

## **Estudo Comparativo Entre os Vergalhões de Aço e Polímero Reforçado com Fibra de Vidro<sup>1</sup>**

### **Comparative Study Between Steel Rebar and Fiber Glass Reinforced Polymer<sup>1</sup>**

**Diego Brenner Freire Santos<sup>2</sup>  
Igor Gabriel da Silva Almeida<sup>3</sup>  
Cláudia Patrícia Torres Cruz<sup>4</sup>**

#### **RESUMO**

Este estudo tem como finalidade analisar as características entre o vergalhão de aço e o vergalhão reforçado com fibras de vidro, demonstrando sua funcionalidade, trazendo consigo sua aplicação como elemento de reforço estrutural, bem como suas definições e fabricação, suas finalidades em relação a sua durabilidade e resistência a ambientes com agressividades alcalinas, vantagens e desvantagens. Embasado em estudos acadêmicos, foi apresentado, através de uma revisão bibliográfica, suas propriedades como a resistência a tração, resistência ruptura, módulo de elasticidade, corrosão do material e sua aderência junto ao concreto. Abordando suas principais características quanto a sua durabilidade e resistência<sup>1</sup>a às intemperes, buscando formas de aprimoramentos das estruturas de concreto armado e detalhando seu processo de fabricação. Como resultado comprova-se que o Polímero Reforçado com Fibra de Vidro apresenta vantagens sobre o vergalhão de aço, sendo o principal observado, sua resistência a corrosão.

Palavras-chave: Vergalhão, PRFV, características, comparações, vantagens e desvantagens.

#### **ABSTRACT**

This study aims to analyze the characteristics between the steel rebar and the glass fiber reinforced rebar, demonstrating its functionality, bringing its application as an element of structural reinforcement, as well as its definitions and manufacturing, its purposes in relation to its durability and resistance to environments with alkaline aggressiveness, advantages and disadvantages. Based on academic studies, it was presented, through a bibliographical review, its properties such as tensile strength, rupture strength, modulus of elasticity, corrosion of the material, and its adherence to concrete. Addressing its main characteristics as to its durability and resistance to weathering, seeking ways to improve the reinforced concrete structures and detailing its manufacturing process. As a result it is proven that the Fiberglass Reinforced Polymer presents advantages over the steel rebar, being the main observed, its resistance to corrosion.

Keywords: Rebar, FRP, characteristics, comparisons, advantages and disadvantages.

---

<sup>1</sup> Artigo apresentado à Universidade Potiguar, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil, em 2022.

<sup>2</sup> Graduando em Engenharia Civil pela Universidade Potiguar – [diegobrenner1@hotmail.com](mailto:diegobrenner1@hotmail.com)

<sup>3</sup> Graduando em Engenharia Civil pela Universidade Potiguar – [almeida\\_gabriel84@hotmail.com](mailto:almeida_gabriel84@hotmail.com)

<sup>4</sup> Professora-Orientadora. Doutora Física. Docente na Universidade Potiguar – [claudiacruz@unp.br](mailto:claudiacruz@unp.br).

## 1 INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil é ampla e está em constante evolução, as suas edificações englobam diversas fases e materiais. De acordo com BARRETO (2009), um material indispensável em obras é o vergalhão, que é utilizado na construção de armadura de concreto, tendo como principal função a resistência a tração em estruturas de concreto armado, tais como vigas, pilares e lajes, conferindo ainda a estes resistência à compressão, flexão, fissuração, dentre outros. Segundo Scheffer *et.al*; (2016), os vergalhões podem ser constituídos de diversos materiais, como por exemplo o aço, a fibra de carbono e a fibra de vidro.

O tipo de vergalhão mais aplicado em construções é o de aço devido existir diversas indústrias que realizam sua fabricação, bem como seu baixo custo. Contudo um tipo de vergalhão que vem ganhando cada vez mais espaço no mercado é o polímero reforçado com fibra de vidro (PRFV), apesar de seu acesso ainda ser difícil, esse material já mostrou ser bastante promissor na construção civil em virtude de suas vantagens quando comparado ao de aço. Segundo Almeida *et.al* (2015), os vergalhões são fabricados em indústrias mini-mill, em que sua produção se dá a partir do processo de laminação a quente.

O uso do vergalhão com fibras de vidro vem como uma opção de barra em que a principal diferença com o de aço, segundo Peruzi (2007), é a sua resistência à corrosão mesmo em ambientes de extrema agressividade. Esse material ainda oferece vantagens no que diz respeito à economia, segurança, higiene, além de ser mais leve e 3 vezes mais resistente à tração do que a barra de aço, mesmo com todos os benefícios, o vergalhão de fibra de vidro ainda não é tão valorizado.

O objetivo deste artigo é analisar, através de uma revisão bibliográfica, os tipos de vergalhões fabricado em aço e fibra de vidro, discutir e apresentar suas propriedades mecânicas e químicas com o intuito de comparar as vantagens e desvantagens, bem como sua sugestão de uso.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Vergalhão de Aço

O concreto armado, que consiste em uma combinação do concreto com armaduras de aço é o eminente material mais utilizado pela construção civil no mundo; segundo BASTOS (2006) o concreto possui baixa resistência à tração, diferente do aço que possui uma alta resistência à tração, sendo assim o aço atua como um reforço, elevando assim a resistência do concreto.

O vergalhão de aço, também denominado de ferro de construção ou varão, é uma barra de aço em que podemos encontrar sua superfície lisa ou nervurada, como consta, respectivamente, nas Figuras 1 e 2:

Figura 1:Vergalhão de superfície lisa.



Fonte: DAROIT, 2012.

Figura 2 -Vergalhão de superfície nervurada.



Fonte: DAROIT, 2012.

A diferença entre esses dois tipos se dá durante a sua aplicação, no qual o de superfície nervurada é utilizado nas obras da construção civil, devido a sua aderência junto ao concreto, enquanto o de superfície lisa é voltado para as indústrias de pré-moldados.

## **2.2 Fabricação do Vergalhão de Aço**

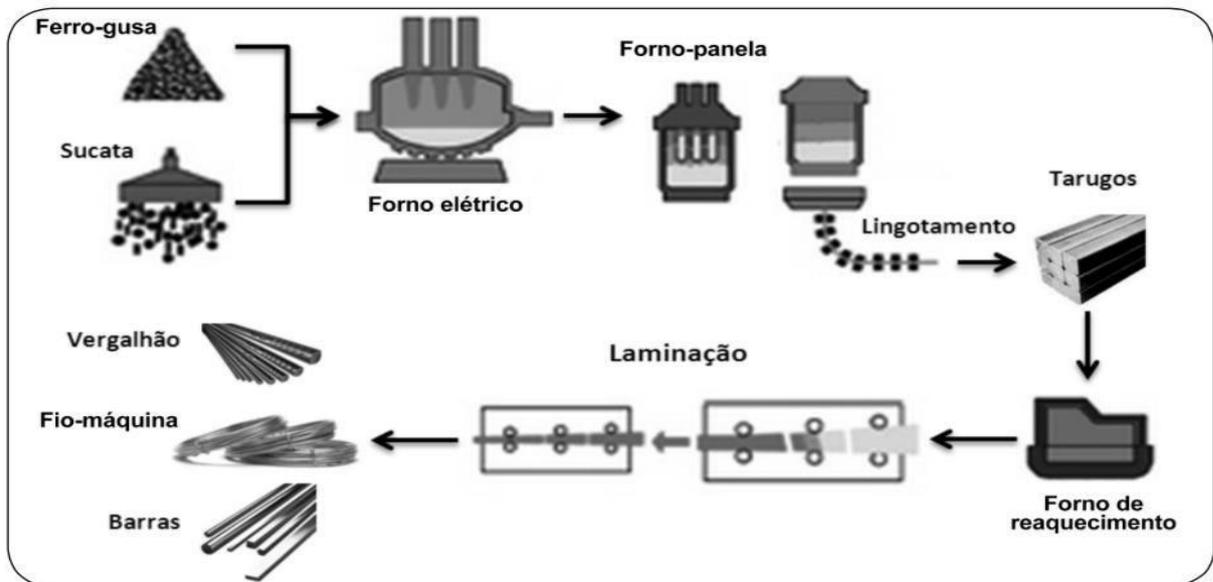
A produção do vergalhão no Brasil tem que atender a norma e todas as exigências já prescritas e descritas na norma brasileira, no qual: “Estabelece os requisitos exigidos para encomenda, fabricação e fornecimento de barras e fios de aço destinados a armaduras para estruturas de concreto armado, com ou sem revestimento superficial”; (NBR 7480; 2007).

Segundo a NBR 7480, são definidas algumas características obrigatórias para fabricação das barras de aço. Araújo (2021) cita que a produção do aço pode ocorrer

através de duas rotas: a integrada e a semi integrada. As usinas integradas operam em três fases básicas: redução, refino e laminação; e as usinas semi integradas operam em duas fases básicas: refino e laminação, ambas utilizam sucata metálica, ferro-gusa ou ferro esponja como insumo principal, os transformando em aço.

A produção dos vergalhões é executada nas usinas siderúrgicas e seu processo se dá conforme a Figura 3, que em resumo segue tais passos: a matéria-prima que vem a sucata ferrosa e ferro gusa, em seguida a aciaria elétrica que passa a fusão, refino e solidificação, próximo passo é o produto semiacabado, denominado tarugo, a partir daí vem a laminação que é o reaquecimento e conformação, e assim gera o produto, o vergalhão.

Figura 2: Processo de produção do vergalhão.



Fonte: CARVALHO, MESQUITA E ARAÚJO, 2015.

Peruzzi (2007) descreve algumas características do aço, como a boa ductilidade, a tenacidade e a alta resistência à tração, e ressalta que esse material é considerado versátil devido sua possibilidade de utilização em formas variadas. A adição das barras de aço nervurada ao concreto é denominada de concreto armado, no qual possibilita uma estabilidade a estrutura, como também é uma forma de construção rápida e de custo eficaz.

### 2.3 Vergalhão Revestido com Polímero de Fibra de Vidro

Como já mencionado anteriormente, o vergalhão é o elemento que tem a função de dar suporte para à estrutura de concreto, e como uma alternativa ao material feito de aço existem os vergalhões de FRP (Polímero Reforçados com Fibras), no qual sua classificação se dá devido o tipo de resina, fibra e superfície. O presente estudo irá abordar o Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP), que se trata do polímero reforçado com fibra de vidro, conforme ilustrado na Figura 4. O vergalhão possui a mesma funcionalidade, todavia possui algumas características distintas quando comparado ao vergalhão de aço. Mesmo não possuindo uma norma brasileira que rege o uso e aplicação desse material, MOURA (2021) cita que ele vem ganhando

cada vez mais aceitação no mercado da construção civil, devido sua relação qualidade/preço.

Figura 3: Vergalhão de Fibra de Vidro.



Fonte: BERTON, 2019.

Moura (2021) também explica que existem variados tipos de Fibras, e que além de naturais e sintéticas, elas podem ser classificadas também como animais, vegetais e minerais; ainda descreve que para a fabricação dos vergalhões de FRP é utilizado o tipo mineral sintético, e ressalta que são aplicadas geralmente nos setores industriais as de carbono, aramida e vidro. Além disso o autor descreve que esse tipo de fibra se distingue devido sua elevada resistência a tração e um menor módulo de elasticidade quando comparado as fibras de carbono e aramida (cerca de 80 Gpa).

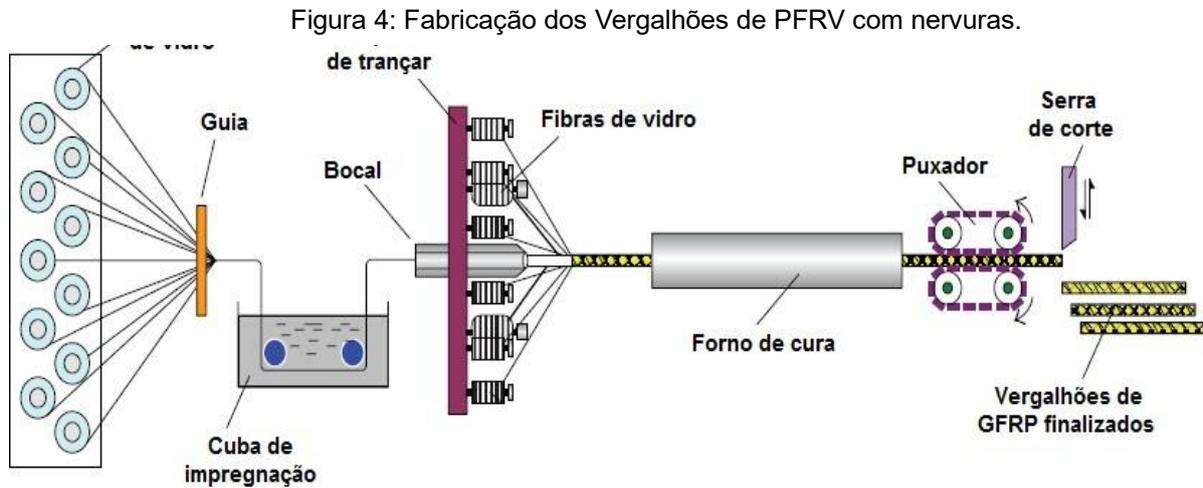
De acordo com Martynova e Cebula (2018), existe uma classificação a partir das propriedades específicas das fibras de vidro, que são:

- M (Modulus): alta elasticidade;
- C (Chemical): alta resistência química;
- E (Electrical): baixa condutividade elétrica;
- S (Strength): alta resistência;
- D (Dielectric): baixa constante dielétrica;
- A (Alkali): alto teor de metais alcalinos, vidro de cal e sódio;
- AR (Alkali resistant): alta resistência aos álcalis; e
- ECR (Electrical chemically resistant): alta resistência em ambientes com ácidos.

#### **2.4 Produção do Vergalhão Revestido com Polímero de Fibra de Vidro**

Segundo MOURA (2021), o processo de fabricação dos vergalhões de PRFV é através do método e pultrusão, no qual as fibras de vidros são tensionadas por uma máquina em direção a uma cuba de impregnação, em que uma resina líquida impregna as fibras, e ocorre uma combinação entre esses materiais, em seguida passa por um molde circular que confecciona a forma da seção transversal do vergalhão. E para os vergalhões com nervuras helicoidais, ocorre adição de fibras de

vidro na sua superfície, pelo mecanismo giratório, conforme pode ser visto na Figura 5, no qual após a adição, o material é aquecido, e finalizado com o processo de corte, conforme o comprimento desejado.



Fonte: MOURA, 2021.

### 3 METODOLOGIA

Para realização do presente trabalho, foi necessário um estudo através de livros, artigos, dissertações, trabalhos de conclusão de curso e pesquisas científicas nacionais e internacionais sobre o tema em questão; tudo para obter informações e resultados concretos que visassem enriquecer e formalizar um estudo comparativo entre os tipos de vergalhões já mencionados anteriormente.

Revisão sistemática em artigos nacionais e internacionais disponibilizados nas plataformas acadêmicas da Scielo, Ebsco e pesquisas através do Google Acadêmico. Para a realização do estudo, utilizou-se as seguintes palavras-chaves, conforme Tabela 1:

Tabela 1: Palavras-Chave.

1.	Vergalhão
2.	Fibra de Vidro
3.	Concreto Armado
4.	Vergalhão de Aço
5.	Vergalhão de Fibra de Vidro
6.	Vantagens
7.	Desvantagens

Fonte: PRÓPRIOS AUTORES.

O estudo mostrou as características de ambos os vergalhões, como também sua fabricação e aplicação, e partir daqui apresentará as vantagens e desvantagens de algumas propriedades importantes entre essas barras, e para isso foi primordial os

dados e resultados de algumas publicações acadêmicas, mas dando ênfase aos seguintes, conforme Tabela 2:

Tabela 2: Artigos destacados para realização do estudo.

Título	Autor	Ano	Localidade
Concreto com armadura de Fibra de Vidro	Lucas Carvalho Cateb	2011	Belo Horizonte
Avaliação de Resultados de Ensaios à Tração de Vergalhões de Fibra de Vidro e de Aço para o Uso no Grampeamento da Frente de Escavação de Túneis em Maciços Terrosos	Gustavo P.; Leonardo D.; Maria J.; Fernando L e Daniel K.	2016	Belo Horizonte
Análise da durabilidade de armaduras Poliméricas reforçadas com Fibras de vidro submetidas ao ambiente alcalino e a elevadas temperaturas	Ruan Carlos de Araújo Moura	2021	Salvador
Aplicação de Regressão Múltipla na análise de variáveis do processo de fabricação de vergalhões em uma indústria de aço	Lucas Batista	2021	São Paulo
Aplicação de Regressão Múltipla na análise de variáveis do processo de fabricação de vergalhões em uma indústria de aço	Matheus de Faria e Oliveira Barreto	2009	Minas Gerais

Fonte: PRÓPRIOS AUTORES.

Esse tópico consiste em uma revisão bibliográfica baseada em artigos acadêmicos. Onde apresenta as características dos materiais e resultados de ensaios em sub tópicos como:

1. Aderência da barra de PRFV ao concreto; onde descreve de que forma o concreto adere com o vergalhão de fibra de vidro.
2. Módulo de Elasticidade do PRFV; onde por meio de um ensaio, apresentará um “diagrama de tensão e deformação médias por diâmetro”, e os resultados para a deformação do material. Seguindo de um gráfico comparativo para descrever se o material é frágil ou dúctil.
3. Vantagens e desvantagens entre os vergalhões, onde apresentará as características entre os vergalhões e comparará ambos, bem como o resultado de um ensaio de resistência à tração. Além de um ensaio de Resistência à ruptura e apresentação de gráficos, para fortifica esse comparativo.

### 3.1 Aderência da Barra de Fibra de Vidro ao Concreto

Em uma estrutura os maiores esforços a serem combatidos são a tração e a compressão. O concreto tem boa resistência a compressão, mas não a tração, por

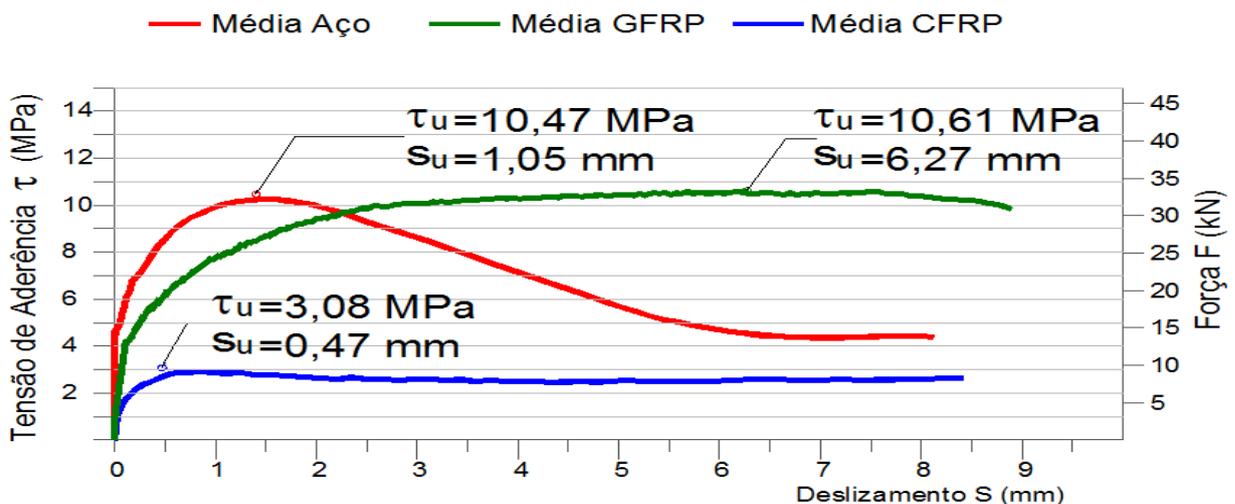
esse motivo foi necessário a utilização de um material que tivesse a capacidade de resistir a estes esforços, então o aço é bastante aplicado para solucionar essa situação (DURÃES e DURÃES; 2020).

No entanto o PRFV possui vários benefícios em relação ao aço, mas para que seja utilizado em estruturas de concreto armado é preciso saber como funciona sua aderência ao concreto. E para entender o comportamento dessa união Araújo (2017), em seu estudo, recorreu ao ensaio de arrancamento direto.

No estudo revisado feito por Araújo foi realizado o ensaio de arrancamento direto em nove corpos de prova com três materiais diferentes, sendo o vergalhão de fibra de carbono, fibra de vidro e aço para se ter um controle no ensaio, com o objetivo de verificar o comportamento de ligações desses materiais ao concreto. Como o objetivo deste trabalho é avaliar apenas a fibra de vidro em relação ao aço não vamos abordar os resultados da fibra de carbono. Na Figura 6, que relaciona tensão de aderência com o deslizamento, podemos notar que tanto o aço quanto a fibra de vidro possuem altos valores de tensão de aderência, porém a fibra de vidro tem um deslizamento maior que o aço antes de atingir sua tensão de aderência máximo.

Figura 6: Tensão da aderência versus deslizamento entre os três tipos de barras: Aço, PRFV e PRFC.

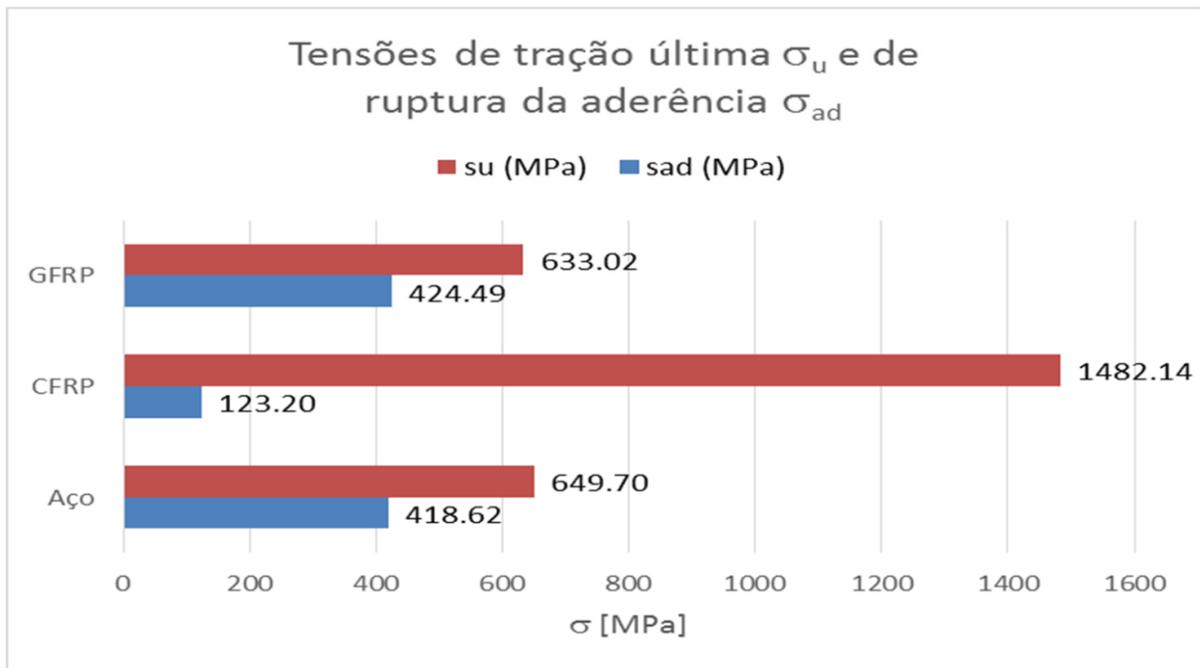
### Aderência Barras de Aço, GFRP e CFRP



Fonte: ARAÚJO, 2017.

E na Figura 7 podemos ver a comparação entre a tensão de ruptura dos materiais com a tensão de ruptura de arrancamento, o que indica que os materiais apresentados podem ocorrer ruptura por tração antes que haja a ruptura de aderência, e mostra que os resultados de arrancamento do PRFV é similar ao de aço.

Figura 7: Tensões de tração na barra, ruptura da barra versus ruptura da aderência.

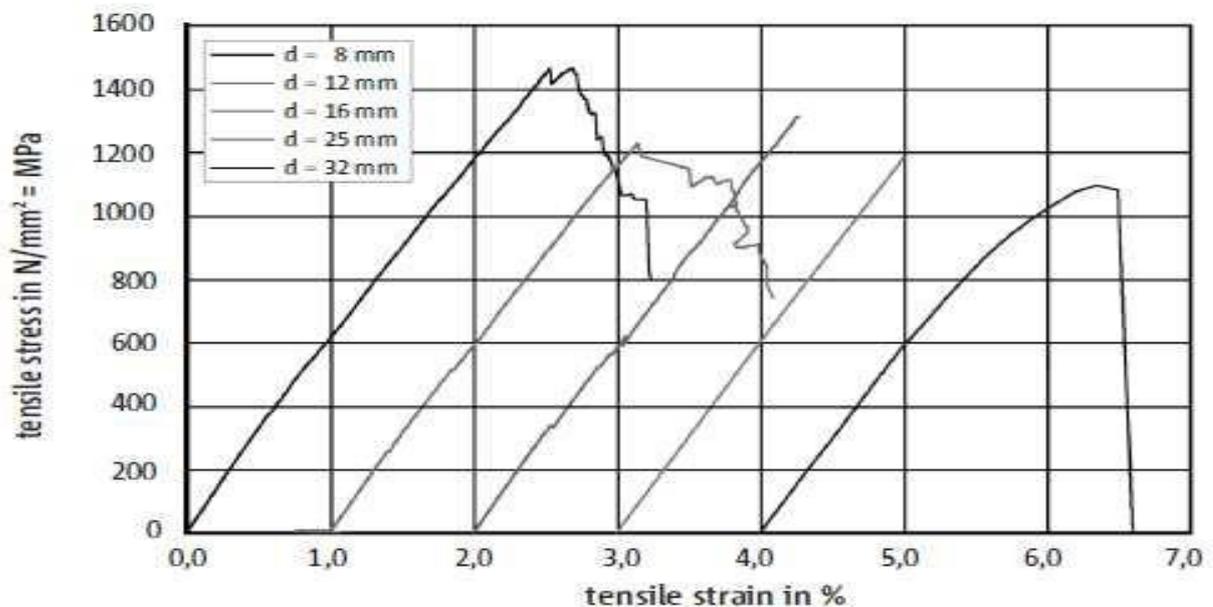


Fonte: ARAÚJO, 2017.

### 3.2 Módulo de Elasticidade do PRFV

O módulo de elasticidade, segundo Pacheco et.al (2014), é, em definição, a razão entre uma força aplicada sobre um determinado corpo, e a deformação observada nele. A Figura 8 apresentada a seguir, é uma resolução de um ensaio realizado entre tensão-deformação por diâmetro. Neste diagrama é possível observar que no PRFV ocorre um rompimento súbito, em todos os diâmetros testados, em outras palavras percebe-se que esse material é considerado frágil devido possuir um baixo módulo de elasticidade que, em média, é de 55 Gpa.

Figura 8: Diagrama de tensão e deformação médias por diâmetro.



Fonte: CATEB, 2011.

Araújo (2017) em seu estudo, apresentou uma tabela retratando algumas propriedades físicas do aço, sendo uma dessas o módulo de elasticidade, o qual nos interessa. Com os resultados referentes a ela visualizados na Tabela 3, podemos observar que o módulo de elasticidade do aço tem uma média muito superior a fibra de vidro.

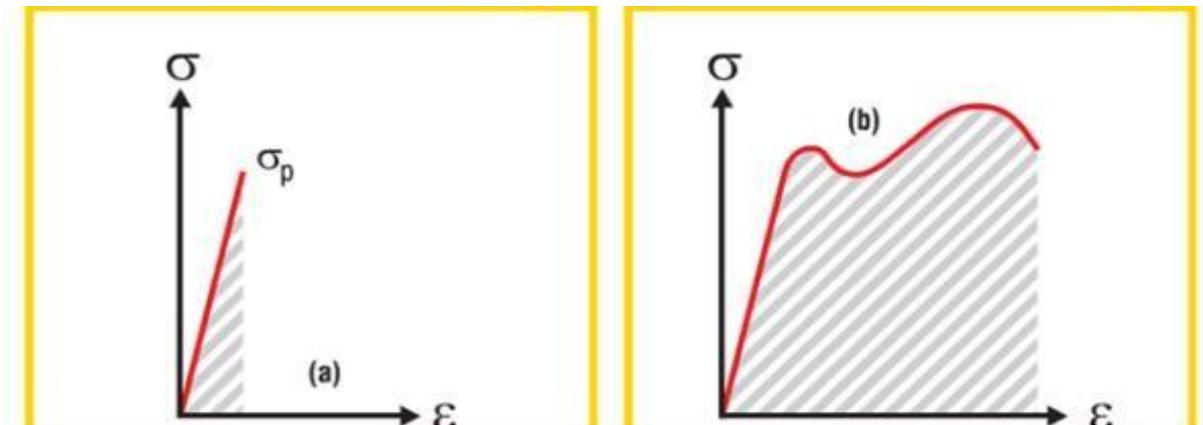
Tabela 3: Resumo dos dados do ensaio de tração para barras de aço.

Propriedade	Unid.	CP 01	CP 02	CP 03	Média	Desvio Padrão	Coef. de Variação
Módulo de elasticidade	GPa		194,27	223,67	208,97	20,79	0,10
Resistencia de escoamento $\sigma_y$	MPa	645,54	678	625,56	649,7	26,47	0,04
Def. esp. escoamento*	‰	2,40	3,20	2,80	2,80	0,4	0,14
Resistencia última à tração $\sigma_u$	MPa	824,09	862,8	742,92	809,94	61,18	0,08
Def. esp. última à tração*	‰	24,64	23,99	24,65	24,43	0,38	0,02

Fonte: ARAÚJO, 2017.

E podemos atestar que ao comparar o diagrama da Figura 8 com a Figura 9 mostrada abaixo que o PRFV é um material pultrado ao ver que quando solicitado às cargas o material sofre pequena deformação e logo então é rompido sem apresentar limite de escoamento e rompendo em seu limite elástico.

Figura 9: Comparativo entre material frágil e dúctil.



Fonte: VARES, 2019.

### 3.3 Vantagens e Desvantagens entre os Vergalhões

Na Tabela 4 são apresentadas características interpondo as vantagens e desvantagens entre os vergalhões de fibra de vidro e de aço.

Tabela 4: Vantagens e desvantagens.

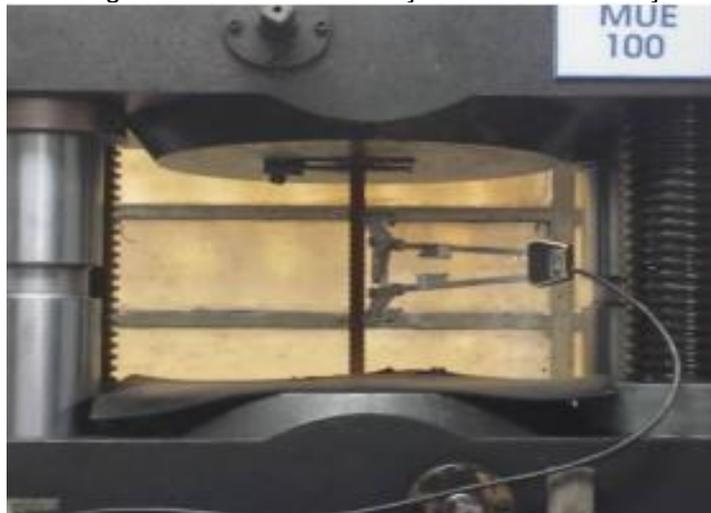
Resumo das Vantagens e Desvantagens do Vergalhão de Fibra de Vidro em Relação ao de Aço.
--

Vantagens	Tensão de ruptura superior ao aço apresentando maior resistência a tração; O vergalhão de fibra de vidro possui maior resistência a corrosão em relação ao aço; É mais leve que o aço.
Desvantagens	Não tem uma norma específica para uso dos vergalhões de fibra de vidro em estruturas.

Fonte: PRÓPRIOS AUTORES.

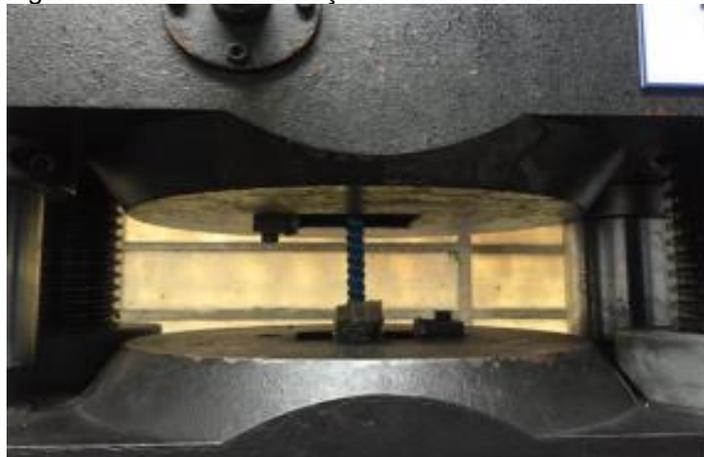
Quanto a tensão a ruptura das barras de PRFV, demonstram superioridade às barras de aço. Em sua pesquisa para avaliar os resultados de tração entre os dois tipos de barras anteriormente citados, os pesquisadores Scheffer *et.al* (2016) realizaram o ensaio de tração utilizando os dados da NBR ISO 6892-1, que determina os métodos para ensaio de tração para materiais metálicos. Porém, em decorrência de não existir uma norma pela ABNT para este ensaio em materiais de fibra de vidro, foi utilizada a mesma norma regulamentadora de tração em materiais metálicos. Neste ensaio foram avaliadas a resistência a tração de cinco barras de aço e seis barras de fibra de vidro, como é apresentada, respectivamente, nas figuras 10 e 11.

Figura 10: Resistência à tração com barras de aço.



Fonte: SCHEFFER, 2016.

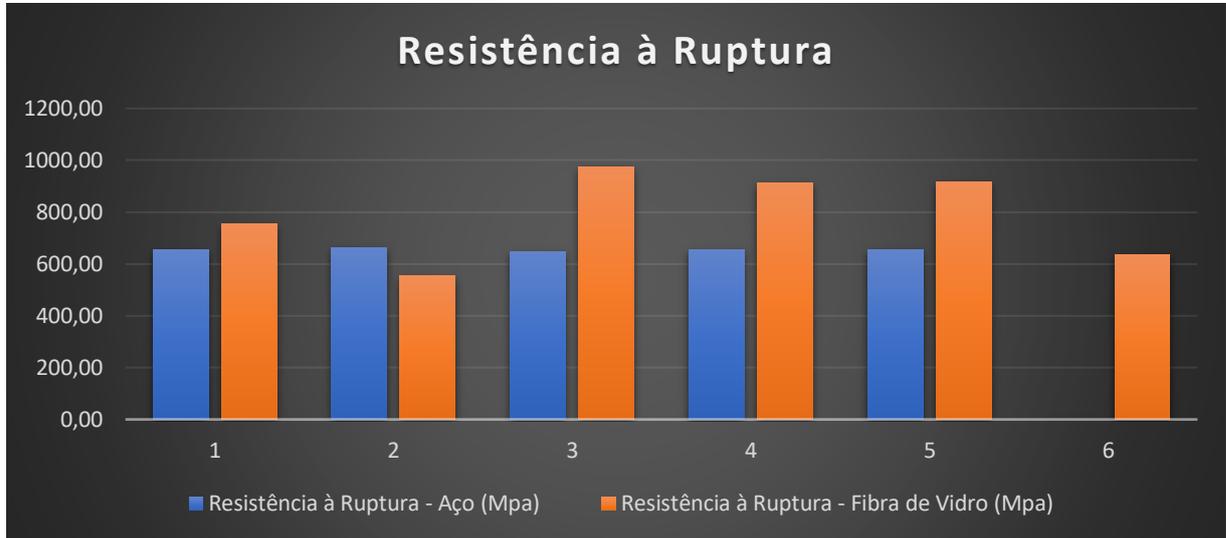
Figura 11: Resistência à tração com barras de fibra de vidro.



Fonte: SCHEFFER, 2016.

No Gráfico 1 é possível visualizar os resultados obtidos, onde a resistência de ruptura da fibra de vidro é cerca de 1,5 vezes maior comparado ao aço, mostrando sua superioridade em relação ao outro material.

Gráfico 1: Resistencia à Ruptura.



Fonte: ADAPTADO DE SCHEFFER, 2016.

De acordo com Brown *et.al.* (2016), em decorrência de uma reação química com substâncias que são encontradas no meio ambiente, os compostos metálicos sofrem a corrosão que, em barras de aço, são capazes de diminuir a seção do vergalhão e comprometer a peça estrutural. Como a fibra de vidro é um material polimérico, elemento este que é sabido por possuírem resistência à corrosão, previne uma patologia responsável principal por causar colapsos estruturais. Pfeil; (2009).

De acordo com a NBR 7480 a densidade das barras de aço usadas em estruturas de concreto armado é de aproximadamente  $7850 \text{ kg/m}^3$  enquanto a densidade das barras de fibra de vidro varia entre  $1250$  e  $2100 \text{ kg/m}^3$  (MOURA, 2021), o que faz com que as construções se tornem mais leves diminuindo os esforços que as estruturas tenham que suportar.

Em seu estudo comparativo das barras de aço e de fibra de vidro Matias e Romanichen (2020) decidiram um projeto base de um sobrado onde foi dimensionado a sua estrutura para ambos os tipos de vergalhões. Para determinar os carregamentos atuantes na estrutura foi utilizado a NBR 6120, já para dimensionar as armaduras de aço foi utilizado a NBR 6118:2014, porém as armaduras de fibra de vidro foram dimensionadas a partir da norma norte americana ACI 440.1 R-15. Ao final de todos os cálculos, apesar de a fibra de vidro apresentar maior resistência a tração em relação ao aço, os diâmetros utilizados para o dimensionamento das barras de fibra de vidro foram maiores que os aço devido a norma norte americana exigir um coeficiente de segurança superior a norma brasileira.

#### 4. CONCLUSÃO

A partir dos resultados e discussões apresentados anteriormente, podemos chegar as seguintes conclusões entre esse estudo do vergalhão de aço estrutural e o vergalhão revestido com fibras de vidro, no qual o estudo apontou algumas características de ambos os tipos, bem como definição e produção no Brasil. E a partir desse comparativo concluiu que:

- O PRFV não apresenta grandes diferenças em relação ao aço quando aplicado no concreto armado, o que é um indicativo de que o vergalhão de fibra de vidro resiste aos esforços similarmente ao aço estrutural nesta ligação entre concreto e armadura.
- O vergalhão revestido com polímero de fibras de vidro apresenta grandes vantagens de uso na construção civil quando comparado ao vergalhão de aço. Foi observado que os vergalhões de PRFV possuem uma resistência à tração superior ao de aço, contudo, apresentam nenhuma deformação plástica e um menor módulo de elasticidade isso pode ser confirmado visualizando os resultados obtidos com o ensaio.
- Como o PRFV possui maior resistência a ruptura em relação ao aço pode ser possível utilizar ele em bitolas menores que o aço, mas é necessário fazer maiores estudos para determinar uma margem de segurança, principalmente pelo motivo do PRFV demonstrar ser um material frágil.
- No que diz respeito à corrosão pode ser observado que nessas situações o aço precisa de maiores espessuras de revestimento, o que para o PRFV poderia ser reduzido podendo ser feita uma análise desse material para essas situações e ainda podendo aumentar o tempo de vida útil das estruturas diminuindo o custo com recuperações estruturais e amenizar os problemas patológicos, e pelo fato de não sofrer corrosão, pode ser muito bem aplicado em ambientes de extrema agressividade como por exemplo em orlas marítimas.
- Mesmo com todas as vantagens características físicas e químicas, o Brasil não dispõe de uma norma técnica para aplicação em estruturas e na fabricação desse tipo de material, fazendo com quem deseje utilizá-lo usar normas como a ACI 440.1R-15 onde foi possível verificar que foi necessário um diâmetro maior em relação ao aço. Esse tipo de barreira, assim como a falta de estudos acessíveis e de fácil compreensão sobre a durabilidade do PRFV (BENMOKRANE *et al.*, 2003), vem dificultando a aplicação em obras.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: **Projeto de estruturas de concreto — Procedimento**. Rio de Janeiro: Abnt, 2014. 238 p. Disponível em: [https://www.galaxcms.com.br/up\\_arquivos/1149/NBR61182014-20190807180913.pdf](https://www.galaxcms.com.br/up_arquivos/1149/NBR61182014-20190807180913.pdf). Acesso em: 01 maio 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA NORMAS TÉCNICAS. NBR 6120: **Ações Para o Cálculo de Estruturas de Edificações**. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2018. Disponível em: <https://www.studocu.com/pt-br/document/universidade-federal-de-pernambuco/concreto/nbr-6120-2019-norma-tecnica/11725436>. Acesso em: 02 maio 2022.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. ACI 440.1R-15: Guide for the Design and Construction Structural Concrete Reinforced with Fiber-Reinforced Polymer (FRP) Bars. Farmington Hills: Aci, 2015. 83 p. Disponível em: [https://basalt-fibers.com/wp-content/uploads/2021/05/Standart\\_ACI-4401R15.pdf](https://basalt-fibers.com/wp-content/uploads/2021/05/Standart_ACI-4401R15.pdf). Acesso em: 06 maio 2022.

ARAÚJO, Igor Saraiva de. **PRODUÇÃO BRASILEIRA DE AÇO E A COMPETITIVIDADE DO BRASIL NO PERÍODO DE 2016 A 2018**. 2021. 64 f. TCC (Graduação) - Curso de Relações Internacionais, Escola de Direito e Relações Internacionais da Pontifícia, Universidade Católica de Goiás, Goiânia, 2021. Disponível em: <https://repositorio.pucgoias.edu.br/jspui/handle/123456789/2219>. Acesso em: 19 maio 2022.

ARAÚJO, Marcos León. **Estudo Experimental da Aderência entre o Concreto e Barras de Aço, de Compósito de Fibras de Vidro e de Compósito de Fibras de Carbono**. 2017. 97 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2017. Disponível em: <http://virologia.sites.uff.br/wp-content/uploads/sites/461/2021/09/ESTUDO-EXPERIMENTAL-DA-ADR%C3%80NCIA-ENTRE-O-CONCRETO-E-BARRAS-DE-A%C3%87O-DE-COMPOSITOS-DE-FIBRA-DE-VIDRO-E-COMPOSITOS-DE-FIBRAS-DE-CARBONO.pdf>. Acesso em: 08 maio 2022.

BASTO, Paulo Sérgio dos Santos. **Fundamentos do Concreto Armado**. Bauru: Universidade Estadual Paulista, 2006. 92 p. Disponível em: <https://coral.ufsm.br/decc/ECC1006/Downloads/FUNDAMENTOS.pdf>. Acesso em: 20 maio 2022.

BARRETO, Matheus de Faria e Oliveira. **Características Mecânicas de Vergalhões de Aço Auto-Revenido**. 2009. 129 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Construção Civil, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009. Disponível em: [https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/ISMS-837LJQ/1/disserta\\_o\\_matheus\\_de\\_faria\\_2009.pdf](https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/ISMS-837LJQ/1/disserta_o_matheus_de_faria_2009.pdf). Acesso em: 19 maio 2022.

BENMOKRANE, Brahim *et al.* Durability Gap Analysis for Fiber-Reinforced Polymer Composites in Civil Infrastructure. **Jornal Of Composites For Construction**. Gaithersburg, p. 237-247. ago. 2003. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/228850764\\_Durability\\_Gap\\_Analysis\\_for\\_Fiber-Reinforced\\_Polymer\\_Composites\\_in\\_Civil\\_Infrastructure](https://www.researchgate.net/publication/228850764_Durability_Gap_Analysis_for_Fiber-Reinforced_Polymer_Composites_in_Civil_Infrastructure). Acesso em: 28 maio 2022.

BERTON, Kauana Moraes. **INVESTIGAÇÃO TEÓRICO-EXPERIMENTAL DE VIGAS ARMADAS COM BARRAS DE POLÍMERO REFORÇADO COM FIBRA DE VIDRO (PRFV) SUBMETIDAS À FLEXÃO**. 2019. 62 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2019. Disponível em: [https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/23480/Berton\\_Kauana\\_Moraes\\_2019\\_TCC.pdf?sequence=1](https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/23480/Berton_Kauana_Moraes_2019_TCC.pdf?sequence=1). Acesso em: 20 maio 2022.

BROWN, T.L *et al.* **QUÍMICA: a ciência central**. 13. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2016.

CATEB, Lucas Carvalho. **Concreto com Armadura de Fibra de Vidro**. 2011. 31 f. TCC (Graduação) - Curso de Construção Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011. Disponível em:

[https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/23480/Berton\\_Kauana\\_Moraes\\_2019\\_TCC.pdf?sequence=1](https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/23480/Berton_Kauana_Moraes_2019_TCC.pdf?sequence=1). Acesso em: 21 maio 2022.

CARVALHO, P. S. L.; MESQUITA, P. P. D.; ARAÚJO, E. D. G. **Sustentabilidade da siderurgia brasileira: eficiência energética, emissões e competitividade**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, 41, p.181-236, 2015. Disponível em:

<[https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/4287/2/B%2041%20Sustentabilidade%20da%20siderurgia%20brasileira\\_.pdf](https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/4287/2/B%2041%20Sustentabilidade%20da%20siderurgia%20brasileira_.pdf)>. Acesso em: 01/05/2021.

CARVALHO, A. - **Fibras de vidro**. São Paulo: EPUSP Simpósio Internacional sobre materiais reforçados com fibras para construção civil, anais, 1993.

DAROIT, Mateus. **ESTUDO DE AÇO MICROLIGADO AO VANÁDIO PARA A PRODUÇÃO DE BARRA NERVURADA PARA CONCRETO ARMADO COM CARACTERÍSTICA DE SOLDABILIDADE SEGUNDO NORMA ABNT NBR 8965:1985**. 2012. 70 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

MATIAS, Pedro Henrique Peixoto; ROMANICHEN, Romulo Menck. **COMPARATIVO ENTRE O USO DE BARRAS DE AÇO E BARRAS DE POLÍMERO REFORÇADO COM FIBRA DE VIDRO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO**. In: COLETÂNEA DE ESTUDOS EM ENGENHARIA CIVIL, 1., 2020, Maringá. Coletânea. Maringá: Uningá, 2020. p. 166-184. Disponível em: <https://uninga.br/hotsite/coletanea-de-estudos-em-engenharia-civil/>. Acesso em: 02 maio 2022.

MARTYNOVA, E.; CEBULLA, H. Glass Fibers. In: MAHLTIG, B.; KYOSEV, Y. **Inorganic and Composite Fibers**, Elsevier, p. 131 – 163, 2018.

MOURA, Ruan Carlos de Araújo. **Análise da Durabilidade de Armaduras Poliméricas Reforçadas com Fibra de Vidro Submetidas ao Ambiente Alcalino e a Elevadas Temperaturas**. 2021. 176 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2021. Disponível em: [https://oasisbr.ibict.br/vufind/Record/UFBA-2\\_146bd87cf7da2c0d90c8ecc463026e04](https://oasisbr.ibict.br/vufind/Record/UFBA-2_146bd87cf7da2c0d90c8ecc463026e04). Acesso em: 11 maio 2022.

PACHECO, Jéssika et al. **Considerações Sobre o Módulo de Elasticidade do Concreto**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 56., 2014, Natal. Congresso Brasileiro do Concreto. 2014: Ibracon, 2014. p. 1-14. Disponível em: <https://www.phd.eng.br/wp-content/uploads/2014/06/269.pdf>. Acesso em: 24 maio 2022.

PFEIL, W.; PFEIL, M. **Estruturas de aço: dimensionamento prático**. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

PERUZZI, Antônio de Paulo. **Estudo das Alternativas de Uso da Fibra de Vidra Sem Características Álcali Resistente em Elementos Construtivos de Cimento Portland**. 2007. 182 f. Tese (Doutorado) - Curso de Arquitetura e

Urbanismo, Escola de Engenharia de São Paulo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007. Disponível em: [https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18141/tde-09022008-103643/publico/Tese\\_peruzzi.pdf](https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18141/tde-09022008-103643/publico/Tese_peruzzi.pdf). Acesso em: 12 maio 2022.

SCHEFFER, Daniel kashiwamura et al. **Avaliação de Resultados de Ensaio à Tração de Vergalhões de Fibra de Vidro e de Aço para o Uso no Grampeamento da Frente de Escavação de Túneis em Maciços Terrosos**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MECÂNICA DAS ROCHAS, 07., 2016, Belo Horizonte. Conferência. São Caetano do Sul: [S.N.], 2016. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/315834700\\_Avaliacao\\_de\\_Resultados\\_de\\_Ensaio\\_a\\_Tracao\\_de\\_Vergalhoes\\_de\\_Fibra\\_de\\_Vidro\\_e\\_de\\_Aco\\_para\\_o\\_Uso\\_no\\_Grampeamento\\_da\\_Frente\\_de\\_Escavacao\\_de\\_Tuneis\\_em\\_Macicos\\_Terrosos](https://www.researchgate.net/publication/315834700_Avaliacao_de_Resultados_de_Ensaio_a_Tracao_de_Vergalhoes_de_Fibra_de_Vidro_e_de_Aco_para_o_Uso_no_Grampeamento_da_Frente_de_Escavacao_de_Tuneis_em_Macicos_Terrosos). Acesso em: 08 maio 2022.

SILVA, Fernanda Afonso. **UTILIZAÇÃO DO AÇO CORTADO E DOBRADO NA CONSTRUÇÃO CIVIL**. Construindo, Belo Horizonte, v. 12, n. 1, p. 76-96, 3 jun. 2020. Semestral. Disponível em: <http://revista.fumec.br/index.php/construindo/article/view/5044>. Acesso em: 12 maio 2022.

VARIS, Rhaissa Salamoni. **Estudo do Reforço à Flexão de Vigas Biapoiadas em concreto Armado com Barras de Fibra de Vidro**. 2019. 168 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/200200>. Acesso em: 18 maio 2022.