

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**JONATHAN ROBERTO COSTA FELIPE**

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DA ADIÇÃO DE FIBRAS DE AÇO E DE  
POLIPROPILENO NO CONCRETO EM COMPARAÇÃO COM O USO DE TELAS  
METÁLICAS QUANDO SUBMETIDO À FLEXÃO**

**CAMPO MOURÃO**

**2022**

**JONATHAN ROBERTO COSTA FELIPE**

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DA ADIÇÃO DE FIBRAS DE AÇO E DE  
POLIPROPILENO NO CONCRETO EM COMPARAÇÃO COM O USO DE TELAS  
METÁLICAS QUANDO SUBMETIDO À FLEXÃO**

**Evaluation of the efficiency of adding steel and polypropylene fibers to  
concrete in comparison with the use of steel wire mesh when submitted to  
bending**

Trabalho de conclusão de curso de graduação  
apresentado como requisito para obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia Civil da Universidade  
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador(a): Prof. Dr. Douglas Fukunaga Surco.

Coorientador(a): Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Thelma Pretel Brandão  
Vecchi.

**CAMPO MOURÃO**

**2022**



Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

**JONATHAN ROBERTO COSTA FELIPE**

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DA ADIÇÃO DE FIBRAS DE AÇO E DE  
POLIPROPILENO NO CONCRETO EM COMPARAÇÃO COM O USO DE TELAS  
METÁLICAS QUANDO SUBMETIDO À FLEXÃO**

Trabalho de conclusão de curso de graduação  
apresentado como requisito para obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia Civil da Universidade  
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 09/junho/2022

---

Douglas Fukunaga Surco  
Doutorado em Engenharia Química  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Thelma Pretel Brandão Vecchi  
Doutorado em Engenharia Química  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Adalberto Luiz Rodrigues De Oliveira  
Doutorado em Ciências de la Educacion  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Fabiana Goia Rosa De Oliveira  
Doutorado em Ciências e Engenharia de Materiais  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

**CAMPO MOURÃO**

**2022**

## **AGRADECIMENTOS**

Desejo agradecer imensamente ao suporte de algumas pessoas que me incentivaram e me deram apoio durante todo o curso de graduação. Seja participando da minha vida acadêmica ou da minha vida longe de casa, o êxito desse trabalho só foi possível graças a companhia dessas pessoas a quem agradeço a seguir.

Agradeço a Deus por me dar forças para enfrentar as dificuldades, saúde e alegria. Também sou grato a minha eterna mãe, Nossa Senhora, por guiar meus passos durante mais este caminho e me proteger do mal.

Aos meus pais Roberto e Rosana pelo apoio e confiança incondicionais, sem eles não seria possível eu ter chegado até aqui. É impossível transcrever em palavras toda a saudade por ficar longe de casa, mas feliz pelas vezes que eu voltava à casa e me recebiam com alegria e motivação para seguir em frente.

A Congregação Mariana e o JAM (Juventude de Ação Mariana) da minha cidade natal pelas orações e colaboração com a vossa fraternidade.

As minhas amigas de graduação e que tornaram amigas para a vida, Kauana, Ana Luiza, Carol, Isabela e Ariadne, por vossa grandiosa e importante amizade e pela companhia ao longo do curso.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Douglas Fukunaga Surco pela preciosa orientação e pelo conhecimento compartilhado, pelo empenho em me guiar ao longo deste trabalho.

A minha coorientadora Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Thelma Pretel Brandão Vecchi por compartilhar seu conhecimento e empenhar-se em tornar esse trabalho melhor.

A todos os professores do DACOC (Departamento de Construção Civil) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná do Campus de Campo Mourão.

A construtora Piacentini Ltda de Campo Mourão por me atender de forma agradável, por meio do Ezequiel, e me fornecer as macrofibras de aço de forma gratuita para a execução desse estudo.

Além desses, quero agradecer aos técnicos de laboratório Fábio e Fernando por vossa ajuda na elaboração e realização desse ensaio, pois foi essencial para que pudesse ser realizado esse trabalho.

## RESUMO

O presente trabalho visa analisar de forma teórica e experimentalmente o comportamento de placas de concreto reforçado com macrofibras de aço e polipropileno em comparação com o uso de telas metálicas quando submetido à flexão pura e a compressão axial. A análise em questão relaciona a força máxima adquirida nos corpos de prova, cilíndricos e prismáticos (placas), ao utilizar as fibras em questão para um melhor entendimento da sua influência nos ensaios de flexão e compressão, visto a necessidade do mercado de mais dados sobre essa tecnologia. Foram realizados esses ensaios e constatou-se que na compressão axial os corpos de prova cilíndricos quando usado as fibras tiveram uma pequena redução na sua resistência em comparação com o corpo de prova sem fibras, e no ensaio de flexão a resistência das placas de concreto com tela metálica se sobressaiu diante do uso das fibras de aço e polipropileno nas devidas dosagens utilizadas. Porém constatou-se maior influência de fissuras nas placas com tela metálica do que nas com fibras de aço e polipropileno.

Palavras-chave: fibras de aço; fibras de polipropileno; flexão; CRF.

## **ABSTRACT**

The present study aims to theoretically and experimentally analyze the behavior of concrete slabs reinforced with steel and polypropylene macrofibers in comparison with the use of steel wire mesh when subjected to pure bending and axial compression. The analysis in question relates the maximum force acquired in the specimens, cylindrical and prismatic (slab), when using the fibers in question for a better understanding of their influence on bending and compression tests, given the market need for more data on this technology. These tests were carried out and it was found that in the axial compression the cylindrical specimens when using the fibers had a small reduction in their strength compared to the specimen without fibers, and in the bending test the strength of the concrete slab with steel wire mesh stood out in the face of the use of steel and polypropylene fibers in the proper dosages used. However, there was a greater influence of cracks in the slabs with steel wire mesh than in those with steel and polypropylene fibers.

Keywords: steel fibers; polypropylene fibers; bending; FRC.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Fotografia 1 - Exemplo de uso da tela metálica.....	14
Fotografia 2 - Fibras de aço soltas curtas (a) e longas (b) .....	15
Fotografia 3 - Fibras de aço longas coladas (c) .....	16
Quadro 1 - Classificação e geometria das fibras de aço .....	17
Fotografia 4 - Fibras fibriladas (a).....	18
Fotografia 5 - Fibras monofilamentos (b).....	18
Fotografia 6 – Macrofibras poliméricas.....	19
Fotografia 7 – Macrofibras poliméricas em mescla .....	19
Figura 1 – Tensões em concreto sem fibras (a) e com fibras (b).....	20
Figura 2 – Compatibilidade (a) e não-compatibilidade (b).....	21
Figura 3 – Detalhamento da placa de concreto armado .....	22
Figura 4 – Detalhamento do ensaio .....	23
Fotografia 8 – Macrofibra de aço usada .....	24
Fotografia 9 – Macrofibra de polipropileno usada .....	25
Fotografia 10 – Formas de madeira para placas .....	26
Fotografia 11 – Telas metálicas .....	27
Fotografia 12 – Adição das fibras ao concreto.....	28
Fotografia 13 – Corpos de prova cilíndricos moldados.....	28
Fotografia 14 – Placas moldadas.....	29
Fotografia 15 – Corpos de prova cilíndricos.....	30
Figura 5 – Ensaio de tração na flexão e diagramas de esforços .....	31
Fotografia 16 – Corpos de prova prismáticos .....	31
Quadro 2 – Valores de $\Psi_6$ .....	33
Gráfico 1 – Resistência à compressão axial nos três grupos de concreto.....	34
Fotografia 17 – Corpos de prova rompidos .....	35
Figura 7 – Gráficos em força x deformação das placas com tela metálicas.....	36
Figura 8 – Gráficos em força x deformação das placas com fibras de aço .....	37
Figura 9 – Gráficos em força x deformação das placas com fibras de polipropileno.....	38
Figura 10 – Curvas médias de carga x deslocamento obtidas aos 30 dias .....	39
Fotografia 18 – Placa de concreto com tela metálica rompida .....	39
Fotografia 19 – Placa de concreto com fibra de aço rompida.....	40
Fotografia 20 – Placa de concreto com fibra de polipropileno rompida .....	40
Fotografia 21 – Placa com fibras de polipropileno partida.....	41
Fotografia 22 – Placa com fibras de aço partida .....	41

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Fck dos concretos .....	32
Tabela 2 – Condições de preparo do concreto.....	33
Tabela 3 – Resistência característica do concreto à compressão estimada .....	33
Tabela 4 – Resultados à compressão de concretos de 25 Mpa com fibras de aço .....	34
Tabela 5 – Resultados do ensaio à flexão.....	35



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CRF	Concreto Reforçado com Fibras
$f_{ck}$	Resistência à compressão do concreto
$f_{ck,est}$	Resistência característica do concreto à compressão estimada aos 28 dias.
NBR	Normas Brasileiras
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>10</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>11</b>
<b>2.1</b>	<b>Objetivo Geral .....</b>	<b>11</b>
<b>2.2</b>	<b>Objetivos Específicos .....</b>	<b>11</b>
<b>3</b>	<b>JUSTIFICATIVA.....</b>	<b>12</b>
<b>4</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>13</b>
<b>4.1</b>	<b>Concreto.....</b>	<b>13</b>
<b>4.2</b>	<b>Tela metálica .....</b>	<b>13</b>
<b>4.3</b>	<b>Fibras.....</b>	<b>14</b>
4.3.1	Fibras de aço.....	15
4.3.2	Fibras de polipropileno .....	17
<b>4.4</b>	<b>Concreto com fibras.....</b>	<b>20</b>
<b>5</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>22</b>
<b>5.1</b>	<b>Materiais e equipamentos utilizados .....</b>	<b>23</b>
<b>5.2</b>	<b>Elaboração das placas .....</b>	<b>25</b>
<b>5.3</b>	<b>Ensaio à compressão dos corpos de prova cilíndricos.....</b>	<b>29</b>
<b>5.4</b>	<b>Ensaio de flexão nas placas .....</b>	<b>30</b>
<b>6</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>32</b>
<b>6.1</b>	<b>Resistência à compressão do concreto (<i>f<sub>ck</sub></i>).....</b>	<b>32</b>
<b>6.2</b>	<b>Resistência à flexão .....</b>	<b>35</b>
<b>7</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>42</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>44</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Visto que nas últimas décadas há um crescente número de novos materiais e tecnologias no mercado da construção civil, a engenharia civil vem analisando, comparando e adequando aos poucos para inserção dessas tecnologias nas empresas e obras, já que o cenário da construção ainda é muito tradicional.

Uma dessas tecnologias que vem sendo empregada em algumas obras, principalmente por grandes empresas, em pisos industriais, túneis, obras de saneamento, é o uso das fibras como reforço ao concreto, exclusivamente quando se trata de resistir aos esforços de tração e flexão, onde o concreto não tem sua melhor performance. Segundo Neville (1997), a resistência à tração do concreto corresponde à 10% da sua resistência à compressão.

De forma convencional, o uso do aço é uma das formas de melhorar as qualidades do concreto, devido sua alta capacidade no que diz respeito a tração. Mas as fibras de aço e polipropileno também tem ótimas propriedades que podem reforçar o concreto quanto à problemas de fissuras, por conseguir distribuir os esforços de forma mais homogênea, como dito por Figueiredo (2008).

Diante desse contexto, o objetivo deste trabalho é avaliar a eficiência de diferentes tipos de fibras quando acrescentadas ao concreto, analisando o comportamento dos corpos de prova após sofrer fissuração devido a um ensaio de flexão de placas e assim comparar com o uso do sistema convencional (concreto com telas metálicas).

A fim de atingir o objetivo, realizou-se uma revisão bibliográfica sobre cada material com relação ao tema de interesse e, posteriormente, analisou-se um ensaio experimental de rompimento de placas de concreto com telas metálicas e concreto com fibras de aço e fibras de polipropileno.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Avaliar a eficiência de diferentes tipos de fibras no concreto, analisando o comportamento pós-fissuração devido ao ensaio de flexão de placas e comparar com o uso de telas metálicas no concreto.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Realizar uma revisão bibliográfica sobre o assunto, para melhor definir os materiais a serem utilizados nos ensaios;
- Avaliar os resultados a serem obtidos em ensaios de laboratório em três grupos de placas: concreto com tela metálica, concreto com fibra de aço e concreto com fibra de polipropileno;
- Comparar a eficiência entre os três grupos de placas de concreto.

### 3 JUSTIFICATIVA

Para obter um concreto mais resistente, se faz necessário a aplicação de outros materiais que possam contribuir nas propriedades que o concreto não possui ou que ele não apresenta de forma a resistir a esforços, como a utilização do aço. No entanto, se a estrutura sofrer com fissurações, o aço pode ser comprometido levando a uma menor eficiência da estrutura diante aos esforços gerados.

Com isso, o mercado vem empregando outras tecnologias que possam reforçar o concreto, como a utilização das fibras, que ao serem misturadas ao concreto trazem algumas melhorias a ele. Assim, o Concreto Reforçado com Fibras (CRF) vem sendo cada vez mais estudado e utilizado em obras de infraestrutura na construção civil.

Estudar a eficiência do uso do concreto com fibras em relação ao concreto convencional justifica-se pela necessidade de comparar essas tecnologias visando suas resistências para um melhor uso na engenharia civil. Para isso, é necessário compreender o assunto, pesquisar os materiais, analisar suas propriedades e ensaiar essa tecnologia para a devida comparação. Empresas e até mesmo a sociedade podem se beneficiar dessa análise, pois uma estrutura bem-feita prezará pela segurança tanto em custo de materiais e tempo, quanto segurança pessoal em relação a integridade da estrutura. Assim, o presente trabalho partiu da curiosidade do autor de comparar a eficiência de diferentes tipos de CRF, procurando utilizar fibras comuns no mercado, em relação à utilização das telas metálicas no concreto em ensaio à flexão de placas, pois há poucos estudos evidenciando isso, e como consequência, essa pesquisa pode agregar mais confiança no uso dessas tecnologias.

## **4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **4.1 Concreto**

Sendo um dos materiais mais utilizados no mundo, ou se não, o mais utilizado em muitas construções pelo mundo, o concreto como é conhecido hoje, é um material estrutural que surgiu há muito tempo, mas que só foi introduzido no Brasil, como concreto armado, na primeira década do século 20, conforme Santos (2008). Sua composição é formada por agregados miúdos, graúdos, água, cimento, com ou sem o acréscimo de outros componentes como os aditivos e pigmentos.

É notório que esse material apresenta relativamente um baixo custo e tem a opção de adequá-lo para formar diferentes variações de peças construtivas, diz Medeiros (2002), porém sua relação resistência\peso é baixa devido ao seu desempenho ser melhor avaliado só após 28 dias.

Segundo Bastos (2019), o concreto simples é um ótimo material para ser usado em elementos sujeitos à compressão, como os pilares, devido sua alta resistência à compressão. No entanto, em elementos parcialmente ou sujeitos à tração, como tirantes, lajes e vigas, a forma de usá-lo é limitada devido sua fragilidade. Ou seja, o concreto simples ao se fissurar perde sua capacidade de tração, fazendo com que a estrutura ao ser sujeita ao carregamento se deforme mais rápido.

A partir disso, percebeu-se a necessidade de aumentar sua resistência à tração, e o aço demonstrou-se uma ótima opção. O aço também resiste bem aos esforços de compressão e isso aumenta a resistência do concreto ao ser empregado conjuntamente. Bastos (2019) caracteriza a armadura de aço como um conjunto de barras de aço, que junto ao concreto, é denominado concreto armado.

As qualidades do concreto armado somariam as do concreto (durabilidade, resistência à compressão, à água e ao fogo, e baixo custo), como as do aço (ductilidade, resistência a tração e compressão). Com isso, o concreto armado traz um grande fator de rapidez e trabalhabilidade nas obras, conforme informa Bastos (2019).

### **4.2 Tela metálica**

Como já descrito anteriormente, o concreto necessita da armadura para resistir e ter mais eficiência aos esforços de tração e compressão, ou seja, os de flexão. Com isso, a armadura em tela metálica faz esse trabalho de colaborar junto ao

concreto transmitindo melhor as tensões na estrutura, seja em lajes, pisos, pontes, revestimentos de túneis, entre outras aplicações. A Fotografia 1 mostra a tela de aço sendo usada em uma laje.

**Fotografia 1 - Exemplo de uso da tela metálica**



**Fonte: Arcelor Mittal (2019, p. 7)**

Conforme a ABNT NBR 7481 (1990), as telas de aço são armaduras pré-fabricadas com barras eletro soldadas, sendo posicionadas como uma rede de malhas retangulares, onde, por meio de caldeamento, os nós (pontos de contato), formados entre a sobreposição dos fios de aço nos sentidos longitudinal e transversal, são soldados a fim de fazer a amarração do concreto.

Essa malha de aço, pode se apresentar tanto em formas retangulares, quanto em formato quadrado, estando em conformidade com as normas. Além disso, Pereira (2015) informa que as telas metálicas devem ser fabricadas com largura de 2,45 m em rolos tendo de 60 a 120 m de comprimento e os espaçamentos entre os fios padronizados em 10, 15 ou 30 cm de comprimento.

### **4.3 Fibras**

Um dos compósitos da construção civil é o concreto reforçado com fibras (CRF), que é usado em diversas aplicações, porém as mais comuns seriam para

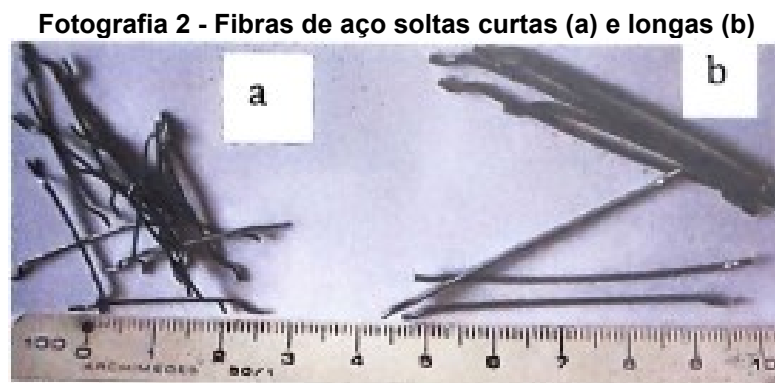
revestimento de paredes de túneis, pavimentos industriais e túneis de concreto para obras de saneamentos.

De acordo com Figueiredo (2011), as fibras são materiais que se apresentam em descontinuidade, devido a sua dimensão transversal ser bem menor que seu comprimento. Usadas para tornar o concreto mais resistente, as macrofibras podem ser poliméricas ou de aço, já as microfibras, sendo em geral poliméricas, não tem a principal função de reforçar o concreto. A seguir, as fibras de aço e polipropileno serão melhor detalhadas.

#### 4.3.1 Fibras de aço

Uma das fibras mais agregadas em estruturas de concreto, as fibras de aço possuem várias formas, tamanhos e tipos de aço. Por possuírem um alto módulo de elasticidade, características como controle de fissuras, resistência ao impacto, à fadiga, à flexão e também a tenacidade são melhoradas no concreto ao serem aplicadas em conjunto, informa a ACI 544.1R-96 (2006).

O comprimento das fibras de aço varia de 25 mm, sendo denominadas fibras curtas, a 60 mm, denominadas fibras longas. Elas podem ser adquiridas soltas, como mostra a Fotografia 2.



**Fonte: Figueiredo (2011, p. 10)**

Porém, podem ser encontradas coladas umas nas outras em feixes de 10 a 30 fibras, como mostra na Fotografia 3, que facilitam a mistura no concreto.



**Fotografia 3 - Fibras de aço longas coladas (c)**

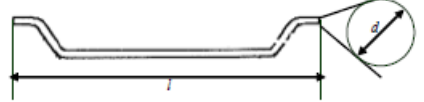
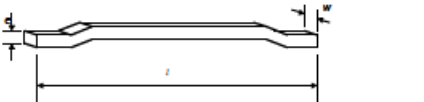
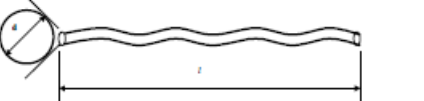
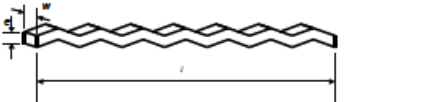
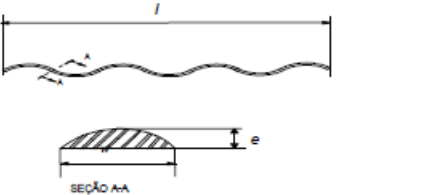
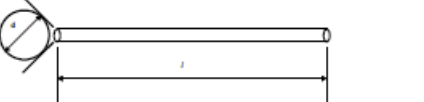
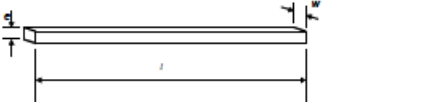


**Fonte: Figueiredo (2011, p. 10)**

No Brasil, é a ABNT NBR 15530 (2007) que regula as especificidades das fibras de aço. Uma dessas normalizações é a configuração geométrica, que são as fibras: De aço com ancoragem nas extremidades (Tipo A), Corrugadas (Tipo C) e Reta (Tipo R).

Além dessa particularidade, a norma classifica quanto ao tipo de aço de origem da fibra: Arame trefilado a frio (Classe I), Chapa laminada cortada a frio (Classe II), Arame trefilado e escarificado (Classe III). O Quadro 1, mostra a classificação e geometria das fibras de aço.

**Quadro 1 - Classificação e geometria das fibras de aço**

Tipo	Classe da fibra	Geometria
A	I	
	II	
C	I	
	II	
	III	
R	I	
	II	

Fonte: Figueiredo, Chama Neto e Faria (2008, p. 69)

#### 4.3.2 Fibras de polipropileno

Adquiridas em microfibras e macrofibras, as fibras de polipropileno vêm sendo incorporadas em elementos de concretos, como em obras de barragens, pontes, estações de tratamento de água e esgotos, pavimentos e pisos industriais. Medeiros (2012) explica que as fibras de polipropileno, além de baixo custo e fácil disponibilidade, apresenta também compatibilidade mecânica, química e física com o concreto, e, além disso, o polipropileno é inerte quimicamente, não petrificável e não sofre oxidação, já que também não absorve água.

As microfibras possuem dois tipos: monofilamentos e fibriladas. As fibras do tipo fibriladas, mostradas na Fotografia 4, são malhas de filamentos finos de segmento retangular, que melhora a adesão entre o concreto e a fibra.

**Fotografia 4 - Fibras fibriladas (a)**



Fonte: Figueiredo (2011, p. 13)

Já as fibras do tipo monofilamentos são fios cortados em um tamanho padrão, elas são apresentadas na Fotografia 5.

**Fotografia 5 - Fibras monofilamentos (b)**



Fonte: Figueiredo (2011, p. 13)

As macrofibras de polipropileno, ao contrário das microfibras, são destinadas para fazer reforço estrutural, da mesma forma que as fibras de aço já fazem. Na Fotografia 6 é mostrada 2 macrofibras poliméricas.

**Fotografia 6 – Macrofibras poliméricas**



Fonte: Figueiredo (2011, p. 14)

No mercado, também existem fibras que mesclam macrofibras e microfibras de polipropileno, como apresenta na Fotografia 7. Conforme Figueiredo (2011), elas têm a intenção de fazer o reforço no estado endurecido e de controlar as fissuras nas idades iniciais.

**Fotografia 7 – Macrofibras poliméricas em mescla**



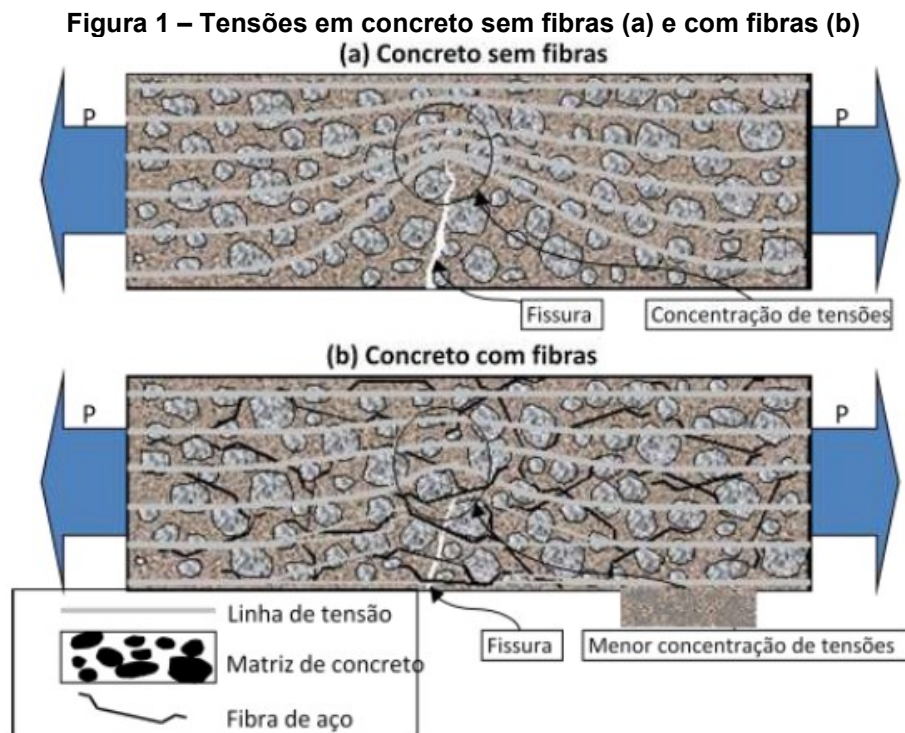
Fonte: Figueiredo (2011, p. 15)

Segundo Figueiredo (2000), o módulo de elasticidade e a resistência mecânica são as propriedades mais importantes para classificação das fibras, pois elas determinarão o quanto a fibra resistirá aos esforços que precisa proporcionar para o concreto. As fibras com módulo de elasticidade menor que o concreto endurecido

são denominadas fibras de baixo módulo, já o contrário, são denominadas de alto módulo.

#### 4.4 Concreto com fibras

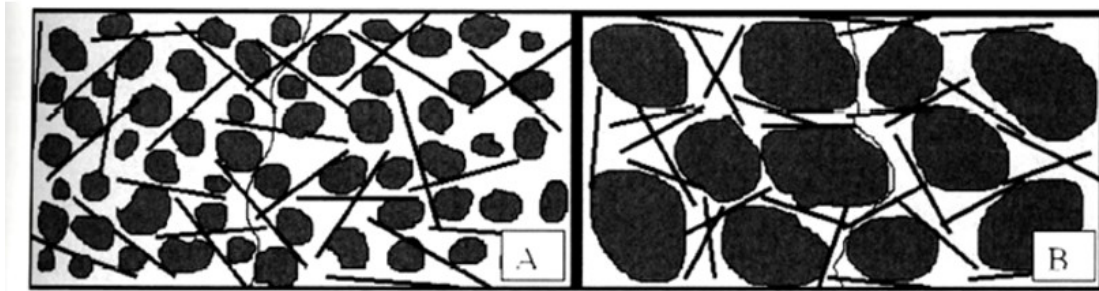
O concreto com fibras apresenta uma boa distribuição dos reforços por todo o elemento de concreto, devido a fibra ser acrescentada ainda na mistura, o que não ocorre nas armaduras de aço convencional. Porém, é necessário adicionar as fibras com seus apropriados módulos de elasticidade e resistência, além de estar em um teor adequado, para certamente proporcionar a transferência das tensões pelas fissuras, minimizando os esforços, informa Figueiredo (2011), conforme ilustra a Figura 1.



Fonte: Figueiredo (2011, p. 30)

Segundo Aguado e Laranjeira (2007), outro fator importante é o comprimento das fibras, que devem ser 2,5 a 3 vezes a dimensão máxima dos agregados graúdos, para que haja a transferência das tensões. Então, uma forma de solucionar esse problema é aumentando o comprimento da fibra ou diminuindo a dimensão da brita. A Figura 2 mostra quando há compatibilidade dimensional entre as fibras e os agregados e quando não há.

Figura 2 – Compatibilidade (a) e não-compatibilidade (b).



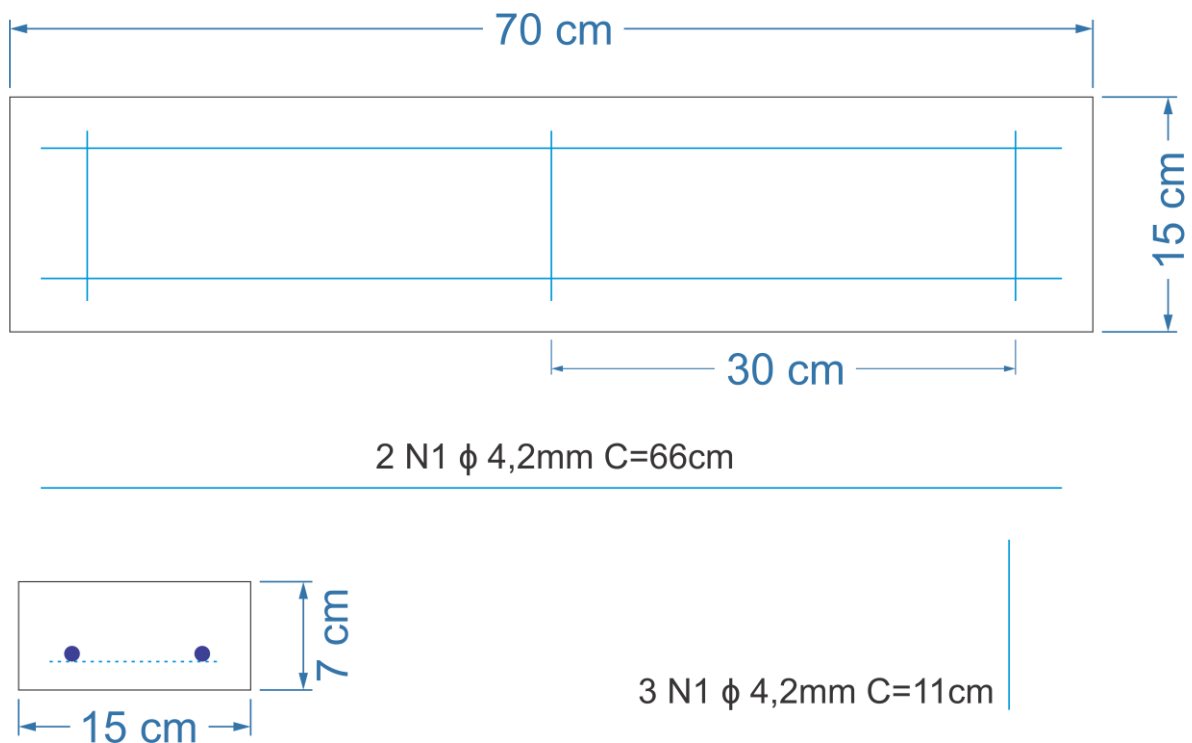
Fonte: Figueiredo (2000, p. 20)

É importante salientar que fibras que são frágeis podem romper por cisalhamento, caso ocorra uma fissura sobre ela. Já as dúcteis não rompem, apenas deformam-se, explica Figueiredo (2011).

## 5 METODOLOGIA

Neste projeto foram confeccionadas e ensaiadas em laboratório doze placas de concreto, de seção 15 x 70 x 7 cm (largura x comprimento x espessura), submetidas a um ensaio de flexão. Foram considerados três grupos de placas: 1) quatro placas de concreto com tela metálica de 4,2 mm, 2) quatro placas de concreto com fibras de aço, 3) quatro placas de concreto com fibra de polipropileno. A Figura 3 apresenta o detalhamento da placa de concreto para o grupo 1 (com tela metálica).

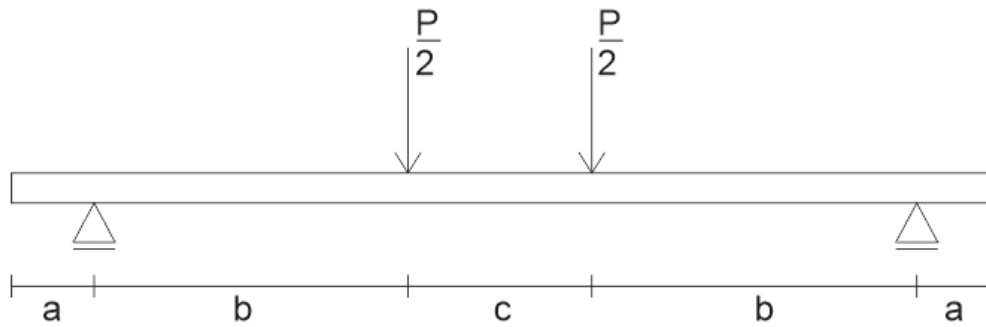
Figura 3 – Detalhamento da placa de concreto armado



Fonte: Autoria própria (2022)

Na Figura 4 é ilustrado um esquema de como é o ensaio à flexão pura.

**Figura 4 – Detalhamento do ensaio**



Fonte: Autoria própria (2022)

Visando a comprovação da resistência característica do concreto ( $f_{ck}$ ) utilizado nas placas, foram separados 4 corpos de prova cilíndricos, para cada um dos grupos, com dimensões de 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura, retirados da concretagem única, sendo rompidos em ensaios à compressão.

### 5.1 Materiais e equipamentos utilizados

Para a fabricação das placas de concreto com tela metálica e com fibras, e dos corpos de prova são necessários os seguintes materiais e equipamentos:

- Forma:
  - Chapa de madeira resinada plastificada com espessura de 13 mm;
  - Parafusos;
  - Desmoldaste;
  - Moldes metálicos de 10 x 20 cm.
- Concreto armado:
  - Aço CA60 com 4,2 mm de diâmetro;
  - Arame recozido 1,24 mm;
  - Brita 1 com 19 mm de diâmetro máximo;
  - Areia fina;
  - Cimento CII-F32;
  - Água de amassamento.
- Equipamentos:
  - Betoneira de eixo inclinado;
  - Balança para dosagem dos materiais;
  - Pá meia-lua;
  - Haste de adensamento;



- Balde de plástico 12L;
  - Colher de pedreiro;
  - Proveta graduada de 10L;
  - Paquímetro;
  - Trena;
  - Parafusadeira;
  - Serra Esquadrejadeira.
- Fibras:
    - Macrofibras de polipropileno de 55mm, marca CN Revestimentos.
    - Macrofibras de aço corrugado tipo C, classe III.

As macrofibras de aço, conforme apresenta a Fotografia 8, foram doadas pela construtora Piacentini Ltda de Campo Mourão – PR.

**Fotografia 8 – Macrofibra de aço usada**



**Fonte: Autoria própria (2022)**

Já as macrofibras de polipropileno, destacadas na Fotografia 9, foram adquiridas pela compra.

**Fotografia 9 – Macrofibra de polipropileno usada**



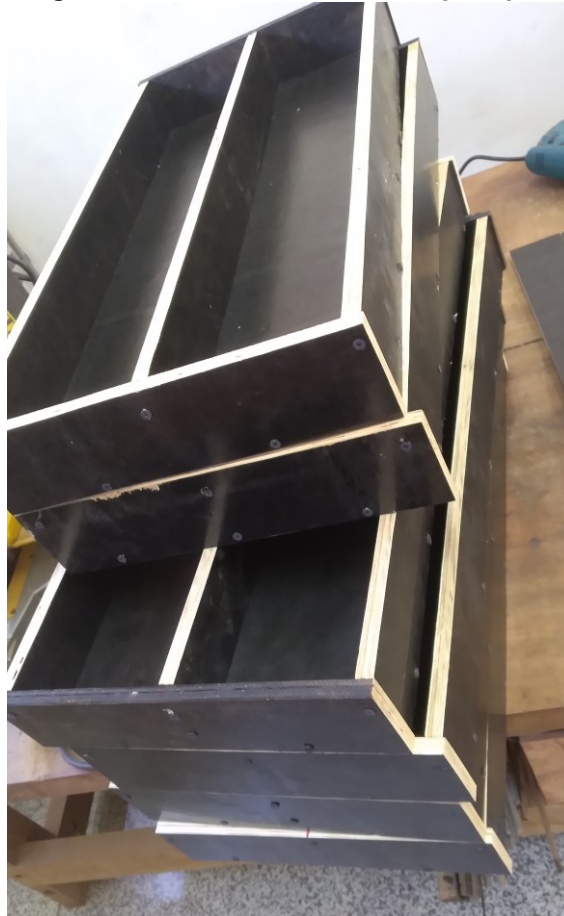
**Fonte: A autoria própria (2022)**

Os ensaios mecânicos dos corpos de prova cilíndricos foram realizados com a prensa Emic PC100, já as placas de concreto foram rompidas por meio da prensa universal Emic DL30000F, ambas disponíveis na UTFPR de Campo Mourão.

## **5.2 Elaboração das placas**

Para esse trabalho, foram montadas seis formas com capacidade de fabricação de duas placas, como ilustrado na Fotografia 10, gerando, por fim, doze placas concretadas.

**Fotografia 10 – Formas de madeira para placas**



**Fonte: Autoria própria (2022)**

Para a confecção das telas metálicas, foram utilizadas 1 barra de aço CA60 de 4,2 mm longitudinais e a mesma dimensão para as transversais espaçadas em 30 cm, dobradas e amarradas, com arame recozido de 1,24 mm, de forma manual e com o auxílio de pregos e uma cantoneira. A Fotografia 11 apresenta as 4 telas metálicas amarradas e prontas para serem concretadas.

**Fotografia 11 – Telas metálicas**

**Fonte: Autoria própria (2022)**

Para a execução dos 3 concretos, a dosagem em massa foi elaborado com o traço de 1:2,5:2,5 (cimento : agregado miúdo : agregado graúdo), e sua relação água/cimento foi de 0,58.

No concreto reforçado com fibras de aço, foram acrescentadas as macrofibras de aço em uma dosagem de 20 kg/m<sup>3</sup>, de acordo com Sarzalejo et al (2007), que informa esse valor de dosagem como mínimo para utilização em pisos, já para aplicações em concreto projetado o valor não pode ser inferior a 25kg/m<sup>3</sup>, chegando até 80kg/m<sup>3</sup> para aplicações mais exigentes. Enquanto no concreto reforçado com fibras de polipropileno, foram acrescentadas as macrofibras de polipropileno com dosagem de 3,5 kg/m<sup>3</sup>, como informa o fabricante do material. Ambas fibras foram adicionadas aos poucos no concreto, para que pudessem ficar bem misturadas à massa, como mostra a Fotografia 12.

**Fotografia 12 – Adição das fibras ao concreto**



**Fonte: Autoria própria (2022)**

A Fotografia 13 mostra alguns dos 12 moldes para confecção dos corpos de prova cilíndricos já executados.

**Fotografia 13 – Corpos de prova cilíndricos moldados**



**Fonte: Autoria própria (2022)**

A Fotografia 14 mostra as 6 formas, com capacidade de confecção de 2 placas em cada, já moldadas.

**Fotografia 14 – Placas moldadas**



**Fonte: Autoria própria (2022)**

No dia seguinte, após a confecção das placas e corpos de prova cilíndricos, esses corpos de prova foram desmoldados e levados para um ambiente coberto, ficando por 28 dias até obterem a cura total do concreto.

### **5.3 Ensaio à compressão dos corpos de prova cilíndricos**

Para determinar o fck do concreto usado nas placas, foram confeccionados 12 corpos de prova cilíndricos de 10 cm de diâmetro e 20 cm de comprimento. Na Fotografia 15, pode-se observar alguns desses corpos de prova desmoldados.

**Fotografia 15 – Corpos de prova cilíndricos**



**Fonte: Autoria própria (2022)**

Esses corpos de prova foram ensaios à compressão, após 28 dias, na prensa Emic PL100.

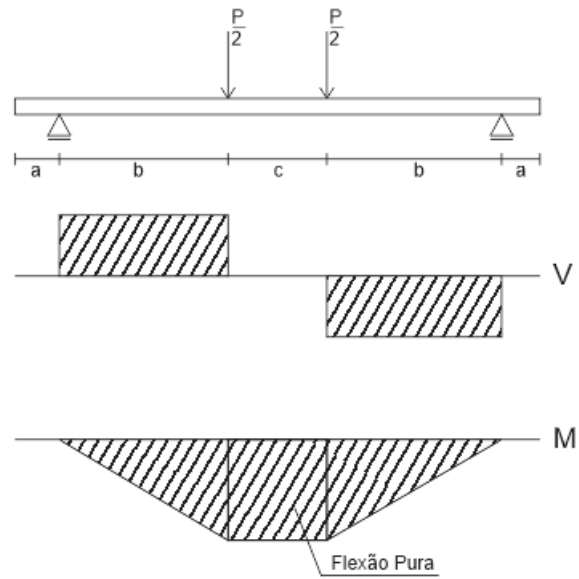
#### **5.4 Ensaio de flexão nas placas**

No ensaio de flexão nas placas são aplicadas duas cargas concentradas e simétricas perpendiculares às faces superior e inferior ao testemunho de estrutura, conforme estabelece as condições na ABNT NBR 12142 (2010). Por meio dessas duas cargas, as placas biapoiadas recebem um carregamento gradativo até que atinjam seu rompimento.

É importante destacar que ao aplicar essas duas cargas pontuais, o único esforço que ocorrerá entre as duas cargas será o momento fletor. Assim, a ruptura ocorrerá em decorrência do que é chamado de flexão pura, ou melhor dizendo, onde há apenas momento fletor constante, conforme Martha (2010) ressalta.

Na Figura 5, pode-se observar as distâncias das cargas e apoios para a realização do ensaio, onde  $a = 5$  cm,  $b = 22,5$  cm e  $c = 15$  cm. Além disso, está identificado onde há flexão pura (sem cisalhamento) e flexão simples (com cisalhamento).

**Figura 5 – Ensaio de tração na flexão e diagramas de esforços**



**Fonte: Autoria própria (2022)**

Seguindo as distâncias já mencionadas, realizou-se o ensaio de flexão nos corpos de prova prismáticos, conforme apresenta na Fotografia 16.

**Fotografia 16 – Corpos de prova prismáticos**



**Fonte: Autoria própria (2022)**



## 6 RESULTADOS

### 6.1 Resistência à compressão do concreto ( $f_{ck}$ )

Testados à compressão de acordo com a ABNT NBR 5739 (2019), os resultados dos corpos de prova cilíndricos, que apresentam as dimensões de 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura, apresentam-se na Tabela 1 de acordo com cada concreto.

**Tabela 1 – Fck dos concretos**

Material (grupos)	Corpo de prova	Idade (dias)	Área média (mm <sup>2</sup> )	Força normal máxima (kN)	Tensão normal máxima (MPa)
Concreto sem fibras	1	28	7881,43	216,0	27,41
	2	28	7897,17	196,5	24,88
	3	28	7678,25	192,8	25,11
	4	28	7787,33	202,0	25,94
Concreto com fibras de polipropileno	1	28	7960,28	178,9	22,47
	2	28	7850,00	177,9	22,66
	3	28	7818,63	201,3	25,75
	4	28	7881,43	194,3	24,65
Concreto com fibras de aço	1	28	7818,63	187,0	23,92
	2	28	7740,48	187,2	24,18
	3	28	7724,90	186,1	24,09
	4	28	7850,00	188,4	24,00

Fonte: Autoria própria (2022)

Como o volume do concreto é menor que 10 m<sup>3</sup>, para o cálculo do  $f_{ck}$  do concreto, a ABNT NBR 12655 (2015) diz que em casos em que o concreto é feito em betoneiras de volume baixo e quando se refere a amostragem parcial, é liberado amostrar os lotes em 2 a 5 exemplares. Com isso, pode-se estimar a resistência característica do concreto à compressão ( $f_{ck,est}$ ) usando a fórmula abaixo:

$$f_{ck,est} = \Psi_6 \times f_1$$

Onde o valor  $\Psi_6$  é informado pelo Quadro 2, quando se trata de valores de 2 a 5. Enquanto o valor de  $f_1$  refere-se a menor resistência.

**Quadro 2 – Valores de  $\Psi_6$** 

Condição de preparo	Número de exemplares ( $n$ )										
	2	3	4	5	6	7	8	10	12	14	$\geq 16$
A	0,82	0,86	0,89	0,91	0,92	0,94	0,95	0,97	0,99	1,00	1,02
B ou C	0,75	0,80	0,84	0,87	0,89	0,91	0,93	0,96	0,98	1,00	1,02

NOTA Os valores de  $n$  entre 2 e 5 são empregados para os casos excepcionais (conforme 6.2.3.3).

Fonte: ABNT NBR 12655 (2015, p. 20)

Como a norma permite de 2 a 5 exemplares para esse estudo, então o número escolhido foi de 4. Assim, deve-se conhecer as condições de preparo do concreto, conforme a NBR 16655 (2015) e exposto na tabela 2, para que seja determinado o valor de  $\Psi_6$ .

**Tabela 2 – Condições de preparo do concreto**

Condição	Descrição
A	O cimento e os agregados são medidos em massa, a água de amassamento é medida em massa ou volume com dispositivo dosador e corrigida em função da umidade dos agregados
B	O cimento é medido em massa, a água de amassamento é medida em volume mediante dispositivo dosador e os agregados medidos em massa combinada com volume.
C	O cimento é medido em massa, os agregados são medidos em volume, a água de amassamento é medida em volume e a sua quantidade é corrigida em função da estimativa da umidade dos agregados da determinação da consistência do concreto, conforme disposto na ABNT NBR NM 67 ou outro método normalizado.

Fonte: Adaptação da ABNT NBR 12655:2015 (2022, p. 17)

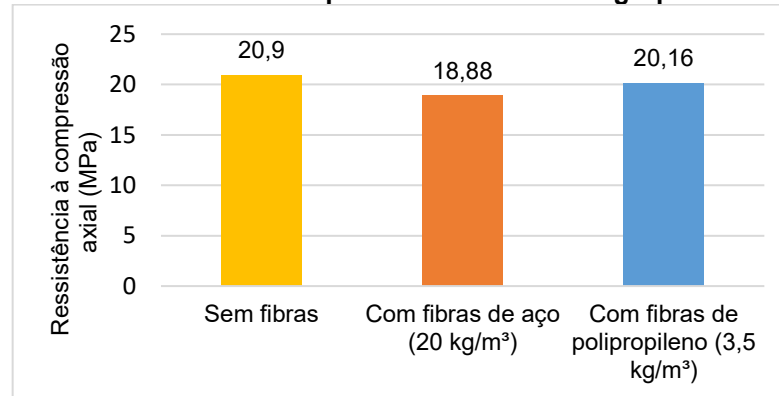
Apresenta-se na Tabela 3 os resultados obtidos pela fórmula anterior na devida condição de preparo. Pode-se reparar que o grupo do concreto simples obteve uma maior resistência diante dos dois seguintes grupos.

**Tabela 3 – Resistência característica do concreto à compressão estimada**

Material (grupos)	$F_{ck,est}$
Concreto simples	20.90
Concreto com fibras de polipropileno	18.88
Concreto com fibras de aço	20.16

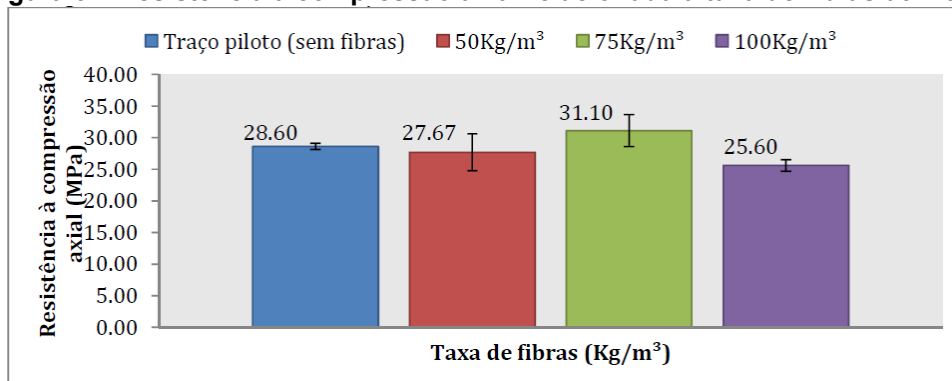
Fonte: Autoria própria (2022)

Também pode-se observar esses valores no gráfico 1, onde com a adição das fibras, há uma perda na resistência à compressão do concreto.

**Gráfico 1 – Resistência à compressão axial nos três grupos de concreto**

Fonte: Autoria própria (2022)

Bianchi e Tommaselli (2019) também realizou um ensaio à compressão de corpos de prova cilíndricos em CRF, porém em diferentes teores de fibras de aço. Nota-se na Figura 6 que também houveram reduções na resistência em comparação ao traço piloto (sem fibras).

**Figura 6 – Resistência à compressão axial relacionada a taxa de fibras utilizada**

Fonte: Bianchi e Tommaselli (2019, p. 16)

Conforme Figueiredo (2000), a resistência à compressão é diminuída até o acréscimo de 30 kg/m³ de fibras de aço, apresentando um aumento a partir de 40 kg/m³. Observa-se na Tabela 4 os resultados obtidos no estudo do Figueiredo (2000) utilizando fibras de aço do tipo A, classe II.

Taxa de fibras utilizadas (kg/m³)	Resistência à compressão (Mpa)
0	25,7
20	24,7
30	22,1
40	25,4

Fonte: Bianchi e Tommaselli (2019, p. 17)

Apresenta-se na Fotografia 17 todos os corpos de prova cilíndricos rompidos no ensaio de compressão axial.

Fotografia 17 – Corpos de prova rompidos



Fonte: Autoria própria (2022)

## 6.2 Resistência à flexão

Após os 28 dias da produção das placas em concreto, executou-se um ensaio de flexão pura e, na Tabela 5, apresenta-se os resultados.

Tabela 5 – Resultados do ensaio à flexão

Grupo	Placa	Área (mm <sup>2</sup> )	Força máxima (kN)	Força máxima média (kN)	Varição (%)
Placa de concreto com tela metálica (referência)	1	10993,32	9,35	9,25	0
	2	11114,28	9,14		
	3	11044,90	9,39		
	4	11130,24	9,14		
Placa de concreto com fibra de polipropileno	1	10500,22	2,68	3,37	-63,55
	2	10858,88	4,07		
	3	10959,19	3,94		
	4	10726,32	2,80		
Placa de concreto com fibra de aço	1	10696,91	3,97	3,55	-61,68
	2	10727,48	3,73		
	3	11220,85	3,29		
	4	10477,04	3,19		

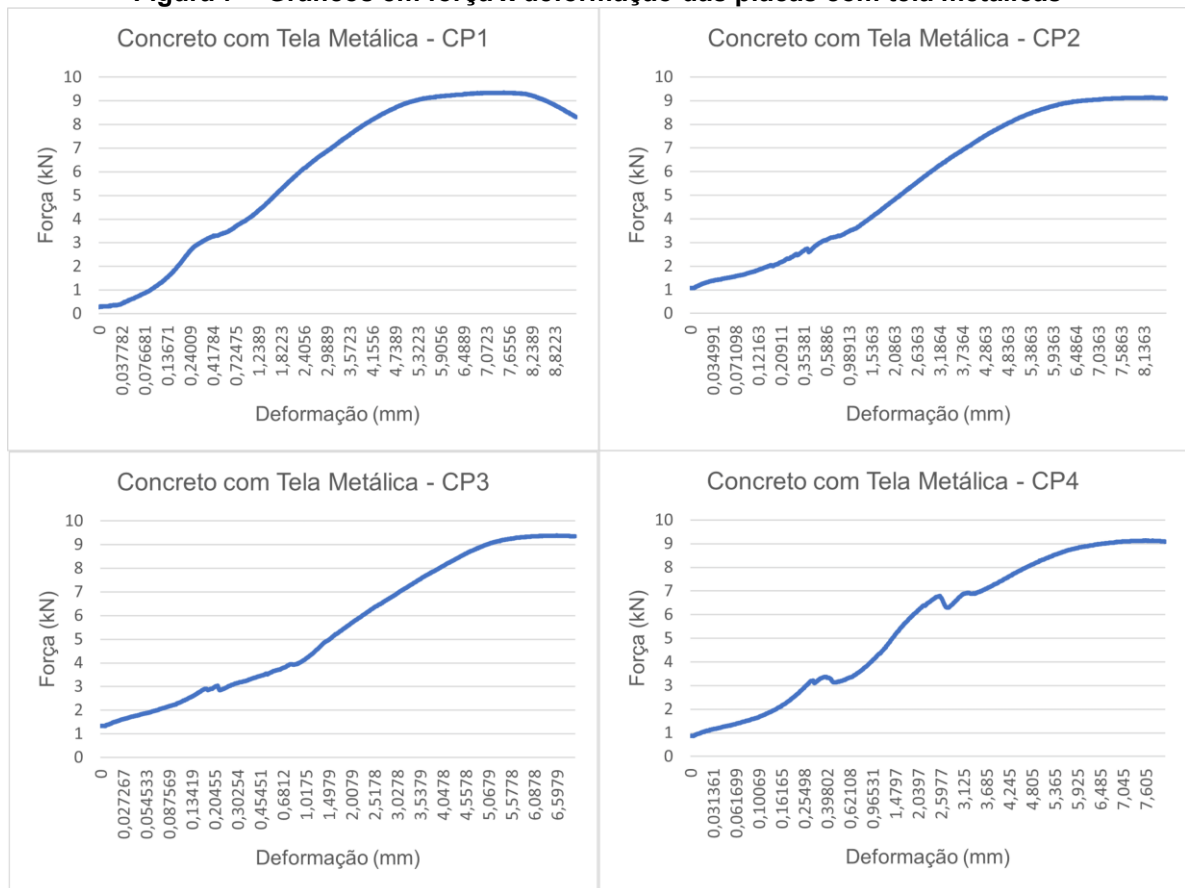
Fonte: Autoria própria (2022)

Após análise dos resultados da Tabela 5, percebeu-se que as placas de concreto com fibra de polipropileno e de aço apresentam resultados próximos, ao contrário daquelas com tela metálica. A placa de concreto com fibra de polipropileno obteve uma força máxima média de 3,37 kN e a de aço 3,55 kN, enquanto a placa

com tela metálica atingiu 9,25 kN, uma variação de 63,55% a mais do que as fibras de polipropileno.

Também pode-se verificar os resultados de todas as placas de concreto com telas metálicas na Figuras 7, onde os valores da prensa foram plotados em gráficos força x deformação. Pode-se notar, na primeira curva do gráfico, que após o concreto fissurar houve o escoamento do aço.

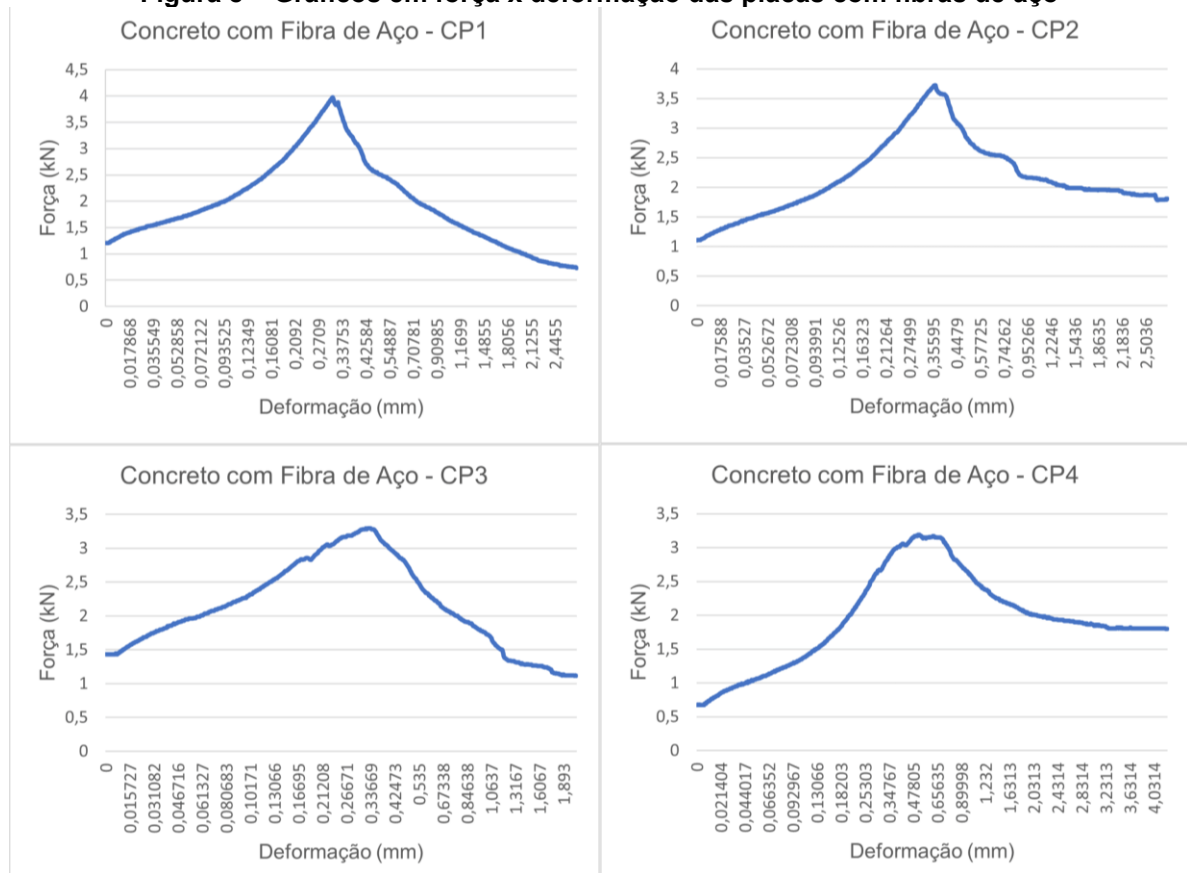
**Figura 7 – Gráficos em força x deformação das placas com tela metálicas**



Fonte: Autoria própria (2022)

Na Figura 8, mostra-se os resultados em gráfico das placas de concreto com fibras de aço, e pode-se observar que após a fissuração do concreto, a fibra de aço não apresentou um escoamento como aconteceu nas placas com telas metálicas

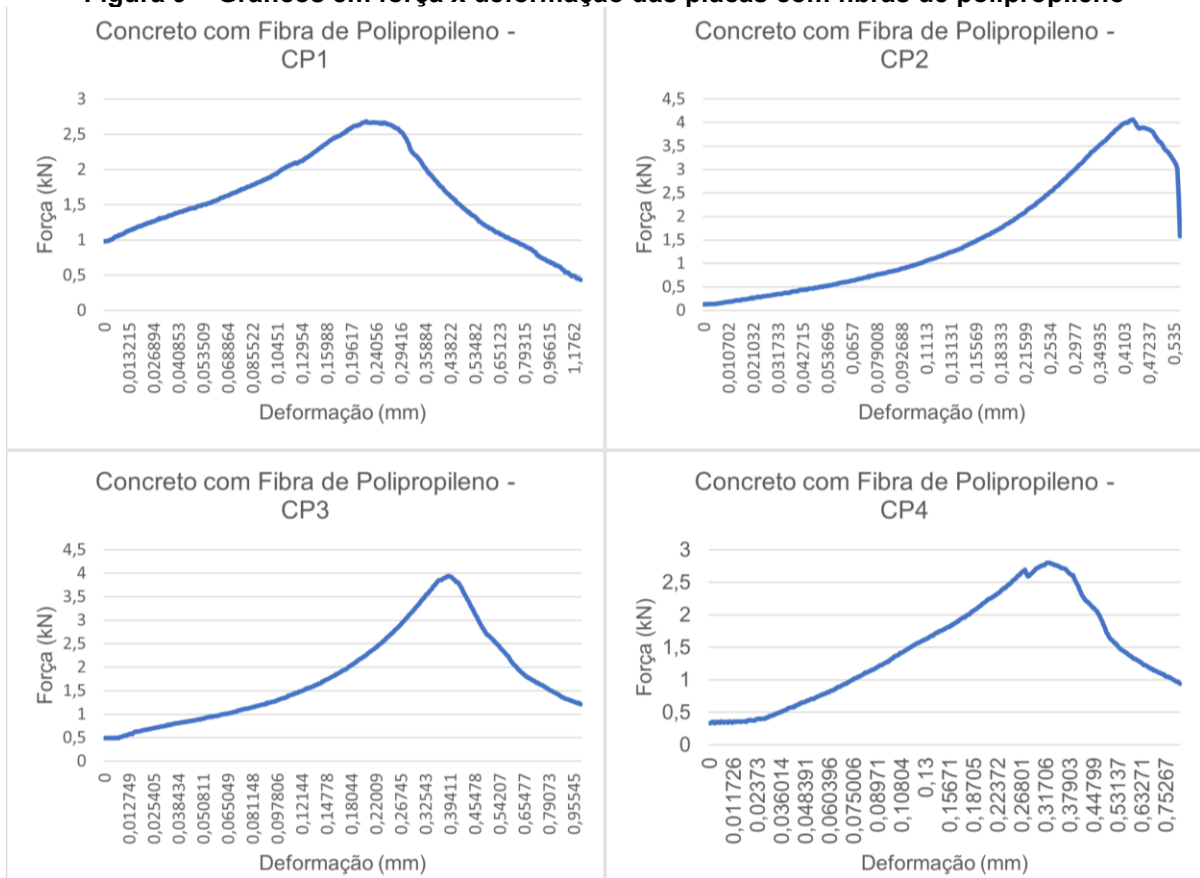
**Figura 8 – Gráficos em força x deformação das placas com fibras de aço**



Fonte: Autoria própria (2022)

Já a Figura 9 apresenta-se os gráficos das placas de concreto com fibras de polipropileno, e nota-se um comportamento similar com as placas com fibras de aço.

**Figura 9 – Gráficos em força x deformação das placas com fibras de polipropileno**

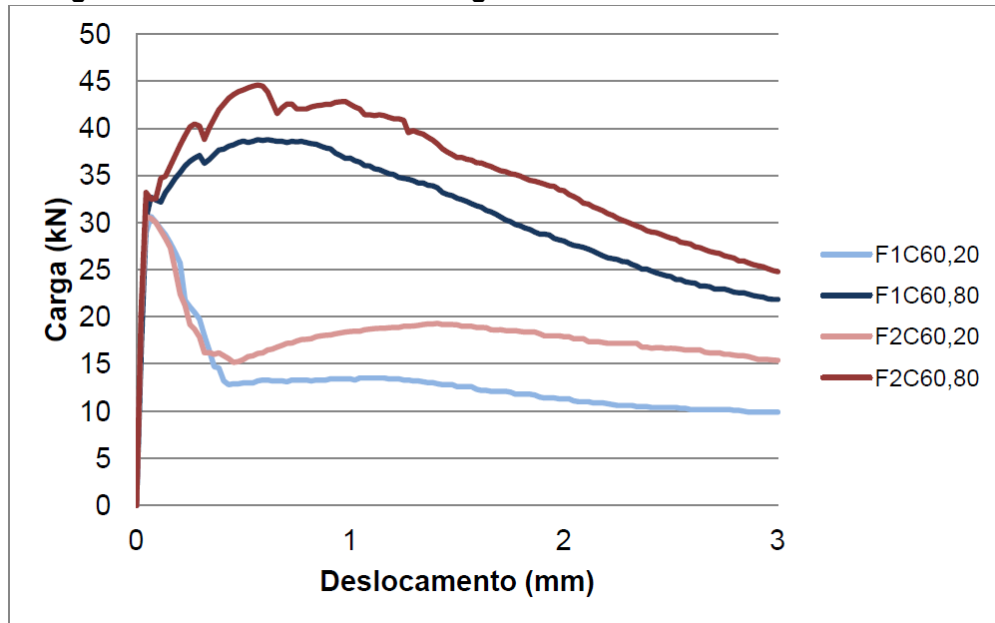


Fonte: Autoria própria (2022)

Em um estudo experimental de Arakaki e Figueiredo (2000 apud FIGUEIREDO, 2011), com o uso dos teores 20 e 80 kg/m<sup>3</sup> de fibras de aço no concreto, pode-se notar um comportamento similar das curvas resultantes de ensaio de flexão, apresentadas nos gráficos das Figuras 8 e 9, com a curva denominada F1C20,20 na Figura 10, essa que corresponde a Fibra F1 (fibra de aço com baixo teor de carbono), concreto de 20 Mpa e utilizando a proporção de 20 kg/m<sup>3</sup>.

Observa-se a baixa resistência nas curvas referentes as proporções de 20 kg/m<sup>3</sup> (F1C60,20 e F2C60,20), enquanto em uma dosagem de 80 kg/m<sup>3</sup> (F1C60,80 e F2C60,80), houve um aumento na resistência pós-fissuração do concreto.

**Figura 10 – Curvas médias de carga x deslocamento obtidas aos 30 dias**



Fonte: Figueiredo (2011, p. 55)

Na Fotografia 18 são apresentadas as fissuras, destacada em vermelho, causadas na primeira placa de concreto com tela metálica. Nota-se que nesse grupo o surgimento de fissuras bem aparentes que podem ter sido causadas pelo tracionamento do aço.

**Fotografia 18 – Placa de concreto com tela metálica rompida**

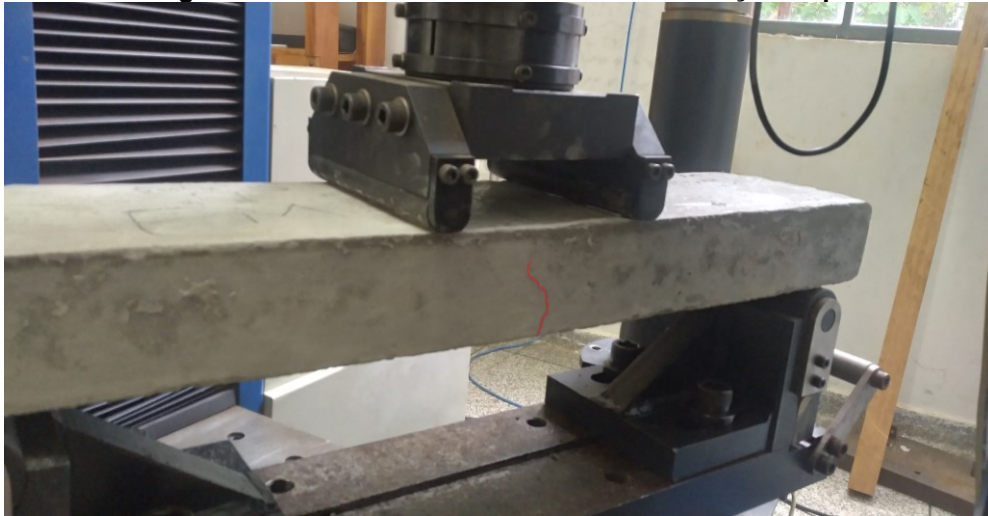


Fonte: Autoria própria (2022)

Mostra-se na Fotografia 19, a fissuração causada na primeira placa de concreto com fibras de aço. Pode-se observar que houveram menos fissuras nesse grupo em comparação com o grupo anterior (placas de concreto com tela metálica).



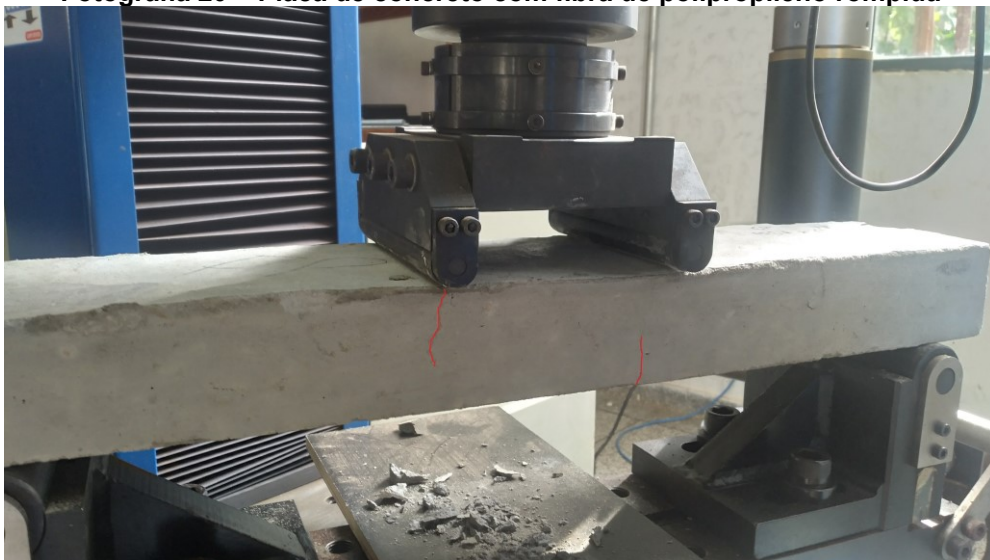
**Fotografia 19 – Placa de concreto com fibra de aço rompida**



**Fonte: Autoria própria (2022)**

Como na placa de concreto com fibras de aço, o grupo de placa de concreto com fibras de polipropileno apresenta-se também fissuração mais sutil que o primeiro grupo, como mostra na Fotografia 20.

**Fotografia 20 – Placa de concreto com fibra de polipropileno rompida**



**Fonte: Autoria própria (2022)**

Para uma melhor análise do interior das placas de concreto, foram partidas 2 placas, uma com fibra de aço e outra com fibra de polipropileno. Na Fotografia 21 pode-se observar a placa de concreto com macrofibras de polipropileno partida.

**Fotografia 21 – Placa com fibras de polipropileno partida**



**Fonte: Aatoria própria (2022)**

Já na Fotografias 22, apresenta-se a placa de concreto com macrofibras de aço partida.

**Fotografia 22 – Placa com fibras de aço partida**



**Fonte: Aatoria própria (2022)**

Pode-se perceber que as fibras em ambas placas não se romperam, além da baixa proporção de fibras no elemento.

## 7 CONCLUSÃO

O presente trabalho acadêmico apresentou uma avaliação a respeito da eficiência do uso de fibras de aço e fibras de polipropileno como reforço em placas de concreto simples em relação ao uso de telas metálicas ao concreto, a partir da força com a qual as placas resistiram no ensaio à flexão.

Conclui-se, com base nos resultados de compressão axial dos corpos de prova cilíndricos, que a resistência de 20,90 MPa do concreto sem fibras foi maior que as resistências dos concretos com fibras de aço e de polipropileno, 18,88 MPa e 20,16 MPa respectivamente. Uma das hipóteses para que isso tenha acontecido com os corpos de prova com fibras, deve-se ao acréscimo das fibras, onde o volume do concreto no corpo de prova acaba diminuindo, conseqüentemente a redução da resistência à compressão no elemento.

Pressupõe-se que uma outra causa deve ter sido a utilização da areia fina, em vez de média ou grossa, já que a areia pode ter contribuído para a má transferência das tensões junto as fibras no elemento.

Já na flexão, as placas de concreto com telas metálicas obtiveram uma força máxima bem acima das placas de concreto com fibras de aço e de polipropileno, respectivamente 9,25 kN, 3,55 kN e 3,37 kN. Cita-se a seguir algumas hipóteses que poderiam causar essa diferenciação.

A primeira deve-se ao módulo de elasticidade das fibras serem menores que o concreto, caracterizando-as como fibras de baixo módulo. Desse modo, onde nos gráficos da Figura 6 o concreto se rompe, a tela metálica traciona escoando até que haja o seu limite, enquanto que nos gráficos das placas de CRF (Figuras 8 e 9) não ocorre um comportamento similar.

Em segundo, como na compressão, a utilização de areia fina em vez de média ou grossa. Recomenda-se utilizar a areia fina para uso em acabamento, já que possui uma granulometria muito pequena podendo trazer outros materiais em sua composição, havendo uma diminuição na resistência do concreto.

Nota-se nas Fotografias 21 e 22, a baixa dosagem das fibras, que seria a última hipótese. Talvez com uma maior dosagem, como observa-se nos resultados da Figura 9, as placas em CRF poderiam ter obtido uma maior força máxima na flexão. Segundo Figueiredo e Chama Neto (2007), quanto maior a proporção de fibras no concreto para

fins de reforço, maior será o número de fibras fazendo a transferência das tensões no elemento.

Mas, por mais que as placas de concreto com fibras não mostraram resultados de resistência à flexão melhores do que as placas com telas, as placas de concreto com fibras obtiveram menos fissuras visíveis após o rompimento, já que as fibras constituem uma armadura descontínua, permitindo um melhor arranjo das tensões de flexão no elemento estrutural, aponta Figueiredo (2008).

Para trabalhos futuros, recomenda-se realizar os mesmos ensaios com proporções maiores de fibras de aço e fibras de polipropileno, e também a confecção de placas de CRF com tela metálica, a fim de complementar a avaliação da eficiência do concreto com fibras em placas.

## REFERÊNCIAS

- AGUADO, A., LARANJEIRA, F. **Presentación del anejo de hormigón con fibras de la EHE y ecuación constitutiva del hormigón con fibras**. Jornada sobre Aplicaciones Estructurales de Hormigón con Fibras: p. 1-32; Barcelona, 2007.
- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, **ACI 544.1R-96**: State-of-the-art Report on fiber reinforced concrete. Detroit: ACI, 2006.
- ARCELOR MITTAL. **Telas Soldadas Nervuradas**. São Paulo, 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5739**: Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7481**: Telas de aço soldada – Armadura para concreto. Rio de Janeiro: ABNT, 1990.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT 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. **ABNT NBR 12655**: Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação: procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15530**: Fibras de aço para concreto – Requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.
- BASTOS, P. S. S. **Notas de Aula – Estruturas de Concreto I**. Bauru: UNESP, 2019. Disponível em: [https://wwwp.feb.unesp.br/pbastos/pag\\_concreto1.htm](https://wwwp.feb.unesp.br/pbastos/pag_concreto1.htm). Acesso em: 22 abr. 2022.
- BIANCHI, J. V. B.; TOMMASELLI, M. A. G. **Influência da adição de fibras de aço em elementos de concreto estrutural**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2019.
- FIGUEIREDO, A. D. **Concreto com fibras de aço**. Boletim Técnico BT/PCC/260. 69p. Departamento de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2000.
- FIGUEIREDO, A. D.; CHAMA NETO, P. J. **A nova especificação brasileira para tubos de concreto para águas pluviais e esgoto**. 2007. **Anais [...]**. Bento Gonçalves, RS. IBRACON, 2007.
- FIGUEIREDO, A. D.; CHAMA NETO, P. J.; FARIA, H. M. **A nova normalização brasileira sobre fibras de aço**. *Concreto e Construções*, v. 36, p. 67-76, 2008.

FIGUEIREDO, A. D. Concreto com fibras. *In*: Geraldo Cechella Isaia. (Org.). **Concreto: Ciência e Tecnologia**. 1. ed. São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON), 2011. p.1327-1365.

FIGUEIREDO, A. D. **Concreto reforçado com fibras**. 2011. Tese (Livre-docência) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

MARTHA, L. F. **Métodos básicos da análise de estruturas**. 1. ed. Editora PUC-Rio. Rio de Janeiro, 2010.

MEDEIROS, A. **Estudo comparativo à fadiga em compressão do concreto com fibras**. 2012. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto**. 5. ed. São Paulo: PINI, 1997.

PEREIRA, A. S. P. **Sistema construtivo com paredes de concreto moldada no local**: Uma comparação entre o sistema seguindo a NBR 16055:2012 e seguindo o DATEC n° 005-b:2014. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Civil) - Universidade de Santa Cruz do Sul, Santa Cruz do Sul, 2015.

SANTOS, R. E. dos. **A armação do concreto no Brasil**: história da difusão do sistema construtivo concreto armado e da construção de sua hegemonia. 2008. Tese (Doutorado em Educação) – Programa de Pós-Graduação em Educação, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

SARZALEJO, A. G. *et al.* **Fibras como elemento estrutural para reforço de concreto**. 1. ed. Maccaferri do Brasil Ltda. São Paulo: IBRACON, 2007.