

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
COECI - COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

RAUL HERTZ LUNKES

**ANÁLISE DA ADERÊNCIA DE BARRAS DE AÇO COLADAS  
AO CONCRETO COM RESINA EPÓXI**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

TOLEDO

2019

RAUL HERTZ LUNKES

**ANÁLISE DA ADERÊNCIA DE BARRAS DE AÇO COLADAS  
AO CONCRETO COM RESINA EPÓXI**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel, do curso de Engenharia Civil, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Lucas Boabaid Ibrahim

TOLEDO

2019



Ministério da Educação  
**Universidade Tecnológica Federal do Paraná**  
Câmpus Toledo  
Coordenação do Curso de Engenharia Civil



---

## TERMO DE APROVAÇÃO

Título do Trabalho de Conclusão de Curso de Nº 212

### **Análise da aderência de barras de aço coladas ao concreto com resina epóxi**

por

**Raul Hertz Lunkes**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado às 16:40 h do dia **11 de Junho de 2019** como requisito parcial para a obtenção do título **Bacharel em Engenharia Civil**. Após deliberação da Banca Examinadora, composta pelos professores abaixo assinados, o trabalho foi considerado **APROVADO**.

---

Prof. Dr. Carlos Eduardo Tino Balestra  
(UTFPR – TD)

---

Prof. Dr. Evandro Marcos Kolling  
(UTFPR – TD)

---

Prof. Dr. Lucas Boabaid Ibrahim  
(UTFPR – TD)  
Orientador

---

Visto da Coordenação  
Prof. Dr. Fúlvio Natércio Feiber  
Coordenador da COECI

A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso.

## AGRADECIMENTOS

A Universidade Tecnológica Federal do Paraná, por me possibilitar cursar este curso que hoje eu chamo de profissão.

Aos meus pais Rudi Pedro Lunkes e Leci Maria Hertz Lunkes que apoiaram as minhas decisões e ajudaram nos momentos difíceis desta longa e incrível caminhada, a minha namorada Taciana Gabriela Dillenburg que sempre me animou, apoiou e ajudou a superar os dias difíceis e compartilhou comigo as alegrias dos sucessos nos dias bons, e aos meus amigos e a minha família por sempre entenderem os dias que passei estudando ao invés de passar ao lado deles.

Aos meus professores, pois sem seus conhecimentos, paciência e auxílio nada disso hoje seria possível.

Ao meu orientador e professor Dr. Lucas Boabaid Ibrahim, que com sua ajuda possibilitou a realização deste trabalho.

A bibliotecária Carla Rech pelo auxílio na escrita, aos laboratoristas Marcos Vinicius Schlichting e Wilson Leobet nos auxílios e várias ideias durante a realização dos ensaios e ao laboratorista Maxer Antonio Rosa, do laboratório de Estruturas e Materiais de Engenharia da Unioeste campus Cascavel, pelo auxílio nos ensaios de *Pull-Out* e de compressão e a professora Dr<sup>a</sup>. Daniela Trentin Nava pelo auxílio nos estudos estatísticos.

As dificuldades que encontrei e superei em meu caminho, pois foram elas que me fortaleceram a cada dia.

## RESUMO

A relação custo-benefício entre a demolição ou a reconstrução de uma estrutura de concreto corre sobre uma ténue linha, onde processos construtivos normatizados e principalmente, práticos, influenciam nas decisões finais de projetistas e executores. Deste modo, a finalidade desta pesquisa é identificar e estabelecer alguns dos fatores necessários para a utilização da resina epóxi como ponte de ligação entre o aço e o concreto na reconstrução ou reparos de estruturas de concreto armado. Para tal, o emprego do ensaio de tração *Pull-Out* permite estabelecer uma correlação entre comprimentos de ancoragem e suas resistências de tração, além de seus modos de ruptura. Juntamente a isso, a observação visual dos componentes da ligação após o rompimento também permite resultados apurados. O dimensionamento dos comprimentos de ancoragem que empregam a resina epóxi como ponte de ligação, é complexo em sua composição, pois mesmo mantendo muitas de suas variáveis fixas para a realização dos ensaios, os resultados ainda apresentam variações consideráveis em seus valores. Entretanto, o uso da resina na ancoragem apresenta viabilidade técnica de dimensionamento e de execução, principalmente devido sua trabalhabilidade.

**Palavras chave:** Resina epóxi. *Pull-Out*. Ancoragem. Reforço estrutural.

## ABSTRACT

The cost-benefit ratio between the demolition and the reconstruction of a concrete structure runs on a thin line, where normative and mainly practical constructive processes influence the final decisions of designers and executors. The purpose of this research is to identify and establish some of the necessary factors for the use of epoxy resin as a bridge between steel and concrete in the reconstruction or repair of reinforced concrete structures. For this, the use of the *Pull-Out* traction test allows to establish a correlation between anchorage lengths and their tensile strengths, as well as their rupture modes. Alongside this, visual observation of the components of the bond after the breakout also allows accurate results. The design of the anchoring lengths using epoxy resin as a bonding bridge is complex in its composition, since even though many of its variables are still fixed for the tests, the results still show considerable variations in their values. However, the use of the resin in the anchorage presents technical feasibility of sizing and execution, mainly due to its workability.

**Key words:** Epoxy resin. Pull-Out. Anchoring. Structural reinforcement.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Barra de aço colado ao concreto com resina epóxi.....	14
Figura 02 - Desenvolvimento das Tensões Principais.....	18
Figura 03 - Aderência X Deslizamento.....	20
Figura 04 - Comportamento das tensões no ensaio Pull-Out.....	23
Figura 05 - Dimensões do corpo de prova Pull-Out.....	24
Figura 06 - Ensaio realizado por Fernandes (2011).....	25
Figura 07 - Esquema dos corpos de prova.....	26
Figura 08 – Ensaio realizado por Doria, Sales e Andrade (2015).....	27
Figura 09 - Dimensões do corpo de prova utilizado para o estudo.....	33
Figura 10 – Modelo 3D do adaptador para o ensaio Pull-Out.....	34
Figura 11 – Modelo 2D do adaptador para o ensaio Pull-Out.....	34
Figura 12 – Depósitos dos agregados.....	36
Figura 13 – Homogeneização da amostra.....	37
Figura 14 – Tronco de cone.....	37
Figura 15 – Quarteamento da amostra.....	38
Figura 16 – Massa Unitária Agregado Miúdo.....	38
Figura 17 – Massa Unitária Agregado Graúdo.....	39
Figura 18 – Procedimento para verificação da umidade para o ensaio.....	40
Figura 19 – Procedimento do ensaio.....	40
Figura 20 – Secagem em estufa dos materiais.....	41
Figura 21 – Agregado Graúdo sendo lavado.....	42
Figura 22 – Secagem do Agregado Graúdo com panos.....	42
Figura 23 – Agregado Graúdo submerso em água para pesagem.....	43
Figura 24 – Cimento sendo introduzido no frasco de Le Chatelier.....	44
Figura 25 – Ensaio de Le Chatelier.....	44
Figura 26 - Recorte do cano de PVC.....	49
Figura 27 – Molde pronto para a concretagem.....	50
Figura 28 – Moldes preparados para concretagem.....	50
Figura 29 – Realização do ensaio de Slump Test.....	52
Figura 30 – Concretagem dos Corpos de Prova do Ensaio de Pull-Out.....	52
Figura 31 – Adensamento do concreto.....	53
Figura 32 – Copos de prova para o ensaio de Compressão Axial.....	53

Figura 33 – Desmolda dos corpos de prova e identificação .....	54
Figura 34 – Início da cura úmida dos corpos de prova.....	55
Figura 35 – Construção do suporte para a colagem das barras com resina epóxi....	56
Figura 36 – Corte das barras de aço.....	57
Figura 37 – Furadeira de bancada .....	58
Figura 38 – Furadeira de bancada .....	58
Figura 39 – Alargamento do furo.....	59
Figura 40 – Limpeza do orifício com ar comprimido .....	60
Figura 41 – Inserção da bucha nos Corpos de Prova .....	60
Figura 42 – Conjunto barra de aço, corpo de prova e resina epóxi.....	61
Figura 43 – Corpos de prova em ambiente de laboratório durante a secagem da resina .....	62
Figura 44 – Adaptador montado na prensa .....	63
Figura 45 – Adaptador, corpo de prova e prensa durante o ensaio de Pull-Out .....	64
Figura 46 – Prensa hidráulica com adaptador durante o ensaio de Pull-Out .....	64
Figura 47 – Corpo de prova no processo de capeamento .....	65
Figura 48 – Formação da cunha causada pelo não deslocamento da bucha .....	74
Figura 49 – Vista em corte com a barra colada com resina .....	75
Figura 50 – Fissuras causadas pela formação da cunha .....	75
Figura 51 – Bolhas de ar presentes na resina epóxi .....	76
Figura 52 – Deformação da bucha.....	77
Figura 53 – Orifício no concreto após a abertura do corpo de prova .....	78
Figura 54 – Bolhas de ar presentes na resina epóxi .....	79
Figura 55 – Deslocamento da barra em relação ao concreto e falha no comprimento de ancoragem .....	79

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tabela de análise de variância .....	48
Tabela 2 – Massa unitária dos agregados .....	66
Tabela 3 – Massa específica do agregado miúdo .....	66
Tabela 4 – Massa específica do agregado graúdo.....	67
Tabela 5 – Massa específica do cimento .....	67
Tabela 6 – Dados característicos dos materiais utilizados .....	68
Tabela 7 – Resultados do Método ABCP/ACI.....	68
Tabela 8 – Dados do ensaio de compressão axial .....	69
Tabela 9 – Resistência de compressão do concreto estatística.....	69
Tabela 10 – Resistência de tração do ensaio Pull-Out em Kgf .....	70
Tabela 11 – Resultados estatísticos do ensaio de Pull-Out .....	70
Tabela 12 - Resultado da análise de variância.....	71
Tabela 13 – Resultado da análise de Tukey .....	71
Tabela 14 – Teste de variação de média com base o comprimento de ancoragem de 10 cm .....	71
Tabela 15 - Teste de variação de média com base o comprimento de ancoragem de 5 cm .....	72
Tabela 16 - Teste de variação de média com base o comprimento de ancoragem de 2,5 cm .....	72
Tabela 17 - Teste de variação de média com base o comprimento de ancoragem de 7,5 cm .....	73

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>11</b>
1.1	JUSTIFICATIVA.....	12
1.2	OBJETIVO GERAL .....	13
1.2.1	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	13
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>14</b>
2.1	DISPOSIÇÕES GERAIS.....	14
2.2	CONCRETO .....	14
2.3	AÇO .....	15
2.4	ADERÊNCIA.....	15
2.4.1	Aderência por adesão.....	16
2.4.2	Aderência por atrito .....	16
2.4.3	Aderência mecânica .....	17
2.5	MODOS DE RUPTURA .....	17
2.6	MECANISMOS DE RUPTURA .....	19
2.7	RESINAS EPÓXI .....	21
2.8	ADERÊNCIAS AÇO-RESINA-CONCRETO.....	21
2.9	FATORES QUE INFLUENCIAM NA ADERÊNCIA.....	22
2.10	ENSAIOS DE ARRANCAMENTO DIRETO ( <i>PULL-OUT TEST</i> ).....	22
2.10.1	Estudos realizados utilizando o ensaio <i>Pull-Out</i> .....	24
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>30</b>
3.1	MATERIAIS .....	30
3.1.1	Cimento .....	30
3.1.2	Agregado Miúdo .....	30
3.1.3	Agregado Graúdo .....	30
3.1.4	Aço .....	30
3.1.5	Resina epóxi.....	31
3.1.6	Corpos de prova do ensaio <i>Pull-Out</i> .....	31
3.1.7	Ensaio de arrancamento.....	33
3.2	MÉTODOS .....	35
3.2.1	Características dos Materiais do Concreto .....	35
3.2.2	Traço do Concreto .....	45
3.2.3	Tratamento estatístico dos dados de <i>Pull-Out</i> .....	47

3.2.4	Processo de confecção dos moldes para o ensaio de <i>Pull-Out</i> .....	49
3.2.5	Processo de confecção do concreto.....	51
3.2.6	Processo de molda dos corpos de prova.....	51
3.2.7	Processo de desmolda e cura dos corpos de prova.....	54
3.2.8	Processo de confecção dos moldes para a colagem das barras de aço.....	55
3.2.9	Processo de criação do orifício de ancoragem.....	57
3.2.10	Processo de colagem das barras com resina epóxi.....	61
3.2.11	Realização dos ensaios.....	62
3.3	ANÁLISE VISUAL DOS CORPOS DE PROVA.....	65
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>66</b>
4.1	DETERMINAÇÃO DO TRAÇO DO CONCRETO.....	66
4.1.1	Massa unitária dos agregados miúdo e graúdo.....	66
4.1.2	Massa específica do agregado miúdo.....	66
4.1.3	Massa específica do agregado graúdo.....	67
4.1.4	Massa específica do cimento.....	67
4.1.5	Método ABCP/ACI.....	67
4.2	ENSAIO DE COMPRESSÃO AXIAL.....	68
4.3	ENSAIOS DE <i>PULL-OUT</i> .....	70
4.3.1	Resultados obtidos no ensaio <i>Pull-Out</i> .....	70
4.3.2	Resultados obtidos após inspeção interna.....	73
4.3.2.1	<i>Inspeção dos corpos de prova com 2,5 cm de ancoragem</i> .....	73
4.3.2.2	<i>Inspeção dos corpos de prova com 5 cm de ancoragem</i> .....	75
4.3.2.3	<i>Inspeção dos corpos de prova com 7,5 cm de ancoragem</i> .....	76
4.3.2.4	<i>Inspeção dos corpos de prova com 10 cm de ancoragem</i> .....	78
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>80</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>81</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A evolução da tecnologia da construção civil tem sido exponencial nos últimos anos. Este crescimento, que busca uma relação custo-benefício no âmbito de tempo de execução, causa uma demanda por estudos de novos processos construtivos. Estes estudos, entretanto, necessitam de avaliações e normatização que demandam tempo por parte de pesquisadores, tempo este que muitas vezes não é respeitado, causando um estudo apressado ou incompleto destas novas tecnologias (FERNANDES, 2011).

Estes novos processos construtivos surgem, muitas vezes, para solucionar problemas que aparecem durante as fases de construção e durante a vida útil das estruturas, sejam por erros de execução ou por fatores não atribuídos durante a fase de projeto, como terremotos, temporais ou reformas que removem objetos estruturais. Estes elementos estruturais danificados ou executados com falhas podem ser demolidos e reconstruídos ou então serem recuperados e reforçados, dependendo do custo benefício entre ambas às situações. No caso de serem recuperados e reforçados, há a necessidade de uma ligação entre os elementos estruturais novos e existentes. A utilização de polímeros como adesivo estrutural (resina epóxi) para realizar desta ligação entre elementos estruturais está em crescente utilização, especialmente na ancoragem de novas armaduras em elementos de concreto existentes (SOUZA; TAVARES; FERNANDES, 2018; DORIA; SALES; ANDRADE, 2015).

Assim, para que a ancoragem destas novas armaduras possa ser realizada, o estudo e conhecimento da aderência entre o aço e o concreto são fundamentais, pois estes dois materiais unidos formam as estruturas de concreto armado. O concreto armado necessita assim, para sua existência, absorver os esforços solicitantes, demandando que o aço e o concreto atuem de forma conjunta e harmoniosa. Investigações têm sido realizadas ao longo dos últimos anos nesta área, buscando determinar os parâmetros de estudo necessários. Um destes estudos é o ensaio de arrancamento direto, conhecido como *Pull-Out*, que relaciona a resistência de aderência com o deslizamento gerado pelos esforços solicitantes na ligação aço-concreto (TAVARES, 2012; DORIA; SALES; ANDRADE, 2015).

Desta forma, este trabalho é uma colaboração no estudo de ancoragens de barras de aço utilizando a resina epóxi como ligação entre o aço e o concreto.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

A utilização do concreto como matéria prima para a construção de edificações é difundida ao redor do planeta há muitos anos. Como causa da consolidação da forma de aplicação, da composição e do amplo domínio da técnica de dimensionamento, há uma compreensão quase total sobre os processos de fabricação e das tecnologias construtivas. Entretanto, patologias observadas nas estruturas indicam que, durante as fases de projeto e durante a execução da estrutura, ocorrem falhas que causam a diminuição da vida útil, como observado nas mais diversas edificações, demonstrando que este pensamento de compreensão está equivocado.

No caso da necessidade de recuperação ou reforço estrutural, a transferência dos esforços adequadamente entre aço e concreto necessita da compatibilização das deformações destes materiais, e para tal, a aderência entre os dois necessita ser realizada através de um componente ligante, a resina epóxi no caso deste estudo, a qual realiza uma ponte de ligação entre estes dois materiais.

A utilização da resina na fixação de barras em furos realizados em elementos estruturais existentes, atualmente, não dispõe de uma metodologia adequada para o dimensionamento destes elementos. Compreender seu funcionamento se faz necessário e importante, para poder projetar com eficácia e segurança.

A justificativa da utilização deste método se dá uma vez que apresenta um procedimento de ancoragem fácil e rápido, o qual proporciona uma atrativa praticidade construtiva.

## 1.2 OBJETIVO GERAL

Analisar a aderência da ligação aço-resina-concreto através da utilização do ensaio *Pull-Out*.

### 1.2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Empregar como variável de estudo, o comprimento de ancoragem;
- b) Identificar as variáveis que influenciam na capacidade de ancoragem estudada neste trabalho;
- c) Utilizar o ensaio de *Pull-Out* em corpos de prova a fim de determinar as resistências máximas de aderência;
- d) Proceder ao estudo comparativo entre os comprimentos de ancoragem de acordo com a análise estatística dos dados.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 DISPOSIÇÕES GERAIS

O uso da resina epóxi em ancoragens de barras de aço em estruturas de concreto já existentes está cada dia mais usual. Esta utilização pode ser observada em vários momentos durante a execução de obras, desde locais onde não há grandes solicitações de carga até em locais onde a transmissão de cargas é considerável, conforme se observa o emprego da resina epóxi na colagem de esperas em um muro na Figura 01.

Figura 01 – Barra de aço colado ao concreto com resina epóxi



Fonte: Aatoria Própria, 2019.

Deste modo, é necessário realizar o estudo da aderência que ocorrem nestas barras com o concreto. Quantificar a relação comprimento de ancoragem com os demais parâmetros físicos é fundamental para determinar a quantidade máxima de carregamento ao qual o objeto estrutural pode ser submetido.

### 2.2 CONCRETO

Atualmente, o amplo conhecimento adquirido ao longo das últimas décadas sobre a tecnologia empregada na fabricação do concreto possibilitou uma maior compreensão sobre as características físicas, químicas e mecânicas do mesmo.

Como consequência disto, a qualidade dos processos de fabricação aplicados possibilita a existência de estruturas nas mais diversas arquiteturas. Entretanto, os elementos estruturais sujeitos a receber recuperações ou reforços podem ser antigos, com baixos controles de fabricação e de qualidade ou ainda, são danificados ou executados com falhas. Desta forma, suas propriedades físicas e mecânicas podem ser inferiores e de baixa qualidade. (SOUZA; TAVARES; FERNANDES, 2018; DORIA; SALES; ANDRADE, 2015).

Segundo Tavares (2012), quanto maior a resistência mecânica do concreto, maiores serão os esforços de aderência que o concreto é capaz de suportar, desta forma, a aderência entre o aço e concreto é também determinada de acordo com os valores de compressão dos concretos utilizados na recuperação.

### 2.3 AÇO

A utilização do aço ao concreto confere ao conjunto resistência aos esforços de tração, visto que o concreto por si só não é capaz de resistir a tais esforços. A este conjunto, dá-se o nome de concreto armado. Desta forma, o aço é empregado quando os elementos estruturais são solicitados à tração nas transferências dos esforços.

As características físicas e mecânicas do aço são importantes na ancoragem, visto que sua morfologia e sua resistência de tração contribuem de forma direta na capacidade de aderência.

### 2.4 ADERÊNCIA

Entender o funcionamento da aderência é de grande importância, pois os materiais envolvidos na ligação precisam desenvolver comportamentos semelhantes quando solicitados. A ligação entre concreto e aço é a ponte que permite a transferência dos esforços do aço para o concreto, compatibilizando as deformações entre si. Desta forma, procura-se garantir que não haja escorregamento do aço em relação ao concreto (TAVARES, 2012; FERNANDES, 2011).

O concreto necessita assim, transferir para si às tensões oriundas da barra e ser capaz de resistir a estas tensões sem romper. A responsável para que o conjunto continue em união e por consequência, suportar os esforços solicitantes, é

a aderência, impedindo o deslocamento relativo entre os dois materiais (TAVARES, 2012; FERNANDES, 2011).

A ancoragem da barra de aço no concreto ocorre quando há aderência entre os materiais, sendo assim, necessário determinar um comprimento suficiente de aço para resistir aos esforços de tração. A este comprimento de aço dá-se o nome de comprimento de ancoragem. A ancoragem ocorre então na aderência de três formas como demonstrado a seguir, lembrando que a separação da aderência é somente esquemática, pois de forma prática é impossível determinar cada uma separadamente (SARTORI et al., 2017; DORIA; SALES; ANDRADE, 2015).

#### 2.4.1 Aderência por adesão

As reações químicas que ocorrem durante a fase de pega do cimento na interface de contato entre o cimento e o aço criam uma ligação físico-química denominada adesão. Esta adesão é uma resistência que se opõem a força de separação entre os materiais que se combinam quimicamente, de uma forma intermolecular. Esta capacidade adesiva permite que o conjunto concreto armado consiga resistir de forma inicial a pequenos esforços, ou seja, a adesão química não é a grande responsável pela capacidade de ancoragem. (FERNANDES, 2011; BASTOS, 2018)

#### 2.4.2 Aderência por atrito

A partir do momento que ocorre o deslizamento relativo da barra de aço no concreto, a ligação por adesão já está quebrada. Deste ponto em diante é o atrito o responsável por manter a aderência na ancoragem. O atrito por definição ocorre quando uma força é aplicada sobre um corpo e devido às rugosidades das superfícies que entram em contato, ocorre uma reação de sentido contrário a força inicial (FERNANDES, 2011; BASTOS, 2018).

No concreto armado, quando a barra de aço é solicitada de modo a criar uma força de cisalhamento na interface concreto-aço, ocorre o atrito no concreto, seja esta uma força de tração ou compressão, o coeficiente de atrito gerado na interface interfere de forma direta. Entretanto é necessário que o concreto envolva a barra de aço de forma completa (FERNANDES, 2011; BASTOS, 2018).

### 2.4.3 Aderência mecânica

O último e mais importante mecanismo de aderência é a mecânica.

A força de resistência desta ligação é causada pela interação entre as saliências (nervuras, entalhes ou no caso das barras lisas, as irregularidades da laminação), de suas inclinações, formas na superfície das barras de aço e o concreto envolto nestas nervuras. Estes pontos de apoio criam cunhas ou consolos, que dissipam as tensões, causando a compressão e o cisalhamento no concreto o que causa a modificação dos modos de ruptura (FERNANDES, 2011; BARBOSA; SÁNCHEZ FILHO, 2016).

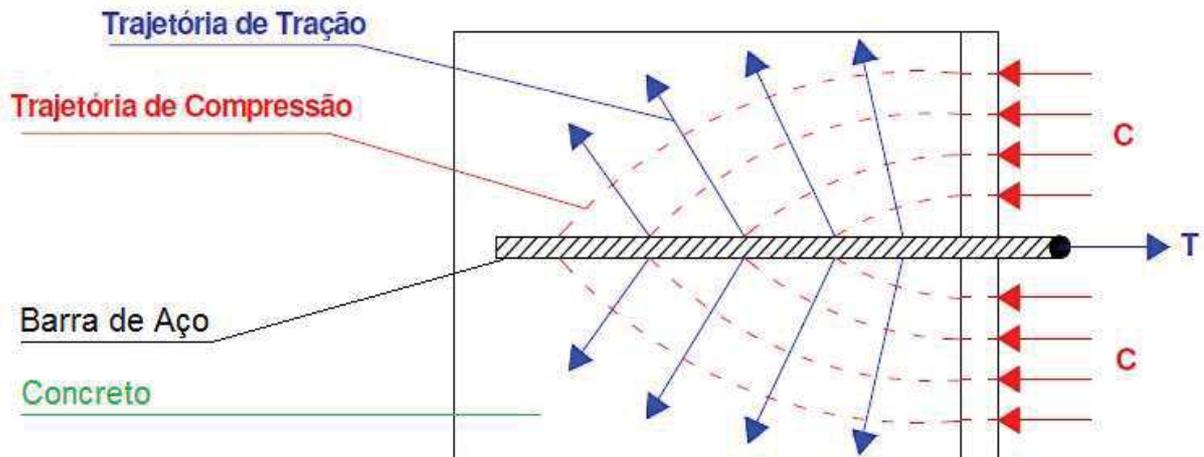
A aderência mecânica é assim, a principal e mais efetiva conexão entre os materiais constituintes do concreto armado quando utilizado barras nervuradas, sendo o caminho vital para concepção do concreto armado.

## 2.5 MODOS DE RUPTURA

As tensões de aderência que surgem no concreto durante o arrancamento da barra de aço de seu interior são consideradas trações e compressões cujos rumos são dependentes das características da peça de concreto armado, ou seja, as dimensões arquitetônicas, de dimensionamento ou de utilização influenciam na direção e propagação destas tensões (TAVARES, 2012).

Entretanto, de uma forma geral, as tensões de aderência de compressão se propagam no concreto a partir da extremidade da barra e as tensões de aderência de tração são perpendiculares as de compressão e transversais a barra, conforme ilustrado na Figura 02 (BASTOS, 2018).

Figura 02 - Desenvolvimento das Tensões Principais



Fonte: Leonhardt e Mönning (1977 apud TAVARES, 2012).

Estas tensões causam modos de rupturas no concreto armado, sendo as de ocorrência mais comum às rupturas por fendilhamento e cisalhamento do concreto, ruptura por deslizamento da barra e o arrancamento da barra de aço, descritas a seguir:

- a) Ruptura por fendilhamento: ocorre quando o concreto não apresenta capacidade suficiente de resistência de cintamento ao redor da barra de aço. As tensões radiais que nascem das nervuras das barras conseguem atravessar todo o cobrimento do concreto e não são totalmente absorvidas, causando o fendilhamento longitudinal (TAVARES, 2012);
- b) Ruptura por cisalhamento: igualmente originária ao fendilhamento, entretanto neste modo de ruptura o concreto apresenta resistência de cintamento ao redor da barra de aço. O arrancamento ocorre então pelo cisalhamento longitudinal da superfície adjacente do concreto em relação à barra de aço (FERNANDES, 2011);
- c) Ruptura por deslizamento da barra de aço: como em barras de aço lisas não há a aderência mecânica devido à falta de nervuras, após a aderência por adesão e atrito serem esgotadas a barra é arrancada sem causar um fendilhamento total, deixando o orifício onde estava ancorada praticamente intacta (TAVARES, 2012; FERNANDES, 2011);

- d) Ruptura por arrancamento da barra de aço: quando a tensão de escoamento da barra de aço é atingida pela tensão de aderência na barra de aço, ocorre a ruptura do aço por escoamento (TAVARES, 2012).

## 2.6 MECANISMOS DE RUPTURA

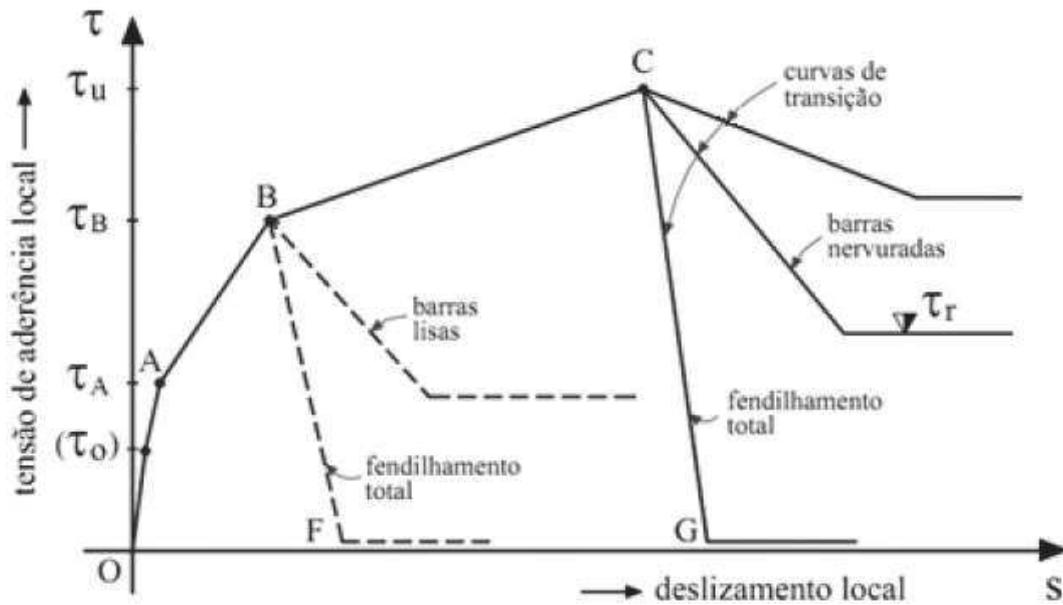
Conhecer o comportamento da ligação no sistema aço-concreto tem importância na determinação da quantidade de carregamento que o conjunto é capaz de suportar antes de falhar e qual será seu comportamento quanto à geometria da peça solicitada. Este conhecimento não somente auxilia na determinação dos parâmetros de dimensionamento, mas por consequência, na vida útil da edificação.

De acordo com Tavares (2012), quantificar a eficiência da ligação é possível quando observado a relação da tensão de aderência versus deslizamento. Valores pequenos desta relação sugerem acomodações na interface, enquanto valores altos podem significar a destruição da aderência, o que pode ser associado a fissurações e a certo estado de deformação.

A transferência das tensões oriundas dos carregamentos da armadura de aço para o concreto ocorre ao longo da interface de contato entre estes materiais, sendo modificadas de acordo com que as solicitações são modificadas. Ocorre ainda o efeito de enrijecimento do concreto nas áreas de contato de aço-concreto devido a esta transferência de tensões (FERNANDES, 2011).

Como a ligação aço-concreto tem baixa capacidade de resistir, ela acaba apresentando deslizamentos do aço a baixos valores de tensão, desta forma é possível determinar a Curva de Aderência conforme a Figura 03 e sua explicação são dadas após a figura:

Figura 03 - Aderência X Deslizamento



Fonte: Tassios (1979 apud TAVARES, 2012).

Segundo Fernandes (2011), analisando o gráfico de aderência apresentado na Figura 03 chega-se as seguintes conclusões:

- A adesão química é a responsável pela transferência das tensões para o concreto até atingir o valor de tensão ( $\tau$ ) de aderência  $\tau_0$ . Após a adesão química ser quebrada por pequenos deslocamentos da barra, a aderência por atrito é responsável por manter o conjunto unido até a resistência do concreto ser atingida no valor de tensão de aderência  $\tau_A$ , quando há o aparecimento das primeiras falhas e microfissuras internas;
- A partir da tensão de aderência  $\tau_A$  até a tensão de aderência  $\tau_B$ , o atrito e a aderência mecânica são as responsáveis por manter a adesão do conjunto aço-concreto, quando há o aparecimento das fissurações externas e a expectativa de fendilhamento da peça quando não há forças de cintamento suficiente no caso das barras nervuradas, o qual causa a ruptura da peça e a perda total de adesão;
- Quando há forças de cintamento suficientes para suportar o fendilhamento causado pelas fissurações e há o esmagamento do concreto entre as nervuras, a peça atinge os valores de tensão de aderência  $\tau_u$ , quando o único mecanismo de adesão é o atrito. Neste ponto, a peça pode falhar então por fendilhamento do cone de

concreto, pelo deslizamento da barra de aço ou, ainda, caso a tensão seja maior que a tensão de escoamento do aço, a ligação pode romper pelo escoamento do aço.

## 2.7 RESINAS EPÓXI

A resina epóxi é um polímero termorrígido que quando misturado com produtos químicos endurecedores, produz uma reação química que endurece a resina epóxi. A este processo de endurecimento dá-se o nome de polimerização, sendo que as principais características da reação química são o aumento da viscosidade e a liberação de calor (exotérmica) (FERNANDES, 2011).

Entretanto, a resina utilizada na construção civil apresentam modificações em suas composições químicas, causada por aditivos reativos os quais influenciam quimicamente. Possui adições de minerais inativos, que afetam as características mecânicas e de trabalhabilidade e na redução do polímero no volume final de resina (FERNANDES, 2011).

De acordo com Fernandes (2011), dentre todas as características quanto a utilização da resina epóxi, na construção civil, se exaltam as seguintes:

- a) Aderem ao concreto, aço, madeira e a quase todos os materiais utilizados na construção civil;
- b) Apresentam baixa retração, alta resistência a ataques de ácidos, solventes e oxidantes;
- c) Rápido endurecimento quando comparado aos demais materiais utilizados na construção civil e alto grau de impermeabilização;
- d) Apresenta resistência a tração superior ao do concreto.

As propriedades mecânicas da resina são possíveis de determinação por compressão e por teste de deflexão. Segundo Gurbuz e Ilki (2011), a resistência a flexão e de compressão em média da resina epóxi são 30,9 e 61,3 megapascal (Mpa) respectivamente.

## 2.8 ADERÊNCIAS AÇO-RESINA-CONCRETO

A resina deve atuar, portanto, como a ponte de transmissão das tensões da barra de aço para o concreto. Para isto, os três diferentes materiais devem atuar

monoliticamente, ou seja, do mesmo modo em que o concreto armado transmite suas tensões, a resina epóxi deve colaborar nestas transmissões ou ainda, melhorar esta ponte de ligação (FERNANDES, 2011).

Para isso, a resina deve ter características compatíveis de resistência à tração e compressão ao do concreto e do aço, assim como elevada capacidade de adesão no concreto e no aço. Pode-se esperar também, devido à capacidade de adesão da resina, uma mudança no comportamento da ligação aço-resina-concreto, se comparado ao concreto armado (FERNANDES, 2011).

## 2.9 FATORES QUE INFLUENCIAM NA ADERÊNCIA

Como a aderência é um mecanismo que envolve dois ou mais materiais e suas propriedades mecânicas, há fatores ligados a estas propriedades que se variados, influenciam diretamente na ligação aderente.

Segundo Tavares (2012), na literatura técnica os fatores que mais influenciam na aderência são: a resistência mecânica do concreto e o cobrimento; o limite de escoamento do aço; o diâmetro, formas e tratamento das barras de aço; o espaçamento e posição entre as barras de aço; composição do concreto fresco; a idade e o tipo do carregamento e o comprimento de ancoragem.

Quanto ao sistema de aderência que utiliza a resina epóxi, segundo Gurbuz e Ilki (2011), como a capacidade adesiva da cola depende das condições das superfícies que serão unidas, as condições do buraco de ancoragem e da superfície da barra de aço são importantes. Superfícies que apresentam poeira, ferrugem ou outro tipo de material inerte devem ser limpos para melhorar a eficiência de aderência da resina epóxi.

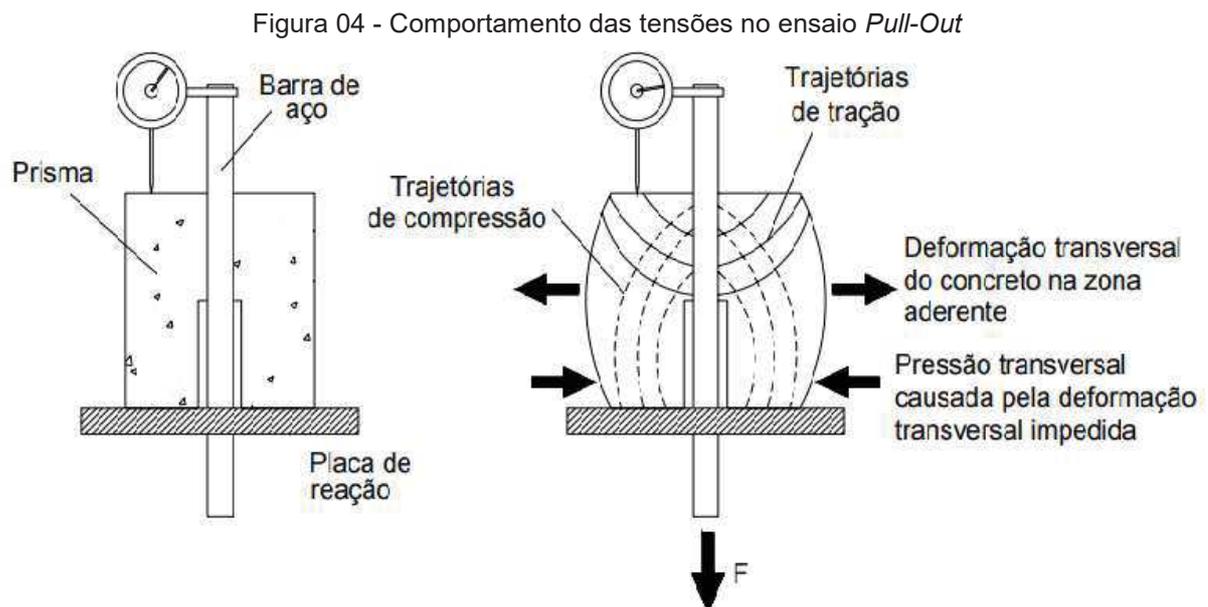
## 2.10 ENSAIOS DE ARRANCAMENTO DIRETO (*PULL-OUT TEST*)

Normatizado pela Rilem-Fip-Ceb (1973) e referido na ASTM (1991), o ensaio de arrancamento direto de barras de aço posicionadas em prismas de concreto (*Pull-Out Test*) é estudado e empregado por diversos pesquisadores, sendo o mais tradicional no estudo da aderência (FERNANDES, 2011; TAVARES, 2012).

Este ensaio é aplicado também no estudo do comportamento de barras de diferentes perfis, avaliar a aderência em concretos de diferentes resistências de

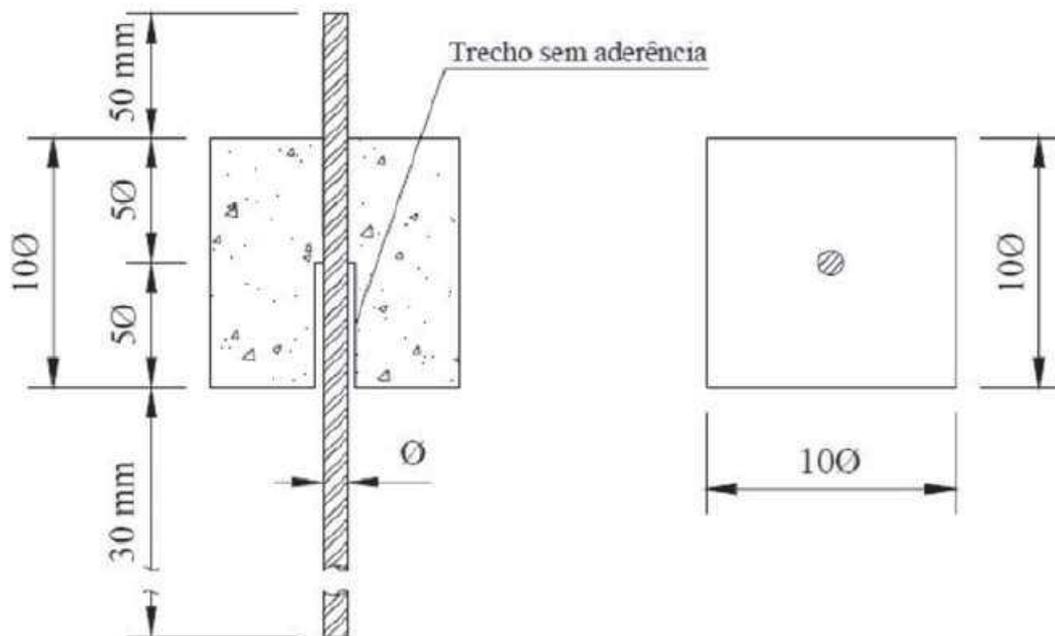
compressão, o comprimento ancorado, o cobrimento e espaçamento das barras de aço.

O ensaio consiste em concretar uma barra de aço em um prisma de concreto, onde em um lado de suas extremidades é posicionado um extensômetro e do outro lado, é aplicada a carga, tendo como resultado do ensaio a relação entre o deslizamento da barra em relação ao concreto e a carga aplicada. Entretanto, para ocorrer a reação no concreto necessária para criar a aderência, o prisma é posicionado sobre uma placa de apoio durante o ensaio. Surge então, um componente longitudinal causada pela compressão do concreto, a qual interfere na capacidade de aderência. Para minimizar este efeito, uma área não aderente é considerada logo após a placa de apoio como pode ser observado na Figura 04 (TAVARES, 2012).



Fonte: Leonhardt e Mönning (1977 apud ALMEIDA FILHO, 2006).

As dimensões recomendadas em norma para a confecção do corpo de prova em relação ao diâmetro da barra de aço ( $\Phi$ ) ensaiada são apresentadas na Figura 05.

Figura 05 - Dimensões do corpo de prova *Pull-Out*

Fonte: Rilem-Fip-Ceb, 1973.

A norma também preconiza a velocidade de carregamento da barra e a quantidade de corpos de teste que devem ser realizados para cada tipo configuração testados.

Segundo Souza, Tavares e Fernandes (2018), este ensaio é de simples execução e precisa ser adaptado para o estudo para proporcionar a colagem com resina epóxi. Nestes casos, um furo com dimensão específica é executado com broca no corpo de prova e a barra é colada com a resina epóxi.

### 2.10.1 Estudos realizados utilizando o ensaio *Pull-Out*

No estudo realizado por Fernandes (2011), as dimensões do corpo de prova foram estabelecidas segundo as recomendações da norma Rilem (1973) e para realizar o ensaio de aderência com a ponte de resina epóxi, modificou o ensaio, realizando em um primeiro momento a concretagem do prisma de concreto com tubos inseridos de PVC com diâmetros exatos, servindo de gabarito no local onde a barra foi colada, levando em consideração a espessura da camada de resina epóxi.

Em seus ensaios, chegou à conclusão que a aplicação da resina epóxi de acordo com o especificado pelos fabricantes nos corpos de prova nas dimensões normatizado pela Rilem (1973), é extremamente complicada, pois o fato da barra ter

que transpassar o prisma faz com que a resina, que é aplicada anterior ao transpasse da barra, saia do corpo de prova, o que impossibilita a ponte de ligação aço-resina-concreto que é o ponto de estudo.

Fernandes (2011), em seu estudo, utilizou desta forma, de métodos não padronizados para solucionar este problema e para manter a resina no interior do orifício, por exemplo, realizou a aplicação da resina somente após o transpasse da barra.

Para criar a região não aderente, Fernandes (2011), utilizou de filmes de PVC colados à barra de aço, conforme demonstra a Figura 06, finalizando com um tampão de fita isolante para evitar o escorregamento da resina epóxi da região aderente para a região não aderente.

Figura 06 - Ensaio realizado por Fernandes (2011)



Fonte: Fernandes, 2011.

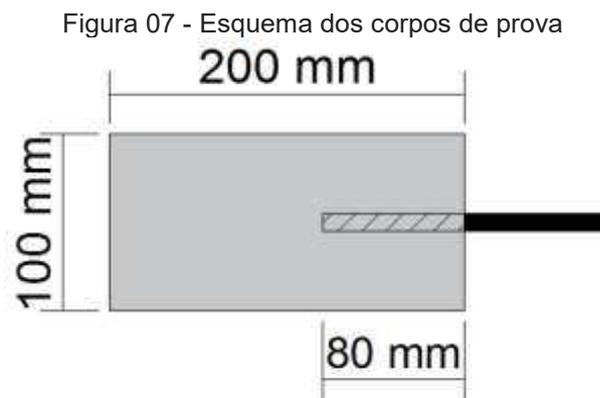
Os processos de adensamento e cura foram os especificados pela Rilem (1973) para o ensaio de *Pull-Out*, sendo o de adensamento com o auxílio de vibradores e o processo de cura dividido em duas etapas, para os primeiros 5 dias os corpos de prova foram envoltos em filme plástico e nos dias a seguir até a data de ensaio, mantidos em ambiente de laboratório.

Fernandes (2011) comparou então, os resultados obtidos no ensaio *Pull-Out*, dos corpos de prova com resina e sem resina com as seguintes variáveis: comprimento de ancoragem, espessura da resina epóxi e o diâmetro da barra.

Em suas conclusões o autor constatou que a colagem por resina epóxi possibilita a redução dos comprimentos de ancoragem e o aumento do diâmetro da

barra e do comprimento de colagem também aumentou, em todos os modelos, a resistência de adesão. A variação da espessura da resina epóxi entre 1 e 3 milímetros (mm) não influenciou significativamente na ruptura e o modo de ruptura, sendo nos modelos sem resina por arrancamento enquanto que os modelos com resina, por fendilhamento.

No estudo realizado por Doria, Sales e Andrade (2015), as dimensões do corpo de prova foram de 100 mm x 100 mm x 200 mm para ensaios com barras de oito milímetros, sendo que estas dimensões estão superiores às dimensões estabelecidas pela norma Rilem (1973). As barras foram inseridas 80 mm no concreto, não ultrapassando todo o comprimento do corpo de prova e, portanto, fora das recomendações da norma Rilem (1973) como pode ser observado na Figura 07.



Fonte: Tavares, 2012.

O método de cura adotado pelo autor foi à inserção em sacolas plásticas hermeticamente fechadas durante 28 dias e após, foram deixados 90 dias ao ar no ambiente do laboratório. Os corpos de prova com resina foram moldados após estes 90 dias, onde uma broca de 10 milímetros realizou orifícios com 80 milímetros de comprimento e preenchidos com resina epóxi resultando em uma espessura de 1 milímetro de comprimento e imediatamente, inseridos as barras de aço de oito milímetros.

Os resultados obtidos demonstram que não houve diferença na aderência nas condições de ancoragem sem resina e com resina, sendo os resultados obtidos pelos autores de 13,47 MPa para barra inserida durante a concretagem e de 13,40 MPa para a barra inserida com ponte de resina epóxi. Percebeu-se também nos corpos de prova sem resina, o esfacelamento do concreto causado pelo

puncionamento no concreto ao redor da barra, enquanto nos corpos de prova com resina, houve o aparecimento de fissuras que se propagaram a partir do ponto de inserção da barra no concreto, como demonstrado na Figura 08.

Figura 08 – Ensaio realizado por Doria, Sales e Andrade (2015)



Fonte: Doria, Sales e Andrade, 2015.

O estudo realizado por Sartori et al. (2017), o ensaio de arrancamento foi utilizado para comparar à aderência de barras no concreto convencional e concreto leve com pérolas de EPS. Como parâmetros do ensaio de arrancamento, adotou os estipulados pela norma Rilem (1973) modificando somente as dimensões do corpo de prova, onde adotou no lugar de um prisma de concreto, um cilindro de concreto com a dimensão de diâmetro em 150 milímetros para todas as barras, variando em consequência de seu estudo, o comprimento de ancoragem. O valor da parte não aderente também foi modificada, ao invés de variar de acordo com o diâmetro da barra estudada, foi fixado em 50 mm para todas as barras onde variavam nos diâmetros de 5 mm, 6,3 mm, 8 mm, 10 mm e 12,5 mm. Em relação à maior barra estudada, de 12,5 mm, a relação do diâmetro do corpo de prova em relação à barra é de 12 vezes o diâmetro da barra, possibilitando um cobrimento maior do que o

estipulado pela norma RILEM, o qual no prisma de concreto é de 10 vezes o diâmetro da barra.

No trabalho realizado por Barbosa e Sánchez Filho (2016), o autor buscou determinar a relação do deslizamento com a aderência. Para isto, utilizou o ensaio *Pull-Out* com os parâmetros de ensaio da norma Rilem (1973), com diâmetros de barra de 16 mm e 20 mm. Em seus resultados, identificou que se o diâmetro da barra aumenta a aderência também aumenta. Isto ocorre, pois barras de maior diâmetro tem nervuras com alturas maiores, o que influencia diretamente na aderência.

No trabalho desenvolvido por Gurbuz e Ilki (2011), realizou a comparação entre barras de aço totalmente aderidas ao concreto e parcialmente aderidas ao concreto. Para isto, utilizou de blocos de concreto idênticos para todas as configurações testadas e a mesma resina epóxi. As dimensões dos corpos de prova foram de 250 centímetros (cm) de comprimento, 125 cm de largura e altura variando entre 25 a 35 cm, sendo estas medidas diferentes das preconizadas pela Rilem (1973).

O diâmetro de todas os orifícios de ancoragem foram 3 mm maiores do que o diâmetro da barra estudada, realizados por furadeira de impacto. Para realizar a colagem das barras, primeiro a resina epóxi foi inserida no orifício, e em seguida, com movimentos circulares, a barra foi inserida no orifício.

Os parâmetros variados no estudo foram o diâmetro da barra, o comprimento de ancoragem de acordo com o diâmetro da barra e a condição da superfície do orifício de ancoragem. O comprimento sem aderência da barra ancorada com resina foi variado em todas as configurações, sendo o comprimento seis vezes o diâmetro da barra, o qual também difere do estabelecido pela Rilem (1973).

O motivo pela mudança nas dimensões do bloco de concreto foi devido ao modo de ruptura. Para evitar o fendilhamento do corpo de prova e por consequência, limitar o valor da aderência, o cobrimento ao redor da barra foi elevado. Desta forma, a ruptura que ocorreu em seus experimentos foi à ruptura por formação do cone de concreto, o qual é o máximo de aderência que o conjunto aço-resina-concreto suporta.

Em seus resultados, Gurbuz e Ilki (2011) determinaram que as barras parcialmente aderidas apresentaram uma resistência de adesão superior as barras

completamente aderidas, a preparação da superfície do orifício que recebeu a resina epóxi afeta na resistência de aderência, o comprimento de ancoragem e o diâmetro da barra afetam na resistência de ancoragem e que mesmo buscando somente um modo de ruptura, os ensaios apresentaram outros modos de ruptura.

## **3 MATERIAIS E MÉTODOS**

### **3.1 MATERIAIS**

#### **3.1.1 Cimento**

O cimento Portland utilizado no ensaio foi o CP II Z 32 da marca Votoran, composto com pozolana. Tal escolha se baseia no fato deste cimento ser o mais empregado nas diversas etapas da construção civil, como na concretagem das lajes, vigas e pilares.

#### **3.1.2 Agregado Miúdo**

A procedência do agregado miúdo é do Rio Paraná, entretanto, todo o agregado é proveniente de um mesmo lote de areia natural. A compra foi realizada em uma única loja de materiais de construção e condicionada em local onde não entrou em contato com outros materiais.

#### **3.1.3 Agregado Graúdo**

O agregado utilizado é o denominado brita nº 0 basáltica. A procedência é da empresa Cmix, todo o agregado graúdo é de um mesmo lote e comprado de uma mesma loja de materiais de construção. O condicionamento do material foi realizado em ambiente onde não entrará em contato com outros materiais.

#### **3.1.4 Aço**

O aço utilizado no ensaio foi da empresa Gerdau, com resistência característica de escoamento mínima de 500 MPa e de diâmetro de 10 milímetros. Foram adquiridos em uma mesma loja de material de construção e de um mesmo lote. As barras foram compradas em comprimentos de 12 metros.

### 3.1.5 Resina epóxi

A resina utilizada neste estudo foi o adesivo estrutural bi componente da marca VEDACIT, com o nome comercial de COMPUND Adesivo. Suas características, segundo o fabricante, são: média fluidez, altas resistências a baixas idades. A resistência máxima do adesivo é obtida após sete dias de cura e a aplicação deve ser realizada até uma hora e meia após a mistura dos componentes.

### 3.1.6 Corpos de prova do ensaio *Pull-Out*

Para o ensaio do objeto de estudo deste trabalho, as recomendações das dimensões do corpo de prova estipulados pela Rilem (1973) foram, em algumas partes, modificados. Estas modificações foram realizadas para adaptar o ensaio aos métodos de ancoragem que utilizam resina epóxi, para que desta forma, os parâmetros de estudo sejam o mais próximo dos parâmetros estipulados pela Rilem (1973) e dos parâmetros de execução observados em obras, onde não há uma normativa que estipula e determina a forma de utilização da resina epóxi como ponte de ligação na aderência.

A primeira modificação foi quanto às dimensões horizontais do corpo de prova. Segundo a Rilem (1973), o prisma de concreto deve ter faces com dimensões de 10 vezes o diâmetro da barra. No caso deste estudo, onde foram utilizadas barras com diâmetro de 10 milímetros, o prisma teria faces com 10 centímetros de comprimento e, desta forma, o cobrimento mínimo da barra seria de 4,5 centímetros.

Como visto nos ensaios realizados por Souza, Tavares e Fernandes (2018), o modo de ruptura mais comum que ocorre com os corpos de prova nas dimensões da Rilem (1973) é o fendilhamento. Para evitar o fendilhamento e melhorar as dissipações das tensões geradas durante o ensaio de arrancamento, nos corpos de prova deste trabalho, o cobrimento foi aumentado em uma proporção de 10 vezes o diâmetro da barra, resultando então para uma barra de 10 milímetros, em um cobrimento de 9,5 centímetros.

Visando um melhor aproveitamento do concreto, o corpo de prova teve então dimensão circular com diâmetro de 20 centímetros.

A altura do corpo de prova também foi modificada, devido à resina epóxi. Segundo o fabricante da resina, o método de aplicação consiste em introduzir a

resina no orifício de ancoragem e imediatamente após isto introduzir a barra no orifício realizando movimentos circulares. Como o prisma de concreto da norma Rilem (1973) é transpassado pela barra, este método não é passível de aplicação no estudo da ancoragem com resina epóxi.

Para resolver este problema, o corpo de prova não foi transpassado, permitindo a criação do orifício de ancoragem. Desta forma, as dimensões de altura do corpo de prova foram os seguintes:

- a) Da mesma forma como a norma Rilem (1973) estipula, a parte não aderente teve 5 vezes o diâmetro da barra, ou seja, para este trabalho, 5 centímetros;
- b) O comprimento de ancoragem, o qual é o parâmetro avaliado para a comparação de resistência de aderência deste trabalho, variou nas seguintes dimensões: 2,5 vezes o diâmetro da barra, 5 vezes o diâmetro da barra, 7,5 vezes o diâmetro da barra e 10 vezes o diâmetro da barra;
- c) Para que o corpo de prova possibilite o orifício para a ancoragem e melhore as dissipações das tensões geradas pela ancoragem, um comprimento de 5 vezes o diâmetro da barra foi realizado além do ponto onde a ancoragem termina.

Como o ensaio da Rilem (1973) preconiza uma área não aderente no começo do corpo de prova, uma última modificação foi realizada para possibilitar a ancoragem com resina epóxi.

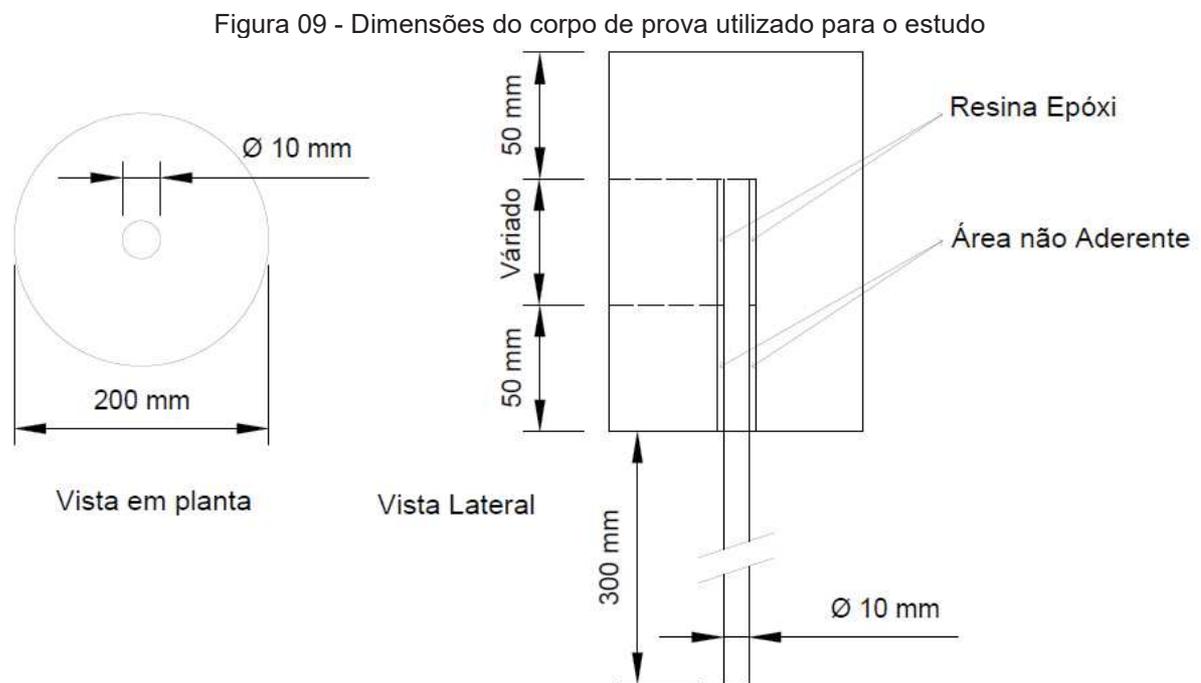
Os corpos de prova cilíndricos foram, a priori, completamente concretados. Realizado a desforma e a cura, o orifício de ancoragem foi executado com o auxílio de uma furadeira de bancada. Para garantir a área não aderente, o orifício foi alargado somente no comprimento não aderente.

Uma bucha de PVC com espessura suficientemente espessa a ponto de cobrir somente a diferenças de espessuras resultantes do alargamento do orifício foi inserida no comprimento não aderente. Esta bucha deverá garantir a não aderência da barra no concreto, visto que a resina pode causar a colagem da barra de aço na bucha, e a bucha não está colada ao concreto. Posteriormente a inserção da bucha de PVC, o processo de inserção da resina e da barra de aço mantiveram-se os estipulados pelo fabricante da resina, o qual preconiza que, primeiramente, a resina

seja vertida no orifício e em seguida, a barra seja introduzida com movimentos circulares até atingir o comprimento de ancoragem.

A barra de aço teve seu comprimento total variado de acordo com o comprimento de ancoragem estudado. Entretanto, o segmento que se estende além do corpo de prova teve, para todos os exemplares, um comprimento de 30 centímetros.

Os demais parâmetros de ensaio serão idênticos ao ensaio da Rilem (1973). A disposição final do corpo de prova é demonstrada na Figura 09.



Fonte: Autoria Própria, 2018.

### 3.1.7 Ensaio de arrancamento

O ensaio de arrancamento foi realizado na prensa da fabricante E-MIC modelo MUE100, a qual possibilita, entre suas funções, a realização de ensaios de tração em barras de aço. Entretanto, para realizar o ensaio de *Pull-Out*, que se assemelha ao ensaio de tração, um adaptador foi confeccionado, possibilitando assim, a realização do ensaio *Pull-Out*.

Para a confecção do adaptador, estudos foram realizados juntamente com os técnicos Engenheiros do laboratório de Engenharia Civil da UTFPR do campus Toledo, onde as características de dimensão necessárias do adaptador foram

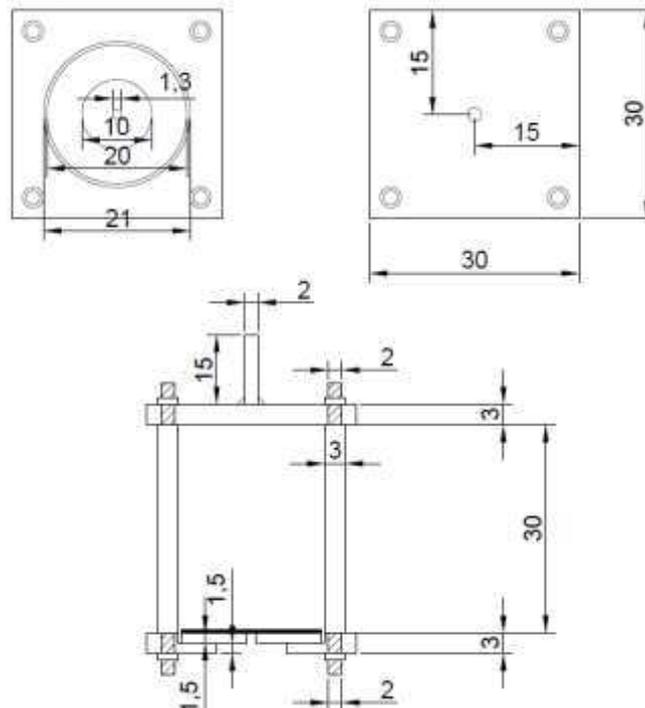
determinadas a fim de assegurar a precisão necessária ao ensaio. As dimensões e características do adaptador são demonstradas nas Figuras 10 e 11, com dimensões em centímetros.

Figura 10 – Modelo 3D do adaptador para o ensaio *Pull-Out*



Fonte: Autoria Própria, 2019.

Figura 11 – Modelo 2D do adaptador para o ensaio *Pull-Out*



Fonte: Autoria Própria, 2019.

O aço empregado na fabricação de todas as peças do adaptador foi o SAE 1045, com limite de escoamento de 450 MPa e resistência de tração de 585 MPa. A usinagem das peças foi realizada pela empresa MI Indústria e Comércio de Peças, situado na cidade de Toledo-Pr.

## 3.2 MÉTODOS

### 3.2.1 Características dos Materiais do Concreto

Para a escolha da resistência à compressão característica do concreto ( $f_{ck}$ ), foi levada em consideração a justificativa deste estudo, onde a utilização da resina epóxi na ancoragem de barras é mais observada em recuperações ou reforços estruturais de edificações que apresentam degradação natural de suas estruturas ao longo dos anos de utilização, assim como, em situações onde se faz necessário o acréscimo de armaduras ou de barras de esperas em casos de avaria na estrutura causada por eventos únicos, como terremotos e vendavais.

Desta maneira, as estruturas que necessitam destes acréscimos de armadura devido à degradação natural são urbanas. Estas estruturas apresentam uma resistência característica de compressão do concreto ( $f_{ck}$ ) normalmente com entre 20 a 25 MPa, pois de acordo com a NBR 6118 (2014), concretos com classe de agressividade moderada tem sua classificação geral do tipo urbana, tendo seu limite de resistência a compressão em 25 MPa em estruturas de concreto armado.

Desta forma, o concreto utilizado para a confecção de todos os exemplares de ensaio deste trabalho terá uma resistência à compressão característica em torno de 20 MPa, sendo esta resistência conferida a partir de ensaios de compressão axial de acordo com a NBR 5739 (2018) e dos cálculos necessários.

Para a determinação do traço para a resistência de compressão de 20 MPa, foi empregado o método ABCP/ACI de determinação experimental, como estabelecido na NBR 12655 (2015).

Todos os ensaios para estabelecer os parâmetros necessários do método ABCP/ACI para a determinação do traço foram executados em laboratório de acordo com as suas respectivas normas da ABNT/NM, sendo estas, a norma NBR NM 26 (2009), NBR NM 27 (2001), NBR NM 45 (2006), NBR NM 52 (2009), NBR NM 53 (2009) e a NBR NM 23 (2000).

Para a determinação do traço pelo método ABCP/ACI é necessário primeiro, determinar a massa unitária dos agregados e a massa específica do cimento e dos agregados.

A norma NBR NM 26 (2009) determina os parâmetros de coleta da amostragem necessários para a extração, redução, armazenamento e transporte das amostras dos agregados. As amostras utilizadas neste ensaio são provenientes de depósitos comerciais de obra com amostragem em pilhas conforme a Figura 12.

Figura 12 – Depósitos dos agregados



Fonte: Autoria Própria, 2019.

Para este tipo de depósito, a norma preconiza que, para agregados miúdos, deve-se quando não houver equipamento mecânico para a realização da amostragem, retirar 30 centímetros da camada exterior e uma amostra do topo, do meio e da base da pilha. De acordo com a tabela 01 da norma NBR NM 26 (2009), são necessárias três amostras, (topo, meio e base da pilha) com quantidade total de 40 quilos.

A norma NBR NM 27 (2001) demonstra os métodos necessários para a redução das amostras, retiradas em campo, para que possam ser utilizadas nos ensaios em laboratório. A separação para o agregado miúdo e graúdo utilizado neste trabalho foi realizada por quarteamento das amostras de acordo com o

método B da norma NBR NM 27 (2001), onde se deve homogeneizar a amostra por completo 3 vezes e em seguida conforme a Figura 13, formar um tronco de cone com diâmetro e altura aproximadamente iguais conforme a Figura 14. Deve-se então, dividir a amostra em 4 partes, retirar duas e realizar novamente o processo até obter material suficiente para a realização dos ensaios conforme a Figura 15.

Figura 13 – Homogeneização da amostra



Fonte: Autoria Própria, 2019.

Figura 14 – Tronco de cone



Fonte: Autoria Própria, 2019.

Figura 15 – Quarteamento da amostra



Fonte: Aatoria Própria, 2019.

A norma NBR NM 45 (2006) determina os parâmetros necessários para a determinação da massa unitária dos agregados. Com a amostra seca em estufa e utilizado o método A desta norma, as amostras dos agregados graúdo e miúdos foram compactadas em recipientes, conforme as Figuras 16 e 17 e em seguida, onde foram preenchidas em 3 camadas e cada camada foi compactada com haste de adensamento, registrado ao final, a massa do recipiente mais seu conteúdo.

Figura 16 – Massa Unitária Agregado Miúdo



Fonte: Aatoria Própria, 2019.

Figura 17 – Massa Unitária Agregado Graúdo



Fonte: Autoria Própria, 2019.

Para o cálculo da massa unitária foi utilizada a Equação (1), de acordo com a NBR NM 45 (2006).

$$\rho_{ap} = \frac{m_{ar} - m_r}{V} \quad (1)$$

Em que:

$\rho_{ap}$  é a massa unitária do agregado, em quilograma por metro cúbico;

$m_{ar}$  é a massa do recipiente mais o agregado, em quilogramas (kg);

$m_r$  é a massa do recipiente vazio, em quilogramas;

$V$  é o volume do recipiente, em metros cúbicos (m<sup>3</sup>).

A norma NBR NM 52 (2009) realiza a determinação da massa específica do agregado miúdo. Utilizando a amostra quarteada, o agregado miúdo foi deixado em um recipiente com água por 24 horas. Após isto, foi realizada a secagem até o ponto determinado pelo item 6.3 da norma, conforme a Figura 18.

Figura 18 – Procedimento para verificação da umidade para o ensaio



Fonte: Aatoria Própria, 2019.

Em seguida, foram mensurados 500 gramas do agregado e introduzido no frasco de 500 centímetros cúbicos (cm<sup>3</sup>) e registrado a massa do conjunto. O frasco foi então enchido com água até a marca de 500 cm<sup>3</sup> e com movimentos circulares, as bolhas de ar foram retiradas e então, posto em banho a temperatura ambiente ( $23 \pm 2$  °C). Após uma hora, completou-se o nível de água do frasco e foi pesado novamente o conjunto, conforme a Figura 19. O agregado foi removido do frasco e secado em estufa por 24 horas (Figura 20) e mensurado novamente.

Figura 19 – Procedimento do ensaio



Fonte: Aatoria Própria, 2019.

Figura 20 – Secagem em estufa dos materiais



Fonte: Aatoria Própria, 2019.

Utilizado a Equação (2), da norma NBR NM 52 (2009), é possível determinar a massa específica aparente do agregado.

$$d_1 = \frac{m}{V - V_a} \quad (2)$$

Em que:

$d_1$  é a massa específica aparente do agregado seco, em gramas por  $\text{cm}^3$ ;

$m$  é a massa da amostra seca em estufa, em gramas (g);

$V$  é o volume do frasco, em  $\text{cm}^3$ ;

$V_a$  é o volume de água adicionado ao frasco, em  $\text{cm}^3$  de acordo com a Equação (3).

$$V_a = \frac{m_2 - m_1}{\rho_a} \quad (3)$$

Em que:

$m_2$  é a massa total do frasco + agregado + água, em gramas;

$m_1$  é a massa do conjunto frasco + agregado, em gramas;

$\rho_a$  é a massa específica da água, em gramas por  $\text{cm}^3$  ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ).

A norma NBR NM 53 (2009) é utilizada na determinação da massa específica do agregado graúdo. O material do ensaio quarteado foi lavado na peneira de 4,75 mm para a eliminação do material com diâmetro menor do da peneira, conforme a Figura 21.

Figura 21 – Agregado Graúdo sendo lavado



Fonte: Autoria Própria, 2019.

Em seguida, a amostra foi submergida em água por 24 horas. Após as 24 horas, a amostra foi enxugada e mensurada (Figura 22).

Figura 22 – Secagem do Agregado Graúdo com panos



Fonte: Autoria Própria, 2019.

A amostra então foi submersa novamente e pesada com seu volume em água conforme a Figura 23.

Figura 23 – Agregado Graúdo submerso em água para pesagem



Fonte: Autoria Própria, 2019.

Em seguida, foi seca em estufa por 24 horas e pesada novamente. Utilizando a Equação (4), da norma, pode-se então determinar a massa específica do agregado.

$$d_a = \frac{m}{m_s - m_a} \quad (4)$$

Em que:

$d_a$  é a massa específica aparente do agregado graúdo, em gramas por centímetro cúbico ( $\text{g}/\text{cm}^3$ );

$m$  é a massa da amostra ao ar, em gramas;

$m_s$  é a massa ao ar da amostra em condições de saturada em superfície seca, em gramas;

$m_a$  é a massa em água da amostra em condições de saturada superfície seca, em gramas.

A norma NBR NM 23 (2000) é utilizada na determinação da massa específica do cimento através do frasco de *Le Chatelier*. Para isto, o frasco foi preenchido com querosene até a marca entre os níveis zero e um cm<sup>3</sup>. Em seguida, 500 gramas de cimento foi inserido no interior do frasco e realizado nova medição do volume (Figuras 24 e 25).

Figura 24 – Cimento sendo introduzido no frasco de *Le Chatelier*



Fonte: Aatoria Própria, 2019.

Figura 25 – Ensaio de *Le Chatelier*



Fonte: Aatoria Própria, 2019.

Para a determinação da massa específica do cimento utiliza-se a Equação (5).

$$\rho = \frac{m}{V_2 - V_1} \quad (5)$$

Em que:

$\rho$  é a massa específica do cimento, em gramas por  $\text{cm}^3$ ;

$m$  é a massa do material ensaiado, em gramas;

$V_2$  é o volume final do frasco;

$V_1$  é o volume inicial do frasco.

Com os parâmetros dos materiais constituintes do concreto determinados, a próxima etapa na determinação do traço, segundo a ABCP/ACI, é determinar os parâmetros do concreto.

### 3.2.2 Traço do Concreto

É necessário determinar o valor do  $f_{ck}$ , determinar a resistência de compressão de projeto do concreto ( $f_{cd}$ ) utilizando a Equação (6).

$$f_{cd} = f_{ck} + (1,65 \times S_d) \quad (6)$$

Em que:

$S_d$  é o desvio padrão amostral.

Determinado o valor do  $f_{cd}$  e também, a relação máxima de água/cimento ( $a/c$ ) a partir da classe de agressividade e da classe do cimento, determina-se a relação  $a/c$  do traço utilizando o diagrama de Walls.

A etapa seguinte é a determinação do consumo dos materiais. O consumo de água ( $Ca$ ) é definido realizando a relação entre o abatimento de tronco e o diâmetro máximo do agregado graúdo, em litros por metro cúbico ( $\text{l/m}^3$ ).

O consumo de cimento ( $Cc$ ) é definido utilizando a Equação (7).

$$Cc = \frac{Ca}{a/c} \quad (7)$$

Em que:

$Cc$  é o consumo de cimento, em quilograma por metro cubico ( $\text{kg}/\text{m}^3$ );

$Ca$  é o consumo de água, em litros/ $\text{m}^3$ ;

$a/c$  é a relação água/cimento.

O consumo de agregado graúdo ( $Cb$ ) é definido utilizando o módulo de finura (MF), o diâmetro máximo do agregado graúdo e a Equação (8).

$$Cb = Vb \times \delta_{\text{agregado graúdo}} \quad (8)$$

Em que:

$Cb$  é o consumo de agregado graúdo, em  $\text{kg}/\text{m}^3$ ;

$Vb$  é definido por tabela, utilizando o MF e o diâmetro máximo do agregado graúdo, em  $\text{m}^3/\text{m}^3$ ;

$\delta_{\text{agregado graúdo}}$  é a massa unitária do agregado graúdo, em  $\text{kg}/\text{m}^3$ .

O consumo de agregado miúdo é definido utilizando as Equações (9) e (10).

$$Vm = 1 - [(Cc/\gamma_c) + (Cb/\gamma_b) + (Ca/\gamma_a)] \quad (9)$$

Em que:

$Vm$  é um parâmetro adimensional em  $\text{m}^3/\text{m}^3$ ;

$\gamma_c$  é a massa específica do cimento, em  $\text{kg}/\text{m}^3$ .;

$\gamma_b$  é a massa específica do agregado graúdo, em  $\text{kg}/\text{m}^3$ .;

$\gamma_a$  é a massa específica da água, em  $\text{kg}/\text{m}^3$ .

$$Cm = Vm \times \gamma_{\text{agregado miúdo}} \quad (10)$$

Em que:

$Cm$  é o consumo de agregado miúdo, em  $\text{kg}/\text{m}^3$ ;

$\gamma_{\text{agregado miúdo}}$  é a massa específica do agregado miúdo, em  $\text{kg}/\text{m}^3$

A determinação do traço é apresentada então da seguinte forma: Cimento:  
Agregado miúdo: Agregado graúdo: Quantidade de água, conforme a Equação (11).

$$\frac{Cc}{Cc} : \frac{Cm}{Cc} : \frac{Cb}{Cc} : a/c \quad (11)$$

Este traço, como foi determinado a partir dos dados realizados pelos experimentos em laboratório com materiais seco em estufa, determina que os materiais utilizados para a confecção do concreto deste trabalho sejam também, secos em estufa.

Para determinação do  $f_{ck}$  com os dados obtidos nos ensaios de compressão axial, foi utilizada a metodologia estatística da NBR 12655 (2015). Para lote com números de exemplares ( $n$ ) entre 6 e 20 ( $6 \leq n \leq 20$ ), o valor estimado da resistência característica a compressão ( $f_{ck,est}$ ) é dado pela Equação (12).

$$f_{ck,est} = 2 \times \frac{f_1 + f_2 + \dots + f_{m-1}}{m-1} - f_m \quad (12)$$

Em que:

$f_{ck,est}$  é a resistência à compressão característica estatística do concreto;

$f_1 + f_2 + \dots + f_{m-1}$  são os valores das resistências dos exemplares, em ordem crescente;

$m$  é o número de exemplares;

$f_m$  é o dado de maior valor.

A verificação da resistência de compressão é dada a partir da Equação (13).

$$f_{ck,est} > f_{ck,proj} \quad (13)$$

Em que:

$f_{ck,est}$  é a resistência à compressão característica estatística do concreto;

$f_{ck,proj}$  é a resistência à compressão característica de projeto do concreto;

Se confirmada à Equação (13), o concreto dimensionado está de acordo com o determinado em projeto.

### 3.2.3 Tratamento estatístico dos dados de *Pull-Out*

Para o tratamento dos dados do ensaio de *Pull-Out* foi utilizado o método estatístico de Análise de Variância (ANOVA).

O método ANOVA é utilizado quando se deseja comparar objetos de um experimento, como por exemplo, os comprimentos de ancoragem. Para este

trabalho, a utilização do método ANOVA foi para testar se há diferenças entre as médias dos valores de resistência de aderência obtidos pelos ensaios de *Pull-Out*, podendo assim, identificar estatisticamente se há um aumento de resistência quanto maior é o comprimento de ancoragem.

Desta forma, foi considerada a hipótese inicial  $H_0$  em que as médias são iguais, portanto, não ocorrendo aumento de resistência de aderência, e a hipótese  $H_1$ , em que pelo menos duas médias são diferentes.

A Tabela 1 apresenta os cálculos necessários para a análise de variância do método ANOVA.

Tabela 1 – Tabela de análise de variância

Fator de Variância	Soma de Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrados Médios	F Calculado
Tratamento	SQTrat	I - 1	$\frac{SQTrat}{I - 1} = QMTrat$	$\frac{QMTrat}{QMRes}$
Resíduo	SQRes	I(J-1)	$\frac{SQRes}{I(J - 1)} = QMRes$	
Total	SQTotal	IJ-1		

Fonte: Dos Anjos, 2009.

Em que:

I é o número de tratamentos, neste trabalho, os comprimentos de ancoragem;

J é o número de repetições, neste trabalho, a quantidade de corpos de prova para cada comprimento de ancoragem ensaiado.

Para identificar se há variação entre as médias, foi utilizado juntamente ao método ANOVA o método de Tukey. Este método permite testar qualquer contraste entre as médias, possibilitando desta forma, identificar se houve ou não o crescimento da resistência de aderência a partir do aumento do comprimento de ancoragem. A Equação 14 é utilizada para calcular este contraste.

$$\Delta = q \times \sqrt{\frac{QMRes}{r}} \quad (14)$$

Em que:

$\Delta$  é a diferença mínima significativa;

$q$  é a amplitude total *studentizada*;

$r$  é o número de repetições.

### 3.2.4 Processo de confecção dos moldes para o ensaio de *Pull-Out*

Os moldes foram construídos a partir de canos de PVC com 200 milímetros de diâmetro. Cortes foram realizados com auxílio de uma serra do tipo “Tico-Tico” (Figura 26), nos comprimentos determinados no item 3.1.6 deste trabalho, resultando nas seguintes alturas e quantidades de corpo de prova:

- a) 20 centímetros para o comprimento de ancoragem de 10 vezes o diâmetro da barra e 10 corpos de prova;
- b) 17,5 centímetros para o comprimento de ancoragem de 7,5 vezes o diâmetro da barra e 10 corpos de prova;
- c) 15 centímetros para o comprimento de ancoragem de 5 vezes o diâmetro da barra e 10 corpos de prova;
- d) 12,5 centímetros para o comprimento de ancoragem de 2,5 vezes o diâmetro da barra e 10 corpos de prova.

Figura 26 - Recorte do cano de PVC



Fonte: Autoria Própria, 2019.

Para auxiliar a desforma, um corte no sentido da altura do molde foi realizado, possibilitando a abertura do mesmo no momento de desforma. Uma cinta plástica foi utilizada então para manter o molde fechado. Uma base, construída de MDF, sustentou o molde de PVC para não se movimentar e abrir durante a concretagem. As Figuras 27 e 28 mostram os moldes prontos para a concretagem.

Figura 27 – Molde pronto para a concretagem



Fonte: Aatoria Própria, 2019.

Figura 28 – Moldes preparados para concretagem



Fonte: Aatoria Própria, 2019.

### 3.2.5 Processo de confecção do concreto

O concreto foi confeccionado com o auxílio de uma betoneira com capacidade de 220 litros e os materiais (agregados) foram secos em estufa durante 24 horas antes da concretagem. Antes de realizar a mistura dos materiais, o interior da betoneira foi limpo com água, para retirar qualquer material e para evitar a perda de água de amassamento para a superfície da betoneira.

Com as quantidades de agregados e cimentos pesados de acordo com o traço estabelecido, a ordem de mistura na betoneira foi: Agregado miúdo, em seguida o cimento e a água e por último, o agregado graúdo. Os materiais foram revolvidos na betoneira até atingir a homogeneidade.

Este processo, de fabricação do concreto, foi realizado com quantidades suficientes para o preenchimento de até oito corpos de prova de cada vez. Foi realizado desta forma devido à demorada do adensamento do concreto nos moldes, onde o mesmo perdia água de amassamento para o ambiente durante esta fase, o que prejudicava a concretagem.

### 3.2.6 Processo de molda dos corpos de prova

Para o ensaio de *Pull-Out* antes da concretagem, foram aplicados em seus interiores, desmoldante Desmol CD da marca Vedacit, conforme estipulado pelo fabricante.

Antes de realizar a concretagem dos moldes, o concreto fabricado segundo o traço determinado, foi testado com o método do *Slump test*, segundo a norma NBR NM 67 (1998) a fim de verificar se o abatimento determinado durante os cálculos do traço está ocorrendo no concreto fabricado, como pode ser visto na Figura 29.

Figura 29 – Realização do ensaio de *Slump Test*

Fonte: Aatoria Própria, 2019.

Com o concreto fresco, a concretagem dos corpos de prova foi realizada segundo a norma NBR 5738 (2015) que preconiza para moldes com diâmetro de 200 milímetros sejam realizadas quatro camadas com adensamento manual de 50 golpes com haste metálica, conforme as Figuras 30 e 31. O acabamento nos corpos de prova foi realizado com colher de pedreiro, com identificação e armazenamento em ambiente com temperatura e umidade de laboratórios.

Figura 30 – Concretagem dos Corpos de Prova do Ensaio de *Pull-Out*

Fonte: Aatoria Própria, 2019.

Figura 31 – Adensamento do concreto



Fonte: Autoria Própria, 2019.

A cada uso da betoneira, e por consequência de fabricação do concreto, dois corpos de prova, para a realização do ensaio de compressão axial, segundo a norma NBR 5738 (2015), foram extraídos a fim de verificar a resistência de compressão do concreto fabricado, conforme a Figura 32.

Figura 32 – Copos de prova para o ensaio de Compressão Axial



Fonte: Autoria Própria, 2019.

### 3.2.7 Processo de desmolda e cura dos corpos de prova

Após dois dias da concretagem, todos os corpos de prova foram desmoldados, identificados e inseridos em cura úmida conforme a NBR 5738 (2015) (Figuras 33 e 34).

Devido à necessidade de realizar o processo de colagem das barras de aço, todos os corpos de prova, tanto do ensaio de aderência como do ensaio de compressão, foram retirados da cura úmida aos 26 dias. Em seguida, os corpos de prova foram condicionados em ambiente com umidade e temperatura de ambiente laboratorial até a data do ensaio.

Figura 33 – Desmolda dos corpos de prova e identificação



Fonte: Autoria Própria, 2019.

Figura 34 – Início da cura úmida dos corpos de prova



Fonte: Autoria Própria, 2019.

### 3.2.8 Processo de confecção dos moldes para a colagem das barras de aço

Para realizar a colagem das barras, o suporte anteriormente utilizado na concretagem foi modificado para evitar excentricidades na barra de aço quando colada no concreto. Para isso, o suporte recebeu um gabarito em madeira com um furo de diâmetro suficiente a possibilitar a passagem da barra de aço de um centímetro de diâmetro, sem folga, conforme a Figura 35.

Figura 35 – Construção do suporte para a colagem das barras com resina epóxi



Fonte: Autoria Própria, 2019.

As barras de aço, nos comprimentos necessários, também foram cortadas a partir de uma barra de aço de 12 metros (Figura 36), nos comprimentos de:

- a) Para 10 vezes o diâmetro da barra: 45 centímetros;
- b) Para 7,5 vezes o diâmetro da barra: 42,5 centímetros;
- c) Para 5 vezes o diâmetro da barra: 40 centímetros;
- d) Para 2,5 vezes o diâmetro da barra: 37,5 centímetros.

Figura 36 – Corte das barras de aço.



Fonte: Autoria Própria, 2019.

### 3.2.9 Processo de criação do orifício de ancoragem

Para o ensaio de aderência, foi necessário criar o orifício para a ancoragem das barras de aço. Para isto, foi utilizada uma furadeira de bancada e brocas específicas para concreto.

Com o corpo de prova posicionado na furadeira, primeiramente, um furo com broca de 8 milímetros foi realizado como guia (Figura 37). O comprimento do furo dependeu do comprimento de ancoragem estudado do corpo de prova. Em seguida, com a broca de 14 milímetros, o orifício realizado com a broca de 8 milímetros foi alargado em todo seu comprimento (Figura 38).

Figura 37 – Furadeira de bancada



Fonte: Autoria Própria, 2019.

Figura 38 – Furadeira de bancada



Fonte: Autoria Própria, 2019.

Por último, somente no comprimento não aderente, o orifício foi novamente alargado com uma broca de 16 milímetros, (Figura 39), possibilitando assim a colocação da bucha de PVC com diâmetro de espessura de 1 milímetro, assegurando a área não aderente.

Figura 39 – Alargamento do furo



Fonte: Autoria Própria, 2019.

Após a abertura dos orifícios e anterior a colocação da bucha de PVC, o furo foi limpo dos resíduos gerados durante a furação. Para isto, foi utilizado ar comprimido, que foi injetado no interior do furo expulsando os resíduos para fora, conforme a Figura 40.

Figura 40 – Limpeza do orifício com ar comprimido



Fonte: Autorial Própria, 2019.

A bucha foi então inserida no interior do corpo de prova com auxílio de um martelo de borracha. Não foi empregado nenhum tipo de lubrificante para a inserção da bucha, pois o mesmo poderia interferir no processo de colagem da barra com a resina epóxi, conforme a Figura 41.

Figura 41 – Inserção da bucha nos Corpos de Prova



Fonte: Autorial Própria, 2019.

### 3.2.10 Processo de colagem das barras com resina epóxi

Antes de iniciar o processo de colagem, as barras de aço foram limpas de qualquer resíduo. Para isso, elas foram lixadas para remover eventuais pontos de ferrugem ou material aderido que possa prejudicar a eficiência da resina epóxi.

Realizado a limpeza das barras e com os orifícios prontos e limpos e a bucha inserida, o furo foi preenchido com resina epóxi com auxílio de um aplicador com sistema similar ao sistema de seringa/bisnaga.

Com movimentos circulares e constantes, a barra de aço foi inserida no orifício até atingir o comprimento de ancoragem, e com auxílio do suporte com o furo para evitar excentricidades, o conjunto barra resina foi deixado em uma superfície plana até a total cura da resina, conforme a Figura 42.

Em seguida, durante sete dias, o corpo de prova foi condicionado em ambiente com umidade e temperatura de laboratório para a secagem da resina epóxi, conforme a Figura 43.

Figura 42 – Conjunto barra de aço, corpo de prova e resina epóxi



Fonte: Autoria Própria, 2019.

Figura 43 – Corpos de prova em ambiente de laboratório durante a secagem da resina



Fonte: Aatoria Própria, 2019.

### 3.2.11 Realização dos ensaios

Os ensaios, tanto de *Pull-Out* como de compressão, foram realizados após 59 dias da colagem das barras. Durante todo este período, os corpos de prova ficaram em ambiente com temperatura e umidade de laboratório.

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Estruturas e Materiais de Engenharia (LEME) da Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE) campus Cascavel.

O equipamento utilizado para realização dos ensaios foi à prensa hidráulica da fabricante EMIC de modelo MUE100, a qual tem capacidade de 200 toneladas e tem o fluxo de vazão, para a velocidade de carregamento, determinada analogicamente. Os dados obtidos foram o de máxima força, em quilograma força (Kgf), até o ponto de rompimento da ligação, não sendo capaz de determinar o deslocamento.

Após a montagem do adaptador na prensa para realização do ensaio de *Pull-Out* (Figura 44), os ensaios foram realizados na sequência de menor

comprimento de ancoragem para o maior, e em seguida, os ensaios de compressão axial.

Figura 44 – Adaptador montado na prensa



Fonte: Autoria Própria, 2019.

Durante a realização dos ensaios de tração (Figura 45 e 46), foi sendo anotados os valores de força máxima ao qual o corpo de prova suportava e qual havia sido o modo de ruptura ocorrido.

Figura 45 – Adaptador, corpo de prova e prensa durante o ensaio de *Pull-Out*



Fonte: Aatoria Própria, 2019.

Figura 46 – Prensa hidráulica com adaptador durante o ensaio de *Pull-Out*



Fonte: Aatoria Própria, 2019.

Para os corpos de prova de compressão, os quais foram capeados nas suas bases (Figura 47), os resultados obtidos nos ensaios de compressão foram a

máxima força axial ao qual o corpo de prova resistiu, sendo a tensão ( $f_c$ ) calculada posteriormente juntamente com as dimensões do corpo de prova.

Figura 47 – Corpo de prova no processo de capeamento



Fonte: Aatoria Própria, 2019.

### 3.3 ANÁLISE VISUAL DOS CORPOS DE PROVA

Dos 36 corpos de provas ensaios, 16 foram escolhidos para serem partidos ao meio, para realizar inspeção interna na área da colagem a fim de verificar quais foram os fatores que influenciaram os resultados da resistência de aderência. Os parâmetros para a escolha dos corpos de prova foram:

- a) Os que atingiram menores e maiores resistências de tração dentro de seus respectivos comprimentos de ancoragem;
- b) Os corpos de prova que durante o ensaio, apresentaram rompimento do concreto;
- c) Os corpos de prova que durante o ensaio, apresentaram a remoção da barra do corpo de prova.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 DETERMINAÇÃO DO TRAÇO DO CONCRETO

Os resultados demonstrados a seguir, nos tópicos 4.1.1 até ao tópico 4.1.5, são referentes à determinação do traço de concreto utilizado neste trabalho. As formulações são apresentadas no tópico 3.2.1.

#### 4.1.1 Massa unitária dos agregados miúdo e graúdo

Utilizando os dados obtidos em laboratório e a Equação (1) têm-se os resultados apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Massa unitária dos agregados

<b>Agregado</b>	<b>Volume Recip. (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Massa Recip. (kg)</b>	<b>Massa Recip.+ agregado (kg)</b>	<b>Massa Unitária (kg/m<sup>3</sup>)</b>
<b>Graúdo</b>	0,030	4,920	52,950	1613,505
<b>Miúdo</b>	0,015	3,224	28,204	1678,340

Fonte: Autoria Própria, 2019.

#### 4.1.2 Massa específica do agregado miúdo

Utilizando os dados obtidos em laboratório e as Equações (2) e (3) têm-se os seguintes resultados na Tabela 3.

Tabela 3 – Massa específica do agregado miúdo

<b>Ensaio</b>	<b>01</b>	<b>02</b>	<b>03</b>
<b>Volume Frasco (cm<sup>3</sup>)</b>	500,00	500,00	500,00
<b>Frasco + Agregado (g)</b>	804,92	836,18	769,17
<b>Frasco + Agregado + Água (g)</b>	1108,65	1138,40	1074,80
<b>Agregado seco (g)</b>	498,85	498,84	498,85
<b>Volume de água adicionado (cm<sup>3</sup>)</b>	313,12	311,57	315,08
<b>Massa Especifica Aparente (g/cm<sup>3</sup>)</b>	2,67	2,65	2,70
<b>Média das Massas Específicas (g/cm<sup>3</sup>)</b>	2,67		

Fonte: Autoria Própria, 2019.

#### 4.1.3 Massa específica do agregado graúdo

Utilizando os dados obtidos em laboratório e a Equação (4) têm-se os seguintes resultados na Tabela 4.

Tabela 4 – Massa específica do agregado graúdo

<b>Ensaio</b>	<b>01</b>	<b>02</b>	<b>03</b>
<b>Saturado Superfície seca (g)</b>	2535,74	2479,83	2496,63
<b>Massa em água (g)</b>	1654,00	1616,70	1620,70
<b>Superfície Seca (g)</b>	2458,57	2403,52	2408,88
<b>Massa Específica Aparente (g/cm<sup>3</sup>)</b>	2,79	2,78	2,75
<b>Média Massa Específica Aparente (g/cm<sup>3</sup>)</b>	2,78		

Fonte: Autoria Própria, 2019.

#### 4.1.4 Massa específica do cimento

Utilizando os dados obtidos em laboratório e a Equação (5) têm-se os seguintes resultados na Tabela 5.

Tabela 5 – Massa específica do cimento

<b>Ensaio</b>	<b>01</b>	<b>02</b>	<b>03</b>
<b>Volume Inicial (cm<sup>3</sup>)</b>	0,04	0,04	0,05
<b>Massa Cimento (g)</b>	60,00	60,00	60,00
<b>Volume Final (cm<sup>3</sup>)</b>	21,00	20,70	21,10
<b>Massa Específica (g/cm<sup>3</sup>)</b>	2,86	2,90	2,85
<b>Média Massa Específica (g/cm<sup>3</sup>)</b>	2,86		

Fonte: Autoria Própria, 2019.

#### 4.1.5 Método ABCP/ACI

Para a utilização do método ABCP/ACI foram utilizados os dados da Tabela 6 os quais são característicos dos materiais utilizados. Os valores para o módulo de finura, diâmetro máximo do agregado e a massa específica da água foram adotados.

Tabela 6 – Dados característicos dos materiais utilizados

<b>Dado</b>	<b>Valor</b>
<b>Cimento</b>	CP II 32
<b>Diâmetro máximo agregado graúdo (mm)</b>	9,5
<b>Módulo de Finura (MF)</b>	2,6
<b>Classe agressividade</b>	II
<b>Relação <math>a/c</math> máxima</b>	0,6
<b>Massa específica água (g/cm<sup>3</sup>)</b>	0,97

Fonte: Aatoria Própria, 2019.

Utilizando os resultados das Tabelas 2, 3, 4, 5 e 6 juntamente com as Equações (6), (7), (8), (9) e (10) tem-se os resultados da determinação ABCP/ACI na Tabela 7.

Tabela 7 – Resultados do Método ABCP/ACI

<b>Dado</b>	<b>Valor</b>
$f_{ck}$ (MPa)	20
<b>Desvio Padrão (<math>S_d</math>)</b>	4
$f_{cd}$ (MPa)	26,6
<b>Fator água/cimento</b>	0,6
<b>Consumo de água (<math>C_a</math>) (L/m<sup>3</sup>)</b>	225
<b>Consumo de cimento (<math>C_c</math>) (Kg/m<sup>3</sup>)</b>	375
<b>Consumo de agregado graúdo (<math>C_b</math>) (Kg/m<sup>3</sup>)</b>	911,63
$V_m$	0,31
<b>Consumo de agregado miúdo (<math>C_m</math>) (Kg/m<sup>3</sup>)</b>	827,26

Fonte: Aatoria Própria, 2019.

Desta forma, o traço final utilizado neste trabalho de acordo com a Equação (11) é descrito na Equação (15).

$$1: 2,21: 2,43: 0,6 \quad (15)$$

#### 4.2 ENSAIO DE COMPRESSÃO AXIAL

Os valores obtidos nos ensaios de compressão de acordo com a norma NBR 5739 (2018) são descritos na Tabela 8.

Tabela 8 – Dados do ensaio de compressão axial

Corpo de prova	Resistência em Kgf	Resistência ( $F_c$ ) em MPa
Betoneira 1 – CP1	28688	35,81954
Betoneira 1 – CP2	28892	36,07426
Betoneira 2 – CP1	30295	37,82603
Betoneira 2 – CP2	30556	38,15191
Betoneira 3 – CP1	25643	32,01759
Betoneira 3 – CP2	26487	33,07140
Betoneira 4 – CP1	26890	33,57458
Betoneira 4 – CP2	27225	33,99286
Betoneira 5 – CP1	29316	36,60366
Betoneira 5 – CP2	29652	37,02318
Betoneira 6 – CP1	29496	36,82840
Betoneira 6 – CP2	29133	36,37517

Fonte: Aatoria Própria, 2019.

Com os valores da Tabela 8 e a Equação (12), o valor do  $f_{ck,est}$  é apresentado na Tabela 9.

Tabela 9 – Resistência de compressão do concreto estatística

Dado	Valor
$f_1 + f_2 + \dots + f_{m-1}$ (MPa)	389,206
$f_m$ (MPa)	38,151
Número de exemplares (m)	12
$f_{ck,est}$ (MPa)	32,61
$f_{ck,proj}$ (MPa)	20

Fonte: Aatoria Própria, 2019.

Conforme a Equação (13) e a Tabela 9, o valor do  $f_{ck,est}$  é maior que o valor do  $f_{ck}$  de projeto, portanto o concreto foi executado corretamente.

O valor obtido de  $f_{ck,est}$  de 32,61 MPa ficou acima do valor de 20 MPa para o  $f_{ck,proj}$ , sendo maior em 63,5%. Como a resistência do concreto é a mesma para todos os comprimentos de ancoragem, a única influência deste aumento de resistência é no aumento da resistência de aderência da resina com o concreto, a qual, não influencia nos resultados, visto que, a comparação realizada neste trabalho é entre a resistência e os comprimentos de ancoragem.

### 4.3 ENSAIOS DE *PULL-OUT*

#### 4.3.1 Resultados obtidos no ensaio *Pull-Out*

Depois de realizados os ensaios, os valores obtidos da resistência de aderência entre a barra, a resina e o concreto é demonstrado na Tabela 10.

Tabela 10 – Resistência de tração do ensaio *Pull-Out* em Kgf

Comprimento de Ancoragem (cm)	Corpos de Prova								
	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6	CP7	CP8	CP9
<b>2,5</b>	2734	2981	2419	2052	2769	1399	1646	1551	1953
<b>5</b>	3151	2695	2197	3136	2261	3175	4963	2850	2080
<b>7,5</b>	1550	1533	2027	1466	1646	2045	380	1137	1162
<b>10</b>	3921	5842	4408	4002	3306	3709	3945	5365	5786

Fonte: Autoria Própria, 2019.

A partir dos dados da Tabela 10 é possível calcular a média, o desvio padrão e a variância dos dados, conforme a Tabela 11.

Tabela 11 – Resultados estatísticos do ensaio de *Pull-Out*

Comprimento de Ancoragem (cm)	Média (kgf)	Desvio Padrão (kgf)	Variância
<b>2,5</b>	2167,111	581,99	24,12
<b>5</b>	2945,333	869,72	29,49
<b>7,5</b>	1438,444	508,32	22,55
<b>10</b>	4476,000	945,31	30,75

Fonte: Autoria Própria, 2019.

Observa-se a partir dos valores apresentados na Tabela 11, que os dados obtidos nos ensaios de *Pull-Out* apresentam uma variação significativa entre si, como pode ser observado com os resultados da variância.

Esta variação pode estar relacionada aos processos de colagem da barra como, por exemplo, se houve colagem total ou parcial do comprimento de ancoragem ou se houve a formação de bolhas na resina. Tais fatores, assim como outros, foram verificados no item 4.3.2, deste trabalho, a fim de determinar melhores observações sobre estas variações de resistência de tração.

Para observar se houve o aumento da resistência de aderência com o incremento do comprimento de ancoragem, os resultados da metodologia ANOVA, calculados utilizando a Tabela 1, são apresentados na Tabela 12.

Tabela 12 - Resultado da análise de variância

Fator de Variância	Soma de Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrados Médios	$F_{calculado}$	$F_{10\%}(3;32)$
Tratamento	45692890,11	3	15230963,37	2,54	2,27
Resíduo	17976963,11	32	5992321,03		
<b>Total</b>	<b>63669853,22</b>	<b>35</b>			

Fonte: Aatoria Própria, 2019.

Como  $F_{calculado}$  é maior que o valor de  $F_{10\%}(3;32)$  da tabela *studentizada*, pode-se rejeitar a hipótese  $H_0$  de que as médias dos valores de resistência de aderência são iguais. Desta forma, existe pelo menos duas médias que são diferentes, conforme a hipótese  $H_1$ . Para determinar quais médias são diferentes, é empregado o método de Tukey, conforme a Equação 14 e os resultados são demonstrados na Tabela 13.

Tabela 13 – Resultado da análise de Tukey

Dado	Valor
$r$	9
$QMRes$	561780,1
$q$	4,78
$\Delta(5\%)$	1194,235

Fonte: Aatoria Própria, 2019.

Os testes realizados com as médias, a partir do valor de  $\Delta(5\%)$  são apresentados nas Tabelas 14, 15, 16 e 17.

Tabela 14 – Teste de variação de média com base o comprimento de ancoragem de 10 cm

Comprimento de Ancoragem (cm)	Média	Diferença
7,5	1438,44	3037,56
2,5	2167,11	2308,89
5	2945,33	1530,67
10	4476,00	-

Fonte: Aatoria Própria, 2019.

Pode-se observar a partir da Tabela 14 que, utilizando o comprimento de 10 cm de ancoragem como a base para a comparação, as diferenças entre as médias são maiores que o valor de  $\Delta(5\%)$ , portanto, as médias apresentam uma diferença em seu valor quanto maior é o comprimento de ancoragem.

Tabela 15 - Teste de variação de média com base o comprimento de ancoragem de 5 cm

<b>Comprimento de Ancoragem (cm)</b>	<b>Média</b>	<b>Diferença</b>
<b>7,5</b>	1438,44	1506,89
<b>2,5</b>	2167,11	778,22
<b>5</b>	2945,33	-
<b>10</b>	4476,00	7421,33

Fonte: Aatoria Própria, 2019.

Pode-se observar a partir da Tabela 15 que, utilizando o comprimento de 5 cm de ancoragem como a base para a comparação, às diferenças entre as médias são maiores que o valor de  $\Delta$  (5%) para os comprimentos de ancoragem de 10 e 7,5 cm, e para o comprimento de ancoragem de 2,5 cm, a média não apresenta variação. Portanto, para este caso, somente as médias de 10 e 7,5 cm apresentam uma diferença em seu valor em relação ao comprimento de 5 cm.

Tabela 16 - Teste de variação de média com base o comprimento de ancoragem de 2,5 cm

<b>Comprimento de Ancoragem (cm)</b>	<b>Média</b>	<b>Diferença</b>
<b>7,5</b>	1438,44	728,67
<b>2,5</b>	2167,11	-
<b>5</b>	2945,33	5112,44
<b>10</b>	4476,00	6643,11

Fonte: Aatoria Própria, 2019.

Pode-se observar a partir da Tabela 16 que, utilizando o comprimento de 2,5 cm de ancoragem como a base para a comparação, às diferenças entre as médias são maiores que o valor de  $\Delta$  (5%) para os comprimentos de ancoragem de 10 e 5 cm, e para o comprimento de ancoragem de 7,5 cm, a média não apresenta variação. Portanto, para este caso, somente as médias de 10 e 5 cm apresentam uma diferença em seu valor em relação ao comprimento de 2,5 cm.

Tabela 17 - Teste de variação de média com base o comprimento de ancoragem de 7,5 cm

<b>Comprimento de Ancoragem (cm)</b>	<b>Média</b>	<b>Diferença</b>
<b>7,5</b>	1438,44	-
<b>2,5</b>	2167,11	3605,56
<b>5</b>	2945,33	4383,78
<b>10</b>	4476,00	5914,44

Fonte: Aatoria Própria, 2019.

Pode-se observar a partir da Tabela 17 que, utilizando o comprimento de 7,5 cm de ancoragem como a base para a comparação, as diferenças entre as médias são maiores que o valor de  $\Delta$  (5%), portanto, as médias apresentam uma diferença em seu valor quanto maior é o comprimento de ancoragem.

#### 4.3.2 Resultados obtidos após inspeção interna

Os corpos de prova (CP) que sofreram esta inspeção e quais as características encontradas são descritas a seguir.

##### 4.3.2.1 Inspeção dos corpos de prova com 2,5 cm de ancoragem

Os primeiros corpos de prova (CP) avaliados foram os números 1 e 2. Durante o ensaio, estes corpos de prova apresentaram fissuras que se originaram da barra e se estenderam pelas laterais. Após a abertura dos CPs, verificou-se que houve a correta inserção da barra no orifício, entretanto, havia bolhas de ar na resina que não permitiram a total colagem das superfícies. Observando-se as buchas, constatou-se que as mesmas estava deformadas devido ao fato de elas terem se mantido no lugar durante o ensaio e as barras se deslocarem, quando a priori deveria os dois, barra e bucha, se deslocar. Isto causou a formação de uma cunha no interior da bucha (Figura 48) que, durante o ensaio, causou o rompimento do concreto do corpo de prova.

Figura 48 – Formação da cunha causada pelo não deslocamento da bucha



Fonte: Autoria Própria, 2019.

Entretanto, isto só ocorreu após o rompimento da ligação ter sido por escorregamento da barra, ou seja, estas ligações romperam na resina primeiro e em seguida foi cunha que rompeu o concreto.

Os demais corpos de prova romperam igualmente ao CP 5. Não houve a presença de fissuras e a bucha não apresentou deslocamento relativo ao concreto. Houve a completa inserção da barra no orifício (Figura 49), entretanto também apresentam bolhas na resina, em maiores e menores quantidades. Todos estes CPs apresentam rompimento por escorregamento, ou seja, romperam na resina.

Figura 49 – Vista em corte com a barra colada com resina



Fonte: Autoria Própria, 2019.

#### 4.3.2.2 Inspeção dos corpos de prova com 5 cm de ancoragem

Os CPs 1 e 5 apresentam fissuras que se originaram na barra e se estenderam para as laterais (Figura 50).

Figura 50 – Fissuras causadas pela formação da cunha



Fonte: Autoria Própria, 2019.

Após a abertura de ambos observou-se que a bucha não apresentou deslocamento em relação ao concreto, mas sim, que se deformaram. Isto causou a

formação da cunha que rompeu o concreto. Houve a colagem de total comprimento de ancoragem, mas houve também a formação de bolhas na resina (Figura 51), que prejudicaram a aderência. O rompimento deu-se por escorregamento da barra com rompimento na resina.

Figura 51 – Bolhas de ar presentes na resina epóxi



Fonte: Autorial Própria, 2019.

Os CPs 2 e 3 assim como os demais não apresentaram fissuras no concreto. Após a abertura, verificou-se que houve a formação de bolhas na resina em maiores e menores quantidades. As buchas não apresentaram deslocamento relativo ao concreto, sendo que em todas houve um grau de deformação. Os rompimentos deram-se por escorregamento da barra, com rompimento na resina.

#### 4.3.2.3 Inspeção dos corpos de prova com 7,5 cm de ancoragem

Os CPs 8 e 9 apresentam fissuras no concreto que se estenderam da barra para as laterais. As barras foram arrancadas durante os ensaios de tração. Após a abertura dos CPs observou-se a deformação da bucha, sem deslocamento relativo da bucha com o concreto até o ponto onde as barras foram arrancadas (Figura 52), mas sem a formação da cunha.

Figura 52 – Deformação da bucha



Fonte: Aatoria Própria, 2019.

Não houve bolhas na resina, mas a ancoragem somente atingiu 4 cm no CP 8 e 4,5 cm no CP 9. O rompimento deu-se por escorregamento da barra com rompimento da resina em ambos CPs.

O CP 7 apresentou fissuras no concreto que se estenderam da barra em direção as laterais. Após a abertura, verificou-se que houve pouca deformação da bucha mas sem deslocamento em relação ao concreto. Também houve a formação de muitas bolhas na resina e somente 4 cm de ancoragem O rompimento deu-se na resina com escorregamento da barra.

O CP 5, assim como os demais corpos de prova, não apresentou fissuras. Após a abertura, observou-se que não houve deslocamento da bucha em relação ao concreto nem deformação, com poucas bolhas na resina e ancoragem de 5 cm no CP 5 (Figura 53). O rompimento deu-se na resina com escorregamento da barra.

Figura 53 – Orifício no concreto após a abertura do corpo de prova



Fonte: Autoria Própria, 2019.

#### 4.3.2.4 Inspeção dos corpos de prova com 10 cm de ancoragem

O CP 1 não apresentou fissuras. Após a abertura, observou-se que não houve deslocamento da bucha em relação ao concreto, mas com leve deformação. Houve a presença de muitas bolhas na resina, com completo comprimento de ancoragem colado. O rompimento deu-se na resina com escorregamento da barra.

O CP 2 não apresentou fissuras no concreto. Após a abertura, observou-se que não houve deslocamento da bucha, sem deformação da mesma e sem ocorrência de formação de cunha. Não houve a formação de bolhas na resina, entretanto, somente 7,5 cm foram ancorados, faltando 2,5 cm. O rompimento ocorreu por escorregamento da barra, com rompimento da resina.

Os CPs 6, 8 e 9 não apresentaram fissuras. Após a abertura, observou-se que não houve o deslocamento da bucha em relação ao concreto e com leve deformação. Houve a presença de bolhas na resina (Figura 54) e não houve completa inserção da barra no orifício, faltando 2,5 cm no CP 6, 3 cm no CP 8 e 1,5 cm no CP 9 (Figura 55). O rompimento deu-se na resina com escorregamento da barra em ambos.

Figura 54 – Bolhas de ar presentes na resina epóxi



Fonte: Autoria Própria, 2019.

Figura 55 – Deslocamento da barra em relação ao concreto e falha no comprimento de ancoragem



Fonte: Autoria Própria, 2019.

## 5 CONCLUSÃO

A resina epóxi, como ponte ligação na ancoragem entre o aço e o concreto, apresenta viabilidade de uso quando os processos de execução são realizados corretamente.

O cobrimento e comprimento de ancoragem, determinados neste estudo, possibilitam a total absorção das tensões geradas durante o ensaio de *Pull-Out*, como pode ser observado pelo fato de todos os rompimentos terem sido por escorregamento, não ocorrendo fendilhamento ou cisalhamento no concreto. Entretanto, comprimentos menores de 10 vezes do diâmetro da barra apresentam baixos valores de resistência à tração, o que pode causar a inviabilidade de sua utilização.

O maior motivo da variação dos resultados do ensaio de *Pull-Out*, de um mesmo grupo de comprimento de ancoragem, foi à presença de bolhas na resina e a falta de total inserção da barra no orifício. Tais fatores foram agravados devido à pequena espessura de resina, que se aumentada, diminuiu a influência destes dois fatores sobre as resistências de aderência. A formação da cunha, pelo motivo da bucha se deformar e não se deslocar em relação ao concreto, também influenciou nos resultados, necessitando de estudos que assegurem o comprimento não aderente da barra.

A aplicação da resina nos orifícios e a inserção da barra também precisam de melhorias técnicas, pois o rápido endurecimento dos componentes da resina, após a mistura, afeta diretamente na capacidade da barra ser envolta pela mesma e da completa inserção da barra no orifício.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA FILHO, Fernando Menezes de. **CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DA ADERÊNCIA ENTRE BARRAS DE AÇO E CONCRETOS AUTO ADENSÁVEIS**. 2006. 292 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Estruturas, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**: Concreto - Ensaio de compressão de corpo de provas cilíndricos. 3 ed. Rio de Janeiro, 2018. 9 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. 2 ed. Rio de Janeiro, 2015. 9 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655**: Concreto e cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento. 3 ed. Rio de Janeiro, 2015. 22 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. 3 ed. Rio de Janeiro, 2014. 238 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 23**: Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica. 1 ed. Rio de Janeiro, 2000. 11 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 26**: Agregados - Amostragem. 2 ed. Rio de Janeiro, 2009. 10 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 27**: Agregados - Redução da amostra de campo para ensaios laboratório. 1 ed. Rio de Janeiro, 2001. 7 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 45**: Agregados - Determinação da massa unitária e volume de vazios. 1 ed. Rio de Janeiro, 2006. 8 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 52**: Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente. 2 ed. Rio de Janeiro, 2009. 6 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 53**: Agregado graúdo - Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água. 2 ed. Rio de Janeiro, 2009. 8 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 67**: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. 2 ed. Rio de Janeiro, 1998. 8 p.

BARBOSA, M. T. G.; SÁNCHEZ FILHO, E. S.. The bond stress x slipping relationship. **Revista Ibracon de Estruturas e Materiais**, São Paulo, v. 9, n. 5, p.745-753, out. 2016.

BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. **Ancoragem e emenda de armaduras**. Apostila da Escola de Engenharia da UNESP, campus Bauru, 2018.

DORIA, M. R.; SALES, A. T. C; ANDRADE, N. F. de A.. Bond strength between steel-concrete and between concretes with different ages in structural rehabilitation. **Revista Ibracon de Estruturas e Materiais**, São Paulo, v. 8, n. 5, p.604-624, out. 2015.

DOS ANJOS, A. **Análise de Variância**. Notas de Aula, Capítulo 7. Curitiba, 2009. Disponível em: <http://www.est.ufpr.br>.

FERNANDES, Dennis Videira. **Estudo da aderência de barras de aço coladas ao concreto com resina Epóxi**. 2011. 160f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

GURBUZ, Tuba; ILKI, Alper. Pullout Performance of Fully and Partially Bonded Retrofit Anchors in Low-Strength Concrete. **Aci Structural Journal: TECHNICAL PAPER**. S.i., p. 61-69. fev. 2011.

RILEM, FIP, CEB. Essai portant sur l'adhérence des armatures du béton. 1. Essai par flexion (7-II-28D). 2. Essai par traction (7-II-128), Recommandations Provisoires. **Matériaux et Constructions**, v. 6, n. 32, pp. 96–105, mar.-abr. 1973.

SARTORI, A. L. et al. Adherence between steel bars and lightweight concrete with EPS beads. **Revista Ibracon de Estruturas e Materiais**, São Paulo, v. 10, n. 1, p.122-140, fev. 2017.

SOUZA, R. H.; TAVARES, M. E.; FERNANDES, D. V.. Pullout performance of steel bars partially bonded in concrete with epoxy resin. **Revista Ibracon de Estruturas e Materiais**, São Paulo, v. 11, n. 3, p.598-619, maio 2018.

TAVARES, Alysson José. **ADERÊNCIA AÇO-CONCRETO: ANÁLISE NUMÉRICA DOS ENSAIOS PULL-OUT E APULOT**.2012. 141 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2012.