

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO DE JOINVILLE  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DE INFRAESTRUTURA

THAÍS CORRÊA LIMA

ANÁLISE COMPARATIVA DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO DE  
ARGAMASSA ARMADA COM AÇO E COM FIBRA DE VIDRO

Joinville

2024

THAÍS CORRÊA LIMA

ANÁLISE COMPARATIVA DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO DE  
ARGAMASSA ARMADA COM AÇO E COM FIBRA DE VIDRO

Trabalho apresentado como requisito para obtenção do título de bacharel no Curso de Graduação em Engenharia Civil de Infraestrutura do Centro Tecnológico de Joinville da Universidade Federal de Santa Catarina.

Orientadora: Dra. Valéria Bennack

Joinville

2024

THAÍS CORRÊA LIMA

ANÁLISE COMPARATIVA DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO DE  
ARGAMASSA ARMADA COM AÇO E COM FIBRA DE VIDRO

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil de Infraestrutura, na Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico de Joinville.

Joinville (SC), 04 de julho de 2024.

**Banca Examinadora:**

---

Dra. Valéria Bennack  
Orientadora/Presidente

---

Dr. Luciano Senff  
Membro  
UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina

---

Dra. Anelize Borges Monteiro  
Membro  
UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina

Dedico este trabalho aos meus pais,  
Fatima e Fernando.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus.

Aos meus pais, Fatima Ideci Corrêa Drum e Fernando César Pereira Lima, os quais sempre foram a minha base durante todos os anos da minha vida acadêmica, me apoiando e me incentivando a estudar em uma universidade pública, sem o auxílio deles isso não seria possível. E também, tão importante quanto, à minha irmã, Sophia Corrêa Lima.

À minha professora e orientadora Dra. Valéria Bennack, a qual sempre sendo solícita e me orientando da melhor maneira possível, sou grata e honrada por ter sido sua orientada.

Ao engenheiro civil Jeferson Luis Merkle, por ter comentado sobre o tema a ser abordado nesse estudo, e também por todo o aprendizado durante o período de estágio.

Aos amigos que fiz durante a minha trajetória na UFSC, e que pretendo levar para a minha vida profissional, em especial, Karoline Domingos, Ruan Marcos Xavier, Edson Alvim Krüger Júnior, Alisson de Freitas Rodrigues, Samantha Eduarda Menegon e Diego Edivandro Costa Correa.

À Leticia Meurer por me auxiliar no manuseio do equipamento para romper os corpos de prova na empresa Perville.

À minha amiga de infância e parceira de trabalho, arquiteta Andrieli Lunelli.

Ao laboratório interdisciplinar de construção sustentável, por disponibilizar a areia e os equipamentos necessários para a confecção dos corpos de prova.

A todos os professores da UFSC, por todo o ensinamento passado, e que certamente contribuíram muito para a minha formação.

À empresa Topfiber por disponibilizar o vergalhão de fibra de vidro para que fosse possível o desenvolvimento dessa pesquisa.

À empresa Perville por fornecer o vergalhão de aço, e também por ceder o equipamento e espaço para que fossem rompidos os corpos de prova.

“Faça o seu melhor nas condições que você tem,  
enquanto você não tem condições melhores,  
para fazer melhor ainda.”

(Mário Sergio Cortella)

“Na prática, o chamado antecede o propósito.  
Aceite o chamado e, durante a jornada, você descobrirá o seu propósito.  
Viva o seu propósito e, assim, deixará um legado no mundo.”

(Chai Carioni)

## RESUMO

O material compósito, tal como uma barra de fibra de vidro (GFRP), traz uma nova visão para o modelo de construção convencional e busca uma inovação que obtenha um desempenho igual, ou ainda, superior às barras de aço. Essa é a análise principal desse estudo, comparando a resistência de uma placa de argamassada armada com barras de fibra de vidro, em relação a uma placa de argamassada armada com barras de aço. Este trabalho apresenta ensaios no estado fresco e no estado endurecido da argamassa, apresentando as propriedades físicas através da distribuição granulométrica, e do índice de consistência, enquanto que para obter a propriedade mecânica, realizou-se o ensaio de resistência à tração na flexão aos 28 dias de cura dos corpos de prova. Foi realizado o ensaio à tração na flexão em três e em quatro pontos, primeiramente utilizou-se apenas um suporte superior, implicando em apenas uma solicitação de carga axial em um ponto, e posteriormente, realizou-se o ensaio à tração na flexão com dois suportes superiores, com uma solicitação de carga axial em dois pontos. Os dados das resistências obtidas através dos ensaios, mostram que em ambas as formas de rompimento, a placa armada com tela de fibra de vidro ficou aproximadamente 5 e 6% superior em relação a resistência à tração na flexão das placas armadas com tela de aço. Porém, como o módulo de elasticidade do aço é superior ao da fibra de vidro, o surgimento da fissura ocorre primeiro na placa armada com aço e depois a placa se rompe, enquanto que na placa armada com vergalhão de fibra de vidro a fissura aparece quase ao mesmo instante em que há o rompimento da placa. Ao final, tem-se uma análise comparativa entre os corpos de prova armados com tela de vergalhão de aço e os corpos de prova armados com tela de vergalhão de fibra de vidro, mostrando-se quais as principais características que devem ser levadas em consideração para a aplicação desse material. Como ainda não existe normativa que mostre as diretrizes do uso desse material no Brasil, esse trabalho pode contribuir para a Engenharia Civil, de forma a auxiliar a execução de uma futura norma brasileira para esse material.

**Palavras-chave:** GFRP. Vergalhão de aço. Resistência à tração na flexão.

## ABSTRACT

Composite material, such as a fiberglass bar (GFRP), brings a new vision to the conventional construction model and seeks an innovation that achieves performance equal to, or even better than, steel bars. This is the main analysis of this study, comparing the resistance of a mortar slab reinforced with fiberglass bars, in relation to a mortar slab reinforced with steel bars. This work presents tests in the fresh state and in the weathered state of the mortar, presenting the physical properties through particle size distribution and consistency index, while to obtain the mechanical property, the flexural tensile strength test was carried out at 28 days of curing of the specimens. The flexural tensile test was carried out at three and four points, first using only one upper support, implying only one axial load request at one point, and subsequently, the flexural tensile test was carried out with two upper supports, with an axial load request at two points. The resistance data obtained through the tests show that in both forms of rupture, the plate reinforced with fiberglass mesh was approximately 5 and 6% higher in relation to the tensile strength in flexion of the plates reinforced with steel mesh. However, as the modulus of elasticity of steel is higher than that of fiberglass, the appearance of the crack occurs first in the plate reinforced with steel and then the plate breaks, while in the plate reinforced with fiberglass rebar the crack appears almost at the same time the plate ruptures. At the end, there is a comparative analysis between the test specimens reinforced with steel rebar mesh and the test bodies reinforced with fiberglass rebar mesh, showing which are the main characteristics that must be taken into consideration for the application of this material. As there is still no regulation that shows the guidelines for the use of this material in Brazil, this work can contribute to Civil Engineering, in order to help implement a future Brazilian standard for this material.

**Keywords:** GFRP. Steel bar. Flexural tensile strenght.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Vergalhão de fibra de vidro. ....	24
Figura 02 – A) Superfície nervurada com fibra enrolada de forma helicoidal; B) Superfície nervurada com fibra enrolada de forma helicoidal e revestida com areia; C) Superfície com nervuras moldadas na própria resina. ....	25
Figura 03 – Processo de fabricação do GFRP. ....	25
Figura 04 – Estrutura química da resina de poliéster isoftálica. ....	26
Figura 05 – Fluxograma do método do trabalho. ....	28
Figura 06 – A) Tela de fibra de vidro; B) Tela de aço. ....	29
Figura 07 – Cimento Portland IV 32 RS. ....	30
Figura 08 – A) Estufa; B) Agitador mecânico com o conjunto de peneiras. ....	33
Figura 09 – A) Misturar mecânico; B) <i>Flow table</i> e assessórios. ....	34
Figura 10 – Perfil isométrico do corpo de prova prismático. ....	35
Figura 11 – Seção longitudinal do corpo de prova. ....	36
Figura 12 – Mesa de adensamento. ....	37
Figura 13 – Montagem do corpo de prova com tela de fibra de vidro. ....	37
Figura 14 – Montagem do corpo de prova com tela de aço. ....	38
Figura 15 – CP's nos moldes. ....	38
Figura 16 – CP's desmoldados após 48h. ....	39
Figura 17 – CP's nos moldes. ....	39
Figura 18 – CP's desmoldados após 48h. ....	39
Figura 19 – CP's em processo de cura. ....	40
Figura 20 – Suportes para realizar o ensaio de resistência à tração na flexão. ....	41
Figura 21 – A) Flexão em três pontos; B) Flexão em quatro pontos. ....	42
Figura 22 – A) Suporte inferior; B) Suporte superior. ....	44
Figura 23 – Equipamento para romper os CP's à tração na flexão em três pontos. ....	44
Figura 24 – Suportes superiores. ....	45
Figura 25 – Equipamento para romper os CP's à tração na flexão em quatro pontos. ....	45
Figura 26 – A) Mistura no cone metálico; B) Espalhamento da mistura. ....	48
Figura 27 – Rompimento com armadura de aço com visão inferior do corpo de prova. ....	49

Figura 28 – A) e B) Rompimento com armadura de fibra de vidro com visão inferior do corpo de prova; C) Rompimento com armadura de fibra de vidro com visão lateral do corpo de prova. ....	51
Figura 29 – A) Rompimento com armadura de aço com visão lateral do corpo de prova; B) e C) Rompimento com armadura de aço com visão inferior do corpo de prova. ....	54
Figura 30 – A) Rompimento com armadura de aço com visão lateral do corpo de prova; B), C) e D) Rompimento com armadura de aço com visão inferior do corpo de prova. ....	55
Figura 31 – A) Rompimento com armadura de fibra de vidro com visão lateral do corpo de prova; B) e C) Rompimento com armadura de fibra de vidro; D) Rompimento com armadura de fibra de vidro no equipamento.....	57
Figura 32 – A) Rompimento com armadura de fibra de vidro com visão lateral; B) e C) Rompimento com armadura de fibra de vidro com visão inferior do corpo de prova. ....	58
Figura 33 – A) Rompimento com armadura de fibra de vidro com visão lateral do corpo de prova; B) e C) Rompimento com armadura de fibra de vidro. ....	59
Figura 34 – A) Rompimento com armadura de fibra de vidro com visão lateral do corpo de prova; B) e C) Rompimento com armadura de fibra de vidro. ....	60
Figura 35– A) e B) Corpo de prova armado com fibra de vidro após o rompimento à tração na flexão.....	63
Figura 36 – A) e B) Corpo de prova armado com aço após o rompimento à tração na flexão.....	64

## LISTA DE QUADROS

Quadro 01 – Características dos tipos de fibra de vidro.....	26
Quadro 02 – Características principais de cada corpo de prova armado com o seu respectivo vergalhão. ....	62

## LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Dados técnicos do GFRP de $\varnothing 4$ mm.....	31
Tabela 02 – Dados técnicos vergalhão de aço de $\varnothing 4,2$ mm. ....	31
Tabela 03 – Quantidades de materiais para o traço escolhido.....	34
Tabela 04 – Dados da amostra de areia. ....	46

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 01 – Tensão x Deformação.....	27
Gráfico 02 – Esforço cortante para a flexão em três pontos. ....	42
Gráfico 03 – Momento fletor para a flexão em três pontos.....	43
Gráfico 04 – Esforço cortante para a flexão em quatro pontos. ....	43
Gráfico 05 – Momento fletor para a flexão em quatro pontos.....	43
Gráfico 06 – Curva Granulométrica do agregado miúdo. ....	47
Gráfico 07 – Resistências à tração na flexão aos 28 dias de cura dos CP's para flexão em três pontos. ....	52
Gráfico 08 – Resistências à tração na flexão aos 28 dias de cura dos CP's para flexão em quatro pontos.....	61

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABECE	Associação Brasileira de Engenharia e Consultoria Estrutural
ACI	American Concrete Institute
ASTM	American Society for Testing and Materials
CG	Centro Geométrico
CP's	Corpos de Prova
CTJ	Centro Tecnológico de Joinville
GFRP	Glass Fiber Reinforced Polymer
IBRACON	Instituto Brasileiro do Concreto
IC	Índice de Consistência
ISO	International Organization for Standardization
LablCons	Laboratório Interdisciplinar de Construção Sustentável
NBR	Norma Brasileira
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
cm	Centímetro
GPa	Giga Pascal
g	Grama
g/cm <sup>3</sup>	Grama por centímetro cúbico
°C	Graus Celsius
h	Horas
MPa	Mega Pascal
µm/m°C	Micrômetro por metro vezes grau Celsius
ml	Mililitro
mm	Milímetro
kg	Quilograma
kN	Quilonewton
a/c	Relação água/cimento
s	Segundos
tf	Tonelada força

## LISTA DE SÍMBOLOS

$d$	Altura média do corpo de prova
$\varepsilon_{fu}$	Deformação em relação à tensão última do material
$\varnothing$	Diâmetro nominal
$l$	Dimensão dos vãos entre os apoios
$Fe$	Ferro
$F$	Força máxima registrada na máquina de ensaio
$P$	Fósforo
$g$	Fração volumétrica das partículas
$b$	Largura média do corpo de prova
$Mg$	Magnésio
$E_p$	Módulo de elasticidade da fase particulada
$E$	Módulo de elasticidade do material compósito
$E_m$	Módulo de elasticidade da matriz
$MF$	Módulo de finura
"	Polegada
%	Porcentagem
$f_{ct,f}$	Resistência à tração na flexão
$Si$	Silício
$\Sigma$	Somatório
$f_v$	Tensão admissível do material
$f_u$	Tensão última do material

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>18</b>
1.1. OBJETIVOS .....	19
<b>1.1.1. Objetivo Geral</b> .....	<b>19</b>
<b>1.1.2. Objetivos Específicos</b> .....	<b>19</b>
1.2. JUSTIFICATIVA DO TRABALHO .....	19
1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO .....	20
<b>2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>21</b>
2.1. ARGAMASSA .....	21
2.2. CONCRETO ARMADO .....	21
<b>2.2.1. Concreto</b> .....	<b>22</b>
<b>2.2.2. Aço</b> .....	<b>22</b>
2.3. MATERIAIS COMPÓSITOS .....	23
<b>2.3.1. Vergalhão de fibra de vidro</b> .....	<b>24</b>
<b>3. METODOLOGIA</b> .....	<b>28</b>
3.1. MATERIAIS .....	29
<b>3.1.1. Cimento Portland</b> .....	<b>29</b>
<b>3.1.2. Agregado miúdo</b> .....	<b>30</b>
<b>3.1.3. Água</b> .....	<b>30</b>
<b>3.1.4. Vergalhão de fibra de vidro</b> .....	<b>30</b>
<b>3.1.5. Vergalhão de aço</b> .....	<b>31</b>
3.2. ENSAIOS NO ESTADO FRESCO .....	32
<b>3.2.1. Distribuição Granulométrica</b> .....	<b>32</b>
<b>3.2.2. Índice de Consistência</b> .....	<b>33</b>
<b>3.2.3. Confeção dos CP's</b> .....	<b>35</b>
3.3. ENSAIOS NO ESTADO ENDURECIDO .....	40
<b>3.3.1. Resistência à tração na flexão</b> .....	<b>40</b>
4.1. PROPRIEDADES FÍSICAS .....	46
<b>4.1.1. Distribuição granulométrica</b> .....	<b>46</b>
<b>4.1.2. Índice de Consistência</b> .....	<b>47</b>
4.2. PROPRIEDADES MECÂNICAS .....	48
<b>4.2.1 Resistência à tração na flexão</b> .....	<b>48</b>



4.2.1.1. Flexão em três pontos .....	49
4.2.1.2. Flexão em quatro pontos.....	53
4.3. COMPARAÇÃO ENTRE OS CP'S .....	62
<b>5. CONCLUSÃO .....</b>	<b>65</b>
5.1. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	66
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>67</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Segundo Abrecon (2022), o Brasil gera em torno de 100 milhões de toneladas por ano de resíduos de construção e demolição. Por isso, a busca por materiais mais sustentáveis vem sendo recorrente ao longo dos últimos anos. Alinhado com um bom desempenho, pensou-se na aplicabilidade do vergalhão de fibra de vidro para a indústria da construção civil, visto que o procedimento de fabricação desse material é mais sustentável, quando comparado ao processo de fabricação do aço. Ineia et al. (2021) afirma que além dos vergalhões de fibra de vidro poderem substituir o aço na armadura do concreto armado, também podem ser utilizados como reforço na estrutura.

Conforme Barreto (2009), as barras de aço são geralmente utilizadas nas obras de construção civil servindo de armadura para blocos estruturais como vigas, pilares e lajes. Com as novas tecnologias em desenvolvimento, os materiais compósitos, como as fibras de vidro, ganham cada vez mais destaque tanto no mercado nacional quanto mundial, devido à existência de várias possibilidades de combinação, juntamente com a nanotecnologia, o que resulta em um único material com uma determinada propriedade melhorada.

No âmbito mundial, o Japão foi o primeiro país a aplicar o vergalhão de fibra de vidro em suas construções, porém o país que normatizou primeiramente o uso desse material foi o Canadá através da norma CSA S806. Neste contexto, a Grã-Bretanha adota a norma ISTRUDTE, os japoneses seguem a diretriz da JSCE, e no Egito existe a *Egyptian Ministry of Housing*. A maioria dessas normas derivaram-se de normas já existentes para concreto armado, e todas têm as suas devidas particularidades em cada cultura (Ineia et al., 2021).

No Brasil, ainda não existe nenhuma norma técnica específica para a utilização desse tipo de barra nos blocos estruturais. Devido a esse fato, é interessante e importante que sejam realizadas pesquisas e análises nesse ramo, para que se tenha a correta implementação desse material na indústria da construção civil. Por isso, nesse trabalho será apresentado o comportamento do vergalhão de fibra de vidro na argamassa, considerando-se alguns parâmetros de utilização.

## 1.1. OBJETIVOS

Para verificar a viabilidade do uso de vergalhão de fibra de vidro em uma placa argamassada, propõem-se os seguintes objetivos.

### 1.1.1. Objetivo Geral

Comparação da resistência à tração na flexão de argamassa armada com aço e com fibra de vidro.

### 1.1.2. Objetivos Específicos

A fim de concretizar o objetivo geral, foram definidos alguns objetivos específicos, os quais são:

- Definir o traço a ser utilizado na análise;
- Verificar a resistência à tração na flexão aos 28 dias de cura da placa argamassada armada com vergalhão de aço, e com vergalhão de fibra de vidro;
- Comparar as resistências à tração na flexão.

## 1.2. JUSTIFICATIVA DO TRABALHO

O vergalhão confeccionado em fibra de vidro é um material relativamente novo, existe aproximadamente há dois anos no mercado, e que se alinhado com estudos acadêmicos, podem auxiliar em uma melhor compreensão e interpretação do mesmo quando é aplicado em elementos estruturais, como por exemplo, lajes e vigas. Essa análise representa um avanço tecnológico para a indústria da construção civil, e tem relevância para as empresas relacionadas nesse ramo, pois cada vez mais existe uma busca incessante pela redução de custo e melhoria da produtividade. Como ainda não existe norma no Brasil que padronize o uso desse material, esse trabalho poderá contribuir no auxílio para a execução de uma futura norma brasileira.

### 1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO

Esse trabalho é composto primeiramente por uma seção introdutória, a qual apresenta o assunto a ser abordado nesse estudo. Logo após, na segunda seção tem-se a fundamentação teórica, onde mostra todo o embasamento teórico necessário para essa pesquisa. Em seguida, na terceira seção mostra-se a metodologia aplicada para a elaboração do trabalho, bem como os materiais utilizados. E a quinta seção contempla a apresentação de dados obtidos através do ensaio de laboratório, juntamente com a análise dos dados. Por fim, na quinta e última seção, apresenta-se a conclusão, englobando as considerações finais do trabalho e sugestões de trabalhos futuros.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Segundo Adão (2010), a utilização do aço no concreto foi essencial para o desenvolvimento da construção civil no século XX. Com a inserção das barras de aço no concreto houve melhoria no seu desempenho. A maneira como a tecnologia se desenvolveu de forma crescente ao passar dos anos, influenciou diretamente e indiretamente, em pesquisas realizadas com outros tipos de materiais, como por exemplo, com os materiais compósitos, sendo que nessa pesquisa terá o enfoque na barra de fibra de vidro.

### 2.1. ARGAMASSA

A argamassa é uma mistura composta por cimento, agregado miúdo e água, podendo-se adicionar aditivos quando houver necessidade. Geralmente utiliza-se para camada final de acabamento de vedação vertical, ou seja, em paredes de alvenaria, e também, é utilizada em contrapiso de laje. Esse produto pode ser de origem industrial, ou ser executada “in loco” de uma determinada obra. E em alguns casos, para a execução do contrapiso na laje, adiciona-se uma malha de aço para aumentar a resistência do mesmo.

### 2.2. CONCRETO ARMADO

Os blocos estruturais convencionais são executados em concreto armado, composto por concreto e aço. Por volta de 1906, após vários ensaios experimentais, o Engenheiro alemão Emil Mörsch conseguiu estabelecer um dimensionamento para esse material, e por isso foi considerado o pai do concreto armado (Adão, 2010). Nacionalmente, as estruturas de concreto armado são regidas pela norma ABNT NBR 6118/2023, onde descreve todos os parâmetros para a aplicação em qualquer empreendimento com esse tipo de material. Inclusive, essa norma menciona ainda que na falta de indicação do fabricante, o módulo de elasticidade do aço equivale a 210 GPa.

### 2.2.1. Concreto

Neville e Brooks (2013) definem o concreto como um material produzido por um elemento cimentante, onde ocorre a reação entre um cimento hidráulico e a água. Esse material é fabricado com inúmeros tipos de cimentos, podendo conter pozolanas, as quais poderiam ser sílica ativa, adições minerais, entre outros. A qualidade pode ser definida no estado fresco, o qual deve-se ter uma determinada consistência na mistura para que assim possa ser adensado corretamente, e no estado endurecido, onde tem que obter a resistência à compressão.

### 2.2.2. Aço

O aço é uma liga metálica a base de ferro, contendo aproximadamente 98% de ferro (*Fe*), 0,5 a 2% de carbono (*C*), e outros elementos residuais como o magnésio (*Mg*), enxofre (*S*), fósforo (*P*) e silício (*Si*), e a sua densidade é 7,80 g/cm<sup>3</sup>. Para o processo de fabricação do aço, primeiro obtém-se as matérias primas, como o minério de ferro e o carvão, logo após, esses materiais são levados ao alto forno, onde passam por um processo com temperatura a 1000°C, o carvão em contato com o oxigênio produz um calor que funde a carga metálica e inicia-se a redução do minério de ferro em um metal líquido chamado de gusa. Depois dessa etapa, realiza-se o refino da gusa, onde a maior parte do aço líquido é solidificado em equipamentos de lingotamento contínuo, e por fim, tem-se a laminação (Tubometal, 2018).

Rebello (2000) afirma que para conseguir as diferentes seções de aço, faz-se necessário realizar a laminação de tarugos, dobramento ou soldagem de chapas. Para a aplicação e manipulação precisasse de mão de obra qualificada. O aço quando utilizado como armadura no concreto deve satisfazer a norma NBR 7480/2022, a qual mostra os critérios para a utilização desse material. O vergalhão de aço é resistente à tração e quando adicionado ao concreto ajuda a melhorar esse aspecto.

Entre os aços utilizados na construção civil, têm-se as categorias CA-25, CA-50 e CA-60, os quais são produzidos através de processo de fabricação por laminação a quente. O CA-25 possui resistência ao escoamento de 250 MPa, assim como, o CA-50 possui resistência ao escoamento equivalente a 500 MPa, e

consequentemente, o CA-60 possui resistência ao escoamento igual a 600 MPa. As bitolas comerciais dependem do tipo de aço, para o CA-25 tem-se as bitolas de  $\varnothing 6,3$ ,  $\varnothing 8$ ,  $\varnothing 10$ ,  $\varnothing 12,5$ ,  $\varnothing 16$ ,  $\varnothing 20$ ,  $\varnothing 25$  e  $\varnothing 32$ mm, enquanto que para o CA-50 tem-se bitolas de  $\varnothing 5$ ,  $\varnothing 6,3$ ,  $\varnothing 8$ ,  $\varnothing 10$  e  $\varnothing 25$ mm. Já para o CA-60, o qual será utilizado nessa pesquisa, trabalha-se somente com  $\varnothing 4,2$ mm. As barras de aço podem possuir superfície nervurada ou lisa, isso depende da sua categoria.

### 2.3. MATERIAIS COMPÓSITOS

Kaw (2006) define que os materiais compósitos são constituídos por uma matriz reforçada com outro material, e que não são solúveis entre si, e ainda, são combinados a nível macroscópico. Em outros termos, trata-se de um meio particulado (fibra) acoplada a uma matriz (polímero). Entre os reforços existentes, tem-se a fibra de carbono, de aramida, e de vidro, porém essa pesquisa será direcionada somente para a fibra de vidro.

Por sua vez, para Neville e Brooks (2013), os materiais compósitos são definidos em duas etapas, as quais são o compósito ideal rígido, e o compósito ideal macio, os quais podem ser analisados através das equações 01 e 02. Ambas as equações definem o módulo de elasticidade do material compósito, baseado na fração volumétrica das partículas, no módulo de elasticidade da matriz e no módulo de elasticidade da fase particulada. Porém, na etapa ideal rígido leva-se em conta a deformação sendo constante em qualquer seção transversal, já na etapa ideal macio considera-se a tensão como constante para calcular o módulo de elasticidade.

$$E = (1 - g) \cdot E_m + (g \cdot E_p) \quad (01)$$

$$E = \left[ \frac{1-g}{E_m} + \frac{g}{E_p} \right]^{-1} \quad (02)$$

Onde:

$E$  = módulo de elasticidade do material compósito;

$g$  = fração volumétrica das partículas;

$E_m$  = módulo de elasticidade da matriz;

$E_p$  = módulo de elasticidade da fase particulada.

### 2.3.1. Vergalhão de fibra de vidro

Os vergalhões de fibra de vidro também são conhecidos como GFRP (*Glass Fiber Reinforced Polymer*), os quais são barras constituídas de materiais compósitos reforçados com fibra de vidro. De acordo com Ineia et al. (2021), as barras de fibra de vidro possuem propriedade anisotrópica, ou seja, apresentam diferentes características física ou mecânica em diferentes direções, para o GFRP quer dizer que têm uma excelente resistência à tração quando solicitado no sentido longitudinal das fibras, porém isso pode interferir na aderência ao concreto e na resistência ao cisalhamento. Pode-se observar esse material na figura 01.

Figura 01 – Vergalhão de fibra de vidro.

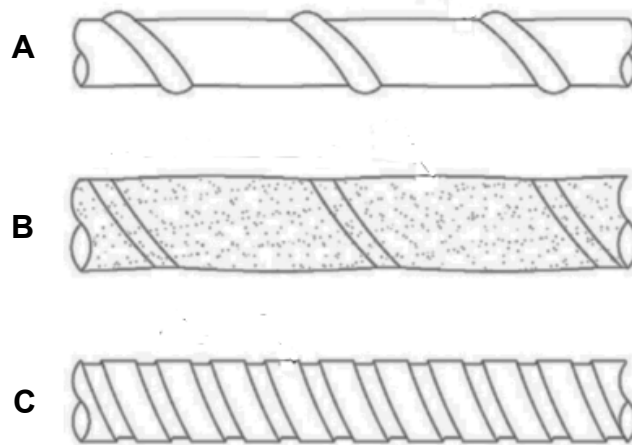


Fonte: Autora (2023).

Dentre os fatores que podem interferir diretamente no desempenho do GFRP, pode-se destacar, as direções longitudinal e transversal da fibra, o tipo da fibra (sintética ou mineral), e a quantidade de resina quando comparado ao volume das fibras. Os polímeros reforçados com fibra de vidro têm uma densidade entre  $1,25 \text{ g/cm}^3$  a  $2,10 \text{ g/cm}^3$ , sendo assim, é em torno de 4 a 6 vezes mais leve em relação ao aço (Ineia et al., 2021). Existem alguns tipos de conformações da superfície do GFRP, os quais podem ser observadas na figura 02. Nessa pesquisa utilizou-se a barra com superfície nervurada com fibra enrolada de forma helicoidal.



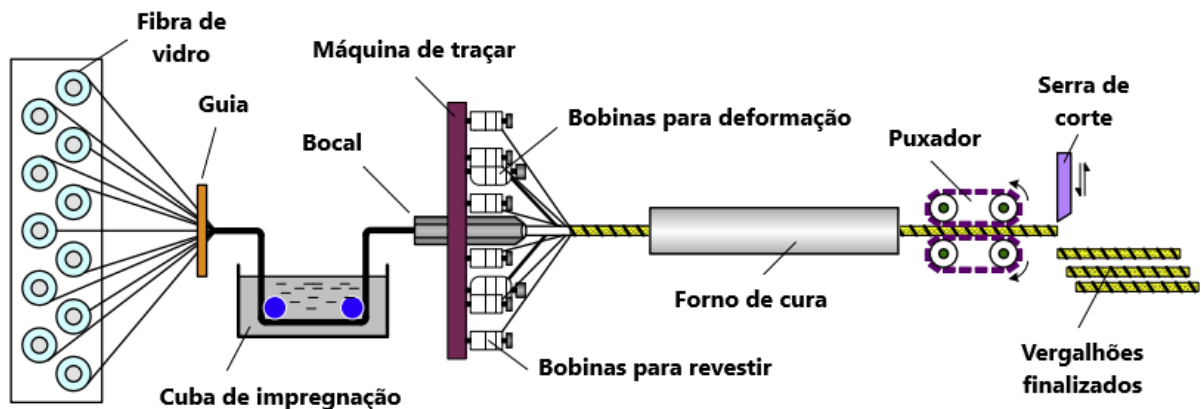
Figura 02 – A) Superfície nervurada com fibra enrolada de forma helicoidal; B) Superfície nervurada com fibra enrolada de forma helicoidal e revestida com areia; C) Superfície com nervuras moldadas na própria resina.



Fonte: Adaptado de Mohamed et al (2021).

Conforme Moura (2021), a fabricação desse material realiza-se pelo processo de pultrusão, onde as fibras são imersas em uma cuba de impregnação com catalizador e aditivos, tendo-se a junção da fibra de vidro com a resina polimérica (resina de poliéster). Em seguida, passa-se por um bocal que define o diâmetro do vergalhão, logo após, é traçado para obter as nervuras na sua superfície, e depois, coloca-se em um forno de cura para reticulação da resina polimérica. Por fim, passam por um puxador por fricção, e são cortados com a metragem desejada para o consumidor final. Essas etapas da construção dos GFRP podem ser vistas na figura 03.

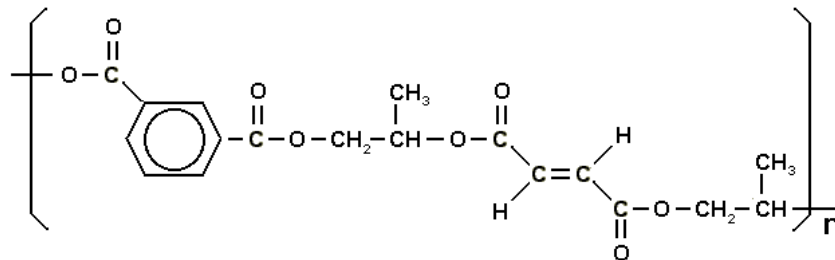
Figura 03 – Processo de fabricação do GFRP.



Fonte: Adaptado de You et al. (2014).

Ainda de acordo com Moura (2021), a matriz polimérica (moléculas de cadeias longas lineares), essa matriz pode ser termorrígida (poliéster saturado), onde não se pode amolgada após o processo de reticulação no forno de cura, ou ainda, pode ser termoplástica (poliéster insaturado), em que a matriz pode ser amolgada após passar pelo forno de cura. Existem as resinas epóxi, éster vinílica e poliéster, sendo que a resina poliéster do tipo isoftálica é mais utilizada, pois apresenta uma melhor qualidade a resistência mecânica e química. Essa resina de poliéster isoftálica é contida no vergalhão utilizado nesse trabalho, pode-se visualizar a sua estrutura química pela figura 04 abaixo.

Figura 04 – Estrutura química da resina de poliéster isoftálica.



Fonte: Manual de Construção de Barco (2024).

Conforme Hollaway e Leeming (1999), existem alguns tipos de fibra de vidro, entre eles, *Eletrical* (E), *Alkali* (A), *Chemical* (C), *Eletrical-Chemical* (E-CR), *Resist* (R), *Strenght* (S), e *Alkali Resist* (AR). Pode-se observar no quadro 01, as respectivas características principais de cada tipo. Nesse trabalho, foi utilizada o tipo de fibra E (*Eletrical*).

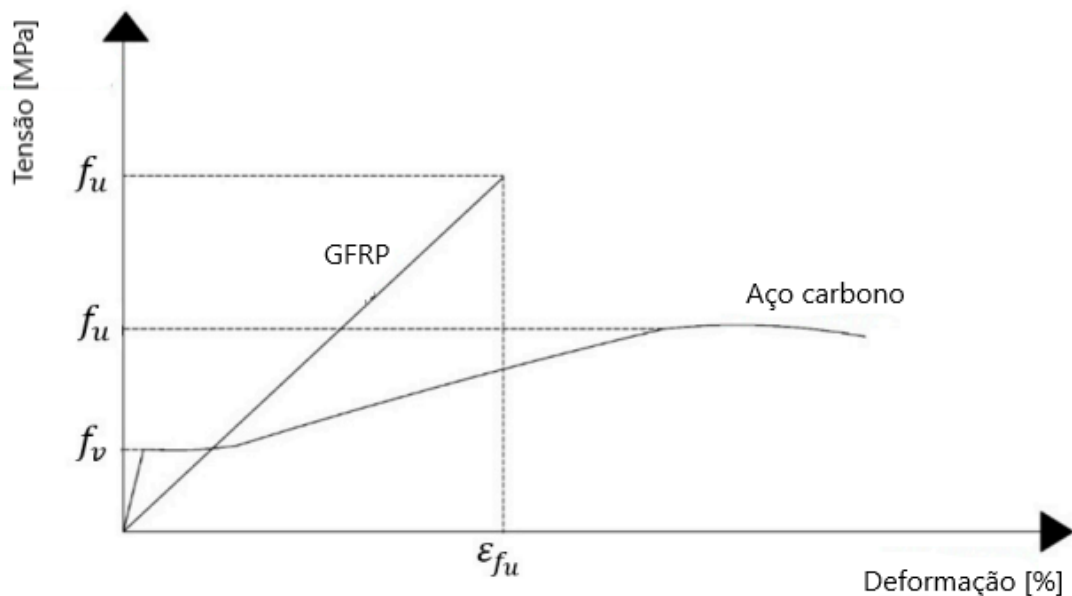
Quadro 01 – Características dos tipos de fibra de vidro.

Tipo de Fibra	Principal característica
E	Aplicações usuais, baixo teor alcalino (menor que 1%)
A	Elevado teor alcalino (10 a 15%) e com propriedades inferiores ao tipo E
C	Resistência superior a corrosão em relação ao tipo E, e utiliza-se para acabamento de superfícies
E-CR	Livre de Boro, boa resistência a corrosão ácida, e propriedades similares ao tipo E
R, S	Melhor propriedade mecânica do que o tipo E, usado em aplicação de alto desempenho
AR	Resistência ao álcalis e utilizado para reforço em cimento

Fonte: Adaptado de Hollaway e Leeming (1999).

Além disso, pode-se observar pelo gráfico 01, o qual mostra o comportamento dos materiais, em que o vergalhão de fibra de vidro não possui uma clareza em relação ao seu limite de escoamento, ou seja, não se tem uma região elástica desse material até a ruptura, no gráfico isso é representado pela reta crescente, e mostrado pelo ponto de intersecção da tensão última do material ( $f_u$ ) com a deformação em relação à tensão última do material ( $\epsilon_{fu}$ ). Ao contrário do GFRP, o aço possui um limite de escoamento definido, como pode ser observado no gráfico 01 em que há uma região de escoamento mostrado pela reta formada pelo ponto de intersecção da tensão admissível do material ( $f_v$ ) com a deformação em relação à tensão admissível do material ( $\epsilon_v$ ), e logo após, há o rompimento do material, ou seja, passa para a fase plástica do material.

Gráfico 01 – Tensão x Deformação



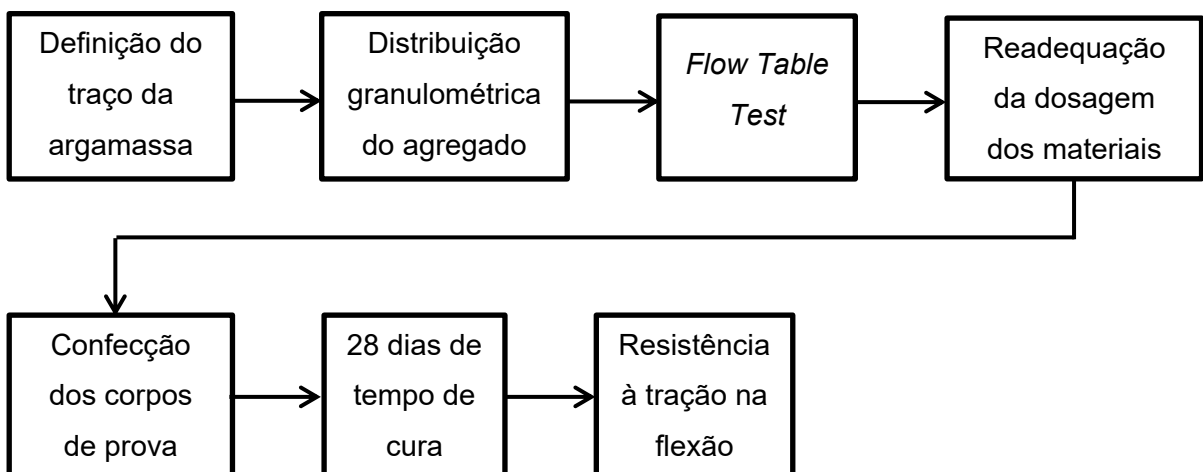
Fonte: Adaptado de Mohamed et al. (2021).

### 3. METODOLOGIA

Utilizou-se uma metodologia experimental através dos ensaios de distribuição granulométrica, índice de consistência, e resistência à tração na flexão. Com o objetivo de simular o carregamento em lajes de concreto armado, optou-se por utilizar o molde de argamassa no formato 3x(4x4x14) cm, porém foram retiradas as divisórias internas, formando assim uma “placa/laje” de 4x14x16 cm, sendo possível realizar os ensaios de tração na flexão em três e em quatro pontos de forma adaptada como é mostrado na sequência.

Devida à limitação do tamanho de molde, optou-se por realizar a mistura de argamassa para confeccionar os corpos de prova (CP's), adaptada da norma NBR 16541/2016. Foram confeccionados no total 20 CP's, sendo 10 CP's armados com tela de vergalhão de fibra de vidro e 10 CP's armados com tela de vergalhão de aço. E para a realização dos mesmos, teve-se que utilizar os seguintes materiais, Cimento Portland, agregado miúdo, água, vergalhão de fibra de vidro e vergalhão de aço. A seguir, tem-se uma explanação desses materiais, assim como, os métodos utilizados. O fluxograma do método desse trabalho pode ser observado na figura 05.

Figura 05 – Fluxograma do método do trabalho.

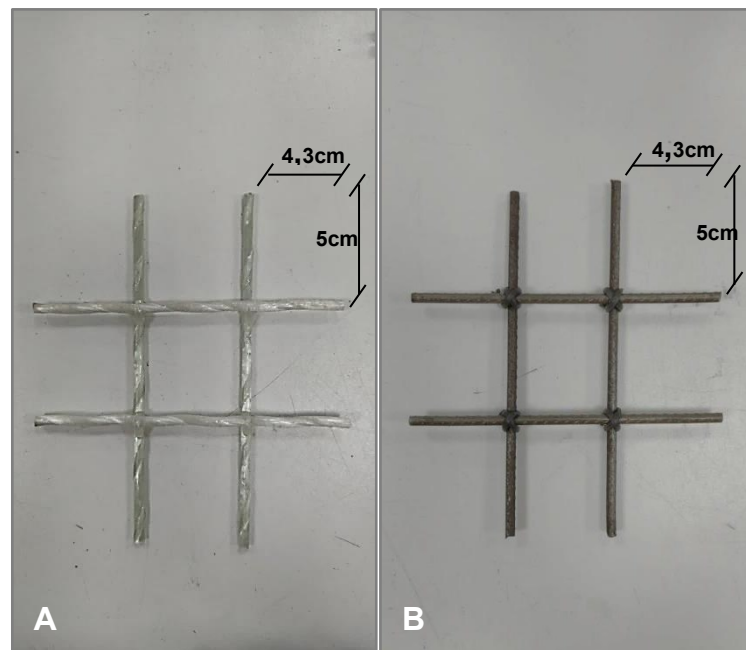


Fonte: Autora (2024).

### 3.1. MATERIAIS

Com o intuito de manter uma análise mais equivalente possível, trabalhou-se com bitolas muito próximas, ou quase semelhantes. Sendo assim, utilizou-se o vergalhão de aço CA-60 de  $\varnothing 4,2$  mm (3/16") e o vergalhão de fibra de vidro de  $\varnothing 4$  mm. Ambos com comprimento de 15 cm e 13 cm para compor a tela com malha de 5x4,3 cm, essas telas podem ser observadas na figura 06. Além disso, utilizou-se o Cimento Portland IV 32 RS, água e areia fina para executar a argamassa. Para moldar os CP's usou-se o molde para corpo de prova prismático com tamanho 4x14x16 cm, conforme consta na norma ABNT NBR 13279/2005. Abaixo discriminou-se cada material utilizado para a análise.

Figura 06 – A) Tela de fibra de vidro; B) Tela de aço.



Fonte: Autora (2024).

#### 3.1.1. Cimento Portland

Usou-se o Cimento Portland IV 32 RS da marca Votoran, como pode ser observado na figura 07. Esse cimento é resistente a sulfatos e prevê resistência à compressão simples de 32 MPa aos 28 dias de cura.

Figura 07 – Cimento Portland IV 32 RS.



Fonte: Autora (2024).

### 3.1.2. Agregado miúdo

Para a composição do agregado miúdo tem-se a areia fina, a qual foi fornecida pelo Laboratório Interdisciplinar de Construção Sustentável (LabICons), do Centro Tecnológico de Joinville (CTJ), da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). A areia é de origem natural.

### 3.1.3. Água

Utilizou-se a água proveniente do abastecimento de rede pública do município de Joinville.

### 3.1.4. Vergalhão de fibra de vidro

O vergalhão de fibra de vidro utilizado para esta pesquisa, tem o diâmetro nominal de 4 mm com resina polimérica de poliéster, a sua classificação é do tipo E (*Electrical*), e a matriz polimérica é termorrígida. Segundo a empresa Topfiber (2023), a qual forneceu o produto, o mesmo atende as normas ASTM F3059, ISO 10406,

ACI 440, e o comitê CT303 do IBRACON e da ABECE. Pode-se observar as propriedades desse material pela tabela 01.

Tabela 01 – Dados técnicos do GFRP de  $\varnothing 4$  mm.

<b>Propriedades</b>	<b>GFRP</b>
Peso linear	0,053 kg/m
Resistência à tração	1000 MPa
Módulo de Elasticidade	50 MPa
Tensão de aderência ao concreto	12 MPa
Coefficiente de expansão térmica	0,16 $\mu\text{m}/\text{m}^\circ\text{C}$
Densidade	2,18 $\text{g}/\text{cm}^3$
Resistência à compressão	330 MPa
Resistência ao cisalhamento	180 MPa
Durabilidade	Aprox. 50 anos

Fonte: Adaptado de Topfiber (2023).

### 3.1.5. Vergalhão de aço

Foi utilizado o vergalhão de aço CA-60 com superfície nervurada e diâmetro nominal 4,2 mm da marca AcelorMittal. Segundo a fabricante, esse material é produzido segundo a ABNT NBR 7480/2022, e é utilizado para a composição de armaduras para fundações, lajes, vigas e pilares. Conforme a empresa AcelorMittal (2023), o material apresenta qualidade segundo os critérios da ABNT PE 148, ou seja, possui rótulo ecológico para produtos de aço para a construção civil, e as suas propriedades estão na tabela 02.

Tabela 02 – Dados técnicos vergalhão de aço de  $\varnothing 4,2$  mm.

<b>Propriedades</b>	<b>Aço CA-60</b>
Resistência à tração	600 MPa
Massa nominal	0,109 kg/m
Módulo de Elasticidade	210 GPa
Tolerância para massa nominal	+/- 6%
Número de barras em cada subfeixe	54

Fonte: Adaptado de AcelorMittal (2023).

## 3.2. ENSAIOS NO ESTADO FRESCO

Os métodos no estado fresco foram os primeiros ensaios realizados no Laboratório Interdisciplinar de Construção Sustentável (LabICons), do Centro Tecnológico de Joinville (CTJ), da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Esses ensaios determinam a composição da argamassa e a forma como foram moldados os CP's.

### 3.2.1. Distribuição Granulométrica

Esse procedimento é feito para verificar a composição granulométrica do agregado miúdo, e assim, definir se corresponde a uma areia grossa, média ou fina. Isso é determinado através do módulo de finura do material (MF), o qual é calculado pela equação 03 e normatizado pela ABNT NBR 7211/2022, além disso, também define-se pelo diâmetro nominal máximo do agregado.

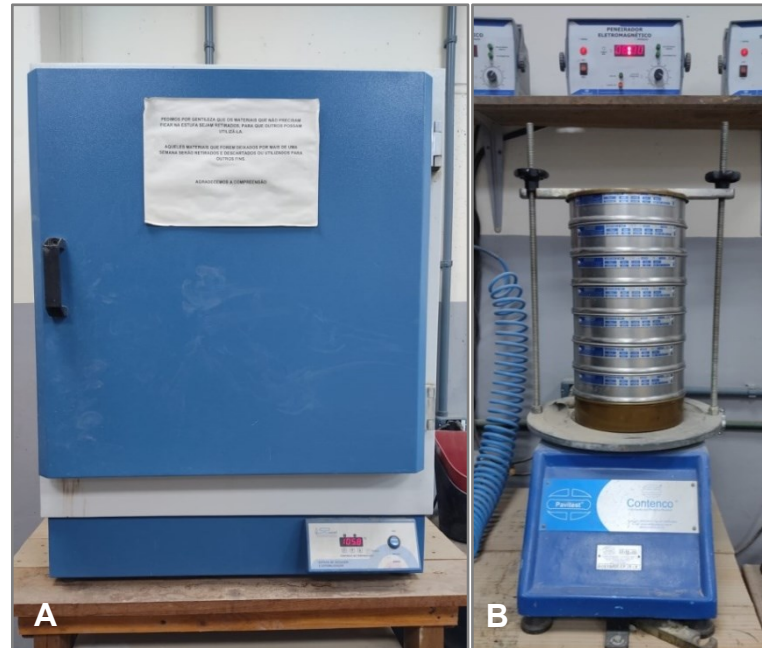
$$MF = \frac{\sum \%MASSA \text{ RETIDA ACUMULADA}}{100} \quad (03)$$

Faganello e Pereira (2013) afirmam que quanto menos for à constância no tamanho do agregado, melhor será a sua resistência mecânica, devido ao acondicionamento da mistura da argamassa, ou seja, ao entrosamento entre a interface das partículas dos materiais. Sendo assim, quanto mais heterogênea for a composição, melhor será a resistência à tração do material.

Ao realizar o ensaio de distribuição granulométrica, seguiu-se a norma ABNT NBR 17054/2022. A qual dispõe que primeiro deve-se levar a areia para a estufa por 24 h à 105°C conforme mostra na figura 08-A. Após esse período, foi pesado 1000 g de areia e colocou-se sobre o conjunto de peneiras sucessivas de série normal, as quais são, 150 µm, 300 µm, 600 µm, 1,18 mm, 2,26 mm, 4,75 mm, e 9,5 mm, contendo também o fundo e a tampa. Depois, ligou-se o agitador mecânico por 5 min, como é possível observar na figura 08-B, logo após, pesou-se cada peneira a fim de verificar a massa retida. Para que desse modo, fosse possível determinar a curva granulométrica do agregado e o diâmetro máximo nominal do mesmo.



Figura 08 – A) Estufa; B) Agitador mecânico com o conjunto de peneiras.



Fonte: Autora (2023).

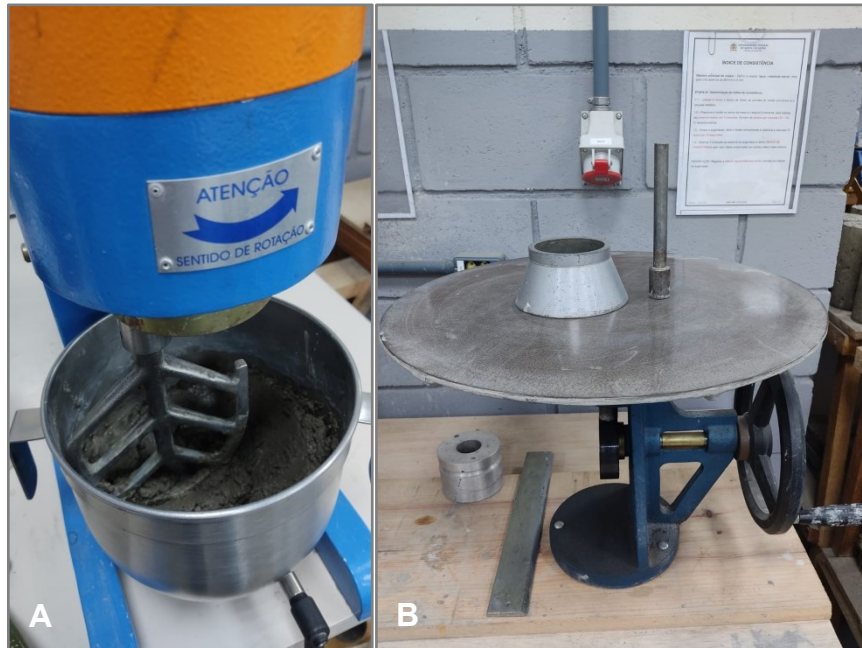
### 3.2.2. Índice de Consistência

Para determinar o Índice de Consistência (IC), realizou-se o ensaio na mesa de consistência, mais conhecido como *Flow Table Test*. Utilizou-se a norma ABNT NBR 13276/2016, a qual mostra a diretriz do ensaio, onde primeiro colocou-se uma determinada quantidade de areia suficiente para um corpo de prova para secar por 24 h em estufa à 105°C conforme consta na figura 08-A. Logo após, foi feita a mistura da argamassa de acordo com a norma ABNT NBR 16541/2016, onde inicialmente pesou-se a areia, o cimento, e a água, em seguida, colocaram-se os materiais secos no misturador mecânico e foi adicionado 75% da água, e ligou-se o misturador por 30 s, depois aumentou-se a velocidade, batendo por mais 60 s, após esse tempo parou-se o misturador, retirou-se o que ficou retido na pá e depois adicionou-se o restante da água, e voltou a bater por aproximadamente 60 s. Essa etapa pode ser vista na figura 09-A.

Dando-se sequência ao ensaio com a *Flow Table*, e seguindo a norma ABNT NBR 13276/2016, assim que foi terminada a preparação da argamassa no misturador, colocou-se uma camada no cone metálico e aplicaram-se 15 batidas com o soquete metálico, depois adicionou-se mais uma camada e aplicaram-se 10 batidas, e por fim, colocou-se a camada final e aplicaram-se 5 batidas, depois

retirou-se o cone e iniciou-se 30 rotações seguidas da mesa, resultando no espalhamento da argamassa e com isso foi obtido o diâmetro médio da mesma. Com isso, definiu-se a relação a/c desejada. A *Flow Table* e os seus respectivos acessórios podem ser observados na figura 09-B.

Figura 09 – A) Misturador mecânico; B) *Flow table* e acessórios.



Fonte: Autora (2023).

Esse ensaio mostra a trabalhabilidade da argamassa e define a relação a/c a ser utilizado no estudo. Tendo-se um traço preestabelecido de 1(cimento):3(areia), baseado no estudo de Tutikian et al. (2017), pois o mesmo afirmou que esse é um traço convencional para argamassa de contrapiso, e através do ensaio realizado na *Flow Table*, soube-se que a relação a/c correspondeu a 0,62 para o traço de referência. Com isso, determinou-se as quantidades necessárias de cada material para confeccionar os CP's, as quais encontram-se na tabela 03.

Tabela 03 – Quantidades de materiais para o traço escolhido.

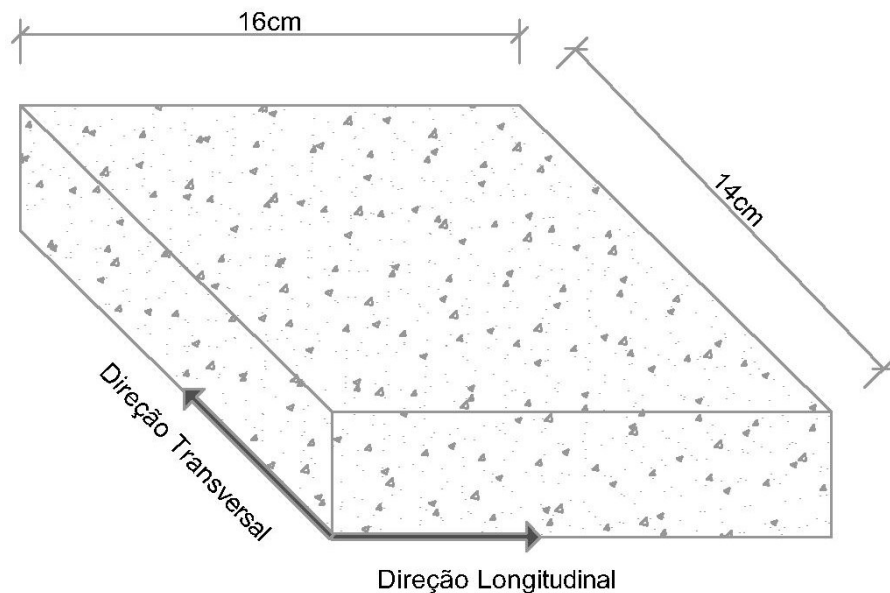
Traço	Areia [g]	Cimento [g]	Água [g]	a/c
1:3	1500	500	310	0,62

Fonte: Autora (2023).

### 3.2.3. Confeccção dos CP's

A fim de uma melhor compreensão das direções e dimensões dos CP's, com o auxílio do *software* AutoCAD, desenhou-se a figura 10, a qual mostra a definição das direções e as respectivas dimensões dos CP's. Estabeleceu-se que a armadura disposta ao longo da dimensão de 14 cm, definiu-se como armadura na direção longitudinal do corpo de prova, e conseqüentemente, a armadura disposta ao longo da dimensão de 16 cm, determinou-se como armadura na direção transversal do corpo de prova.

Figura 10 – Perfil isométrico do corpo de prova prismático.

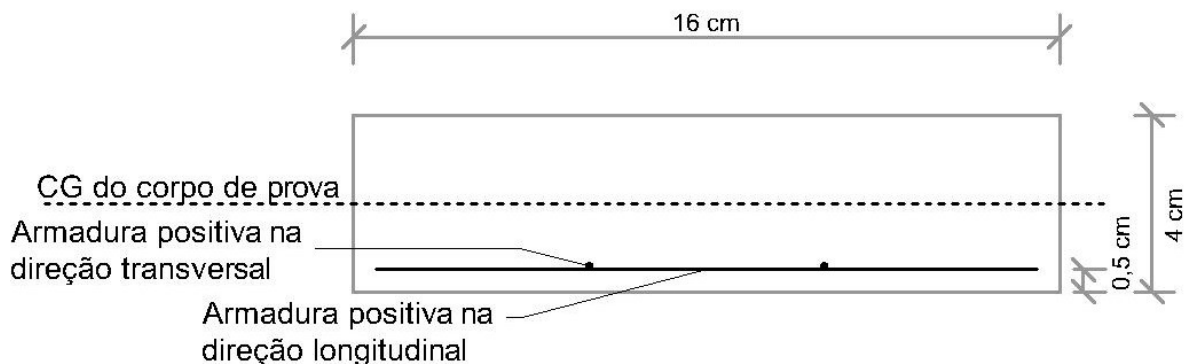


Fonte: Autora (2024).

Foram confeccionados ao todo 20 CP's para essa pesquisa, todos com o mesmo traço de referência, sendo que 10 CP's foram utilizados para o primeiro ensaio à tração na flexão para três pontos, para esse ensaio 5 CP's foram armados com tela de vergalhão de fibra de vidro e 5 CP's foram armados com tela de vergalhão de aço. O restante dos CP's foram utilizados para o segundo ensaio à tração na flexão para quatro pontos, da mesma forma como o primeiro ensaio, nesse ensaio, utilizou-se 5 CP's armados com tela de vergalhão de fibra de vidro e 5 CP's armados com tela de vergalhão de aço. Ambos os ensaios são descritos ao decorrer desse trabalho.

Deixou-se uma camada de 0,5 cm para servir como cobrimento, e assim, evitar que a malha descesse para o fundo do molde no momento de montagem do corpo de prova. Essa malha representa a armadura positiva e fica localizada abaixo do centro geométrico (CG) do corpo de prova, a fim de combater o esforço de tração promovido pelo momento fletor, ou seja, tem o intuito de combater a flecha admissível que está imposta na placa. Visto que a cima da linha que representa o centro geométrico do corpo de prova, encontra-se a região de compressão, e abaixo tem-se a região de tração. A figura 11 mostra a seção longitudinal do corpo de prova e a armadura encontra-se na parte inferior do corpo de prova, essa figura foi realizada com o emprego do *software* AutoCAD.

Figura 11 – Seção longitudinal do corpo de prova.



Fonte: Autora (2024).

Para a montagem dos CP's seguiu-se a norma ABNT NBR 13279/2005, e utilizou-se a mesa de adensamento a fim de se ter um melhor adensamento da argamassa no molde, ao invés de realizar de forma manual. Desse modo, primeiro aplicou-se uma camada de argamassa de aproximadamente 0,5 cm no molde e foi acionada 30 quedas na mesa de adensamento, a qual pode ser vista na figura 12. Logo após, inseriu-se a tela de vergalhão de fibra de vidro sobre a argamassa, como pode ser observado na figura 13, e em seguida, colocou-se o restante da argamassa no molde, e aplicou-se novamente 30 quedas na mesa. Por fim, para dar um acabamento final, realizou-se o rasamento do corpo de prova com o auxílio de uma régua metálica. O mesmo procedimento foi feito para a montagem dos CP's armados com a tela de vergalhão de aço, como é mostrado pela figura 14. E

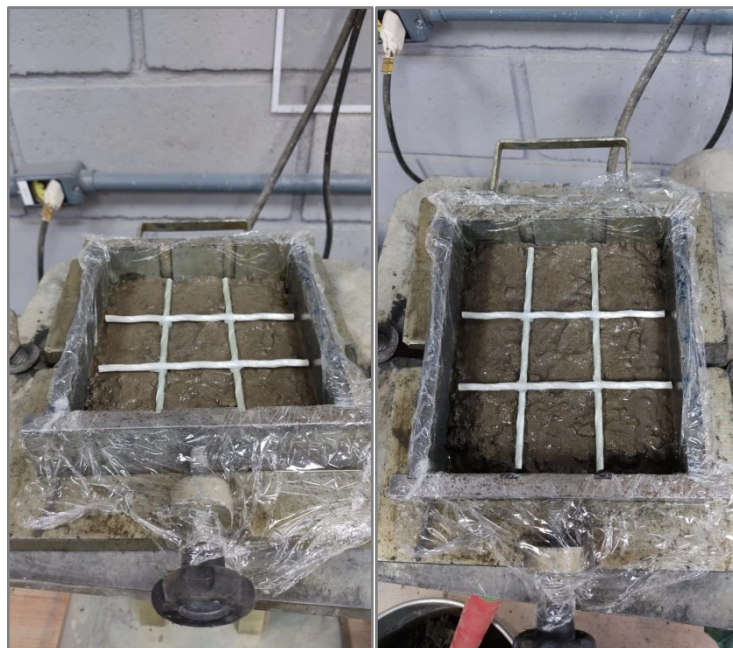
também, tem-se a figura 15, a qual apresenta os 10 primeiros CP's confeccionados, logo após serem moldados.

Figura 12 – Mesa de adensamento.



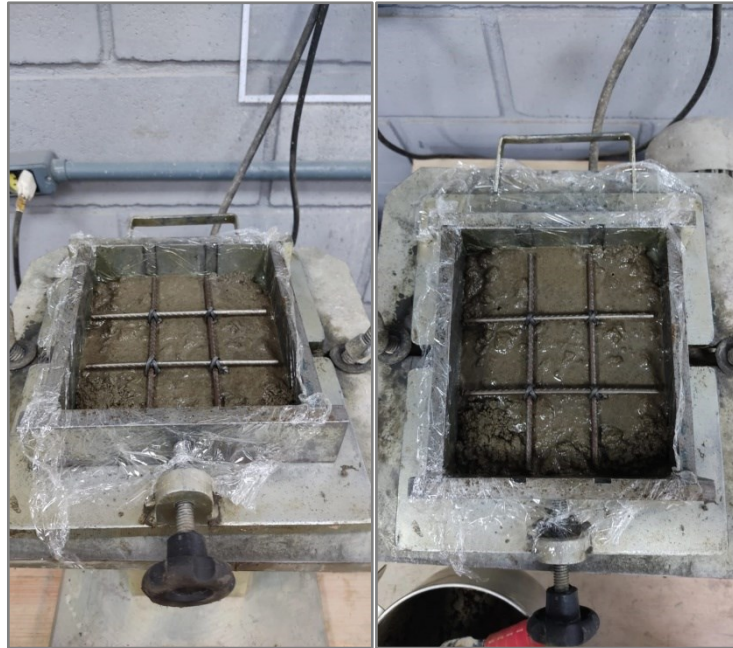
Fonte: Autora (2024).

Figura 13 – Montagem do corpo de prova com tela de fibra de vidro.



Fonte: Autora (2024).

Figura 14 – Montagem do corpo de prova com tela de aço.



Fonte: Autora (2024).

Figura 15 – CP's nos moldes.



Fonte: Autora (2024).

Na figura 16 pode-se observar 5 CP's armados com vergalhão de fibra de vidro e 5 CP's armados com vergalhão de aço, todos com o traço de referência e desmoldados após 48h de tempo de cura. Após isso, os CP's foram identificados com o traço, a data de confecção e o tipo de vergalhão, e depois foram mantidos no laboratório em temperatura ambiente por 28 dias, para que assim, pudesse ter o tempo de cura para que posteriormente fossem realizados os ensaios no estado endurecido da argamassa. O período para desmolde e tempo de cura foi seguido conforme a norma ABNT NBR 13281-1/2023.

Figura 16 – CP's desmoldados após 48h.



Fonte: Autora (2024).

Posteriormente, confeccionou-se mais 10 CP's, entre esses, foram 5 CP's armados com tela de vergalhão de aço e 5 CP's armados com tela de vergalhão de fibra de vidro, e com o mesmo traço de referência. Os mesmos foram executados para que fossem rompidos de forma diferente em relação aos 10 primeiros, na figura 17 mostra-se os CP's nos moldes, já na figura 18 pode-se observar o desmolde dos CP's após 48 h, e na figura 19 tem-se os CP's em processo de cura da argamassa. Portanto, ao todo foram confeccionados 20 CP's para essa pesquisa.

Figura 17 – CP's nos moldes.



Fonte: Autora (2024).

Figura 18 – CP's desmoldados após 48h.



Fonte: Autora (2024).

Figura 19 – CP's em processo de cura.



Fonte: Autora (2024).

### 3.3. ENSAIOS NO ESTADO ENDURECIDO

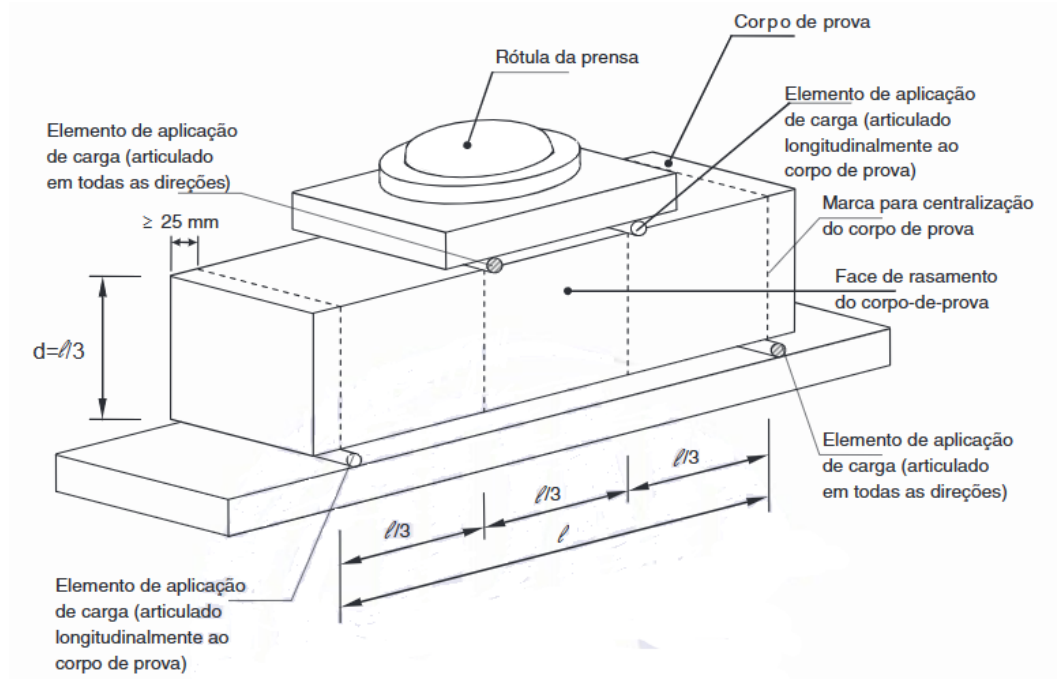
Realizaram-se os ensaios no estado endurecido após os 28 dias de cura dos CP's. Estimou-se a resistência à tração na flexão para os dois tipos, primeiro para a flexão em três pontos, e depois, para a flexão em quatro pontos, ambos os ensaios foram realizados na empresa Perville, a qual fica localizada dentro do Perini Business Park. A seguir serão detalhados os métodos adotados em cada ensaio.

#### 3.3.1. Resistência à tração na flexão

Para verificar a resistência à tração na flexão dos CP's, os mesmos foram submetidos ao rompimento após 28 dias de cura. O equipamento de suporte utilizado nesse ensaio foi para CP's no formato prismático, como pode ser observado na figura 20, e essa resistência é calculada através da norma ABNT NBR 12142/2010, pela equação 04, onde multiplicou-se por 1000 para passar de  $\text{kN/mm}^2$  para  $\text{MN/m}^2$  (MPa), e multiplicou-se por 9,81 para converter de tonelada força para quilonewton, pois no equipamento em que foi rompido os CP's a unidade de medida era tonelada força.



Figura 20 – Suportes para realizar o ensaio de resistência à tração na flexão.



Fonte: ABNT NBR 12142 (2010).

$$f_{ct,f} = (F \cdot l / b \cdot d^2) * 1000 * 9,81 \quad (04)$$

Onde:

$f_{ct,f}$  = resistência à tração na flexão [MPa];

$F$  = força máxima registrada na máquina de ensaio [tf];

$l$  = dimensão do vão entre os apoios [mm];

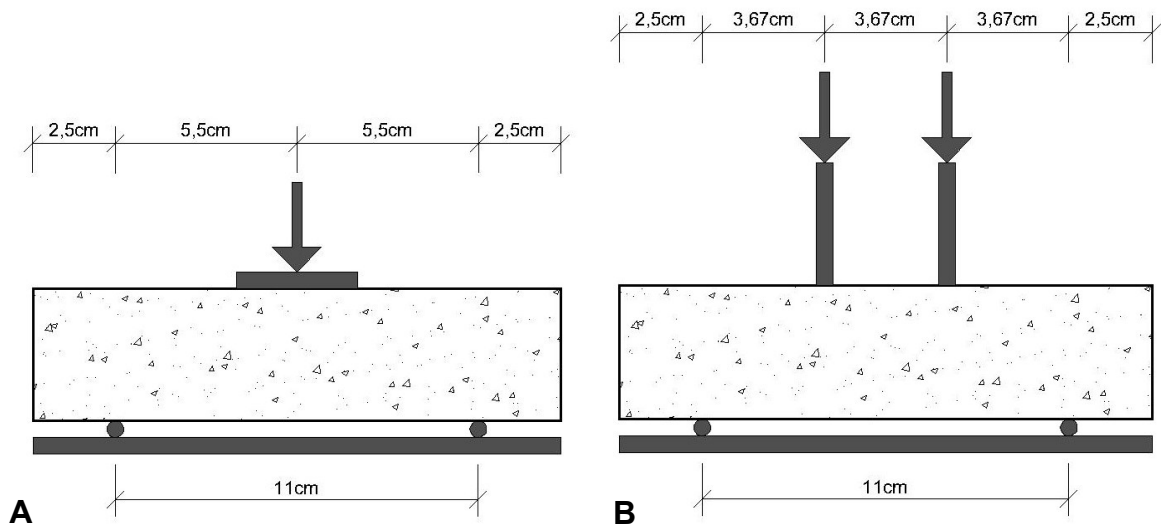
$b$  = largura média do corpo de prova [mm];

$d$  = altura média do corpo de prova [mm].

As figuras 21-A e 21-B mostram as duas formas de aplicação de carga para o rompimento à tração na flexão, tanto em três pontos quanto em quatro pontos, juntamente com as respectivas distâncias respeitadas no momento em que se rompeu os CP's, sendo o mais semelhante possível à norma ABNT NBR 12142/2010, porém de forma adaptada. Onde na figura 21-A teve-se a flexão em três pontos, sendo assim, a aplicação de carga em um ponto, com apenas um suporte superior de forma paralela ao corpo de prova. Enquanto que para a flexão em quatro pontos, como mostrado na figura 21-B, aplicou-se a carga em dois pontos, e com isso, tinha-se dois suportes com dimensões iguais e de forma

ortogonal ao eixo horizontal do corpo de prova. As figuras 21-A e 21-B foram desenvolvidas com o auxílio do *software* AutoCAD.

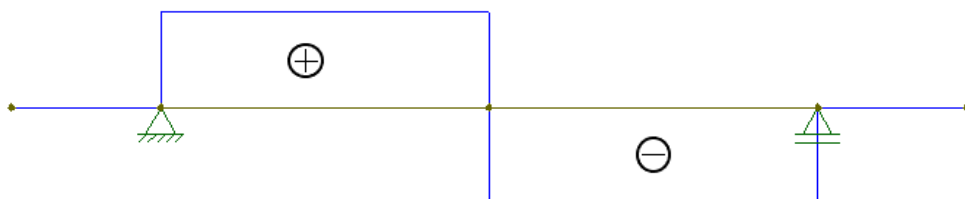
Figura 21 – A) Flexão em três pontos; B) Flexão em quatro pontos.



Fonte: Autora (2024).

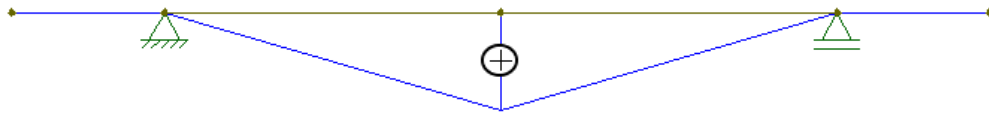
Simulou-se no *software* Ftool os gráficos para esforço cortante e momento fletor, com valores genéricos, mostrando-se o comportamento esperado para as “placas/lajes” submetidas ao ensaio de tração na flexão em três pontos, como pode-se observar nos gráficos 02 e 03 abaixo. Nesse caso, a tensão máxima concentrada sob o ponto de aplicação da força se dá no meio do corpo de prova, por esse motivo, a tendência é que as fissuras sejam localizadas no centro do corpo de prova.

Gráfico 02 – Esforço cortante para a flexão em três pontos.



Fonte: Autora (2024).

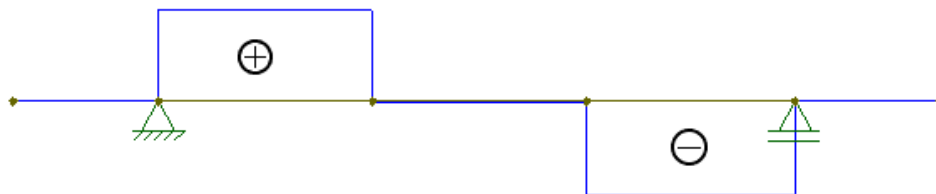
Gráfico 03 – Momento fletor para a flexão em três pontos.



Fonte: Autora (2024).

O mesmo foi realizado para as “placas/lajes” submetidas ao ensaio de tração na flexão em quatro pontos, através dos gráficos 04 e 05 pode-se observar o comportamento esperado nos CP's. Nesse caso, a tensão máxima se dá de forma distribuída uniformemente entre os pontos de aplicação da força, por esse motivo, a tendência é que as fissuras sejam localizadas nos dois pontos de aplicação da força no corpo de prova.

Gráfico 04 – Esforço cortante para a flexão em quatro pontos.



Fonte: Autora (2024).

Gráfico 05 – Momento fletor para a flexão em quatro pontos.

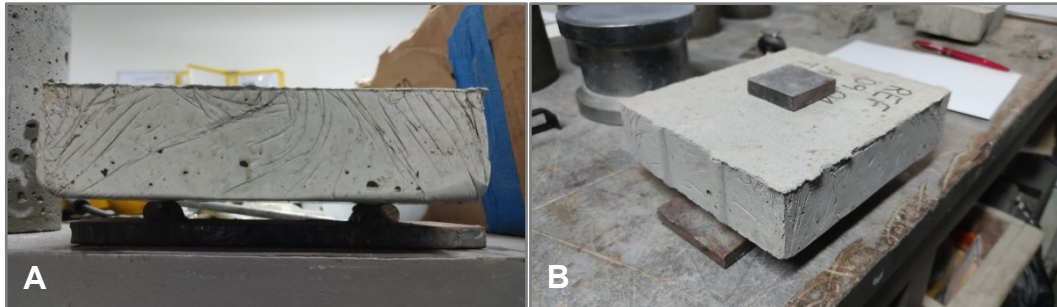


Fonte: Autora (2024).

Primeiro realizou-se o ensaio de tração na flexão em três pontos. Através da figura 22-A, pode-se observar o suporte inferior utilizado para esse ensaio, o qual possui dois elementos articulados (dois roletes) e espaçados 11 cm entre si (esse seria o comprimento  $l$  representado na figura 20), e na figura 22-B tem-se o suporte superior que foi utilizado, o qual tem dimensão 4x4 cm e ficou posicionado de forma

paralela ao eixo horizontal da placa. Ambos foram utilizados para auxiliar a forma da força aplicada sobre o corpo de prova, para que assim fosse possível realizar o rompimento dos CP's.

Figura 22 – A) Suporte inferior; B) Suporte superior.



Fonte: Autora (2024).

Para romper os CP's, utilizou-se um equipamento constituído por um prensa hidráulica, conforme mostra na figura 23. Aplicou-se a carga no elemento de suporte superior, exatamente no centro do corpo de prova, fazendo com que gerasse uma carga axial. Essa carga foi aplicada de forma contínua até o momento que em rompeu-se o corpo de prova, nesse instante parou-se a máquina e anotou-se a força registrada, para que depois esse valor fosse aplicado na equação 04.

Figura 23 – Equipamento para romper os CP's à tração na flexão em três pontos.



Fonte: Autora (2024).

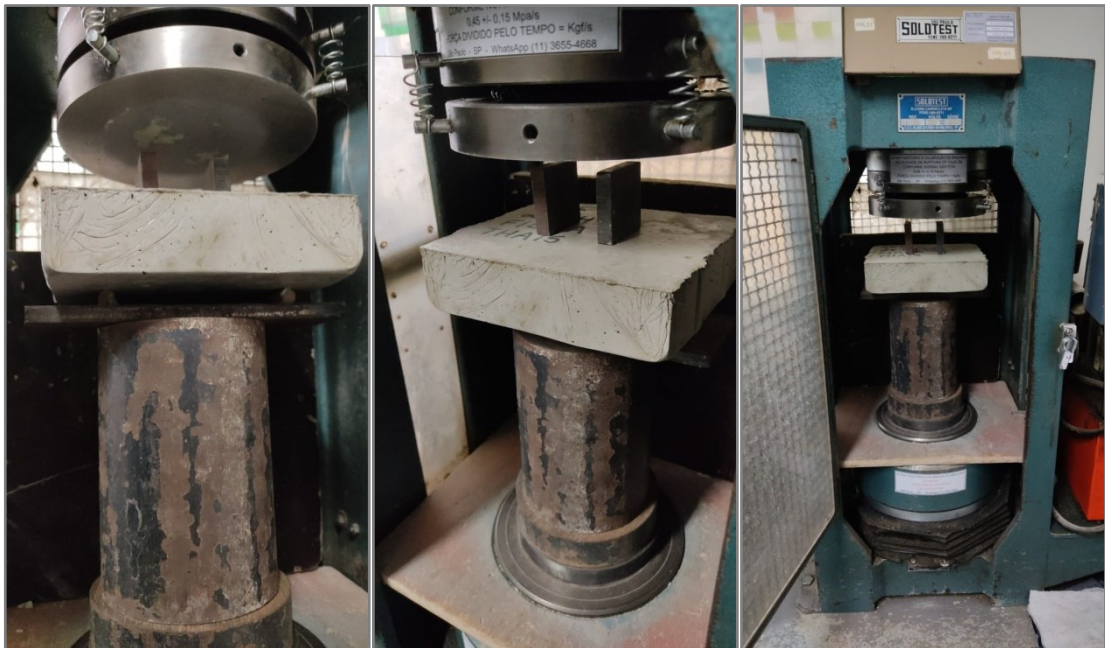
Em um segundo momento, realizou-se o ensaio de tração na flexão em quatro pontos. Nesse formato de rompimento, optou-se por utilizar dois suportes superiores com tamanho 4x4 cm, como pode-se observar na figura 24, se assemelhando melhor a figura 20, e com dois pontos de aplicação da carga axial. Esses dois suportes superiores foram posicionados de forma perpendicular ao eixo horizontal da placa. Pela figura 25 pode-se observar o equipamento utilizado para romper os CP's à tração na flexão em quatro pontos.

Figura 24 – Suportes superiores.



Fonte: Autora (2024).

Figura 25 – Equipamento para romper os CP's à tração na flexão em quatro pontos.



Fonte: Autora (2024).

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Através dos ensaios conseguiu-se discriminar as propriedades físicas e mecânicas dos CP's, com isso, obteve-se os resultados, os quais são mostrados abaixo.

### 4.1. PROPRIEDADES FÍSICAS

#### 4.1.1. Distribuição granulométrica

Após realizar o procedimento no agitador mecânico, obteve-se os dados de massa retida, percentual retido e percentual retido acumulado, para uma amostra de areia com massa igual a 1016,04g, em que pode ser visto na tabela 04. Ainda pela tabela, identifica-se que o diâmetro nominal máximo do agregado miúdo é 9,5 mm.

Tabela 04 – Dados da amostra de areia.

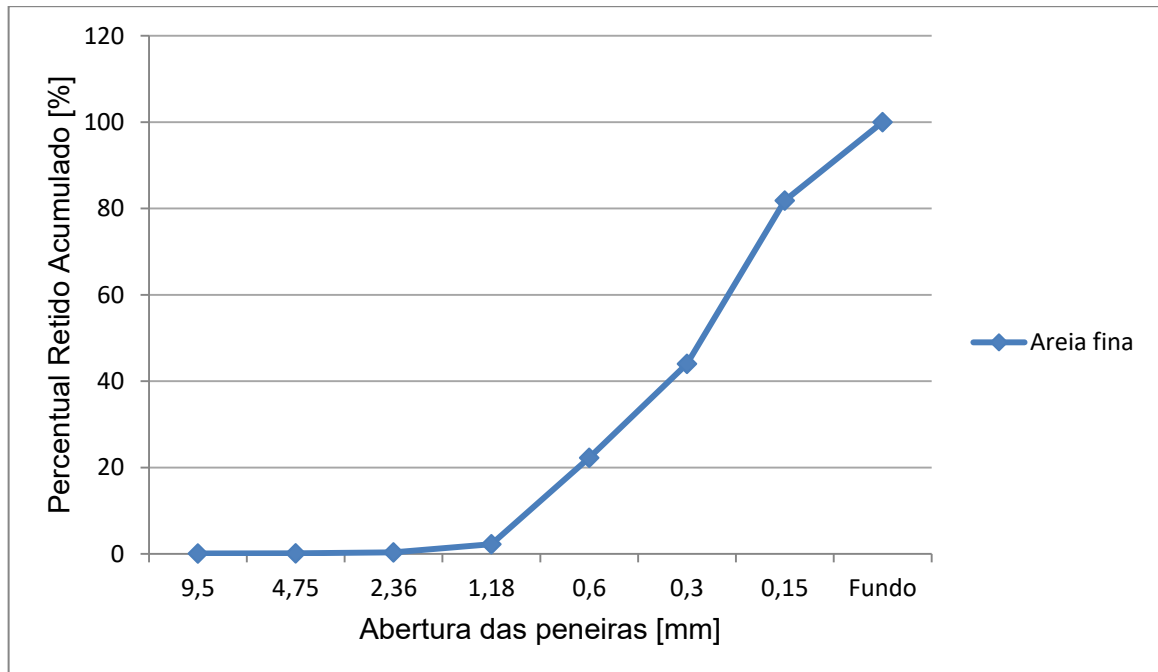
Abertura das peneiras	Massa retida [g]	% Retida	% Retida Acumulada
9,5 mm	0,97	0,095	0,095
4,75 mm	0,2	0,019	0,114
2,36 mm	2,31	0,227	0,341
1,18 mm	19,26	1,895	2,236
600 µm	203,66	20,044	22,28
300 µm	221,09	21,759	44,039
150 µm	383,97	37,790	81,829
Fundo	184,58	18,166	100
$\Sigma$	1016,04	100	-

Fonte: Autora (2023).

Portanto, aplicando-se os percentuais retidos acumulados da tabela 04 na equação 03, tem-se que o módulo de finura dessa areia corresponde a 1,509, logo, trata-se de uma areia fina. Além disso, também pode-se analisar o agregado miúdo através da curva granulométrica conforme apresentada no gráfico 06, a qual demonstra uma curva que não é tão inclinada, percebe-se que esse material é mais heterogêneo em sua composição, o ângulo de inclinação é aproximadamente 45°

com o eixo vertical, ou seja, propicia melhor resistência mecânica aos CP's, pois possui uma graduação contínua na sua composição. Também percebeu-se pelo gráfico 06 que os maiores percentuais retidos acumulados encontram-se nas peneiras com aberturas menores, o que significa que a areia é realmente fina.

Gráfico 06 – Curva Granulométrica do agregado miúdo.

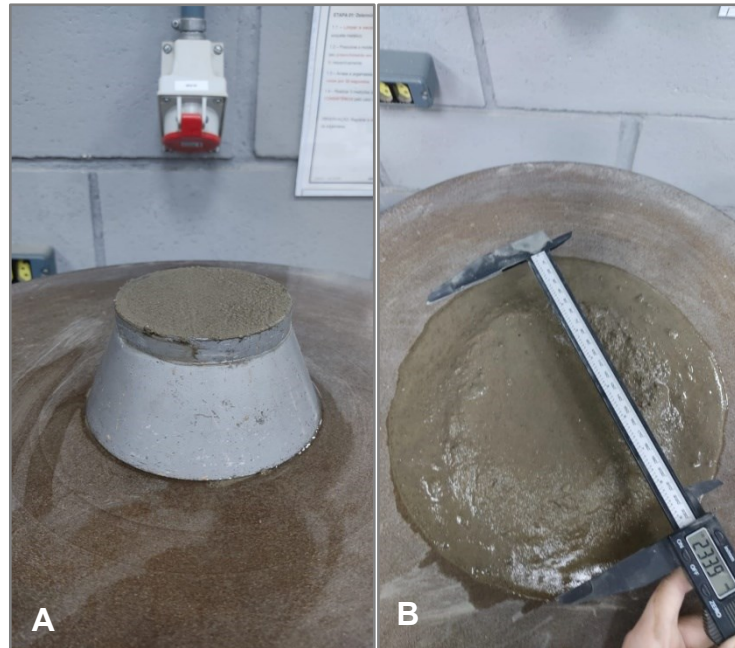


Fonte: Autora (2023).

#### 4.1.2. Índice de Consistência

O índice de consistência foi obtido pelo ensaio na *flow table*, onde pode-se observar pela figura 26-A. Obteve-se três medidas do diâmetro do espalhamento da mistura da argamassa, sendo que o diâmetro médio resultou em 23,39 cm como mostra na figura 26-B. Como a areia fina tem um número maior de grãos por unidade de volume, isso implica que a área de superfície dos grãos é maior, fazendo com que precisasse de um consumo de água maior em relação a areia média e grossa. Porém, quanto mais água se tem na mistura, conseqüentemente, menos resistente será essa mistura. Devido esse fato, dosou-se aos poucos a quantidade de água para se chegar na abertura desejada, a qual seria entorno de 23 cm a 24 cm.

Figura 26 – A) Mistura no cone metálico; B) Espalhamento da mistura.



Fonte: Autora (2023).

A trabalhabilidade está ligada diretamente a consistência, logo, quanto maior o índice de consistência significa que a mistura de argamassa está mais fluída, ou seja, tem um melhor manuseio ao se trabalhar com a mistura sem que haja segregação da mesma. Nesse caso, para compor os CP's apresentou-se baixa trabalhabilidade. Além disso, a exsudação é outra propriedade que está associada ao índice de consistência, ao montar os corpos de prova no molde percebeu-se que ocorreu a exsudação.

## 4.2. PROPRIEDADES MECÂNICAS

### 4.2.1 Resistência à tração na flexão

Neste item apresentam-se às resistências encontradas para as duas formas de rompimento dos CP's após os 28 dias de tempo de cura. Primeiro mostra-se os valores obtidos para o ensaio de tração na flexão em três pontos, com 5 CP's armados com tela de vergalhão de aço e 5 CP's armados com tela de vergalhão de fibra de vidro. Depois, mostra-se os valores obtidos no ensaio de tração na flexão em quatro pontos, com 5 CP's armados com tela de vergalhão de aço e 5 CP's armados com tela de vergalhão de fibra de vidro.



#### 4.2.1.1. Flexão em três pontos

No ensaio de flexão em três pontos aplicou-se somente um ponto de carga axial. Para a placa armada com aço, tem-se a figura 27, a qual mostra a placa após o rompimento, o comportamento da fissura foi localizado na região central inferior do corpo de prova e perpendicular ao eixo horizontal do corpo de prova, todos os CP's se comportaram dessa forma, esse já era o comportamento esperado, sabendo-se que a tensão máxima encontra-se no ponto de aplicação da carga axial. A flecha azul na figura 27 indica a fissura apresentada, sendo que a mesma tem espessura de grandeza milimétrica, quase que imperceptível na placa com armadura de tela de aço. Além disso, percebeu-se a presença de poros na superfície do corpo de prova.

Figura 27 – Rompimento com armadura de aço com visão inferior do corpo de prova.



Fonte: Autora (2024).

Pode-se observar também que alguns CP's apresentaram algumas "ranhuras" em sua superfície, isso se deve ao fato como foi montado os CP's, e não é nenhuma característica que se deve levar em consideração ao comportamento do corpo de prova, e sim, somente uma questão de aparência, ou seja, é só uma questão estética do corpo de prova.

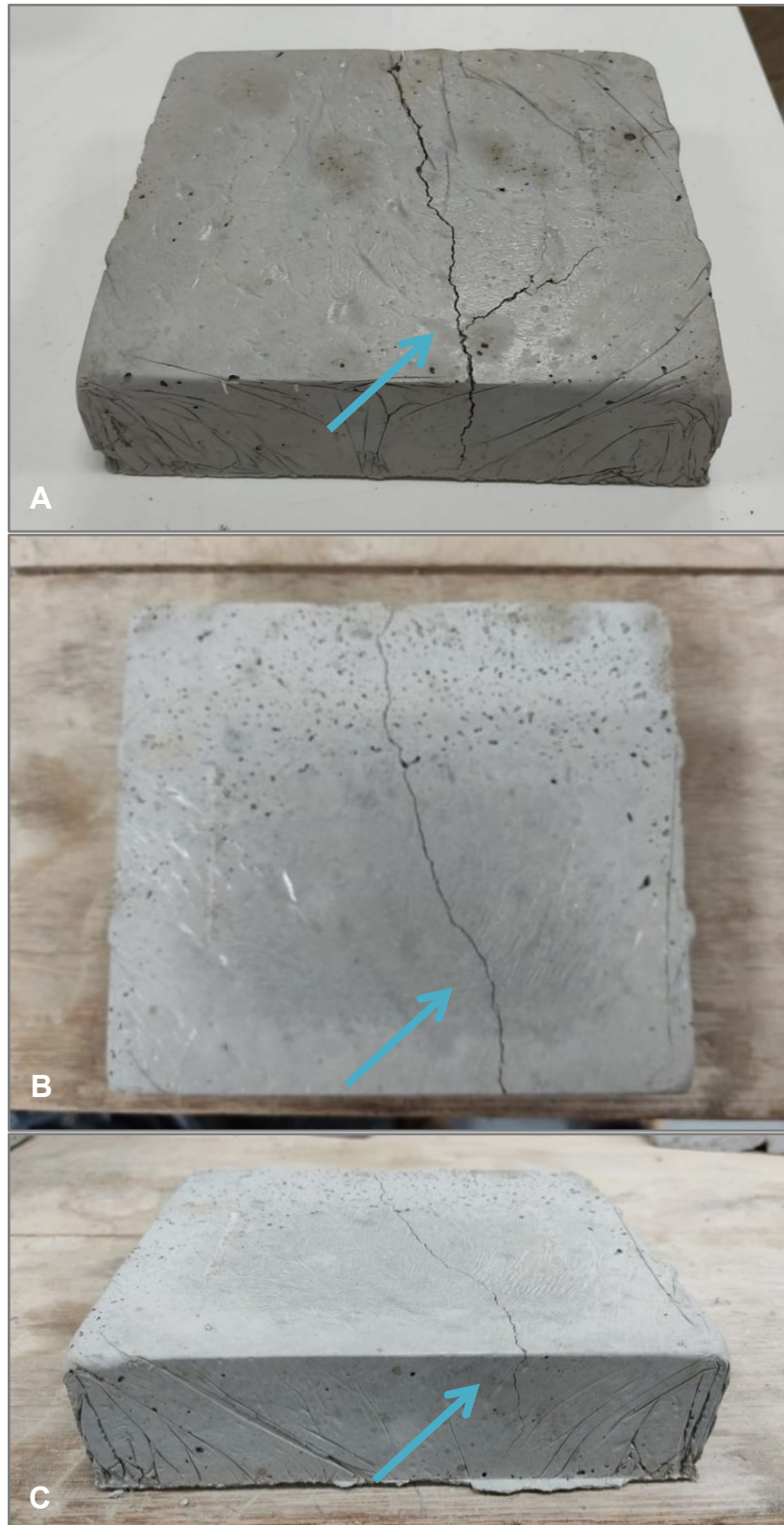
Nesse formato de rompimento todas as fissuras ocasionadas nos CP's apresentaram-se na direção transversal do corpo de prova, esse comportamento já era o esperado, visto que a aplicação de carga foi ao longo da direção longitudinal dos CP's. Por isso, a presença das fissuras em todos os CP's se deu na direção transversal, e nessa forma de rompimento teve-se somente uma fissura em cada corpo de prova.

As figuras 28-A, 28-B e 28-C que aparecem na sequência, apresentam o rompimento dos CP's armados com vergalhão de fibra de vidro, através dessas figuras pode-se observar que as fissuras também são de grandeza milimétrica, assim como nos CP's armados com vergalhão de aço, porém nesses CP's armados com fibra de vidro as fissuras são maiores do que as apresentadas nos CP's armados com vergalhão de aço. Isso se deve a falta de escoamento no vergalhão de fibra de vidro, fazendo com que o corpo de prova se rompa de uma única vez, sendo que a fissura aparece quase que de forma instantâneo ao rompimento, por outro lado, nas placas armadas com vergalhão de aço primeiro aparecem as fissuras e após isso ocorre o rompimento do corpo de prova.

Analisando-se as figuras 28-B e 28-C, percebeu-se visualmente que o corpo de prova apresentou alguns poros em sua superfície. Assim como nos CP's armados com vergalhão de aço, o rompimento das placas armadas com vergalhão de fibra de vidro ocorreu na parte inferior do corpo de prova, ou seja, na região de tração das placas. Esse rompimento também apresentou-se na direção transversal do corpo de prova, como era o esperado conforme a aplicação da carga foi ao longo da seção longitudinal dos CP's, e as fissuras apresentaram-se no meio dos CP's, isso pode ser observado nas figuras 28-A, 28-B e 28-C.

A flecha azul mostradas nas figuras 28-A, 28-B e 28-C, indicam as fissuras que foram localizadas nessas placas de argamassa armadas com malha de vergalhão de fibra de vidro.

Figura 28 – A) e B) Rompimento com armadura de fibra de vidro com visão inferior do corpo de prova; C) Rompimento com armadura de fibra de vidro com visão lateral do corpo de prova.



Fonte: Autora (2024).

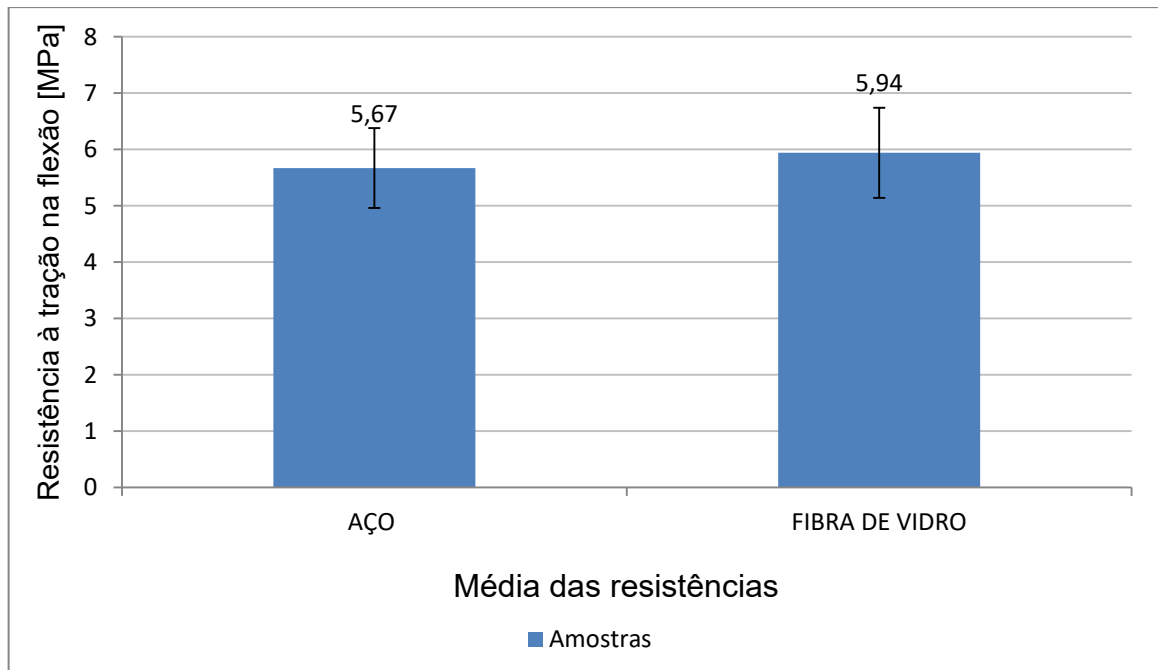
Na tabela 05 mostram-se os valores obtidos da resistência à tração na flexão em três pontos dos CP's aos 28 dias de cura. E também, indicam as médias para os CP's armados com aço e com fibra de vidro, juntamente com o desvio padrão de cada média. Esses dados também podem ser observados no gráfico 07.

Tabela 05 – Resistência com aplicação de carga no ensaio de flexão em três pontos.

Traço	CP	Nº CP	Força máxima [tf]	Resistência à tração [MPa]	Média das resistências [MPa]	Desvio padrão
Referência	Aço	01	1,45	6,11	5,67	0,71
		02	1,44	6,07		
		03	1,31	5,52		
		04	1,16	4,48		
		05	1,46	6,15		
	Fibra	06	1,30	5,48	5,94	0,80
		07	1,56	6,58		
		08	1,64	6,91		
		09	1,37	5,77		
		10	1,18	4,97		

Fonte: Autora (2024).

Gráfico 07 – Resistências à tração na flexão aos 28 dias de cura dos CP's para flexão em três pontos.



Fonte: Autora (2024).

Ainda quase não se tem literatura sobre isso, mas os resultados esperados foram alcançados, percebeu-se que a resistência à tração na flexão para os CP's armados com tela de vergalhão de fibra de vidro foi 5% superior em relação aos CP's armados com tela de vergalhão de aço. Pois, os CP's armados com tela de vergalhão de fibra de vidro apresentaram uma média da resistência à tração na flexão igual a 5,94 MPa, enquanto que os CP's armados com tela de vergalhão de aço obtiveram uma média da resistência à tração na flexão igual a 5,67 MPa.

Além disso, também percebeu-se que os CP's armados com tela de vergalhão de fibra de vidro apresentaram uma fratura frágil, pois houve uma deformação muito pequena ou quase nula antes que a placa rompesse. Já os CP's armados com tela de vergalhão aço tiveram uma fratura dúctil, pois houve deformação plástica e depois ocorreu a ruptura placa.

#### 4.2.1.2. Flexão em quatro pontos

A seguir são apresentados os CP's rompidos através do ensaio de flexão em quatro pontos, o qual foi aplicado dois pontos de carga axial nos CP's. O rompimento das placas armadas com tela de vergalhão de aço pode ser observado nas figuras 29 e 30. Na figura 29 percebeu-se que a fissura foi localizada na região central inferior do corpo de prova e perpendicular ao eixo horizontal do corpo de prova, além disso, percebeu-se também a presença de poros na superfície da placa. Já a figura 30 apresentou tanto fissura de flexão (fissura perpendicular ao eixo horizontal da placa), quanto fissura de cisalhamento (fissura que forma um ângulo de aproximadamente 45° com o eixo horizontal da placa e tende a percorrer o caminho mais próximo ao ponto de carga).

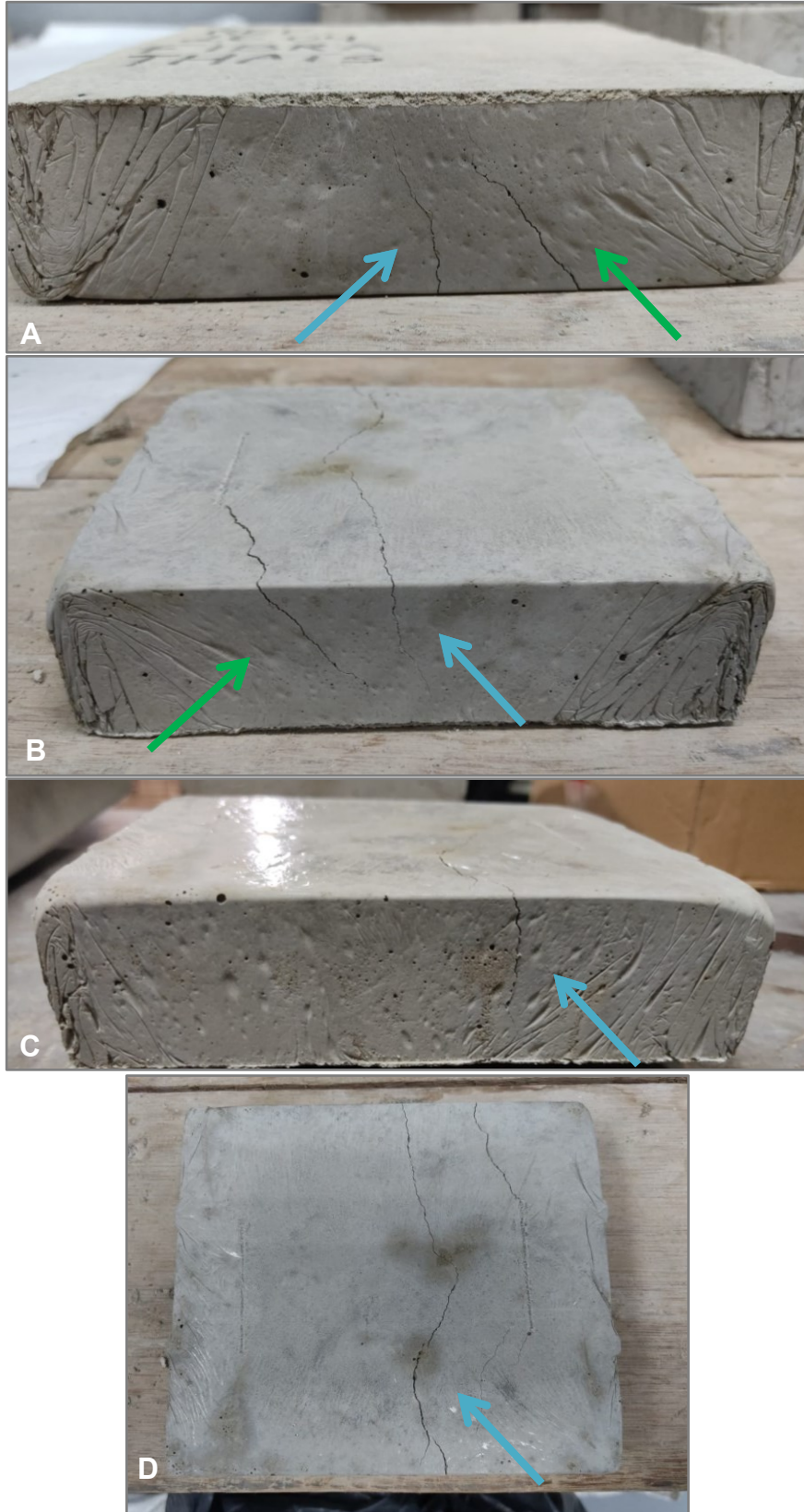
As flechas na cor azul indicam as fissuras de flexão nos CP's, e as flechas na cor verde indicam as fissuras de cisalhamento nos CP's, Todas as fissuras sejam indicadas pelas flechas em azul ou em verde, foram localizadas na região inferior, e na direção transversal dos CP's. Essas fissuras tiveram espessura de grandeza milimétrica.

Figura 29 – A) Rompimento com armadura de aço com visão lateral do corpo de prova; B) e C) Rompimento com armadura de aço com visão inferior do corpo de prova.



Fonte: Autora (2024).

Figura 30 – A) Rompimento com armadura de aço com visão lateral do corpo de prova; B), C) e D) Rompimento com armadura de aço com visão inferior do corpo de prova.



Fonte: Autora (2024).

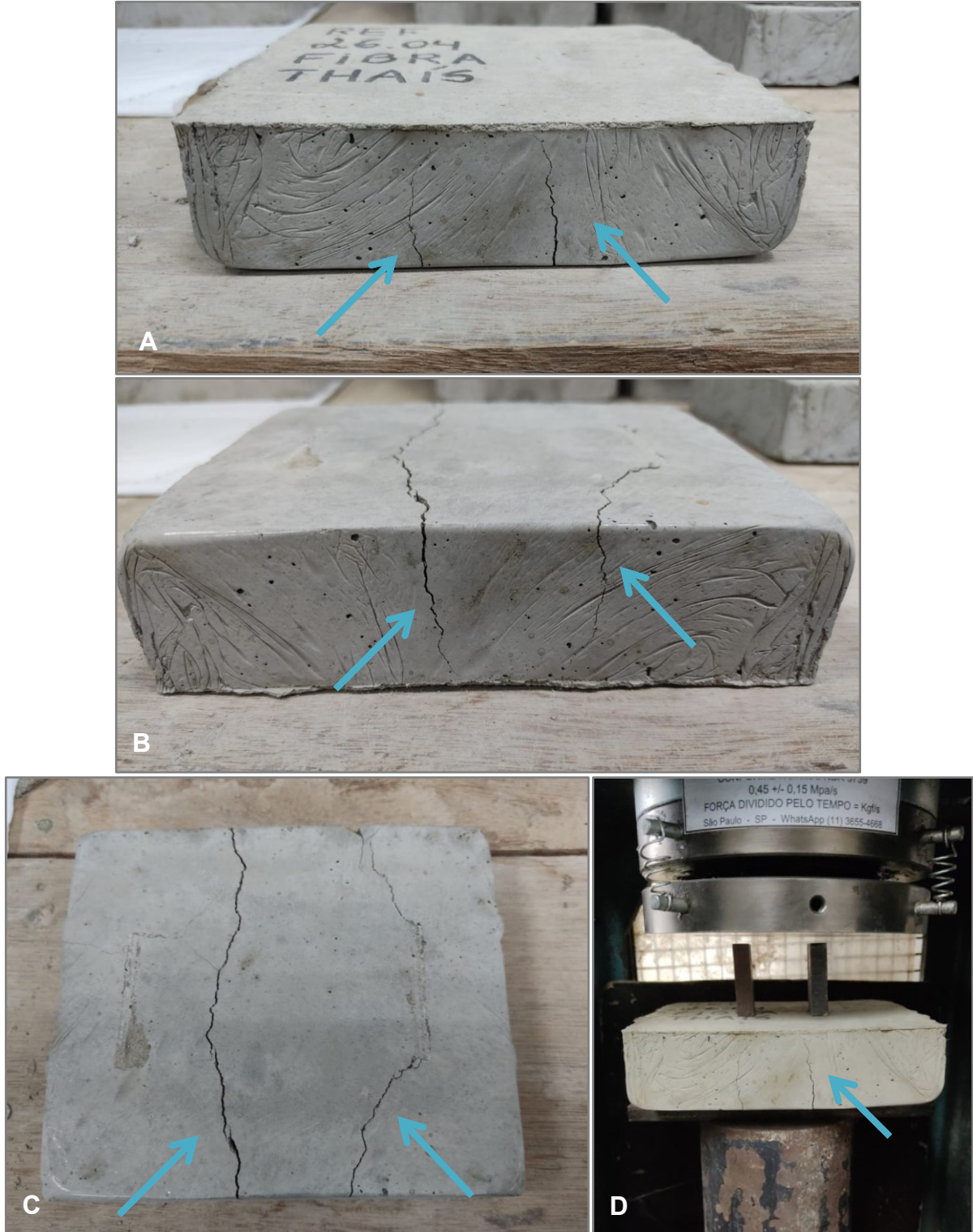
Para o rompimento das placas armadas com tela de vergalhão de fibra de vidro pode ser observado nas figuras 31, 32, 33 e 34. A figura 31 apresentou as fissuras com o comportamento esperado para o ensaio de flexão em quatro pontos, pois a tensão máxima se dá de forma distribuída uniformemente entre os pontos de aplicação da força, sendo assim, as fissuras foram localizadas nos dois pontos de aplicação da força no corpo de prova.

As fissuras apresentadas nas figuras 32, 33 e 34 foram fissuras localizadas na região central e inferior dos CP's. e perpendiculares ao eixo horizontal dos CP's. Todas as fissuras encontraram-se na direção transversal das placas. As flechas em azul mostram as fissuras de flexão. Em relação as cores utilizadas para as flechas foi apenas uma forma de identificar os tipos de fissuras, para que assim, pudesse ser diferenciada uma fissura da outra. Os 10 CP's que foram utilizados nesse formato de rompimento também apresentaram algumas "ranhuras" em sua superfície, e assim como nos outros CP's, essa característica não deve-se levar em consideração em relação ao comportamento do corpo de prova, e sim, trata-se de uma questão estética do corpo de prova.

As fissuras nas placas armadas com tela de vergalhão de fibra de vidro foram de grandeza milimétrica, porém visivelmente maiores do que as fissuras nas placas armadas com tela de vergalhão de aço, isso ocorreu devido a praticamente falta ou com um valor muito baixo para o escoamento do vergalhão de fibra de vidro (propriedade que proporciona um determinado material ter uma região elástica antes de entrar na região plástica), ou seja, as placas armadas com tela de vergalhão de fibra de vidro não há clareza de escoamento e as fissuras aparecem quase que no mesmo momento em que se rompem as placas.

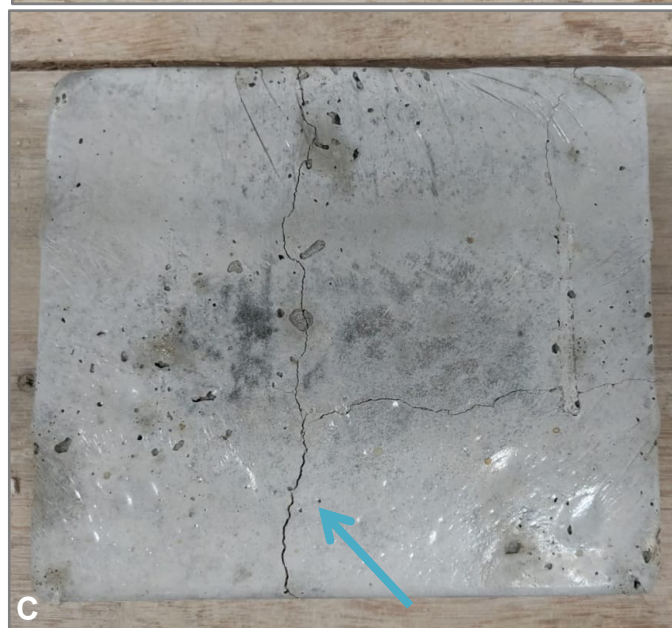


Figura 31 – A) Rompimento com armadura de fibra de vidro com visão lateral do corpo de prova; B) e C) Rompimento com armadura de fibra de vidro; D) Rompimento com armadura de fibra de vidro no equipamento.



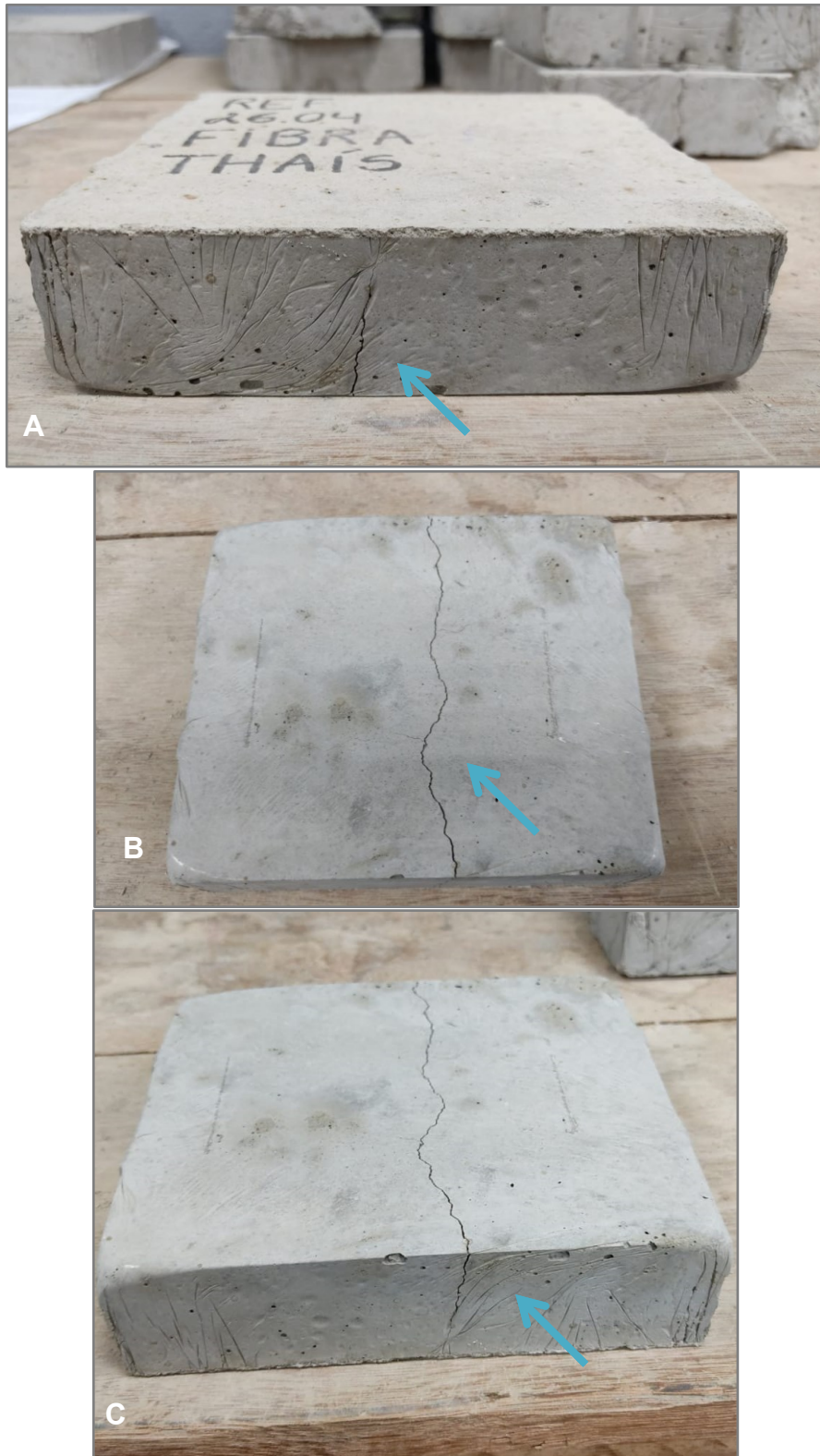
Fonte: Autora (2024).

Figura 32 – A) Rompimento com armadura de fibra de vidro com visão lateral; B) e C) Rompimento com armadura de fibra de vidro com visão inferior do corpo de prova.



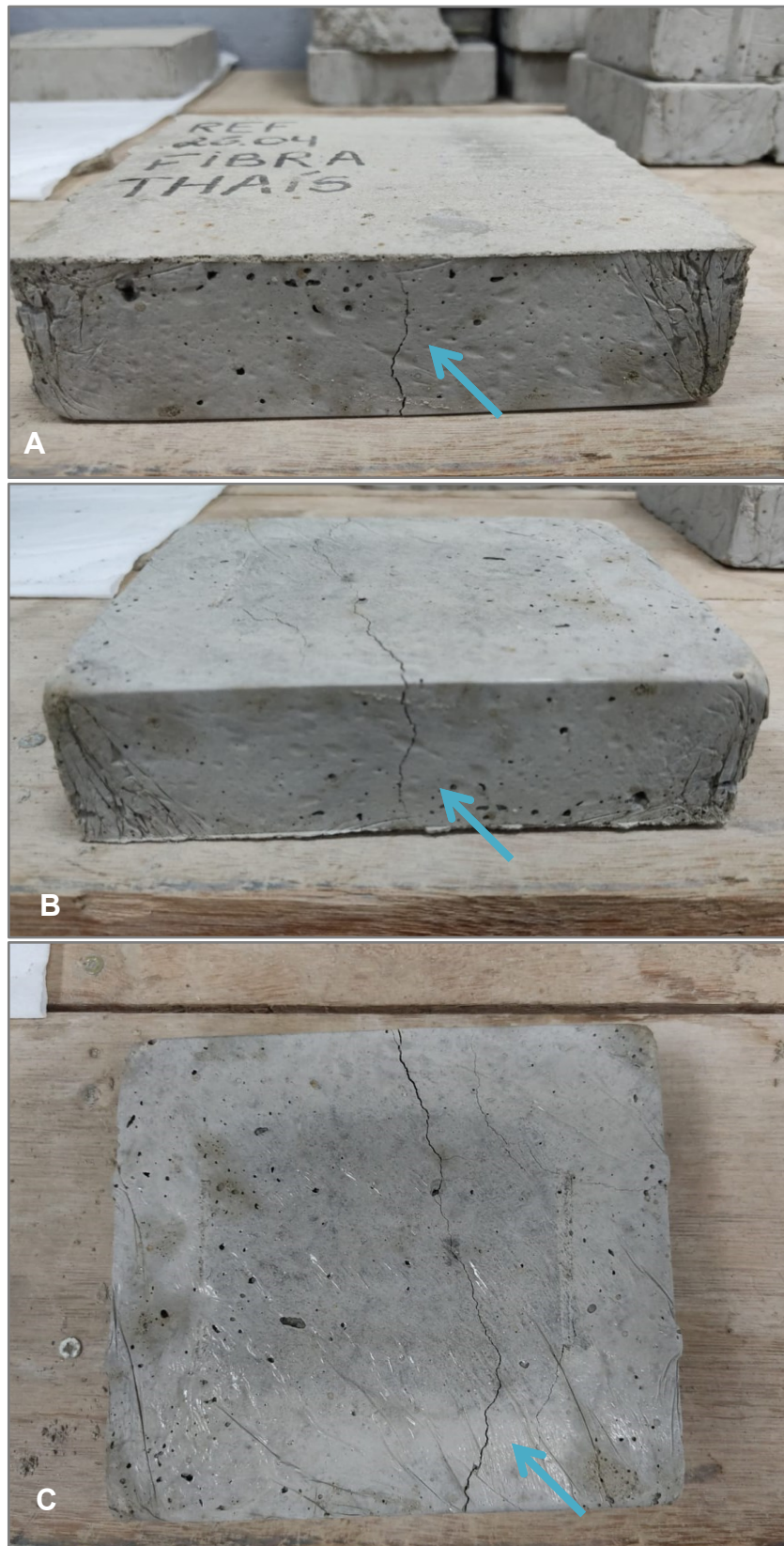
Fonte: Autora (2024).

Figura 33 – A) Rompimento com armadura de fibra de vidro com visão lateral do corpo de prova; B) e C) Rompimento com armadura de fibra de vidro.



Fonte: Autora (2024).

Figura 34 – A) Rompimento com armadura de fibra de vidro com visão lateral do corpo de prova; B) e C) Rompimento com armadura de fibra de vidro.



Fonte: Autora (2024).

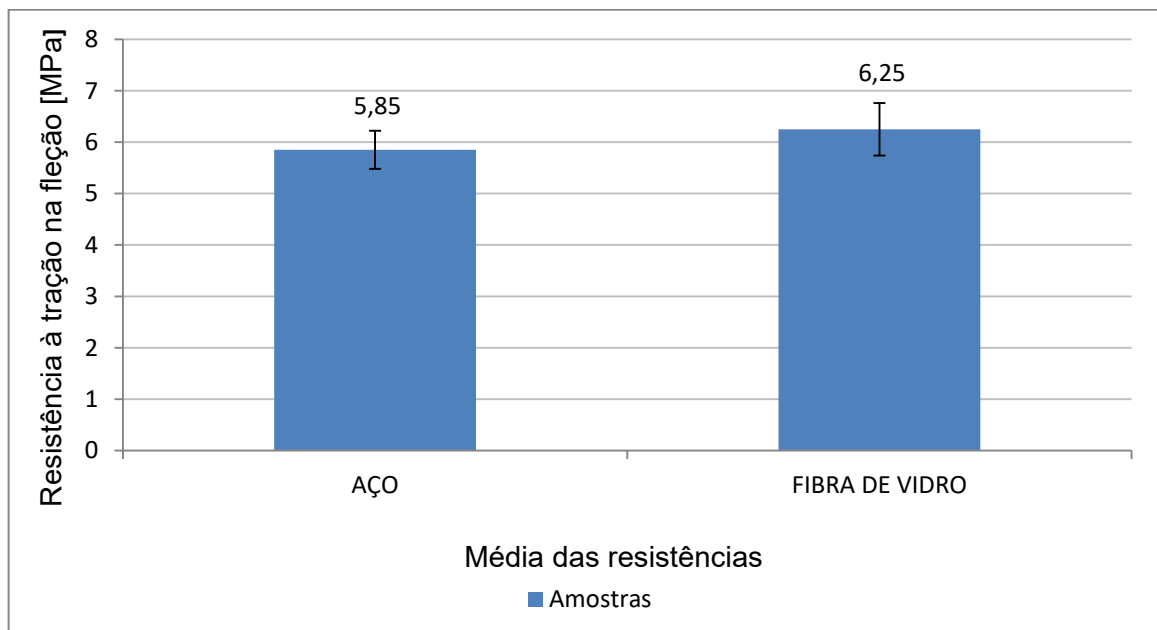
Na tabela 06 apresentam-se os valores obtidos da resistência à tração na flexão em quatro pontos dos CP's aos 28 dias de cura. E também, mostra as médias para os CP's armados com aço e com fibra de vidro, além do desvio padrão de cada média, esses dados foram apresentados de forma mais visual através do gráfico 08.

Tabela 06 – Resistência com aplicação de carga no ensaio de flexão em quatro pontos.

Traço	CP	Nº CP	Força máxima [tf]	Resistência à tração [MPa]	Média das resistências [MPa]	Desvio padrão
Referência	Aço	11	1,26	5,31	5,85	0,37
		12	1,45	6,11		
		13	1,41	5,94		
		14	1,34	5,65		
		15	1,48	6,24		
	Fibra	16	1,55	6,53	6,25	0,51
		17	1,53	6,45		
		18	1,59	6,70		
		19	1,46	6,15		
		20	1,28	5,40		

Fonte: Autora (2024).

Gráfico 08 – Resistências à tração na flexão aos 28 dias de cura dos CP's para flexão em quatro pontos.



Fonte: Autora (2024).

Nessa forma de rompimento também foram obtidos os resultados desejados, mesmo que ainda não se tem literatura sobre isso, percebeu-se que a resistência à tração na flexão para os CP's armados com tela de vergalhão de fibra de vidro foi 6% superior em relação aos CP's armados com tela de vergalhão de aço, ou seja, enquanto a resistência dos CP's armados com tela de fibra de vidro tiveram uma média de resistência à tração na flexão igual a 6,25 MPa, os CP's armados com tela de vidro obtiveram uma média de resistência à tração na flexão igual a 5,85 MPa. Além disso, nessa forma de rompimento, com flexão em quatro pontos, também percebeu-se que nos CP's armados com tela de fibra de vidro as fissuras tem uma espessura maior em relação aos CP's armados com tela de aço, pelo fato do vergalhão de aço ter um maior módulo de elasticidade do que o vergalhão de fibra de vidro.

#### 4.3. COMPARAÇÃO ENTRE OS CP'S

As principais características de cada corpo de prova foram elencadas no quadro 02 como pode ser observado abaixo.

Quadro 02 – Características principais de cada corpo de prova armado com o seu respectivo vergalhão.

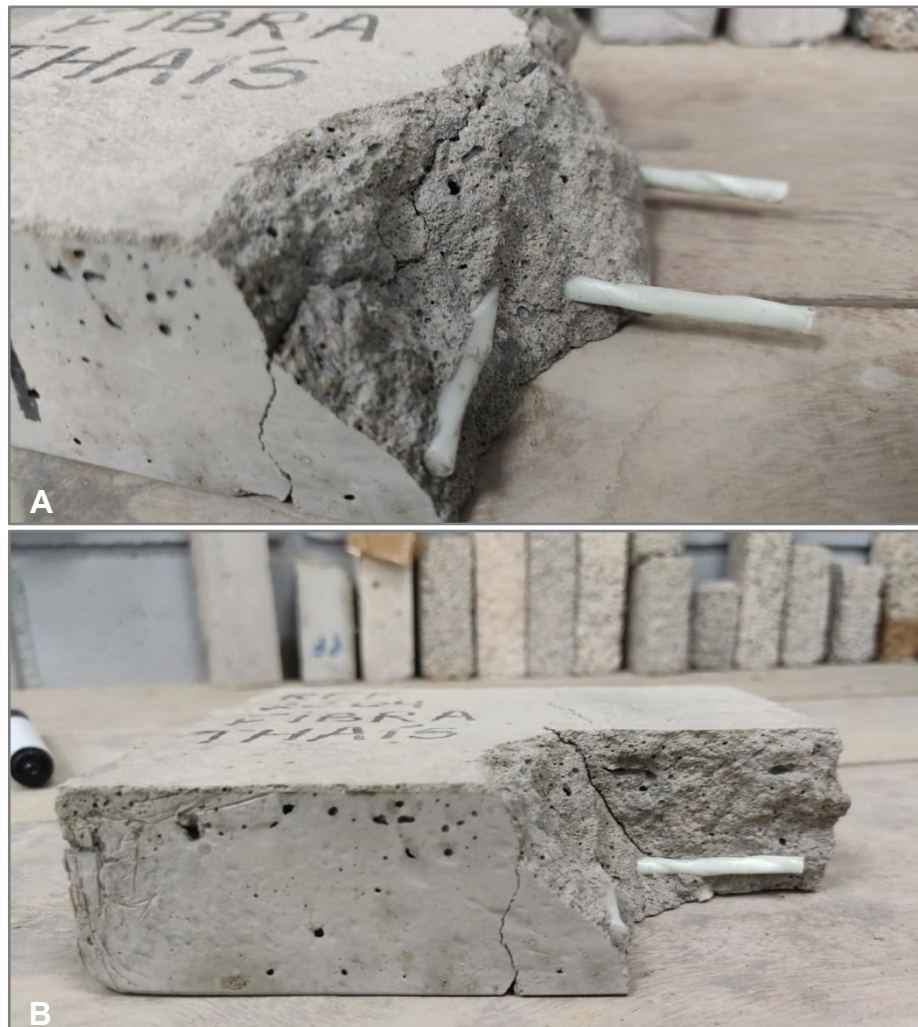
<b>CP's armados com vergalhão de aço</b>	<b>CP's armados com vergalhão de fibra de vidro</b>
Menor resistência à tração na flexão	Maior resistência à tração na flexão
Maior módulo de elasticidade	Menor módulo de elasticidade
Convencional no mercado	Novo no mercado (cerca de dois anos)
Mais pesado (em relação ao kg)	Mais leve (em relação ao kg)
Suscetível à oxidação	Não suscetível à oxidação

Fonte: Autora (2024).

As figuras 35-A e 35-B apresentam os CP's armados com vergalhão de fibra de vidro após o rompimento à tração na flexão. Através dessas imagens consegue-se perceber que existe uma aderência entre a argamassa e o vergalhão de fibra de vidro, porém não foi realizado um ensaio específico para analisar essa propriedade e por isso não se tem como mensurar. Porém, a aderência serve para que os esforços sofridos pela argamassa sejam transferidos do para a armadura, e vice e versa, por

isso é bom que haja uma boa aderência entre os componentes dos CP's. Essa aderência também pode ser explicada pelo fato do vergalhão de fibra de vidro trabalhado para essa pesquisa, possui uma superfície nervurada.

Figura 35– A) e B) Corpo de prova armado com fibra de vidro após o rompimento à tração na flexão.



Fonte: Autora (2024).

As figuras 36-A e 36-B mostram os CP's armados com vergalhão de aço após o rompimento à tração na flexão, consegue-se observar que também existe uma aderência entre a argamassa e a tela de aço. Os vergalhões de aço utilizados nessa pesquisa apresentam nervura em sua superfície, isso auxilia nessa aderência entre os materiais.

Figura 36 – A) e B) Corpo de prova armado com aço após o rompimento à tração na flexão.



Fonte: Autora (2024).

Por fim, ao decorrer desse trabalho, demonstrou-se a aplicação do vergalhão de fibra de vidro em uma placa de argamassa, e comparou-se com uma placa de vergalhão de aço, o qual ainda nos dias de hoje é mais comum a sua utilização nas obras. As fissuras apresentadas em todos os rompimentos ocasionados no ensaio de tração à flexão foram devido aos esforços de flexão para combater o momento fletor ocasionado nas placas argamassadas. Ainda há necessidade de mais análises laboratoriais para o material GFRP, mas através dessa pesquisa percebeu-se o quanto esse material poderia ser aplicável e como o mesmo é relevante dentro do mercado da construção civil. O GFRP poderia ser aplicado em contrapiso.



## 5. CONCLUSÃO

Analisou-se os dados obtidos através do ensaio de resistência à tração na flexão após os 28 dias de cura em temperatura ambiente, e percebeu-se que em ambas as formas de rompimento, tanto na flexão em três pontos (com aplicação de só um ponto de carga axial), quanto na flexão em quatro pontos (com aplicação de dois pontos de carga axial), a resistência à tração na flexão da placa armada com tela de fibra de vidro foi superior a resistência da placa armada com tela de aço. Sendo que na flexão em três pontos a resistência à tração da placa com vergalhão de fibra de vidro foi aproximadamente 5% maior em relação ao aço, e na flexão em quatro pontos a resistência à tração a placa armada com fibra de vidro foi 6% maior do que a resistência da placa armada com aço.

Constatou-se que nos dois formatos de ensaio de tração na flexão, as fissuras ocorreram na região inferior da placa, ou seja, na área de tração do corpo de prova, onde estavam localizadas as telas de fibra de vidro e de aço, e também, as fissuras ocorrem na direção transversal dos corpos de prova. Na flexão em três pontos ocorreram somente fissuras de flexão (fissuras perpendiculares ao eixo horizontal da placa), e na flexão em quatro pontos ocorreram fissuras de flexão e de cisalhamento (fissura que forma um ângulo de aproximadamente  $45^\circ$  com o eixo horizontal da placa e tende a percorrer o caminho mais próximo ao ponto de carga). Além disso, percebeu-se também que na flexão em quatro um aumento da resistência à tração na flexão para ambas as armaduras.

Pode-se afirmar que os corpos de prova armados com o vergalhão de fibra de vidro apresentaram maior resistência à tração na flexão, em relação aos corpos de prova armados com vergalhão de aço, porém, em contra partida, sabe-se que o vergalhão de aço possui um maior módulo de elasticidade do que o vergalhão de fibra de vidro, sendo assim, o vergalhão de aço primeiro apresenta a fissura e depois rompe, enquanto que com a utilização do vergalhão de fibra de vidro na placa de argamassa percebeu-se que pelo falta de limite de escoamento a fissura aparece no instante do rompimento da placa.

Com base nos dados obtidos nessa pesquisa, sugere-se utilizar o GFRP em contrapiso. Porém, por ainda não possuir normativa, são necessários estudos mais

aprofundados para definir em quais elementos exatamente as barras de fibras de vidro podem ser aplicadas em substituição ao vergalhão de aço.

### 5.1. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Todas essas modificações seriam para analisar o comportamento do vergalhão de fibra de vidro quando solicitado a diferentes formatos, para que assim possa ser replicado em escala maior em uma obra. Dessa forma, sugere-se para os trabalhos futuros:

- Realizar o ensaio de tração na flexão com corpos de prova com dimensões maiores, ou no formato de vigas;
- Aplicar mais vergalhões em um mesmo corpo de prova;
- Utilizar outros tipos de suportes superiores;
- Fazer uma análise de aderência entre os materiais;
- Fazer uma análise em regiões de maresia;
- Utilizar outra dosagem, além da já realizada nesse estudo.

## REFERÊNCIAS

Abrecon, Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição. Disponível em: <https://abrecon.org.br/a-gestao-dos-residuos-da-construcao-e-demolicao-e-o-papel-do-engenheiro/>. Acesso em: 25 nov. 2022.

ADÃO, F. X. **Concreto Armado: Novo Milênio, cálculo prático e econômico**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2010.

ARCELORMITTAL. Disponível em: <https://brasil.arcelormittal.com/>. Acesso em: 19 out. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6024**. Informação e documentação: numeração progressiva das seções de um documento. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211**. Agregados para concreto - Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7480**. Aço destinado às armaduras para estruturas de concreto armado - requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10520**. Informação e documentação: citações em documentos: apresentação. Rio de Janeiro: ABNT, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12142**. Concreto – Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13279**. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13281-1**. Argamassas inorgânicas – Requisitos e métodos de ensaios – Parte 1: Argamassas para revestimento de paredes e tetos. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13281-2**. Argamassas inorgânicas – Requisitos e métodos de ensaios – Parte 2: Argamassas para assentamento e argamassas para fixação de alvenaria. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14724**. Informação e documentação: trabalhos acadêmicos: apresentação. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

BARRETO, M. F. de O. **Características mecânicas de vergalhões de aço auto-revenido**. 2009. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) - Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

BAUER, L. A. F. **Materiais de Construção**. 5. Ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda, 2000.

Engsette. Vergalhão de Fibra de Vidro. Disponível em: <https://engsette.com.br/vergalhao-de-fibra-de-vidro-guia-completo/>. Acesso em: 12 dez. 2022.

FAGANELLO, L.; PEREIRA, H. R. **Estudo Comparativo da Granulometria do Agregado Miúdo para Uso em Argamassa de revestimento**. Relatório (Iniciação Científica em Engenharia Civil) – Centro Universitário Católica de Santa Catarina, Jaraguá do Sul, 2013.

HOLLAWAY, L.C.; LEEMING M. B. **Strengthening of reinforced concrete structures**. Using externally-bonded FRP composites in structural and civil engineering. 1. Ed. Cambridge: Woodhead Published Limited, 1999.

INEIA, A. et al. Barras de fibra de vidro, uma alternativa inovadora e suas potencialidades: revisão bibliográfica. **Revista tecno-lógica**, Santa Cruz do Sul, v.25, n.2, p243-251, jul./dez. 2021.

KAW, A. K. **Mechanics of Composite Materials**. 2 Ed. Boca Raton, Florida: CRC Press Taylor and Francis Group, 2006.

MANUAL DE CONSTRUÇÃO DE BARCOS. **Tipos de resina poliéster**. Disponível em: <https://www.manualdeconstrucaodebarcos.com.br/tipos-de-resinas-poliester/>. Acesso em: 03 mai. 2024.

MOHAMED, O. A. et al. Durability and Mechanical Properties os Concrete Reinforced with Basalt Fiber-Reinforced Polymer (BFRP) Bars: Towards Sustainable Infrastructure. **Polymers**. v. 13, p. 1-23, abr. 2021.

MOURA, R. C. de A. **Análise da durabilidade de armaduras poliméricas reforçadas com fibra de vidro submetidas ao ambiente alcalino e a elevadas temperaturas**. 2021. Tese (Doutor em Engenharia Civil) – Escola Politécnica – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2021.

NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J. **Tecnologia do Concreto**. 2. Ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

REBELLO, Y. C. P. **A Concepção Estrutural e a Arquitetura**. 1. ed. São Paulo: Ziguarte, 2000.

TOPFIBER Rebar. Disponível em: <https://topfiber.ind.br/>. Acesso em: 17 jul. 2023.

TUBOMETAL. **Etapas de Fabricação do Aço**. Disponível em: <https://www.tubometal.com.br/>. Acesso em: 17 jun. 2024.

TUTIKIAN, B. F. et al. Uso de agregado leve de EVA em contrapiso argamassado para isolamento ao ruído de impacto em edificações residenciais. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 17, n. 3, p. 295-306, jul./set. 2017.

YOU, Y. et al. Methods to enhance the guaranteed tensile strength of GFRP rebar to 900 MPa with general fiber volume fraction. **Construction and building materials**. South Korea, 2014.