais.

Figura 5 - Método de aplicação do chumbador químico de ampola



Fonte: Âncora (2017).

2.3.1.2 Injeção

Em conformidade com Âncora (2015), os chumbadores de injeção são empregados juntamente com hastes roscadas e vergalhões utilizados em rochas ou peças de concreto.

Conforme Eligehausen, Mallée e Silva (2006), o método de injeção das resinas poliméricas é utilizado com cartuchos, possuindo uma quantidade equivalente entre o endurecedor e a resina, sendo, dessa forma, distinto do sistema de ampola.

Como a adesão é o principal efeito dos chumbadores químicos, o furo onde será realizado a injeção merece certos cuidados em relação ao processo de limpeza.

Consoante Âncora (2015), os mecanismos propostos para a execução do chumbador químico são:

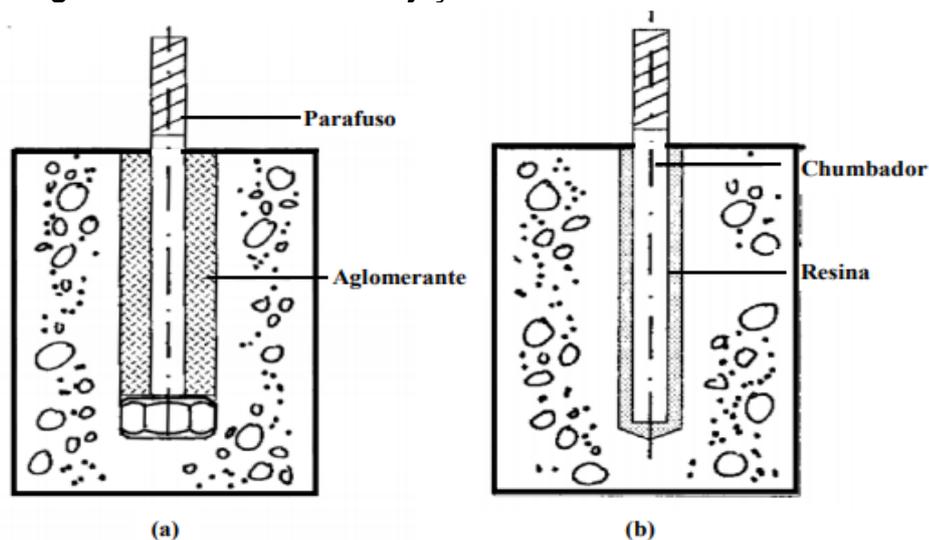
- De acordo com o diâmetro e a profundidade representadas em projeto, executar o furo no concreto;
- Com um soprador elétrico ou manual, retirar a sujeira presente no local;
- Com ajuda de uma escova de aço ou nylon, efetuar a escovação das paredes do furo;
- Novamente com um soprador elétrico ou manual, retirar toda sujeira presente no furo;
- Colocar o cartucho em um aparelho adequado e posicionar o bico misturador;

- Para iniciar a utilização, deve-se averiguar se a mistura apresenta homogeneidade;
- Adicionar entorno de 2/3 do furo, colocando a resina da parte interna para a externa;
- Colocar o vergalhão ou haste roscada com ações de rotação;
- De acordo com indicação do fabricante, esperar a cura do processo;
- Instalar o elemento a ser receber a fixação e finalizar com o torque apropriado. No caso dos vergalhões, avançar com a etapa da concretagem.

Para garantir que o furo esteja totalmente coberto, coloca-se o vergalhão ou a haste roscada no furo, fazendo com que verta a mistura e, assim, garantindo o total preenchimento do mesmo, segundo Âncora (2015). O tempo de cura dependerá do arranjo químico do chumbador aplicado.

De acordo com Silva (2016), no sistema de injeção deve-se ter cuidado com a execução do chumbador, respeitando uma correta quantidade de aplicação. Distinto do método com ampola, esse sistema pode ser utilizado para efetuar uma maior quantidade de fixações, variando de acordo com o tamanho do diâmetro e a profundidade do orifício.

Figura 6 - Chumbador de injeção baseado em resina e cimento



Fonte: Monografia do Walter Edgley de Oliveira (2003).

2.3.1.3 Adesivo estrutural

Consoante Doerr e Klingner (1989), os chumbadores adesivos normalmente possuem comportamento como os chumbadores grauteados. Os adesivos transferem a força através de toda superfície em que se encontra a adesão entre o chumbador e o concreto. O adesivo geralmente possui em sua composição a resina epóxi, viniléster ou poliéster, representado na figura 7.

Figura 7 - Detalhe do adesivo estrutural aplicado



Fonte: Acervo Polipiso do Brasil (2018).

Tratando dos adesivos epóxi, são caracterizados por apresentar resina epóxi em sua formação combinados com um elemento de cura para assim ocorrer a reação. Denomina-se a resina epóxi como sendo o componente “A” e o agente de cura sendo o elemento “B”. Para ocorrer a cura do adesivo epóxi, exige-se a aplicação de calor. No momento em que ocorre a combinação entre a resina epóxi e o agente de cura, ocorre uma reação exotérmica na qual acarreta na liberação de calor. Existem vantagens nesse componente epóxi sendo caracterizado por ter uma vida útil longa, durabilidade, resistência a fissuras e baixo encolhimento durante a cura.

Os adesivos a base de poliéster são plásticos termoendurecidos, cuja rigidez não se modifica de acordo com a temperatura, sendo constituídos por um catalisador e por uma resina de poliéster. Comparadas com a epóxi, essas resinas tendem a possuir um menor tempo de cura. Em relação à composição, os adesivos de poliéster podem possuir limitações, como curta vida útil e tendência à deterioração perante luz

ultravioleta e, sem a presença de um catalisador que emane temperaturas elevadas, tem chances de polimerizar.

Os adesivos viniléster também são plásticos termoendurecidos, tendo em sua composição resinas viniléster e catalisador. Tais resinas são propensas a serem mais flexíveis que as de poliéster. Assim como a resina de poliéster, a viniléster possui as mesmas limitações, como curta vida útil, segregação quanto à luz ultravioleta e polimerização quanto a não adição de um catalisador a elevadas temperaturas.

Os adesivos estruturais são disponibilizados em duas embalagens diferentes (adesivos e endurecedor). Com isso, cada embalagem dispõe de uma medida certa para a execução da mistura, a qual pode ser realizada com uma ferramenta apropriada ou manualmente.

Conforme Sika (2016), as técnicas indicadas para a aplicação de um adesivo estrutural são:

- Lavar o orifício para que não contenha sujeiras, como desmoldante, poeira, detritos, etc;
- Efetuar a mistura do elemento “A” a fim de homogeneizar o mesmo;
- Efetuar a mistura do elemento “B” a fim de homogeneizar o mesmo;
- Executar a mistura entre os dois elementos, fazendo com que ocorra a homogeneização entre ambos, e com a prudência para não aumentar a temperatura da mistura;
- Usufruir de uma espátula ou de um equipamento correspondente, tendo em vista o preenchimento de todos os vazios.

Na figura 8, abaixo, demonstra-se o modo de aplicação do adesivo estrutural:

Figura 8 - Aplicação do adesivo estrutural



Fonte: Acervo Âncora (2016).

2.3.2 Mecânicos

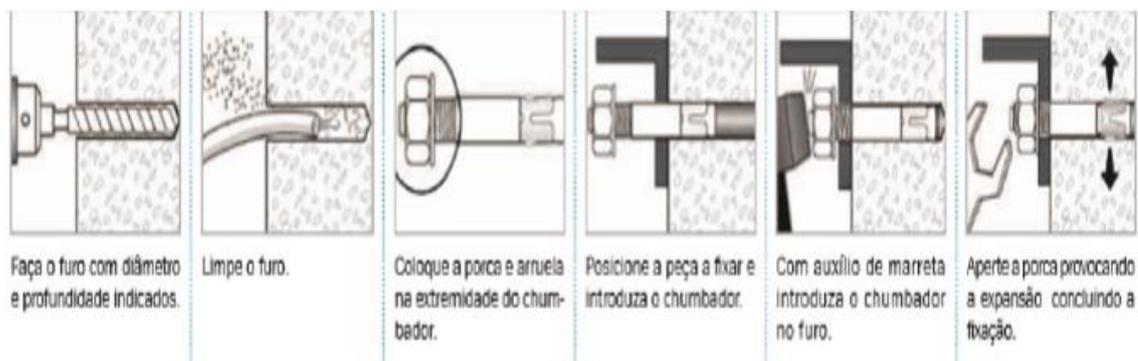
Chumbadores mecânicos possuem uma composição metálica e trabalham com ações de expansão em seu tamanho, acarretando em um local de fixação, de acordo com Nascimento (2017). Tais chumbadores apresentam sistemas que geram a expansão, sendo os principais geradores os controles por torque e por percussão.

Consoante Eligehausen, Mallée e Silva (2006), para desenvolver o torque controlado num chumbador é imprescindível seguir os procedimentos abaixo:

- Efetuar um furo no concreto (material base);
- Retirar a poeira e os resíduos materiais;
- Colocar o chumbador na região interna do furo;
- Desenvolver o torque controlado na porca ou parafuso do chumbador.

Na figura 9, a seguir, apresenta-se um método de aplicação do chumbador mecânico.

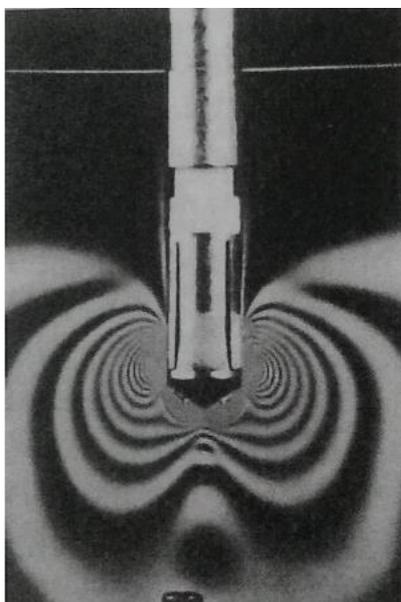
Figura 9 - Procedimento instalação de um chumbador mecânico



Fonte: Âncora (2015).

Depois de efetuar o torque controlado, o diâmetro do chumbador aumenta de tamanho fazendo com que comprima a região interna do furo. A expansão acarreta em uma região de tensões no concreto, ocasionando a estabilização do chumbador no elemento, representado na figura 10.

Figura 10 - Detalhe da zona de tensão do concreto



Fonte: Eligehausen (2006).

2.4 Modelos para cálculo de ancoragem

Segundo Contrafatto e Cosenza (2014), na literatura encontram-se cálculos sobre a força de tração nos chumbadores químicos para diferentes tipos de falhas.

Entretanto, esses cálculos se referem ao concreto. Os modelos são baseados na transferência das forças a partir do aço já ancorado, sendo direcionadas através da camada adesiva, para toda a superfície do concreto.

Normalmente a força de ruptura dos chumbadores químicos é calculada conforme a profundidade do chumbador. Com isso, Cook (2001) executou uma minuciosa análise com mais de 1000 testes, utilizando mais de vinte diferentes tipos de produtos adesivos. De acordo com o estudo, os fatores que afetam na resistência do chumbador químico são:

- Força adesiva;
- Força de compressão do concreto;
- Furo limpo;
- Umidade do furo;
- Altas temperaturas e fluência;
- Tempo de força

Os elementos teóricos apresentados na literatura e demonstrados na tabela 5 vinculam-se aos materiais em estudo para ensaiar a possibilidade de aplicação em rochas naturais.

Na sequência, são apresentados os conceitos dos nove modelos, realizados por diferentes autores, exclusivos da tabela 5.

Doerr, Cook e Klingner (1989), analisaram o comportamento dos chumbadores de adesivo estrutural e verificaram que a distribuição de tensões de ligação pode ser decorrente de uma análise elástica. Essa análise elástica observa a tensão ocasionada na região do adesivo com o concreto, desprezando a força do concreto.

McVay, Cook e Krishnamurthy (1996) desenvolveram um modelo de tensão de ligação uniforme que prevê a capacidade do chumbador em função da tensão de ligação uniforme (τ_0).

Conforme Nilson (1972), trata-se de um modelo uniforme de tensão de aderência com a real resistência do adesivo no qual a área de adesão é determinada por um fator de modificação adicional (Ψ_b).

De acordo com Cook, Kunz, Fuchs e Konz (1998), refere-se a um modelo de ligação no qual desconsidera-se o cone raso de concreto, entretanto, se o

comprimento de encaixe efetivo for considerado igual ao comprimento de encaixe real menos três vezes o diâmetro, o cone raso de concreto pode ser considerado.

Consoante Cook (1993), realizou dois modelos na qual possui ligações cone combinados, sendo um deles uma combinação cone de concreto com um modelo de ligação uniforme e outro é uma amostra de cone com um modelo de ligação elástico.

Segundo Marti (1993), são modelos de ligação de interface, sendo o primeiro modelo baseado no deslizamento na interface adesivo / concreto e o segundo modelo, na interface aço / adesivo.

Conforme Eligehausen, Cook e Appl (1984), trata-se de um modelo de cone de concreto.

A seguir, na tabela 5, apresentam-se as equações de acordo com os modelos de ancoragem citados acima.

Tabela 5 - Modelo teórico fundamentado para prever a resistência final do chumbador

Modelo	Autor	Força axial final
1	Doerr et al. (1989)	$N_u = \tau_{m\acute{a}x} \pi d_0 \left(\frac{\sqrt{d_0}}{\lambda'} \tanh \frac{\lambda' h_{ef}}{\sqrt{d_0}} \right)$
2	McVay et al. (1996)	$N_u = \tau_0 \pi d_0 h_{ef}$
3	Nilson (1972)	$N_u = \tau_0 \pi d_0 \Psi_b \Psi_c$
4	Cook et al. (1998)	$N_u = \tau_0 \pi d (h_{ef} - 3d)$
5	Cook et al. (1993)	$N_u = 0,92 h_{ef}^2 \sqrt{f'} + \tau_0 \pi d_0 h_{ef}$

6	Cook (1993)	$N_u = 0,92h_{ef}^2\sqrt{f'} + \tau_{max}\pi d_0 \left(\frac{\sqrt{d_0}}{\lambda'} \tan \frac{\lambda'(h_{ef} - h_{cone})}{\sqrt{d_0}} \right)$
7	Marti (1993)	$N_u = \tau_0\pi d h_{ef}$
8	Marti (1993)	$N_u = \tau_0\pi d h_{ef} \sqrt{\frac{f_c}{f_{c,bw}}}$
9	Eligehausen et al. (1984)	$N_u = 0,92h_{ef}^2\sqrt{f'}$

Fonte: adaptado de Confratto e Cosenza (2014).

Os símbolos a seguir fazer parte das fórmulas teóricas da tabela 5:

N_u = força de arrancamento;

d_0 = diâmetro do furo;

d = diâmetro do chumbador;

τ_0 = tensão uniforme de aderência;

τ_{max} = máxima tensão de aderência para chumbadores adesivos;

h_{ef} = comprimento de fixação do chumbador;

Ψ_b = fator de modificação para a área de aderência;

Ψ_c = fator de modificação para a força do concreto;

h_{cone} = profundidade do cone, depende τ_0 , d_0 , h_{ef} , f' em relação ao modelo 6;

f' = resistência a compressão do concreto medido com cilindros padrão;

$\lambda' = \sqrt{\frac{4G}{tE}} = G$: rigidez de cisalhamento do adesivo / E : zona axial da haste roscada / t :

espessura da camada adesiva.

2.5 Pesquisas sobre o tema

A utilização de chumbadores químicos pós-instalados cresceu significativamente nos últimos anos. Recentemente, os investigadores desenvolveram equações para prever a resistência ao arrancamento desses chumbadores. Como os chumbadores quimicamente ligados resultam na falha da interface concreto/adetivo, as equações devem prever a resistência final do chumbador através das contribuições da falha do cone de concreto e da interface adesivo/concreto. Com o passar dos tempos, demonstrou-se maior interesse pela fixação química, chamando a atenção dos pesquisadores as novas tecnologias que vieram a surgir.

Em 1972, mesmo com a carência de informações, Nilson realizou diversos ensaios, concluindo, em sua pesquisa um modelo de tensão que abrange a resistência efetiva do adesivo.

Em 1984, Eligehausen, Cook e Appl, estudaram a respeito do assunto e desenvolveram um cálculo para o modelo em cone de concreto. Sendo assim, realizaram ensaios com chumbadores individuais e com pares de chumbadores, localizados nas zonas de compressão (recebendo tensões de compressão devido a forças externas) de elementos de concreto armado e reforçado.

No final da década de 80, em 1989, Doerr, Cook e Klingner investigaram sobre o desempenho dos adesivos estruturais e apuraram que, a partir de uma análise elástica, ocorre uma emissão de tensões. Sendo assim, concluíram que a análise elástica provoca estresse no concreto na mesma área onde se encontra o adesivo

Em 1993, dois pesquisadores concluíram suas teses, Cook e Marti. Primeiramente, Cook apresenta recomendações para avaliar a resistência à tração de chumbadores admitidos. As pesquisas efetuadas são responsáveis por métodos de falha a partir do embutimento observado em testes de tensão, ou seja, a falha do cone de concreto, a falha de ligação e o modo de falha de ligação de cone combinado mais comum. As atividades são baseadas em um modelo comportamental derivado da teoria elástica, modelo de falha de cone-ligação combinado que prevê a profundidade do cone, desenvolvendo um total de 280 testes.

Por sua vez, Marti com o objetivo de testar a interface dos materiais, entre concreto/adetivo e entre adesivo/aço, necessitou confeccionar protótipos para

realização da sua pesquisa. Sendo assim, elaborou expressões numéricas com o intuito de alcançar valores correspondente as interfaces dos materiais.

No ano de 1996, McVay, Cook, e Krishnamurthy, elaboraram uma tensão de ligação na qual analisa previamente a eficácia do chumbador em relação a tensão. Para conseguir isto, no entanto, os pesquisadores relataram que é necessária uma estimativa da tensão de cisalhamento média ou máxima, sendo que a mesma acontece dentro da camada de ligação adesiva e das profundidades da falha do cone de concreto. Para entender melhor o desenvolvimento de falhas para esses tipos de chumbadores, uma análise de elementos finitos de última geração foi conduzida e comparada com resultados experimentais. Além de prever a resistência ao arrancamento, as profundidades e orientações da falha do cone de concreto, a análise mostrou que a falha inicia em uma zona de tensão localizada abaixo da superfície de concreto com a interface do chumbador adesivo, e se propaga com força em direção à superfície. Tanto o material concreto quanto o adesivo se dilatam durante o processo, aumentando o confinamento e a resistência ao cisalhamento dentro da camada adesiva. Quando a zona de tensão atinge a superfície, o confinamento é perdido, resultando em uma menor resistência ao cisalhamento dentro da camada adesiva, ocorrendo a falha do chumbador.

Em 1998, Cook, Kunz, Fuchs e Konz desenvolveram mais um modelo, resultando na desconsideração do cone raso de concreto. O mesmo apresenta-se como um modelo de fácil utilização para o projeto de chumbadores adesivos individuais submetidos a forças tensionadas em concreto não fissurado. As descrições dos vários tipos de sistemas de ancoragem em adesivo estão incluídas. O desenvolvimento do modelo de design amigável inclui uma comparação entre o modelo citado e os modelos publicados anteriormente em um banco de dados, incluindo 888 testes europeus e americanos. Embora o modelo seja limitado aos chumbadores localizados longe de bordas livres, o modelo fornece a base para o desenvolvimento de critérios que respondem pelo efeito de bordas, grupos de ancoragem e outras condições de projeto.

Cook e Konz, realizaram novos testes, no ano de 2001, sendo empregados mais de 20 diferentes tipos de adesivos. Essa nova pesquisa apresenta os resultados de um abrangente programa de testes que investiga vários fatores com potencial para

influenciar a resistência da união de chumbadores adesivos à base de polímeros. Vinte produtos de 12 fabricantes foram incluídos no programa para um total de 765 testes. Para estabelecer uma força de ligação de referência, testes de linha de base foram realizados em temperatura ambiente para chumbadores instalados em furos secos e limpos. Os fatores individuais foram isolados através de uma série de testes separados que mantiveram as condições de linha de base, exceto para a variável sob consideração. As variáveis investigadas incluíam aquelas que poderiam ser previstas durante e após a instalação. Os fatores que ocorreram durante a instalação incluíam a condição do furo (por exemplo, limpo, sujo, úmido e molhado), diferenças na resistência do concreto, e diferenças no agregado do concreto. Os fatores que ocorreram após a instalação incluíam um período de cura adesiva de curto prazo e carregamento a uma temperatura elevada. Essa pesquisa demonstrou que as previsões confiáveis do desempenho do chumbador adesivo são práticas realizadas apenas por testes específicos do produto e específicos da condição.

Oliveira realizou estudos sobre aderência química entre aço e concreto, em 2003, sendo analisado o método de injeção com resina em suas pesquisas.

No ano de 2006, Eligehausen, Mallée e Silva desenvolveram refinadas pesquisas sobre ancoragem química e mecânica, sendo responsáveis por aperfeiçoar expressões para o dimensionamento de chumbadores químicos. Em seus estudos, realizaram um tratamento abrangente da tecnologia de fixação atual, utilizando pastilhas, chumbadores (chumbadores de expansão de metal, chumbador rebaixado, chumbador soldado, parafuso de concreto e chumbador plástico) além de fixadores acionados por força no concreto. Suas pesquisas descrevem em detalhes os elementos de fixação, bem como os seus efeitos e capacidades de suporte em concreto trincado e não fissurado.

Em 2014, Contrafatto e Cosenza agruparam cálculos para diferentes falhas ocasionadas a partir da força de tração nos chumbadores químicos. As forças são transferidas pelo adesivo, para a face do concreto. De acordo com Contrafatto e Cosenza, são aplicados alguns modelos numéricos para prever os mecanismos de falha e a capacidade de força das hastes rosqueadas, as quais são ancoradas quimicamente em basalto, arenito e calcário, bem como a confiabilidade de formulações teóricas concebidas para o concreto. As previsões numéricas, realizadas

por meio de software de análise estrutural de engenharia e por códigos numéricos avançados, são comparadas com os resultados de uma pesquisa experimental relacionada a chumbadores químicos em rocha sã. A profundidade mínima de embutimento para esse sistema de fixação é identificada através da pesquisa realizada.

Silva, em 2016, aperfeiçoou suas pesquisas em relação aos chumbadores químicos, os de injeção. O artigo resume um estudo laboratorial recente sobre o desempenho de dois métodos de instalação de chumbadores adesivos do tipo injeção: *the end-cap method* e *the piston plug method*. Diante de uma variedade de condições para a instalação, utilizou-se dois adesivos que foram avaliados sob o ACI 355.4-11.

Nascimento efetuou uma pesquisa em 2017, tratando de chumbadores químicos por injeção e de adesivo a base epóxi, contribuindo com diversas teorias e resultados sobre o tema. Em sua análise, abordou o assunto de ancoragem de vergalhões na prática, utilizando meios químicos para condições estruturais, os quais produzem incertezas. Questionou-se, então, o desempenho dos adesivos estruturais em comparação aos de injeção, por cada um possuir um diferente processo no momento da aplicação. A pesquisa realizada, conforme Nascimento, dispõe de um projeto experimental na qual executou-se placas de concreto com o intuito de representar os efeitos com chumbador químico de injeção e com adesivo estrutural a base epóxi nos sentidos vertical e horizontal em condições de substrato seco e úmido.

3 METODOLOGIA

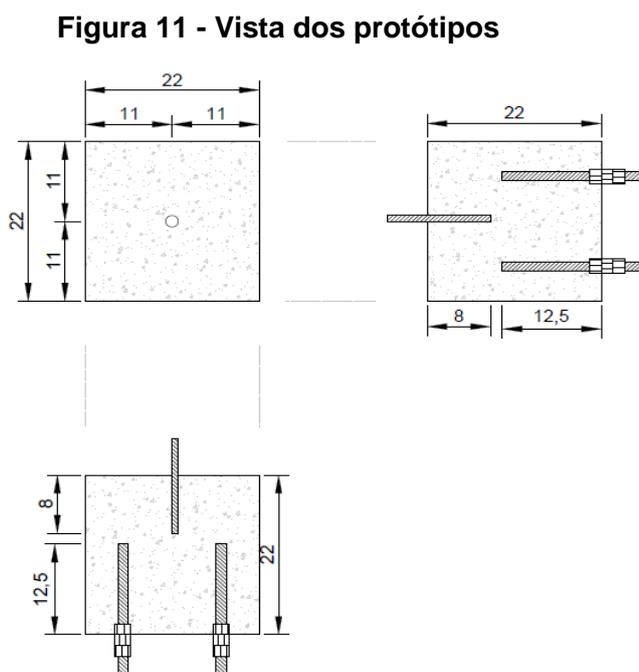
3.1 Programa experimental

3.1.1 Definição dos protótipos

O respectivo trabalho contará com 16 protótipos, com o objetivo de ensaiar a resistência do adesivo epóxi. Serão executados três tipos de concreto, de acordo com o Grupo I de resistência da NBR 8953:2015, almejando alcançar as classes de resistências C25, C35 e C45, segundo a classificação da ABNT NBR 8953:2015.

Os protótipos serão concretados e classificados em traços A, B e C. Dentre os 16 protótipos, 8 serão executados com o traço A, 4 com o B e os últimos 4 serão concretados utilizando o traço C. Após a concretagem, será executado um furo no centro de cada protótipo, ancorando uma barra rosqueada de 8 mm em 4 das amostras do traço A, e um vergalhão de 8 mm no restante das amostras, respeitando o comprimento de ancoragem de acordo com a NBR 6118:2014.

As barras serão ancoradas com a utilização de adesivo epóxi, com mistura preparada, aplicado na região do orifício, seguindo as recomendações do fabricante. Segue abaixo, na figura 11, um modelo de como serão os protótipos.



Fonte: Autor, 2019.

3.1.2 Confeção dos protótipos

3.1.2.1 Execução das fôrmas

Almejando auferir um maior número de amostragem para verificação do desempenho de ancoragens, foram executadas 8 fôrmas de compensado plastificado com espessura de 14 mm, como demonstra a figura 12, de dimensões 22 x 22 x 22 cm (comprimento x largura x altura), para realização da concretagem dos protótipos. A fim de garantir que as fôrmas não se deformassem de forma exagerada durante e após a concretagem as mesmas foram parafusadas, preservando-as na hora da desforma.

Figura 12 - Fôrma dos protótipos



Fonte: Autor, 2019.

Para a realização dos ensaios, executaram-se 4 furos na base de cada fôrma, objetivando a passagem de uma barra rosqueada de 12,5 mm em cada orifício.

Cortaram-se as barras rosqueadas com 18,5 cm, sendo 12,5 cm ancorado no concreto e 6 cm deixado de espera para colocação de porcas. Inseriu-se uma porca no lado interno e duas no lado externo da fôrma, travando, com êxito, a barra rosqueada no comprimento calculado, de acordo com a NBR 6118:2014, conforme figura 13 abaixo.

Figura 13 – Barras rosqueadas posicionadas para recebimento do concreto



Fonte: Autor, 2019.

A região onde localizam-se as esperas, na parte externa da fôrma, receberá, posteriormente, uma placa de aço, com a finalidade de fixar o protótipo e permitir o ensaio.

3.1.2.2 Concretagem dos protótipos

Para evitar qualquer interferência na resistência final do concreto, previamente à concretagem, realizou-se a preparação dos materiais utilizados, como a secagem e o peneiramento da areia e a lavagem e secagem de toda brita.

Utilizando uma betoneira pertencente ao laboratório da universidade, moldaram-se “in loco” três diferentes resistências de concreto, A, B e C, conforme a ABNT NBR 8953:2015. Os modelos seguiram uma ordem de concretagem, sendo os traços realizados de acordo com a ordem anteriormente citada. Passados 5 dias da primeira concretagem, realizou-se a desforma dos protótipos, conforme figura 14, tornando viável a reutilização das fôrmas para concretagem dos próximos dois traços.

Figura 14 - Protótipos traço A



Fonte: Autor, 2019.

Com a desforma, esperou-se dois dias e executou-se um furo no centro de cada cubo de concreto, o qual, posteriormente receberá adesivo epóxi juntamente com a barra rosqueada e/ou vergalhão. Tal procedimento se repetiu para os próximos traços, sempre seguindo o mesmo número de dias, adotando um padrão para o ensaio.

3.1.3 Materiais dos protótipos

3.1.3.1 Traço do concreto

Sendo o procedimento dividido em três traços, sendo A, B e C, para realizar o arranjo, empregou os seguintes itens listados abaixo:

- Cimento de alta resistência inicial (CPV-ARI-RS);
- Agregado miúdo areia média natural;
- Agregado graúdo de origem basáltica de tamanho 1;
- Aditivo plastificante de pega normal;
- Água cedida pela rede de abastecimento.

No concreto do traço A não se utilizou aditivo na composição, realizando-se um traço próprio para essa resistência. Com a disponibilidade do aditivo, empregou-se o mesmo para realização das outras duas resistências, sendo necessária a mudança

da concepção do traço em relação ao concreto sem aditivo. O aditivo empregado é um produto da DAF – Química em Concreto, chamado FORTMIX R100, no qual se trata de um aditivo plastificante que permite fluidez quando se deseja propriedades de maior trabalhabilidade. Os traços executados estão descritos na tabela 6.

Tabela 6 – Traço dos concretos

Traço	Cimento (kg)	Areia (kg)	Brita 1 (kg)	Fator A/C	Aditivo (g)
A	1	2,5	3,33	0,60	-
B	1	2,51	2,99	0,53	0,192
C	1	1,73	2,32	0,42	0,282

Fonte: Autor, 2019.

3.1.3.1.1 Resistência dos concretos à compressão

Realizaram-se corpos de provas (CP's) a cada betonada executada. Sendo moldados 2 corpos de prova para o C25 e 4 corpos de prova para as outras duas resistências. Os CP's foram ensaiados à compressão, após 14 dias da moldagem, em uma prensa hidráulica EMIC DL30000N no Laboratório da Universidade de Santa Cruz do Sul.

Na tabela 7 encontram-se as resistências pertencentes ao concreto do traço A, o qual apresentou resistência média de 33,78 MPa, acima do valor previsto. No momento da concretagem, verificou-se um slump elevado, portanto, necessitou-se realizar a secagem do concreto para diminuição do slump. Pelo fato de não ter adição de água no processo ocorreu o aumento da resistência.

Tabela 7 – Resistências do traço A

CP	f_c (MPa)	$f_{c,médio}$ (MPa)
1	35,00	33,78
2	32,56	

Fonte: Autor, 2019.

Na tabela 8 mostram-se as resistências do concreto do traço B, o qual apresentou resistência média de 35,28 MPa, valor dentro do esperado.

Tabela 8 – Resistências do traço B

CP	f_c (MPa)	$f_{c,médio}$ (MPa)
1	34,96	35,28
2	35,79	
3	34,75	
4	35,60	

Fonte: Autor, 2019.

As resistências dos blocos do traço C, de resistência média de 55,79 MPa, valor acima do previsto, estão presentes na tabela 9. O mesmo ocorrido em A, ocorreu em C, que possuía um slump elevado, necessitando de secagem e, conseqüentemente, elevando o valor da resistência.

Tabela 9 – Resistências do traço C

CP	f_c (MPa)	$f_{c,médio}$ (MPa)
1	54,48	55,80
2	56,15	
3	56,38	
4	56,17	

Fonte: Autor, 2019.

3.1.3.2 Material ancorado no protótipo

Como citado acima, no item 3.1.2.1, fixaram-se quatro barras rosqueadas de bitola 12,5 mm, utilizando uma porca na parte externa e outra na parte interna da fôrma, locadas na região inferior de cada fôrma. As barras foram executadas com 18,5 cm, sendo 12,5 cm ancorado no concreto e 6 cm deixado de espera para fixação da placa de aço, para o posterior ensaio. A barra rosqueada e a porca utilizada apresentam-se, na figura 15, abaixo.

Figura 15 - Barra rosqueada com a porca



Fonte: Autor, 2019.

Todas as barras possuem o mesmo comprimento de 33 cm, 8 cm ancora-se no concreto, com a realização de um orifício e a colocação de adesivo epóxi, e 25 cm deixa-se de espera possibilitando o engaste no aparelho de ensaio. As barras utilizadas apresentam-se listadas abaixo:

- Concreto A: 4 barras rosqueadas Ø8 mm
4 vergalhões Ø8 mm
- Concreto B: 4 vergalhões Ø8 mm
- Concreto C: 4 vergalhões Ø8 mm

A figura 16 retrata as barras rosqueadas e os vergalhões de Ø8 mm utilizados.

Figura 16 - Barras rosqueadas e vergalhões de Ø8mm utilizadas



Fonte: Autor, 2019.

3.1.3.2.1 Resistências das barras rosqueadas e vergalhões

Para conhecer a real resistência ao escoamento dos vergalhões e das barras rosqueadas, realizaram-se ensaios com as peças. Dessa forma, cortaram-se as barras em 3 pedaços, cada um com 30 cm. Auferindo maior precisão aos resultados, os materiais ensaiados necessitaram ser do lote ancorado nos blocos.

As tabelas 10 e 11 apresentam as médias das resistências encontradas nos ensaios das barras rosqueadas e dos vergalhões.

Tabela 10 – Média das forças de ruptura das barras rosqueadas

CP	Força de ruptura (kN)	Média das forças de ruptura (kN)
1	17,79	17,73
2	17,86	
3	17,55	

Fonte: Autor, 2019.

Tabela 11 – Média das forças de ruptura dos vergalhões

CP	Força de ruptura (kN)	Média das forças de ruptura (kN)
1	35,13	35,38
2	35,35	
3	35,67	

Fonte: Autor, 2019.

Analisando a figura 17, observa-se o escoamento ocorrido na barra rosqueada e no vergalhão finalizando o ensaio.

Figura 17 - Escoamento dos materiais ancorados

Fonte: Autor, 2019.

3.1.3.3 Adesivo epóxi utilizado

Mesmo diante de uma grande variedade de adesivos no mercado, optou-se por utilizar o tecbond MF quartzolit, devido ao produto estar presente nas construções dos dias de hoje. O material, de acordo com a Weber (2019), é um adesivo estrutural de média fluidez, constituído por dois componentes, com alta aderência e de simples aplicação. O produto contém o elemento “A” e o elemento “B”, sendo necessária a homogeneização entre ambos para a posterior aplicação, como explicado no item 2.3.1.3 do presente trabalho.

Segue abaixo, na figura 18, o adesivo estrutural utilizado.

Figura 18 - Adesivo estrutural utilizado



Fonte: Autor, 2019.

3.1.4 Equipamentos utilizados

Com a intenção de ensaiar os protótipos e os corpos de prova do referido trabalho utilizou-se certos equipamentos presentes no Laboratório de Estruturas da Universidade de Santa Cruz do Sul.

- a) Prensa de compressão: Empregou-se a prensa de compressão EMIC PC200CS para determinar a resistência à compressão dos corpos de prova de formato cilíndrico. A prensa possui uma capacidade máxima de 200 tf. O equipamento apresenta um software, chamado TESC, que realiza as medições. Para garantir veracidade aos resultados, o software conta com um programa desenvolvido para dar maior confiabilidade aos mesmos. A prensa possui uma precisão classificada em Classe 1, de acordo com a NM ISO 7500. A seguir, a figura 19 retrata a prensa de compressão.

Figura 19 - Prensa de compressão



Fonte: Autor, 2019.

- b) Máquina Universal: Para realização do ensaio à tração, utilizou-se a Máquina Universal de Série 23, pertencente a marca EMIC. Esse maquinário possui uma capacidade máxima de tração de 300 kN. A figura 20 apresenta o equipamento descrito.

Figura 20 - Máquina Universal



Fonte: Autor, 2019.

- c) Furadeira industrial: Para realização dos furos dos protótipos necessitou-se de uma furadeira industrial, buscando facilidade e praticidade na execução. A ferramenta, pertencente ao laboratório, é do modelo BOSCH GBH 2-24 D Professional. Abaixo segue a figura 21, representando o equipamento descrito.

Figura 21 – Furadeira industrial utilizada



Fonte: Autor, 2019.

- d) Pistola de ar comprimido: Pensando na limpeza dos orifícios após a furação, utilizou-se uma pistola de ar comprimido, embutida na Máquina Universal, de fácil manuseio e de alta pressão no lançamento do ar comprimido. Segue abaixo, na figura 22, a imagem da pistola.

Figura 22 - Pistola de ar comprimido



Fonte: Autor, 2019.

3.1.5 Instalação dos chumbadores químicos

Para dar início à elaboração dos ensaios, necessitou-se, primeiramente, furar o bloco, para aplicação do chumbador químico e posterior colocação das barras ancoradas. Realizou-se, então, uma primeira marcação na região inferior do bloco, verificando a localização do centro em relação as quatro barras rosqueadas previamente ancoradas, conforme figura 23. Localizando o centro das barras ancoradas, as medidas foram transportadas para a região superior do protótipo, de acordo com a figura 24, desprezando qualquer chance de excentricidade em relação à força de tração a ser aplicada.

Figura 23 - Centro em relação as barras rosqueadas previamente ancoradas



Fonte: Autor, 2019.

Figura 24 - Centro transportado para a face superior do cubo



Fonte: Autor, 2019.

Com uma furadeira industrial, os furos nos protótipos foram executados, usufruindo de uma broca com diâmetro acima da barra ancorada no molde. A barra a ser ancorada no cubo possui diâmetro de $\varnothing 8$ mm, desta forma, para os furos utilizou-se uma broca de $\varnothing 10$ mm, permitindo, assim, a inserção do adesivo estrutural e do elemento a ser ancorado. Após a realização do furo, limpavam os orifícios, com a pistola de ar comprimido, para total aderência do adesivo com o concreto. Retrata-se o procedimento nas figuras 25 e 26, abaixo.

Figura 25 - Realização do furo



Fonte: Autor, 2019.

Figura 26 - Limpeza do furo



Fonte: Autor, 2019.

Com a furação e a limpeza dos protótipos finalizada, iniciou-se a preparação das misturas dos componentes A e B do adesivo estrutural.

Após a realização da mistura dos componentes, há um curto tempo para sua aplicação, uma vez que o período de endurecimento do produto é breve, dificultando a aplicação do adesivo. Para não ocorrer o endurecimento, analisou-se as proporções registradas nas embalagens e reduziram-se as doses das misturas, sendo pesadas 160g do componente A e 40g do componente B. Essa dosagem permite a aplicação do adesivo estrutural em 8 orifícios, sendo assim, para preencher todos os furos foram executadas duas misturas.

A mistura dos dois componentes ocorreu em um recipiente metálico, permitindo a mescla para tornar-se uma mistura homogênea. Com o adesivo estrutural misturado, aproximou-se do orifício e, com o auxílio da gravidade, aplicou-se o produto no local desejado. Após a aplicação do adesivo, introduziu-se a peça a ser ancorada.

A figura 27 apresenta o método de aplicação.

Figura 27 - Aplicação do adesivo estrutural através da gravidade



Fonte: Autor, 2019.

3.1.6 Ensaio dos protótipos

Os testes à tração e à compressão são realizados dois dias após a aplicação do adesivo estrutural e a colocação das barras ancoradas, tempo previsto para a secagem do adesivo. O ensaio à compressão testou apenas os corpos de provas cilíndricos, a fim de encontrar a real resistência dos protótipos cúbicos. No ensaio à tração, os moldes cúbicos necessitaram de suportes especiais, sendo assim, empregou-se uma estrutura já existente no laboratório da Universidade. É

indispensável a utilização do suporte para a transmissão das forças entre a barra ancorada, o adesivo e o concreto, a fim de não afetar os resultados finais. Para engastar a barra ancorada no equipamento de ensaio usufruiu-se da região superior da máquina, onde é possível fixar a barra. As figuras 28, 29 e 30, retratam os suportes antes e depois da instalação.

Figura 28 - Suporte inferior



Fonte: Autor, 2019.

Figura 29 - Suporte inferior instalado



Fonte: Autor, 2019.

Figura 30 - Bloco fixado com suportes inferior e superior instalados



Fonte: Autor, 2019.

A cada protótipo ensaiado trocou-se o suporte inferior. Instalando o bloco no equipamento, utilizou-se um software, pertencente ao laboratório, que, ao final de cada ensaio, apresentava o valor da tensão correspondente ao protótipo analisado.

3.2 Programa teórico

3.2.1 Método para verificação dos cálculos teóricos

Neste item serão abordados os métodos abordados para a elaboração dos cálculos, a partir dos valores das forças obtidas pela ruptura do concreto nos experimentos.

Sendo assim, serão seguidos os métodos do ACI 318:2014, método de McVay, Cook e Krishnamurthy (1996), o método de Cook, Kunz, Fuchs e Konz (1998), os métodos de Cook (1993), o método de Marti (1993) e o método de Eligehausen, Cook e Appl (1984). Nas seções 2.2.3.2 e 2.4 deste trabalho, descrevem-se os modelos citados acima.

Tratando do método de cálculo do ACI 318:2014 abordou-se o cálculo da resistência ao arrancamento para uma ancoragem realizada com chumbador adesivo, sujeito a um esforço de tração. Com a finalidade de enfatizar a pesquisa, considerase somente os coeficientes e as resoluções de cálculos de acordo com o presente

trabalho. Sendo estudado um único chumbador químico por protótipo, cujas equações localizam-se na seção 2.2.3.2.1, o mesmo não possui nenhuma ação proveniente da excentricidade de forças. A área dos blocos determinou-se através de suas dimensões, 22 cm x 22 cm.

Para a elaboração dos outros 6 modelos, construiu-se análises a partir das informações apresentadas na seção 2.4.

4 RESULTADOS

4.1 Procedimento experimental

Nesta seção serão abordados os resultados referentes aos ensaios dos materiais empregados na pesquisa, tratando dos ensaios com chumbadores químicos, aço e concreto e apresentando os valores das forças e os modos de ruptura.

4.2 Chumbadores químicos

4.2.1 Grupo A

Os cubos com resistência de 33,78 Mpa foram separados em dois tipos, os 4 primeiros ancorados com barras rosqueadas e os 4 seguintes com vergalhões. Em relação ao ensaio, utilizou-se um software, pertencente ao equipamento utilizado, que forneceu um gráfico em relação ao carregamento aplicado, buscando verificar o comportamento do modelo de ancoragem. Na figura 31, abaixo, observa-se um vergalhão ancorado no cubo e posicionado no equipamento de ensaio.

Figura 31 – Ensaio do cubo do grupo A



Fonte: Autor, 2019.

Nos quatro ensaios dos blocos que receberam as barras rosqueadas, ocorreu o escoamento da barra antes do fendilhamento do concreto, conforme retratado na

figura acima. Em relação aos quatro protótipos ancorados com vergalhões, aconteceu o fendilhamento do concreto em três ensaios, de acordo com o esperado, e o escoamento da barra em um. A figura 32 demonstra o fendilhamento de um dos blocos.

Figura 32 - Escoamento da barra rosqueada



Fonte: Autor, 2019.

Figura 33 - Fendilhamento do concreto



Fonte: Autor, 2019.

Na tabela 12 apresenta-se os valores das forças de ruptura referente aos cubos de resistência 33,78 MPa, nos quais foram ancoradas as barras rosqueadas e os vergalhões.

Tabela 12 – Forças de ruptura para o grupo A

Material ancorado	Bloco	Força de ruptura (kN)	Força média de ruptura (kN)	Modo de ruptura
Barra rosqueada	B1	17,20	17,20	EB
	B2	17,04		EB
	B3	17,50		EB
	B4	17,07		EB
Vergalhão	B5	32,59	32,88	FC
	B6	31,80		FC
	B7	34,17		EB
	B8	32,96		FC

Fonte: Autor, 2019.

Sendo o modo de ruptura definido por:

EB – Ruptura pelo escoamento da barra;

FC – Ruptura pelo fendilhamento do concreto.

Os gráficos de Força x Deformação, gerados pelo sistema do equipamento utilizado para ensaio, disponibilizam-se em anexo ao final da pesquisa, viabilizando o entendimento do carregamento aplicado.

4.2.2 Grupo B

Para o concreto de resistência de 35,28 MPa executaram-se 4 moldes, ancorados com vergalhões. Dos 4 protótipos ensaiados, apenas um, o bloco B9, rompeu por fendilhamento do concreto, os outros sofreram o escoamento da barra. Abaixo apresenta-se uma figura do bloco fendilhado.

Figura 34 - Fendilhamento do bloco B9

Fonte: Autor, 2019.

As forças de ruptura provenientes dos ensaios nos blocos de concreto 35,28 MPa constam na tabela 13.

Tabela 13 – Forças de ruptura para o grupo B

Material ancorado	Bloco	Força de ruptura (kN)	Força média de ruptura (kN)	Modo de ruptura
Vergalhão	B9	34,30	34,73	FC
	B10	34,47		EB
	B11	35,06		EB
	B12	35,12		EB

Fonte: Autor, 2019.

Sendo o modo de ruptura definido por:

EB – Ruptura pelo escoamento da barra;

FC – Ruptura pelo fendilhamento do concreto.

Ao final da pesquisa, em anexos, serão apresentados os gráficos Força x Deformação para facilitar compreensão em relação ao carregamento aplicado no ensaio.

4.2.3 Grupo C

O concreto de resistência de 55,80 MPa, se iguala ao processo de ensaio do concreto de 35,28 MPa, sendo 4 cubos moldados com um vergalhão ancorado em cada. Porém, em nenhum dos cubos ensaiados ocorreu o fendilhamento do concreto, todos romperam por escoamento dos vergalhões. Segue a figura 35, referente ao escoamento do vergalhão após o ensaio.

Figura 35 - Escoamento do vergalhão



Fonte: Autor, 2019.

Na tabela 14 abaixo, apresenta-se as forças de ruptura decorrentes dos ensaios realizados.

Tabela 14 – Forças de ruptura para o grupo C

Material ancorado	Bloco	Força de ruptura (kN)	Força média de ruptura (kN)	Modo de ruptura
Vergalhão	B13	33,92	34,35	EB
	B14	33,86		EB
	B15	34,93		EB
	B16	34,70		EB

Fonte: Autor, 2019.

Sendo o modo de ruptura definido por:

EB – Ruptura pelo escoamento da barra;

FC – Ruptura pelo fendilhamento do concreto.

Ao final da pesquisa estão anexados os gráficos Força x Deformação, referentes aos carregamentos aplicados, facilitando o entendimento dos cubos ensaiados.

4.3 Procedimento teórico

Neste capítulo, serão abordados os resultados referentes as comparações entre os métodos estudados e as forças de ruptura (P) obtidas experimentalmente.

Salientando que todos os cubos do grupo C romperam todos pelo escoamento da barra, prejudicando os resultados das comparações pertencentes a essa classe de resistência.

4.3.1 Método ACI 318:2014

O método ACI 318:2014 apresenta resultados superiores quando comparados aos ensaios experimentais, enquanto que os outros métodos contêm resultados mais próximos ao experimental. Os resultados obtidos através da comparação entre tal método e os ensaios experimentais apresentam-se na tabela 15.

Tabela 15 – Comparação entre resultados obtidos experimentalmente e pelo método ACI 318:2014

Cubos	$f_{c,médio}$ (MPa)	$P_{experimental}$ (kN)	$P_{ACI\ 318:2014}$ (kN)
A	33,78	32,88	38,08
B	35,28	34,73	38,91
C	55,80	34,35	48,94

Fonte: Autor, 2019.

Sendo:

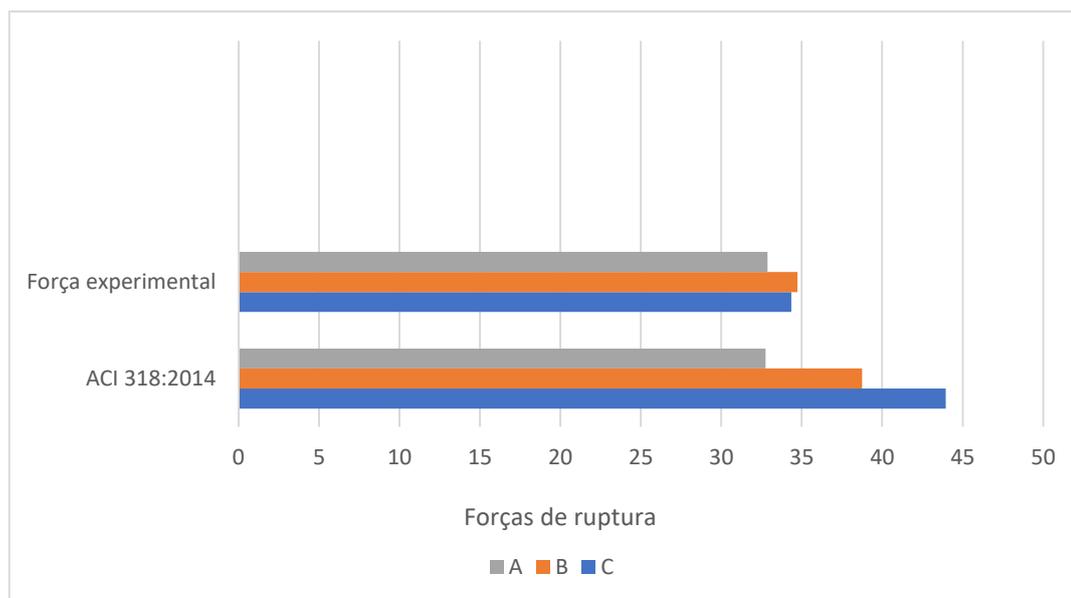
$f_{c,médio}$ = resistência à compressão do concreto;

$P_{experimental}$ = força de ruptura obtida experimentalmente;

$P_{ACI\ 318:2014}$ = força de ruptura obtida pelo método teórico.

Almejando melhorar a compreensão das divergências entre as forças de ruptura obtidas experimentalmente e teoricamente elaborou-se o gráfico 1, em função das forças de ruptura x método de cálculo teórico e experimental, apresentado abaixo.

Gráfico 1 - Comparação entre forças de ruptura obtidas experimentalmente e o método teórico da ACI 318:2014



Fonte: Autor, 2019.

4.3.2 Método de McVay, Cook e Krishnamurthy

De acordo com a tabela 16, o método de McVay, Cook e Krishnamurthy apresentam resultados bem abaixo dos encontrados experimentalmente.

Tabela 16 – Comparação entre resultados obtidos experimentalmente e pelo método de McVay, Cook e Krishnamurthy

Cubos	$f_{c,médio}$ (MPa)	$P_{experimental}$ (kN)	$P_{McVay et al.}$ (kN)
A	33,78	32,88	7,53
B	35,28	34,73	7,75
C	55,80	34,35	10,53

Fonte: Autor, 2019.

Sendo:

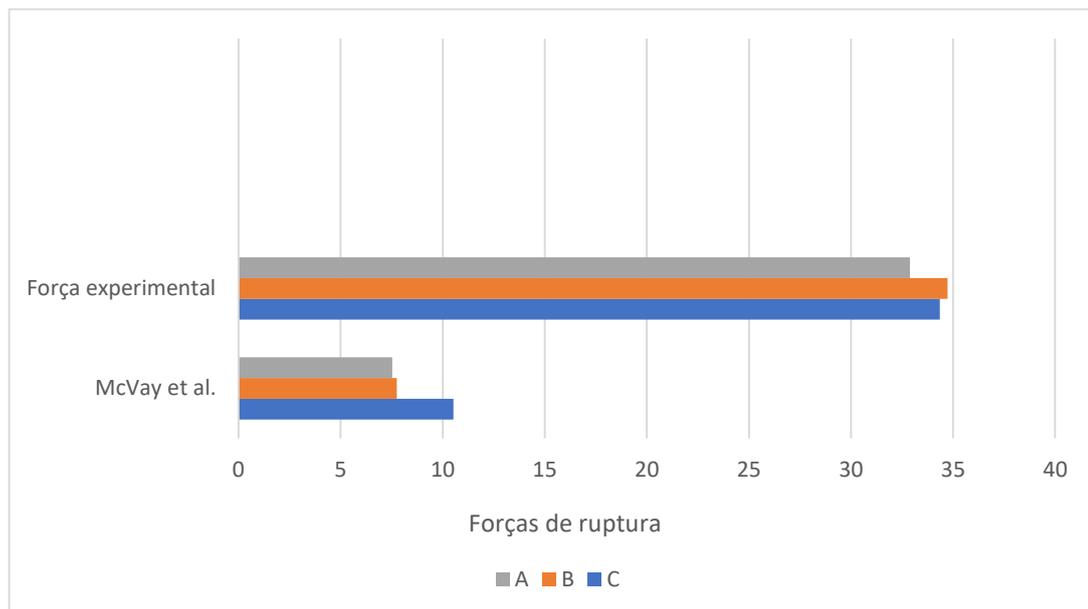
$f_{c,médio}$ = resistência à compressão do concreto;

$P_{experimental}$ = força de ruptura obtida experimentalmente;

$P_{McVay \text{ et al.}}$ = força de ruptura obtida pelo método teórico.

Para facilitar o entendimento do processo de comparação entre as forças de ruptura obtidas experimentalmente e teoricamente, optou-se pela elaboração de um gráfico. Abaixo segue o gráfico 2 em função das forças de ruptura x método de cálculo teórico e experimental.

Gráfico 2 - Comparação entre forças de ruptura obtidas experimentalmente e o método teórico de McVay, Cook e Krishnamurthy



Fonte: Autor, 2019.

4.3.3 Método de Cook, Kunz, Fuchs e Konz

Na tabela 17 apresentam-se os resultados do método de Cook, Kunz, Fuchs e Konz, sendo os valores mais distantes em relação aos experimentais e aos outros métodos.

Tabela 17 – Comparação entre resultados obtidos experimentalmente e pelo método de Cook, Kunz, Fuchs e Konz

Cubos	$f_{c,médio}$ (MPa)	$P_{experimental}$ (kN)	$P_{Cook et al.}$ (kN)
A	33,78	32,88	4,71
B	35,28	34,73	4,84
C	55,80	34,35	6,58

Fonte: Autor, 2019.

Sendo:

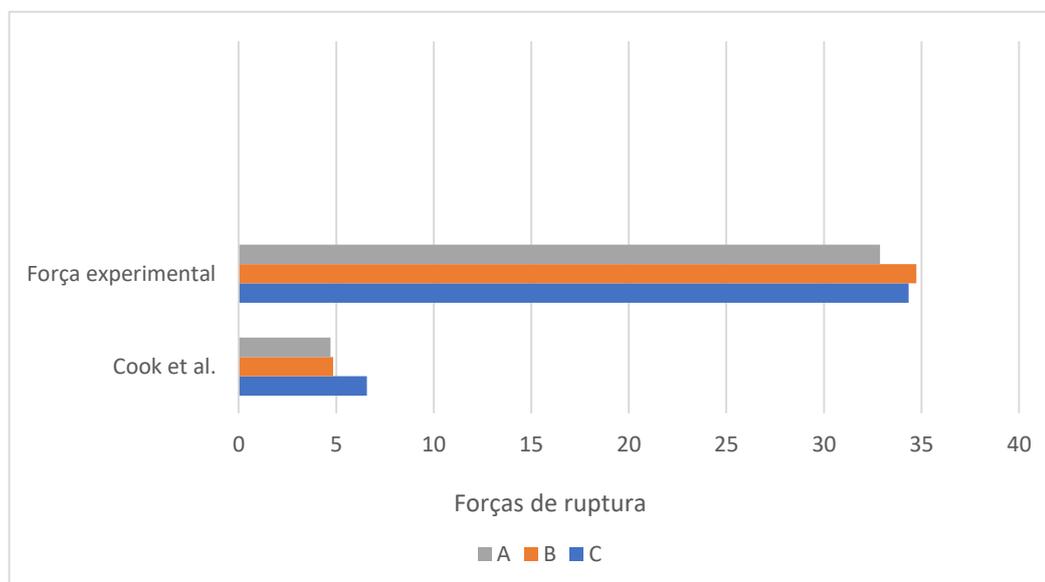
$f_{c,médio}$ = resistência à compressão do concreto;

$P_{experimental}$ = força de ruptura obtida experimentalmente;

$P_{Cook et al.}$ = força de ruptura obtida pelo método teórico.

Buscando ampliar o entendimento da comparação entre as forças de ruptura geradas experimentalmente e teoricamente executou-se o gráfico 3, em função das forças de ruptura x método de cálculo teórico e experimental, apresentado a seguir.

Gráfico 3 - Comparação entre forças de ruptura obtidas experimentalmente e o método teórico de Cook, Kunz, Fuchs e Konz



Fonte: Autor, 2019.

4.3.4 Método de Cook

Como descrito no item 2.4 da presente pesquisa, Cook (1993) desenvolveu dois modelos de cone de concreto combinados, o modelo de ligação uniforme e o modelo de ligação elástica.

Para a elaboração das tensões uniformes de aderência, presente nos cálculos dos métodos de Cook (1993), utilizou-se o cálculo f_{bd} da NBR 6118:2014, cuja equação se encontra descrita no item 2.2.2 do trabalho.

4.3.4.1 Modelo de ligação uniforme

O modelo de ligação uniforme do Cook (1993), apresentam os valores de ruptura mais distantes em relação aos ensaios realizados experimentalmente, como observado na tabela 18.

Tabela 18 – Comparação entre resultados obtidos experimentalmente e pelo modelo de ligação uniforme (método de Cook)

Cubos	$f_{c,médio}$ (MPa)	$P_{experimental}$ (kN)	$P_{ligação\ uniforme}$ (kN)
A	33,78	32,88	41,76
B	35,28	34,73	42,73
C	55,80	34,35	54,51

Fonte: Autor, 2019.

Sendo:

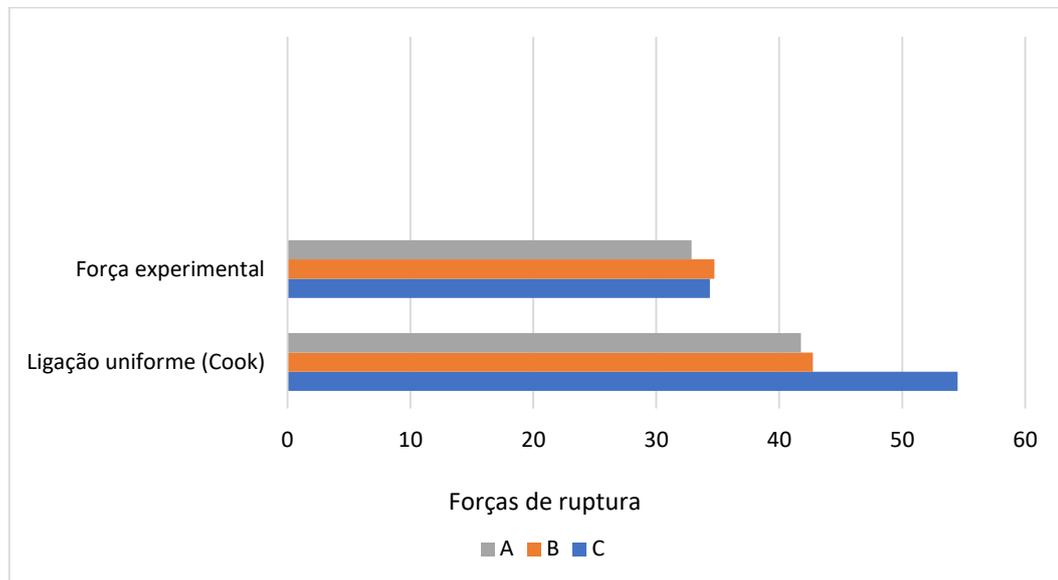
$f_{c,médio}$ = resistência à compressão do concreto;

$P_{experimental}$ = força de ruptura obtida experimentalmente;

$P_{ligação\ uniforme}$ = força de ruptura obtida pelo método teórico.

Objetivando auxiliar no entendimento do comparativo entre as forças de ruptura x método de cálculo teórico e experimental realizou-se o gráfico 4, em função das forças de ruptura x método de cálculo teórico e experimental, apresentado a seguir.

Gráfico 4 - Comparação entre forças de ruptura obtidas experimentalmente e o método teórico de ligação uniforme



Fonte: Autor, 2019.

4.3.4.2 Modelo de ligação elástica

O modelo de ligação elástica do Cook (1993), apresenta os resultados mais próximos se comparados aos resultados encontrados no método de Eligehausen, Cook e Appl (1984), porém os resultados obtidos pelo método de Cook possuem uma força de ruptura final parcialmente superior. A tabela 19 apresenta a comparação entre os resultados obtidos experimentalmente e através do método.

Tabela 19 – Comparação entre resultados obtidos experimentalmente e pelo modelo de ligação elástica (método de Cook)

Cubos	$f_{c,médio}$ (MPa)	$P_{experimental}$ (kN)	$P_{ligação\ elástica}$ (kN)
A	33,78	32,88	34,39
B	35,28	34,73	35,15
C	55,80	34,35	44,22

Fonte: Autor, 2019.

Sendo:

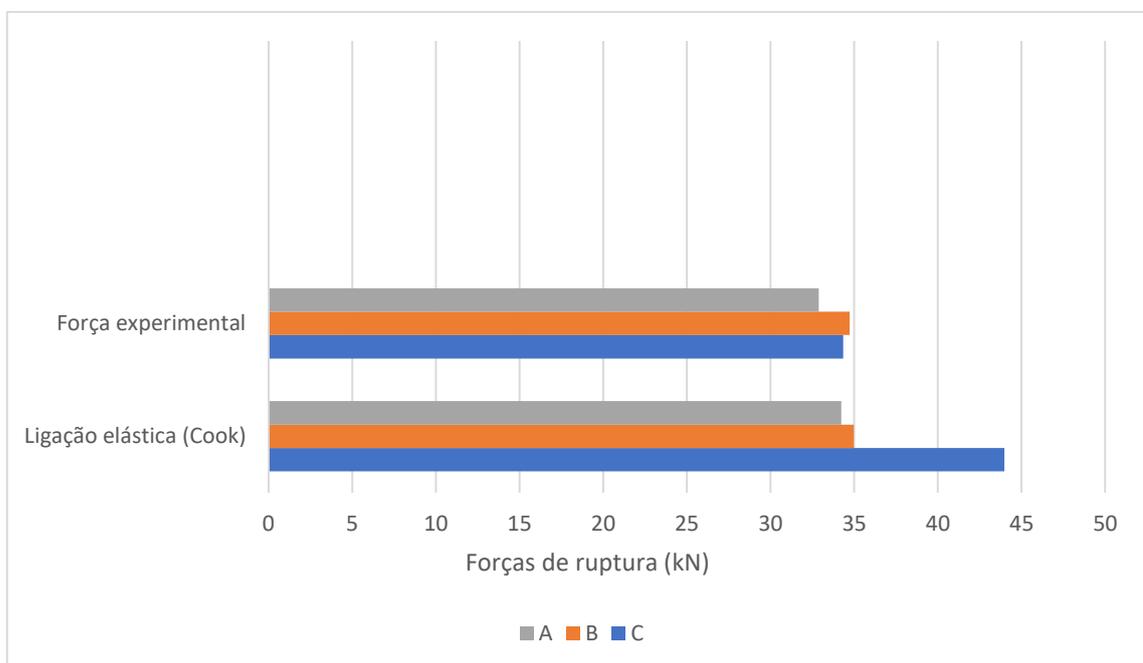
$f_{c,médio}$ = resistência à compressão do concreto;

$P_{experimental}$ = força de ruptura obtida experimentalmente;

$P_{\text{ligação elástica}}$ = força de ruptura obtida pelo método teórico.

Desejando melhorar a compreensão das divergências entre as forças de ruptura geradas experimentalmente e teoricamente construiu-se o gráfico 5, em função das forças de ruptura x método de cálculo teórico e experimental, apresentado abaixo.

Gráfico 5 - Comparação entre forças de ruptura obtidas experimentalmente e o método teórico de ligação elástica



Fonte: Autor, 2019.

4.3.5 Método de Marti

De acordo com a tabela 20, o método de Marti apresenta resultados bem inferiores aos valores encontrados experimentalmente.

Tabela 20 – Comparação entre resultados obtidos experimentalmente e pelo método de Marti

Cubos	$f_{c,médio}$ (MPa)	$P_{experimental}$ (kN)	P_{Marti} (kN)
A	33,78	32,88	7,53
B	35,28	34,73	7,76
C	55,80	34,35	10,53

Fonte: Autor, 2019.

Sendo:

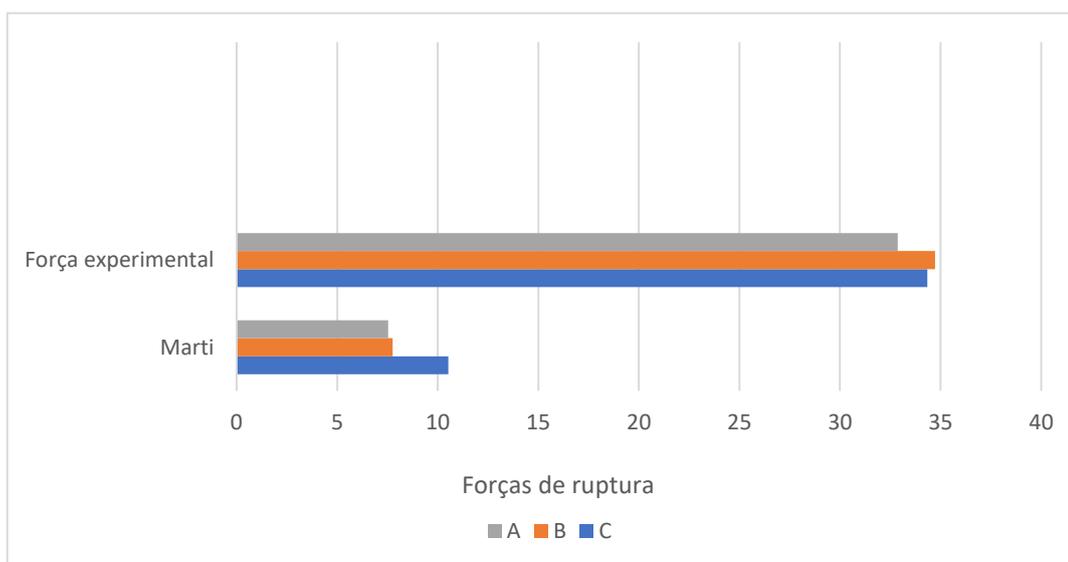
$f_{c,médio}$ = resistência à compressão do concreto;

$P_{experimental}$ = força de ruptura obtida experimentalmente;

P_{Marti} = força de ruptura obtida pelo método teórico.

Para contribuir com a compreensão do processo de comparação entre as forças de ruptura produzidas experimentalmente e teoricamente determinou-se pela elaboração de um gráfico. Abaixo segue o gráfico 6, em função das forças de ruptura x método de cálculo teórico e experimental.

Gráfico 6 - Comparação entre forças de ruptura obtidas experimentalmente e o método teórico de Marti



Fonte: Autor, 2019.

4.3.6 Método de Eligehausen, Cook e Appl

De acordo com a tabela 21, o método de Eligehausen, Cook e Appl apresentam os resultados mais próximos aos valores encontrados experimentalmente, comparando o mesmo com os outros métodos.

Tabela 21 – Comparação entre resultados obtidos experimentalmente e pelo método de Eligehausen, Cook e Appl

Cubos	$f_{c,médio}$ (MPa)	$P_{experimental}$ (kN)	$P_{Eligehausen et al.}$ (kN)
A	33,78	32,88	34,22
B	35,28	34,73	34,97
C	55,80	34,35	43,98

Fonte: Autor, 2019.

Sendo:

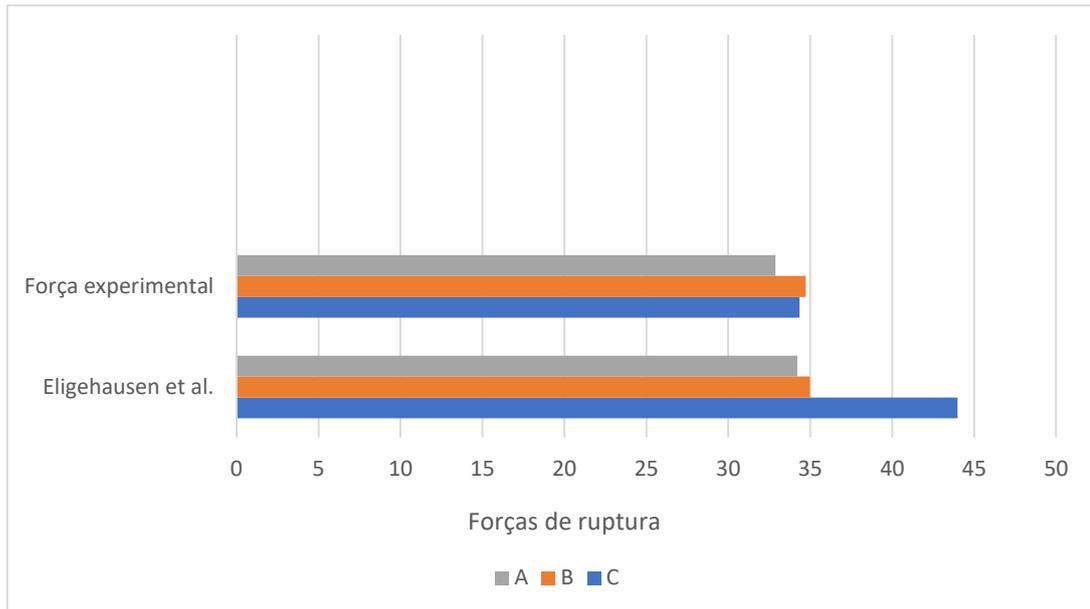
$f_{c,médio}$ = resistência à compressão do concreto;

$P_{experimental}$ = força de ruptura obtida experimentalmente;

$P_{Eligehausen et al.}$ = força de ruptura obtida pelo método teórico.

Aspirando favorecer o entendimento das divergências entre as forças de ruptura geradas experimentalmente e teoricamente desenvolveu-se o gráfico 7, em função das forças de ruptura x método de cálculo teórico e experimental, apresentado abaixo.

Gráfico 7 - Comparação entre forças de ruptura obtidas experimentalmente e o método teórico de Eligehausen, Cook e Appl



Fonte: Autor, 2019.

5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

5.1. Modelos de ruptura

Com o término dos ensaios foram averiguados dois modelos de ruptura, a ruptura pelo escoamento da barra ancorada e a ruptura por fendilhamento do bloco.

Os blocos no qual apresentavam as barras rosqueadas ancoradas foram desprezados, levando em conta que todas sofreram a ruptura pelo escoamento da barra, como mostram as tabelas 10 e 12, sendo comparadas, apresentam uma força de ruptura semelhante.

A ruptura por fendilhamento do concreto ocorreu em três blocos do grupo A, o B5, o B6 e o B8, e em um bloco do grupo B, o B9, como mostra a figura 36. A ruptura pelo escoamento da barra ocorreu em cinco das amostras do grupo A, em 3 blocos do grupo B e em todos blocos do grupo C.

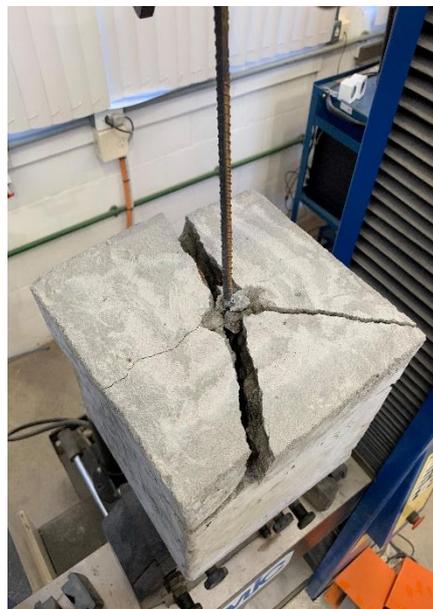
Figura 36 - Blocos com ruptura por fendilhamento do concreto

B5 - Grupo A



B6 - Grupo A



B8 - Grupo A*B9 - Grupo B*

Fonte: Autor, 2019.

A ruptura por tração da barra ancorada se dá a partir do escoamento da mesma, comprova-se a resistência das barras nas tabelas 11 e 12, limitando o ensaio a essa quantia de força.

No caso da ruptura por fendilhamento, a mesma pode ter sido originada a partir da geometria quadrada da superfície do bloco.

5.2. Análise entre o modelo experimental e teórico

A obtenção dos resultados possibilitou a comparação das forças de ruptura alcançadas através dos ensaios experimentais com a força de ruptura estimada através dos métodos de cálculo. Para encontrar a porcentagem entre os modelos teóricos e os experimentais, dividiu-se a força teórica estimada, encontrada pela metodologia, pela força alcançada através dos ensaios experimentais, sendo multiplicada 100 vezes para alcançar a porcentagem e permitir o confronto entre os modelos. Nas tabelas 22, 23 e 24 apresentam-se as comparações entre os modelos citados.

Tabela 22 - Comparação entre resultados experimentais e teóricos do grupo A

Método	$P_{médio}$ (kN)	Diferença entre experimental e teórico (%)
Experimental	32,88	0
ACI 318	38,08	15,82
McVay et al.	7,53	-77,10
Cook et al.	4,71	-85,68
Ligação uniforme (Cook)	41,76	27,01
Ligação elástica (Cook)	34,39	4,59
Marti	7,53	-77,10
Eligehausen et al.	34,22	4,08

Fonte: Autor, 2019.

Tabela 23 - Comparação entre resultados experimentais e teóricos do grupo B

Método	$P_{médio}$ (kN)	Diferença entre experimental e teórico (%)
Experimental	34,73	0,00
ACI 318	38,91	12,04
McVay et al.	7,75	-77,68
Cook et al.	4,84	-86,06
Ligação uniforme (Cook)	42,73	23,03
Ligação elástica (Cook)	35,15	1,21
Marti	7,76	-77,66
Eligehausen et al.	34,97	0,69

Fonte: Autor, 2019.

Tabela 24 - Comparação entre resultados experimentais e teóricos do grupo C

Método	$P_{médio}$ (kN)	Diferença entre experimental e teórico (%)
Experimental	34,35	0,00
ACI 318	48,94	42,47
McVay et al.	10,53	-69,34
Cook et al.	6,58	-80,84
Ligação uniforme (Cook)	54,51	58,69
Ligação elástica (Cook)	44,22	28,73
Marti	10,53	-69,34
Eligehausen et al.	43,98	28,03

Fonte: Autor, 2019.

Sendo:

$P_{médio}$ = força média de ruptura estimada.

Em relação ao método do ACI 318:2014, os resultados encontrados são relativamente distantes dos modelos experimentais, nos quais os grupos A e B apresentaram resultados maiores que no ensaio experimental, 15,82% e 12,04%, respectivamente. O grupo C resultou uma percentagem elevada, 48,94% a mais que o método de cálculo.

No método de McVay, Cook e Krishnamurthy, propõe-se um modelo de força de arrancamento relacionado à tensão de ligação uniforme, entretanto, com o estudo abordado na presente pesquisa, observou-se que o modelo está bem abaixo do abordado experimentalmente, com percentagens de 77,10% no grupo A, 77,68% no grupo B e 69,34% no grupo C, todas abaixo do encontrado através dos ensaios.

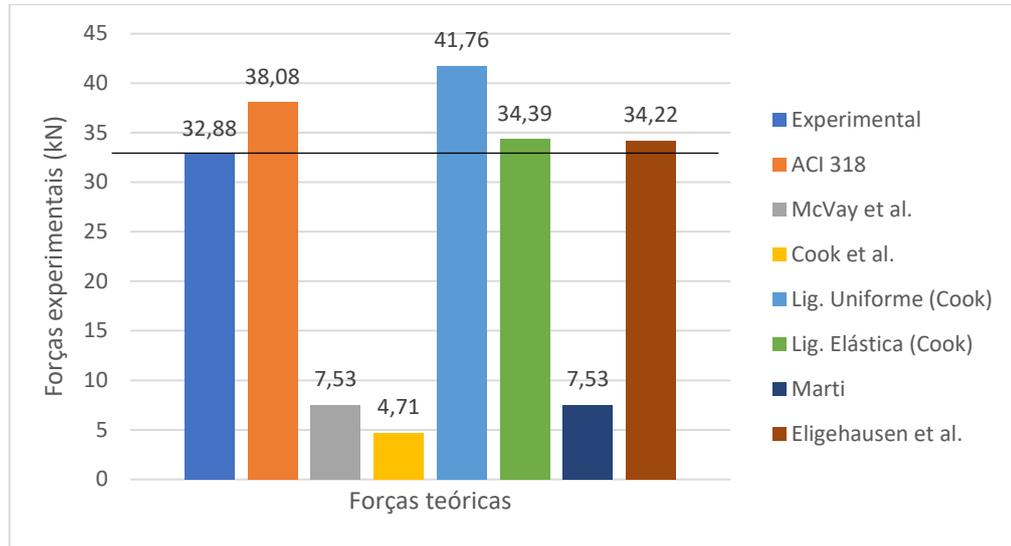
Considerando-se o cone raso de concreto, o método de Cook, Kunz, Fuchs e Konz se tornou o mais distante deste trabalho. Com a utilização de tal metodologia encontraram-se valores mais de 80% abaixo dos encontrados experimentalmente, sendo para o grupo A 85,68%, para o grupo B 86,06% e para o grupo C 80,84%. Diante disso, percebe-se a imensa diferença entre o método estudado e o obtido experimentalmente, resultando em um método inaplicável para obtenção de resultados satisfatórios.

Cook desenvolveu dois modelos, um de ligação uniforme e outro de ligação elástica. O primeiro apresenta os resultados mais elevados em relação aos modelos analisados neste trabalho, sendo 27,01% no grupo A, 23,03% no grupo B e 58,69% no grupo C. Portanto, acarreta em um modelo superdimensionado em relação ao experimental. O segundo apresenta uma amostra de cone aplicada a um modelo de ligação elástica, resultando em porcentagens satisfatórias e próximas ao obtido experimentalmente, com porcentagens de 4,59% para o grupo A, 1,21% para o grupo B e 28,73% para o grupo C.

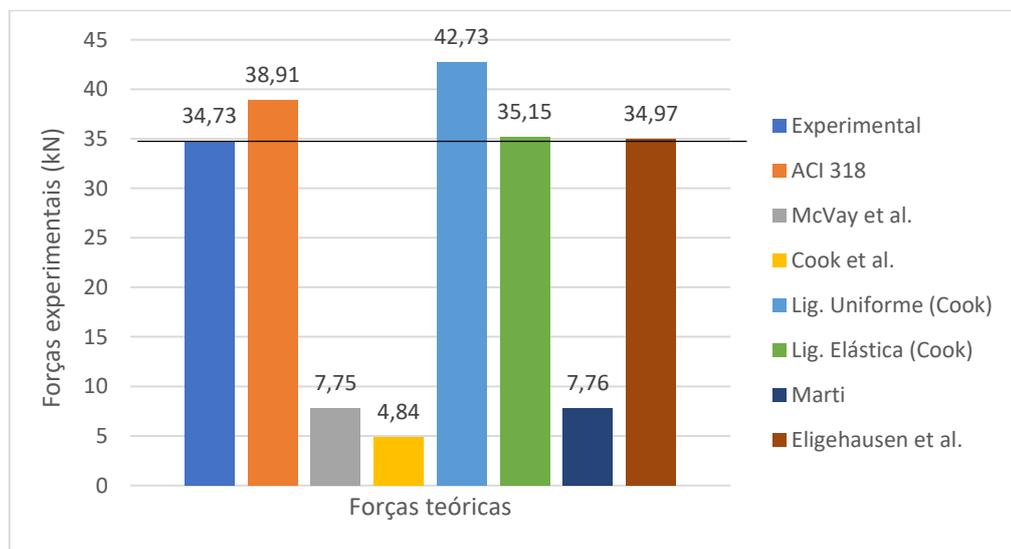
Marti gerou um modelo a fim de estudar o deslizamento na interface do adesivo com o concreto, entretanto, não obteve resultados satisfatórios se comparados aos experimentais, gerando um modelo subdimensionado. Apresentando porcentagens distantes dos ensaios experimentais, sendo de 77,10% grupo A, 77,66% grupo B e 69,34% grupo C.

Eligehausen, Cook e Appl desenvolveram um modelo com o cone de concreto, sendo analisada a altura efetiva de fixação do chumbador e a real resistência do concreto ensaiado. De acordo com os resultados obtidos, tornou-se o modelo mais satisfatório entre os analisados no presente trabalho. As porcentagens encontradas, em relação aos resultados experimentais, são de 4,08% grupo A, 0,69% grupo B e 28,03% grupo C.

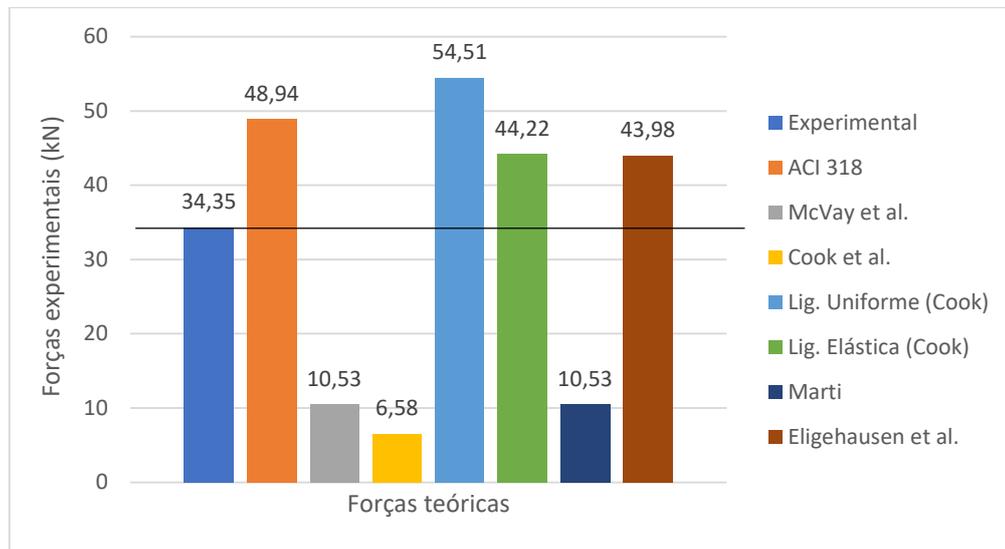
Os gráficos 8, 9 e 10 retratam as comparações finais entre as forças, a partir dos métodos abordados e dos ensaios experimentais dos grupos A, B e C.

Gráfico 8 - Comparação final entre forças experimentais e teóricas do grupo A

Fonte: Autor, 2019.

Gráfico 9 - Comparação final entre forças experimentais e teóricas do grupo B

Fonte: Autor, 2019.

Gráfico 10 - Comparação final entre forças experimentais e teóricas do grupo C

Fonte: Autor, 2019.

6 CONCLUSÕES

O trabalho proporcionou grande conhecimento e experiência enriquecedora, por envolver a elaboração de diversos processos laboratoriais ao longo do projeto experimental.

Através dos resultados obtidos nos testes realizados em vergalhões, ancorados em blocos de concreto com a utilização de adesivo epóxi, foram avaliados dois tipos de ruptura, por escoamento da barra e por fendilhamento do concreto. Analisando as rupturas por fendilhamento, as mesmas podem ter ocorrido pela configuração quadrada dos blocos de ancoragem, no entanto, apresentaram um comportamento experimental dentro do previsto. As rupturas por escoamento da barra ocorreram pela equivocada escolha da bitola a ser ancorada, sendo assim, romperam-se as barras antes do fendilhamento dos blocos.

Com base nos estudos experimentais, foi possível concluir que comparados os resultados adquiridos experimentalmente e os métodos teóricos presentes no trabalho, provou-se que o método de Eligehausen, Cook e Appl e o modelo de ligação elástica do Cook apresentaram os resultados mais próximos as forças médias de ruptura. O método ACI 318:2014 e o modelo de ligação uniforme de Cook apresentaram-se relativamente superiores ao experimento, diferentemente do método de McVay, Cook e Krishnamurthy, do método de Cook, Kunz, Fuchs e Konz e do método de Marti que apresentaram resultados bem inferiores quando comparados ao modelo experimental.

O programa experimental e a análise teórica auferiram a percepção da não ocorrência do cisalhamento do adesivo, como mencionam alguns autores. Assim, o elemento que sofre o cisalhamento é o concreto, ocasionando o fendilhamento do bloco ou o destacamento do cone de concreto. Sendo necessária a reavaliação dos métodos subdimensionados citados acima, feita a comparação a partir da presente pesquisa experimental teórica.

Destaca-se que a pesquisa apresentada precisa de maiores análises referentes ao ensaio de arrancamento do adesivo epóxi.

Por fim, conclui-se que este trabalho demonstra a importância dos estudos a respeito da real resistência presente nos adesivos epóxi nos quais são aplicados em estruturas.

Sugestões para futuros trabalhos:

- Realização de protótipos ancorados por uma barra de bitola superior;
- Realizar a mudança na geometria do bloco, a fim de obter a ruptura por destacamento do cone de concreto;
- Realizar mais ensaios com a barra rosqueada, almejando desenvolver um coeficiente para posteriores aplicações em normas;
- Usufruir de diferentes tipos de adesivos epóxis, buscando analisar o real comportamento de outros produtos.

7 REFERÊNCIAS

- AC Eurocode 2, **EN 1992-1-1: Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings**, CEN, Brussels, Belgium, 2010.
- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE - ACI Committee 318, **Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-14) and Commentary**, Farmington, Michigan, 2014.
- ÂNCORA. **Apostila ancoragem química**. Vinhedo, 2016. 16 p.
- ÂNCORA. **Catálogo Técnico**. Vinhedo, 2015. 112 p.
- ARAÚJO, José. **Curso de concreto armado**. v. 1, 4.ed. Rio Grande: Dunas, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 6118 - **Projeto e execução de obras de concreto armado e protendido** – procedimento. Rio de Janeiro, 2014.
- CARDOSO, Lidiane. **Contribuição para a elaboração de diretrizes para a execução de obras envolvendo retrofit em edifícios**. 92 f. Monografia (Especialização) - Curso de Gestão de Projetos de Sistemas Estruturais – Edificações., Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.
- CARVALHO, Roberto. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado**: segundo a NBR 6118:2014. 4.ed. São Carlos: EdUFSCar, 2014.
- COOK, Ronald. **Behavior of Chemically Bonded Anchors**. 119 f. Pesquisa. Journal of Structural Engineering, 1993.
- COOK, Ronald; DOERR, Gaylene; KLINGNER, Richard. **Bond stress model for design adhesive anchors**. 524 f. Pesquisa. ACI Structural Journal, 1993.
- COOK, Ronald; KONZ, Robert; **Factors Influencing Bond Strength of Adhesive Anchors**, 76-86 f., ACI Structural Journal, 98 (2001)
- COOK, Ronald; KUNZ, Jakob; FUCHS, W.; KONZ, Robert. **Behavior and Design of single adhesive anchors under tensile load in uncracked concrete**, ACI Structural Journal, 95 (1998) 9-26.

CONTRAFATTO, Loredana; COSENZA, Renato. **Experimental behaviour of post-installed adhesive anchors in natural stone**. 37 f. Pesquisa. *Department of Civil Engineering and Architecture, University of Catania*, 2014.

DOERR, Gaylene; COOK, Ronald; KLINGNER, Richard. **ADHESIVE ANCHORS: BEHAVIOR AND SPACING REQUIREMENTS**. 68 f. Pesquisa. *Center for Transportation Research, University of Texas*, 1989.

ELIGEHAUSEN, Rolf; COOK, Ronald; APPL, J.; Behavior and Design of Adhesive Bonded Anchors, *ACI Structural Journal*, 103 (2006) 822-831.

ELIGEHAUSEN, Rolf; MALLÉE, Rainer; SILVA, John F. Anchorage in Concrete Construction. 465 f. Germany: Ernst & Sohn, 2006.

FUSCO, Péricles. **Técnica de armar as estruturas de concreto**. 1.ed., 4. impr. São Paulo: Pini, 1995.

HEALTH AND SAFETY AUTHORITY.HSA. **Code of Practice for the Design and Installation of Anchors: Code of Practice**. Dublin: Hsa, 2006. 64 p.

INDUFIX PARAFUSOS. **O que é chumbador químico?**. São Paulo, 2017.

LEONHARDT, Fritz; MÖNNIG, Eduard; tradução de José de Moura Villas Boas; revisão técnica de João Luís Escosteguy Merino. **Construções de concreto: princípios básicos sobre a armação de estruturas de concreto armado**. v.3, 1.ed., 3. impr. Rio de Janeiro: Interciência, 2007.

MACHRY, Estevan. **Métodos de ancoragem de barras longitudinais em extremidades de vigas em concreto armado: desenvolvimento de programa computacional**. 71 f. Monografia – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2014.

MARTI, P., **Anchoring of Concrete Reinforcement Using HIT-HY 150**. *Hilti Development Corporation, Technical Report*, 1993.

MCVAY, Michael; COOK, Ronald; KRISHNAMURTHY, Kailash. **Pullout Simulation of Post installed Chemically Bonded Anchors**, 122 f. Pesquisa. *Journal of Structural Engineering*, 1996.

NAKAMURA, Juliana. **Chumbadores químicos**. Disponível em: <http://equipedeobra17.pini.com.br/construcao-reforma/47/chumbadores-quimicos-escolha-de-produto-de-adesao-quimica-deve-257750-1.aspx> . Acesso em: 4 setembro 2018.

NASCIMENTO, Wesley. **Contribuição para a análise comparativa do desempenho de ancoragens de vergalhões, com a utilização de chumbador químico por injeção e adesivo estrutural base epóxi, em elementos de concreto**. 123 f. Monografia (especialista em Gestão de Projetos de Sistemas Estruturais – Edificações) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2017.

NILSON, Arthur. **Internal Measurement of Bond Slip**. 441 f. Pesquisa. ACI Structural Journal, 1972.

OLIVEIRA, Walter. **Estudo experimental da resistência à tração de placas de ancoragem embutidas em concreto**. 126 f. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia Civil, Pontifca Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2003.

POLIPISO DO BRASIL. Disponível em: < <http://www.polipiso.com.br/produto-detalle.php?categoria=adesivos>>. Acesso em: 02 novembro 2018.

SANTOS, Daniel. **Análise de vigas de concreto armado utilizando modelos de bielas e tirantes**. 171 f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharias, Universidade de São Paulo, 2006.

SIKA (Brasil). Ficha técnica. 2018. Disponível em: <<http://bra.sika.com/pt/gruposika-brasil.html>>. Acesso em: 17 novembro 2018.

SILVA, John. **Overhed installation of injection-type adhesive anchors**. **Concrete International**, [s. L.], v. 38, n. 7, 40-49 f., jul. 2016. Mensal.

ANEXOS

Em anexo, os laudos referentes aos ensaios de arrancamento fornecido pelo laboratório da Universidade de Santa Cruz do Sul.