



**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

MURILO SHOZI DE SOUZA KASAI

ARMADURA DE FIBRA DE VIDRO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

**Ilha Solteira - SP
2022**



**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira**

MURILO SHOZI DE SOUZA KASAI

ARMADURA DE FIBRA DE VIDRO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira –
Unesp como parte dos requisitos para obtenção
do título de Engenheiro Civil

Jorge Luis Akasaki
Orientador

**Ilha Solteira - SP
2022**

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

K19a Kasai, Murilo Shoji de Souza.
Armadura de fibra de vidro em estruturas de concreto armado / Murilo Shoji de Souza Kasai. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2022
36 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2022

Orientador: Jorge Luis Akasaki
Inclui bibliografia

1. Fibra de vidro. 2. PRFV. 3. Concreto armado. 4. Reforço.


Raiane da Silva Santos

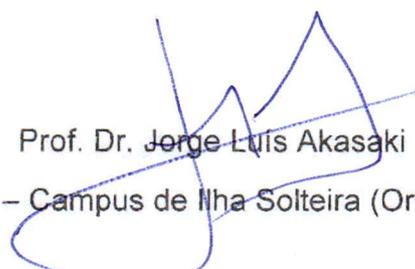
FOLHA DE APROVAÇÃO

Aluno: MURILO SHOZI DE SOUZA KASAI

Titulo: "ARMADURA DE FIBRA DE VIDRO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO".

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado como parte dos requisitos para obtenção do grau de Engenheiro Civil, junto ao Curso de Graduação em Engenharia Civil, da Faculdade de Engenharia da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Campus de Ilha Solteira

COMISSÃO EXAMINADORA



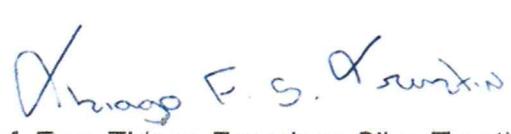
Prof. Dr. Jorge Luis Akasaki

UNESP – Campus de Ilha Solteira (Orientador)



Prof. Dr. José Luiz Pinheiro Melges

UNESP – Campus de Ilha Solteira



Prof. Eng. Thiago Francisco Silva Trentin

Prof. Eng. Thiago Francisco Silva Trentin

Examinador

Ilha Solteira

13/12/2022

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais, Sandra e Carlos, por me criarem e educarem, apoiando sempre minhas decisões.

Ao meu irmão Matheus, por sempre cuidar de mim nos momentos necessários.

A minha namorada Isabela, que me inspira e me motiva a sempre seguir meus objetivos.

Aos meus amigos, que compartilharam os seus bons e maus momentos ao longo do curso e da vida.

Ao professor Jorge Luis Akasaki, por se disponibilizar a me auxiliar e orientar neste trabalho.

À UNESP, por possibilitar todas as experiências, conhecimento e vivência durante todo período de curso.

À todos, meu muito obrigado.

RESUMO

O trabalho contempla uma pesquisa bibliográfica que visa esclarecer ao leitor sobre a viabilidade de utilizar vergalhões de polímero reforçado com fibra de vidro (PRFV) no lugar do aço convencional em estruturas de concreto armado. Para isso, foram necessárias diversas fontes nacionais e internacionais para analisar as características e funcionalidades do material em meio à construção civil e suas vantagens e desvantagens frente a reforços metálicos, além de suas principais características e propriedades, como resistência à tração e a agentes agressivos do meio ambiente. Embasado nos materiais utilizados, foi possível entender as dificuldades que a utilização do PRFV pode trazer as construções devido ao seu baixo módulo de elasticidade, fazendo com que seu cálculo estrutural seja governado pela ruptura frágil da estrutura. Como resultado, tem-se que a utilização desse material ainda necessita de uma norma nacional que facilite seu dimensionamento, e que seu uso traz múltiplos benefícios estruturais e financeiros, mas deve-se observar que não é vantajoso fazer a alteração do aço por PRFV em todos os tipos de estrutura.

Palavras-chave: Barras de fibra de vidro. Perfis pultrudados. PRFV. Reforço. Resistência. Vergalhão.

ABSTRACT

The work is bibliographic research that aims to clarify the reader about the feasibility of using glass fiber reinforced polymer rebars instead of conventional steel in reinforced concrete structures. For this, several national and international sources were necessary to analyze the characteristics and functionalities of the material during civil construction and its advantages and disadvantages against metallic reinforcements, in addition to its main characteristics and properties, such as tensile and weather resistance. Based on the materials used, it was possible to understand the difficulties that the use of fiberglass can bring to constructions due to its low modulus of elasticity, which makes its structural calculation governed by the fragile rupture of the structure. As a result, the use of this material still needs a national standard that facilitates its structural design, and that its use has multiple benefits both structurally and financially, but it should be noted that is not interesting to change the steel reinforcement for fiberglass in all types of structure.

Keywords: Fiberglass bars. GFRP. Pultruded fiberglass. Rebar. Reinforce. Strength.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	6
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	7
2.1 DEFINIÇÕES E CARACTERÍSTICAS DAS FIBRAS DE VIDRO	8
2.2 CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS	9
3. BARRAS DE FIBRA DE VIDRO.....	13
3.1 TENSÕES DE RUPTURA E MÓDULO DE ELASTICIDADE.....	13
3.2 DENSIDADE.....	14
3.3 FLUÊNCIA	14
3.4 ADERÊNCIA.....	15
3.4.1 TIPOS DE ADERÊNCIA	17
3.5 FISSURAÇÕES DE ESTRUTURAS	18
4. APLICAÇÕES NA ENGENHARIA CIVIL.....	23
5. DIMENSIONAMENTOS DE ESTRUTURAS ARMADAS COM FIBRA DE VIDRO	26
6. CONCLUSÃO	30
7. REFERÊNCIAS.....	32

1. INTRODUÇÃO

Desde o início das civilizações, os seres humanos buscam constantemente por materiais e técnicas que possam proporcionar melhor conforto, segurança e praticidade, no cenário da construção civil isso não é diferente. A evolução dos materiais utilizados nas edificações proporciona cada vez mais resistência e durabilidade, sendo a utilização de fibra de vidro em estruturas de concreto armado uma das alternativas estudadas que pode fazer parte dessa evolução.

Atualmente, o aço é um dos materiais mais utilizados como reforço de estruturas de concreto no Brasil. Isso se deve por ser um material que apresenta diversas características positivas para a construção civil, são materiais homogêneos e possuem boa resistência à compressão, à tração e à flexão. No entanto, devido às propriedades físicas deste material, seus atributos podem ser facilmente alterados por meio de intervenções de temperatura e por processos químicos, fazendo-se necessário um aprimoramento no material de reforço utilizado. (RAMESH et al., 2020).

Apesar das qualidades do aço, as edificações costumam apresentar diversas patologias e muitas delas devido às deficiências que a armadura apresenta. Por ser um material composto de ligas metálicas, o aço apresenta características como corrosão por oxidação, alta condutibilidade e dilatação térmica, por vezes essas propriedades acabam sendo vilãs das estruturas de concreto armado. Sabendo disso, reforçar, reparar e renovar é necessário com frequência para que as estruturas fiquem protegidas e atendam aos requisitos de resistência, aumentando assim a vida útil do empreendimento (ABBOOD et al., 2021).

Em meio à busca por soluções para sanar as dificuldades causadas pela fragilidade do aço e como forma de alternativa para as construções civis, a utilização de fibras de vidro vem se tornando uma opção viável para as estruturas de concreto armado. Os vergalhões de fibra de vidro, também denominados como Polímero Reforçado de Fibra de Vidro (PRFV), são conhecidos por apresentarem resistência elevada a tração e serem extremamente seguros com relação às variações físico-químicas do meio.

Os vergalhões de PRFV apresentam resistência à tração superior à do aço e suportam as intervenções do meio, como temperatura e processos químicos, sem trazer nenhum risco à estrutura. No entanto, seu módulo de elasticidade é bem inferior ao do aço, o que faz com que a estrutura tenha um comportamento elástico, diferente de como ocorre com armação convencional onde se tem o escoamento do mesmo. Essas diferenças são evidenciadas na norma americana ACI 440.1R-2015.

Devido a essa diferença no módulo de elasticidade, as estruturas de PRFV costumam apresentar grandes deformações elásticas, principalmente em elementos estruturais como vigas (ATTIA et al., 2019), o que faz com que as peças estruturais apresentem fissurações excessivas no concreto. Por esse motivo, o cálculo estrutural para dimensionamento costuma ser mais crítico por meio do Estado Limite de Serviço, mas também deve ser verificado pelo Estado Limite Último.

Por se tratar de uma inovação tecnológica, no Brasil há poucas estruturas que utilizam os vergalhões de fibra de vidro. Contudo, considerando o crescente cenário da construção civil, o PRFV é um material provável de substituir o aço em diversos tipos de estruturas, é de fácil manuseio, leve e possui características indispensáveis para reforçar uma estrutura de concreto.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os vergalhões de fibra de vidro são elementos considerados compósitos, ou seja, são materiais compostos pela combinação de dois ou mais materiais distintos, podendo suas propriedades variar de acordo com a quantidade de cada componente. Eles são produzidos pela combinação da fibra com uma matriz formada por polímeros, podendo ser adicionado diferentes tipos de aditivos que fornecem características de resistência e durabilidade. Neste estudo iremos considerar apenas os polímeros reforçados com fibra de vidro, porém, é importante ressaltar que existem polímeros reforçados com fibra de carbono, aramida e basalto. Considerando o contexto da construção civil, é de grande interesse a utilização da fibra de vidro em relação às alternativas por possuir um menor preço se comparado aos demais elementos.

A matriz polimérica é responsável por integrar e transmitir as tensões nas fibras e garante a proteção das mesmas contra danos por abrasão, impacto e

exposição a condições severas. Por isso, a escolha da matriz utilizada é fundamental para as propriedades físicas, químicas, térmicas e mecânicas dos PRFV (Polímeros reforçados com fibra de vidro). Existem duas classificações para as matrizes poliméricas, as termorrígidas e a termoplásticas.

As matrizes termorrígidas são polímeros cuja rigidez não se altera com a temperatura, diferente do que ocorre com as termoplásticas, que se fundem dependendo da temperatura. Essa característica deste tipo de matriz se dá pelo processo químico de ligação entre moléculas lineares, produzindo polímeros tridimensionais com alta massa molar, conhecido como processo de reticulação.

Em aplicações estruturais, as matrizes termorrígidas são as mais utilizadas para fabricação de PRF (polímeros reforçados com fibra), podendo ser epóxi, vinil éster e poliéster. Podem apresentar propriedades físicas sólidas, líquidas e pastosas a temperatura ambiente (AMRAN et al., 2018).

2.1 Definições e características das fibras de vidro

Há diversos tipos de fibras disponíveis no mercado, tais como: carbono, vidro, aramida e basalto. No entanto, a fibra de vidro é a mais utilizada para as diversas aplicações industriais, sendo muito difundida na engenharia civil por proporcionar uma relação vantajosa de custo e benefício. Em uma perspectiva geral, os vergalhões de fibra de vidro possuem uma elevada resistência mecânica à tração, resistência à água e à elementos químicos, além de um custo relativamente baixo (ABBOOD et al., 2021). Assim, em relação aos demais elementos, o PRFV apresenta maior resistência à tração que os vergalhões de aço comumente utilizados nas construções civis e um menor módulo de elasticidade. Além disso, a expansão térmica das barras de fibra de vidro se assemelha com a do aço.

Segundo Henin e Morcoux (2021), o uso das barras de polímero reforçado com fibra de vidro vem aumentando significativamente graças às características essenciais que apresentam, como: leveza, resistência à corrosão, neutralidade eletromagnética e alta resistência à tração.

Conforme Martynova e Cebula (2018), existem diversos tipos de fibras de vidro presentes no mercado, cada tipo com características e especificações

diferentes, e classificadas de acordo com suas propriedades como pode-se identificar na Tabela 1.

Tabela 1 – Tipos de fibra e suas propriedades

TIPO DE FIBRA DE VIDRO	PROPRIEDADE
E	Baixa condutividade elétrica
A	Alto teor de metais alcalinos, vidro de cal e sódio
C	Alta resistência química
S	Alta resistência
M	Alta elasticidade
D	Baixa condutividade dielétrica
AR	Alta resistência aos álcalis
ECR	Alta resistência em ambientes com ácidos.

Fonte: Elaborado pelo Próprio autor.

Outra propriedade importante em relação ao PRFV é seu módulo de elasticidade, que pode variar de acordo com o tipo de fibra utilizado e do processo de fabricação adotado, diferente dos vergalhões convencionais de aço, os quais podemos considerar o mesmo módulo de elasticidade de diferentes fornecedores, como demonstrou pesquisa feita por El-Hassan et al. (2018).

Além disso, os vergalhões de fibra de vidro são opções com peso específico muito inferior se comparado com aço, podendo ser até 80% mais leve, trazendo praticidade para o transporte e manuseio do material, e com isso diminuindo consideravelmente o peso das estruturas. Outra vantagem se comparado ao aço está relacionada ao armazenamento deste material, são materiais leves e resistentes à umidade, portanto, não apresentam as mesmas dificuldades do aço.

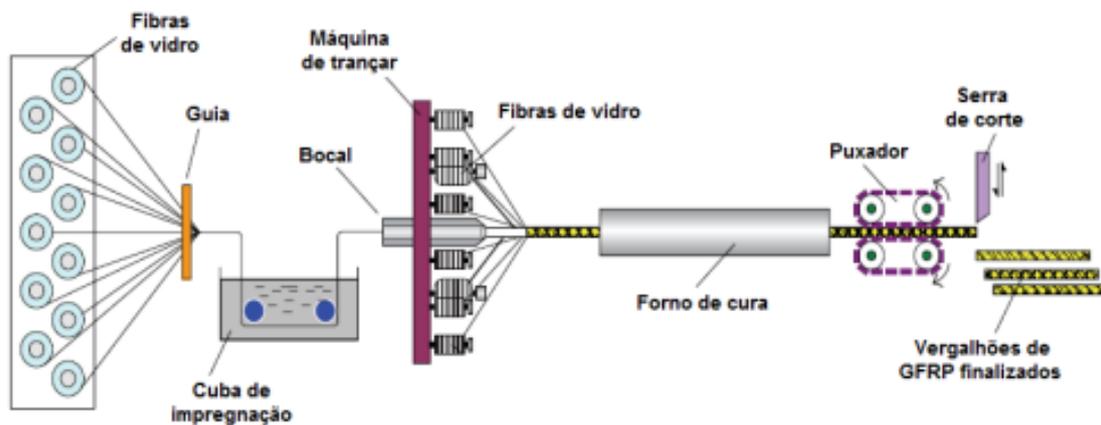
2.2 Características geométricas

Os Polímeros de Fibra de Vidro podem ser fornecidos em diferentes formas geométricas, fabricados em forma de roving ou cordoalha, fibra picada, telas, tecidos e em perfis pultrudados.

As barras em perfis pultrudados são opções promissoras para substituir os vergalhões metálicos convencionais utilizados em obras, produzidas por meio da pultrusão das fibras impregnadas com resina termofixa (AHMED et al., 2020).

No processo de pultrusão, as fibras de vidro são tensionadas por um equipamento e direcionadas a uma cuba de impregnação, onde entrarão em contato com uma resina líquida e por fim moldadas por uma máquina na forma de vergalhões. As nervuras em superfície podem ser feitas pela adição de fibras de vidro.

Figura 1: Processo de fabricação vergalhões de PRFV.



Fonte: MOURA, 2021.

Conforme ASTM D7957 (ASTM, 2017), os vergalhões de PRFV são produzidos com diâmetro que variam de 6,3mm a 32,3 mm. Outra característica importante está relacionada à superfície do material, que costuma ser confeccionada de três formas diferentes alterando sua rugosidade para melhor aderência.

As resinas utilizadas nas barras de PRFV são de materiais termofixos, o que torna impossível a dobra do material após sua fabricação e cura. As dobras neste tipo de barra devem ser feitas durante sua fabricação e existem alguns métodos possíveis para sua manufatura, sendo as duas principais técnicas explicadas a seguir.

O primeiro método é feito a partir da produção de duas peças diferentes, que posteriormente são ligadas uma à outra como apresentado por Johnson, D. (2014). É importante ressaltar que, por serem formadas pela união de duas barras diferentes, as fibras não serão contínuas e isso afetará a resistência do material.

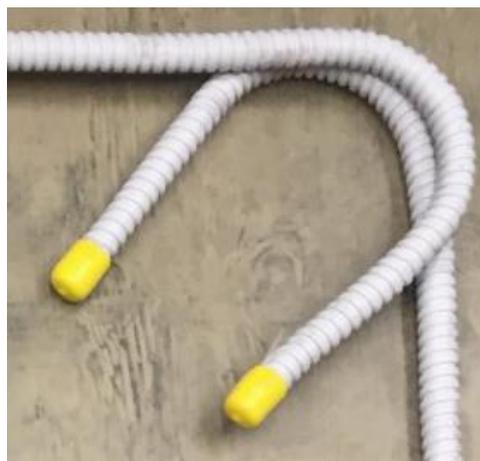
O segundo método é feito a partir da dobra do material ao ser inserido em um conduíte de polipropileno, que deve ser preenchido com resina e finalizado com cura térmica conforme apresentado pela Fiberline Composite (2017). Diferente do primeiro método, essa técnica permite formar dobras sem interromper a continuidade da fibra. No entanto, algumas dificuldades são observadas devido a utilização dessa “capa” plástica, sendo a principal delas o preenchimento total com resina do conduíte.

Figura 2 – Dobra em vergalhão de PRFV pela junção de duas peças.



Fonte: JOHNSON, D. 2014.

Figura 3 – Dobra em vergalhão de PRFV com perfil de polipropileno.



Fonte: JEREMIC, N. 2018.

Por ser um material maleável e leve, o PRFV é mais fácil de ser transportado, podendo ser entregue em rolos de até 200 metros em bitolas iguais ou inferiores

12,5mm. A partir desse diâmetro é entregue em barra reta, devido a dificuldade em fazer rolos com diâmetros maiores.

Essa facilidade em manusear o material, além de vantajoso em relação ao transporte (por poder carregar maior quantidade de material em caminhões menores e mais leves), também possibilita o descarregamento ágil e sem necessidade de máquinas.

Figura 4 – Perfis de PRFV em cordoalha e Barra reta.



Fonte: Primeira concretagem do Verga Fibra no Brasil, Composite Group, 2021.

Figura 5 – Transporte de PRFV.



Fonte: Bestfiberglassrebar.com

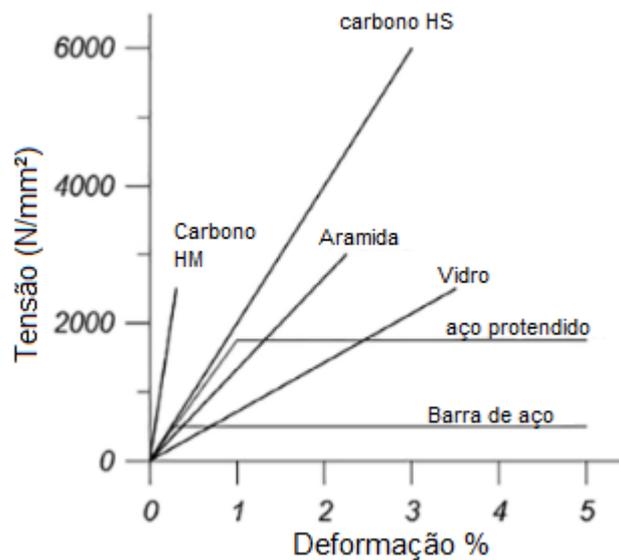
3. BARRAS DE FIBRA DE VIDRO

A substituição do aço pelo PRFV se dá principalmente devido às propriedades do material, por isso será estudado com maior profundidade os polímeros em perfis pultrudados, que mais se assemelham com os vergalhões de aço, a fim de facilitar as comparações entre os materiais.

3.1 Tensões de ruptura e módulo de elasticidade.

Segundo a norma americana ACI 440 1R de 2015, a curva característica de tensão-deformação dos polímeros de fibra de vidro apresenta um comportamento elástico-linear, diferente do aço, que possui uma curva com patamar de escoamento. Logo, em caso de esforço excessivo há ocorrência de ruptura frágil da estrutura, sendo um ponto importante a ser levado em consideração no seu dimensionamento e uso.

Figura 6 – GRÁFICO TENSÃO X DEFORMAÇÃO



Fonte: adaptado de (ABBOOD, I. et al., 2021)

Os polímeros são materiais mais flexíveis e possuem módulo de elasticidade bem inferior se comparado ao aço (aproximadamente 25%), o qual possui módulo de elasticidade igual a 210.000Mpa. (NBR 6118:2014).

Com relação à tensão de ruptura, as barras reforçadas com fibra de vidro possuem resistência à tração superior ao aço convencional, podendo resistir a valores superiores a 1000 Mpa, ou seja, muito mais resistente se comparado ao aço

normalmente utilizado nas construções. A resistência à tração ocorre em função do diâmetro da barra, já que quanto maior a seção transversal menor é a resistência à tração. Isso ocorre porque as fibras que estão localizadas no centro da barra não estão submetidas a tensões da mesma forma que as fibras próximas à superfície.

Figura 7 – Propriedade mecânica das barras de fibra de vidro

Propriedades	Un.	Diâmetros padrões (mm)*							
		ø6	ø9	ø12	ø14	ø18	ø20	ø25	ø32
Tensão nominal de Tração	Mpa	1070	1047	989	953	903	876	831	727
Força de tração	Kgf	2500	5500	9300	12200	19100	22900	34000	42900
Coefficiente de Poisson		0,25	0,21	0,26	0,25	0,25	0,25	0,28	0,26
Módulo de elasticidade	Gpa	48	48	48	48	47	47	46	46
Tensão nominal de compressão	Mpa	553	541	494	483	514	516	505	493
Alongamento	%	2,12	2,11	2,05	2,03	2,08	2,1	2,07	2,15
Tensão nominal de cisalhamento	Mpa	210	210	210	210	204	204	200	200
Coefficiente longitudinal de dilatação	10 ⁻⁶ /°C	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	6	6
Coefficiente transversal de dilatação	10 ⁻⁶ /°C	27,3	27,3	28,7	29,3	27,9	26	23,2	22,1
Absorção de umidade	%	0,65	0,515	0,43	0,39	0,31	0,27	0,17	0,14

Fonte: Adaptado de Manual Técnico Stratus, 2015.

Já com relação à resistência a compressão das barras, esta costuma ser cerca de 40% a 60% da resistência a tração. Apesar disso, não é uma característica preocupante para as principais aplicações do material em estruturas, principalmente pelo fato do concreto apresentar maior resistência à compressão.

3.2 Densidade

Uma das qualidades dos vergalhões compostos de fibra de vidro está relacionada a seu peso, o que facilita principalmente o transporte e manuseio do material. A densidade dos PRFV varia de 1250 a 2100 kg/m³ (MOURA,2021). Ao verificar a densidade do aço usado em estruturas convencionais de concreto armado, têm-se, segundo a NBR 7480, que a densidade do aço é aproximadamente 7850 kg/m³, podendo ser até 600% mais pesado que as barras de fibra de vidro.

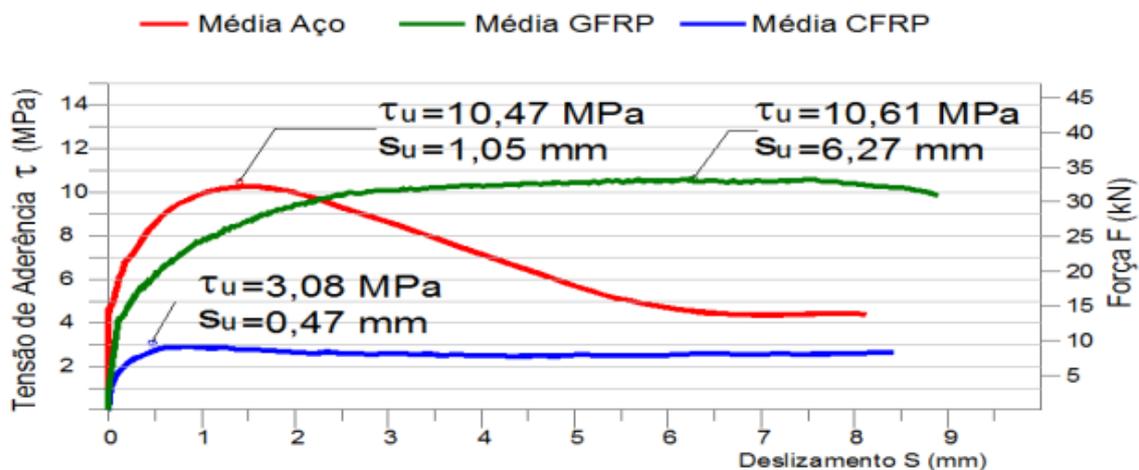
3.3 Fluência

A fluência das fibras de vidro varia de acordo com as resinas que são utilizadas, por isso dependem da forma como são fabricadas (ABBOOD et al., 2021). A orientação das fibras de vidro e o volume de fibras são os grandes responsáveis por causar variações na fluência; as resinas poliméricas são materiais visco-elásticos e tipicamente apresentam conduta de fluência, por isso a fibra é responsável por acrescentar resistência à fluência. (ARAÚJO. M. 2017)

3.4 Aderência

Em 2017, Araújo, M. (2017) apresentou um estudo que demonstra a relação de aderência das barras de PRFV em estruturas de concreto. A pesquisa foi feita por meio de um ensaio de arrancamento, e para análise e comparação foram utilizados três materiais diferentes nos ensaios: vergalhão de fibra de vidro (GFRP), fibra de carbono (CFRP) e aço. Os resultados obtidos estão expostos na Figura 8.

Figura 8 – Tensão de aderência versus deslizamento.

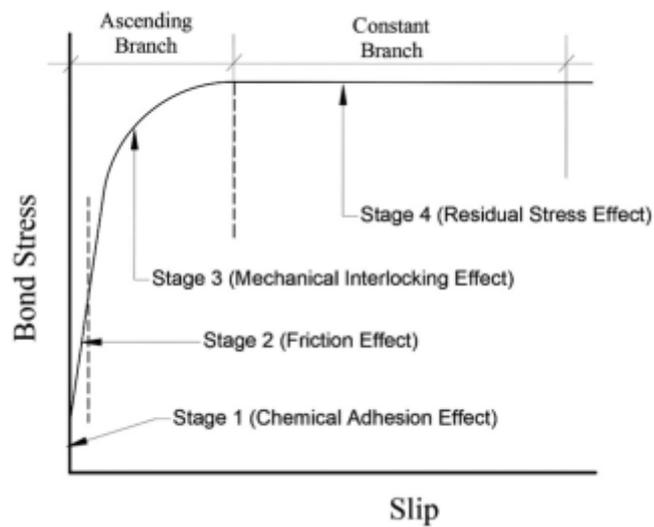


Fonte: ARAÚJO, M., 2017.

Podemos notar que os valores obtidos para o aço e a fibra de vidro foram relativamente altos com relação à tensão de aderência. Analisando o formato das curvas obtidas, percebe-se também que as fibras de vidro apresentam um deslizamento superior ao do aço até atingir a tensão de aderência máxima.

Um teste semelhante foi feito por Henin e Morcoux, (2021), para determinar o comportamento de aderência de barras de PRFV revestidas com areia e enroladas helicoidalmente. O resultado foi semelhante ao apresentado por Araújo, M. (2017), como é possível observar na figura 9.

Figura 9 – Tensão de aderência versus deslizamento.



Fonte: Henin & Morcou, 2021.

Dividindo a curva em estágios, como apresentado na figura 9, nota-se que inicialmente não é possível observar deslocamento da barra. Neste estágio, considera-se como principal uma adesão química entre os materiais, que limita o deslocamento (LU et al., 2021).

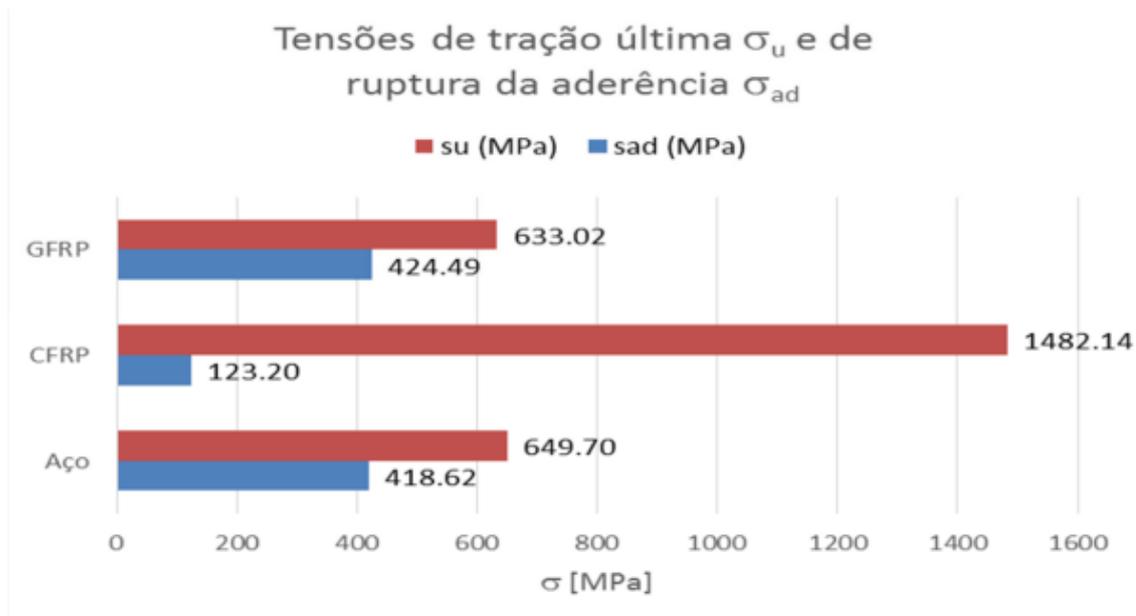
Ao aumentar o carregamento, nota-se uma alteração na inclinação da curvatura, o que demonstra uma modificação na aderência, não sendo mais considerada como principal a adesão química; nesse processo as extremidades solicitadas se deslocam gradualmente e surgem deformações superficiais que por sua vez desenvolvem tensões tangenciais na barra, por isso a resistência ao atrito é considerada a principal forma de aderência nesse estágio.

Com o aumento da tensão na barra, inicia-se o processo de microfissuração transversal no concreto. Dessa forma, ocorre um aumento no deslocamento, mesmo tendo uma menor alteração na tensão, processo semelhante ao que acontece com os vergalhões de aço. Isso ocorre até que a barra atinja o limite de aderência do concreto.

Por fim, o quarto estágio representa uma constante, onde observa-se um aumento significativo na deformação com uma solicitação constante de tensão. (HENIN E MORCOUS, 2021).

Após essa análise, foi verificado as tensões de ruptura por aderência do concreto. Com os resultados apresentados, percebe-se que o aço e a fibra de vidro possuem valores muito similares e em ambos a ruptura por tração ocorre antes da ruptura por aderência do concreto, como é possível observar na Figura 10.

Figura 10 – Tensões de ruptura na barra, verificação de ruptura.



Fonte: ARAÚJO, M. 2017.

Onde temos:

- Su → Tensão de tração última na barra;
- Sad → Tensão na barra no instante da ruptura por aderência do concreto.

3.4.1 Tipos de aderência

Barras de PRFV podem ser fabricadas com diferentes configurações de superfície a fim de melhorar a aderência com o concreto e otimizar a transferência de esforços. É possível fabricar barras com nervuras em espiral, enroladas, helicoidais e revestidas com areia (LU et al., 2021). Podem ser produzidos por meio da impregnação de barras com areia utilizando um material adesivo ou por processos mais industriais, com acabamento entalhado que se assemelha aos vergalhões de aço convencionais ou envolvimento da superfície com fibras especiais.

É possível realizar esses métodos de forma mesclada, como por exemplo um vergalhão com entalhamento e revestido com areia.

Figura 11 – Tipo de revestimento barra de GFRP.



Fonte: WIATER. A, 2020.

Onde:

A – Envolvimento superficial com fibras;

B - Envolvimento superficial com fibras;

C – Revestido com areia;

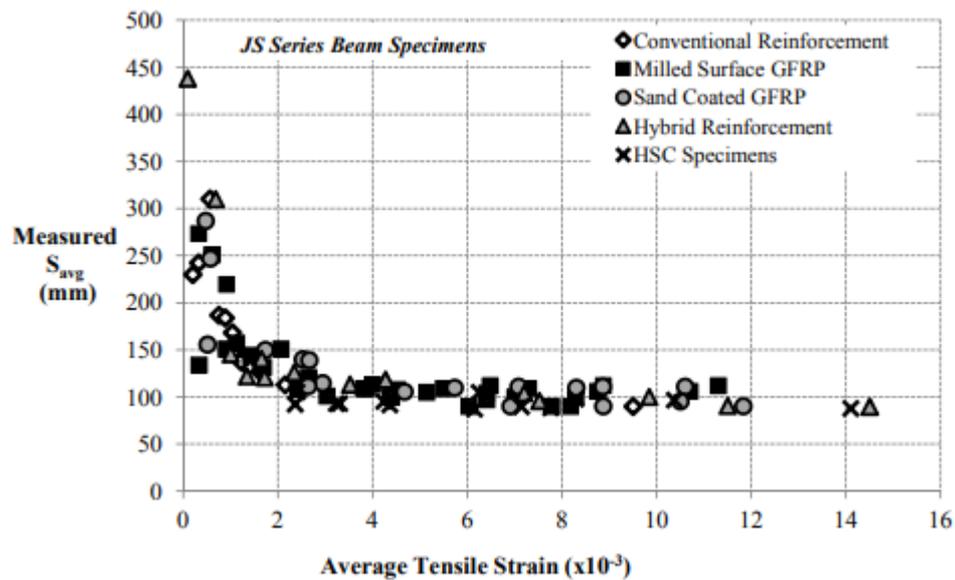
D – Nervura entalhada na barra.

3.5 Fissurações de Estruturas

Analisando o comportamento de estruturas com relação a fissuração, foram feitos ensaios por Johnson, D. (2014) com o intuito de verificar o comportamento dos elementos reforçados com PRFV. Para esta análise, foram utilizadas 24 vigas com geometria e comprimento iguais (400 mm x 650 mm x 3650 mm) com 7 tipos de reforços diferentes, 2 com armação em aço e as outras 5 com diferentes tipos de PRFV.

Com base nos resultados obtidos na pesquisa de Johnson, D., o espaçamento de trincas versus deformação nos corpos de prova foi semelhante tanto para o aço como para as barras de PRFV, não alterando de forma significativa o espaçamento médio de resposta das fissuras, como é possível observar na Figura 12.

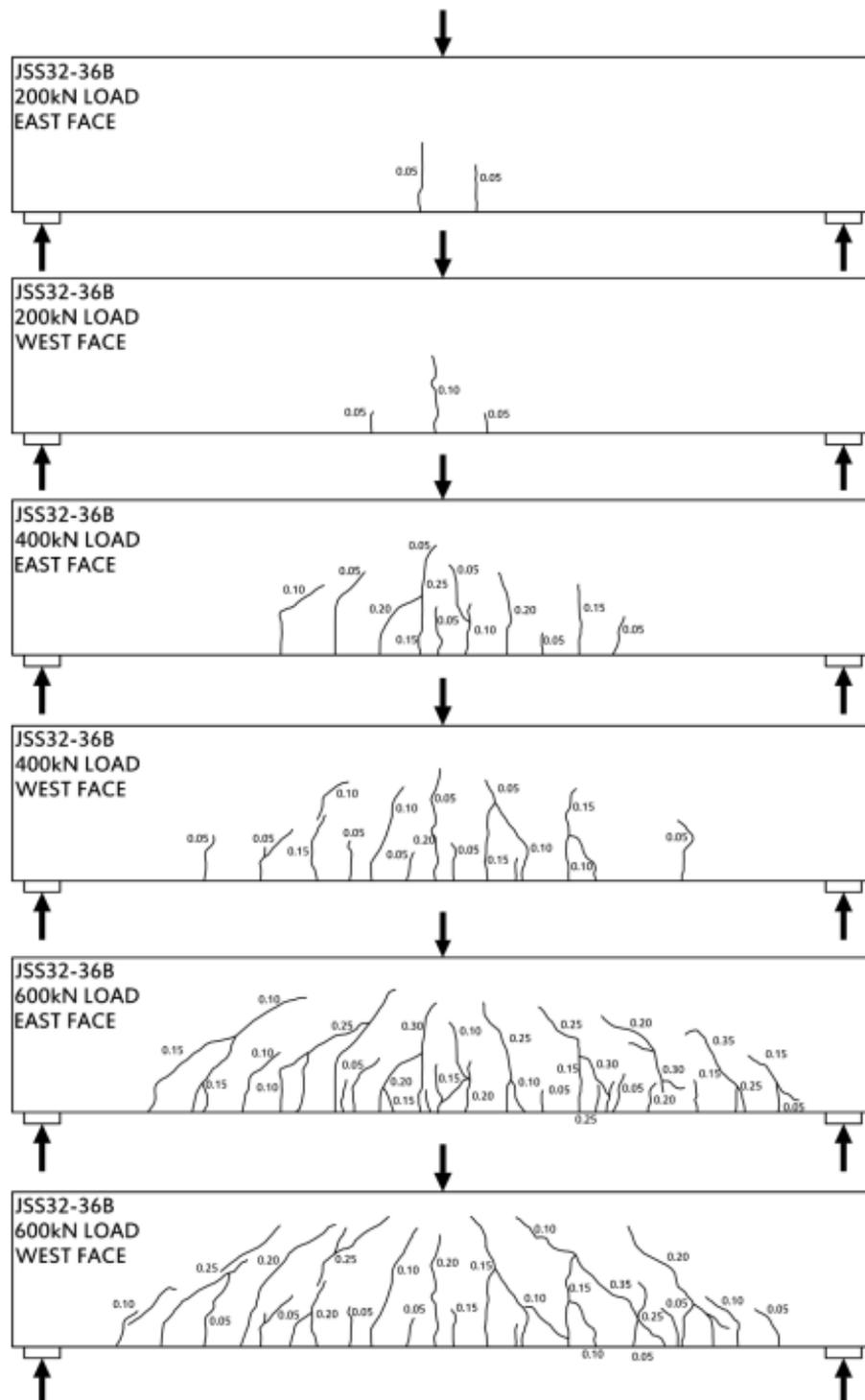
Figura 12 – Tensão de tração versus espaçamento de formação de fissuras.



Fonte: JOHNSON, D. 2014.

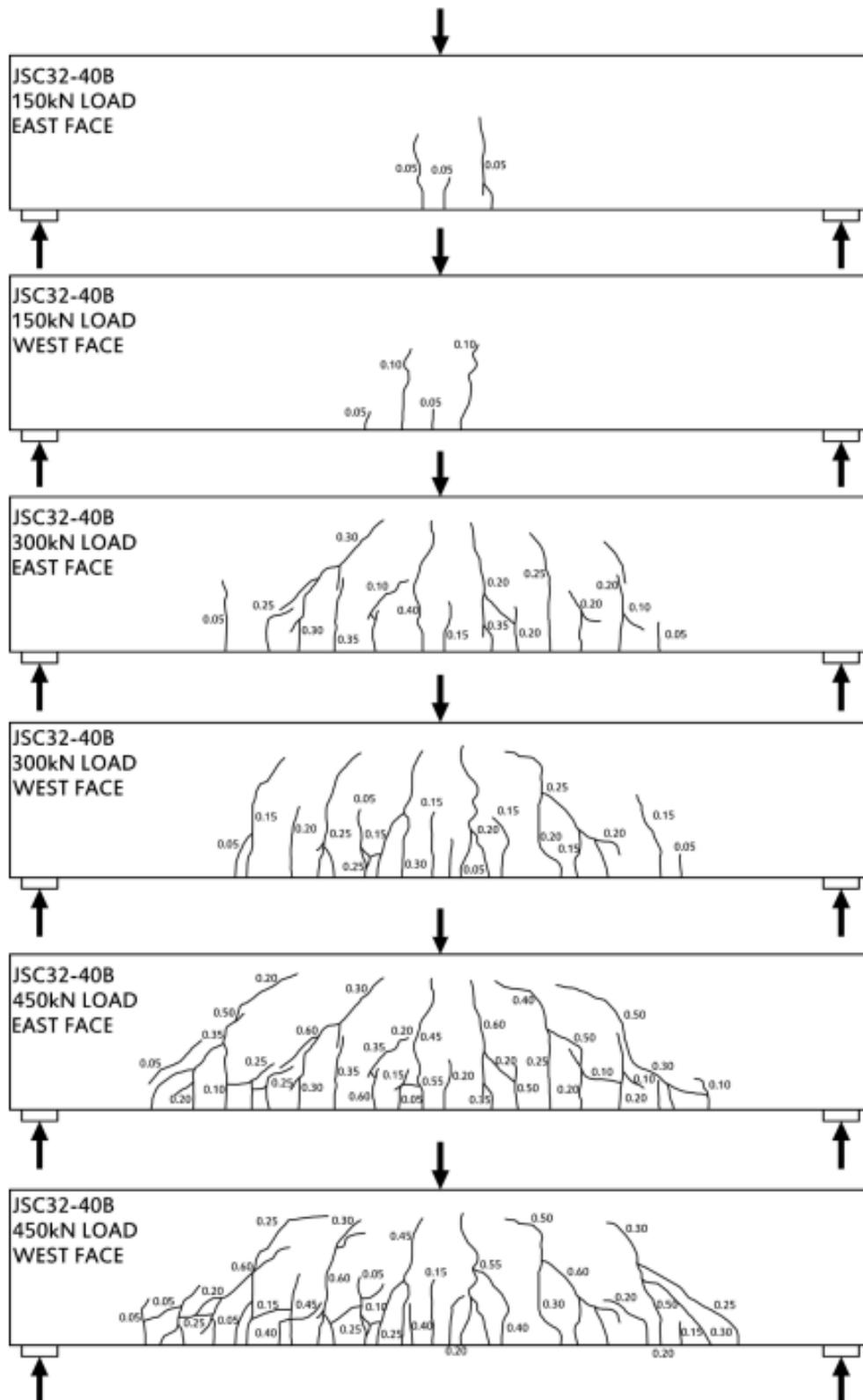
Conforme Sennah et al., (2018), as barras de fibra de vidro possuem comportamento linear com relação a tensão e deformação. Além disso, a principal diferença observada na fissuração entre as barras de PRFV e o aço está relacionada ao baixo módulo de elasticidade do reforço com fibra, por isso as estruturas com reforço em polímero atingem um grau de fissuração maior com menor quantidade de carga, como é possível observar nas figuras 13 e 14.

Figura 13 – Formação de fissuras em estruturas armadas com aço.



Fonte: JOHNSON, D. 2014.

Figura 14 – Formação de fissuras em estrutura armada com PRFV.



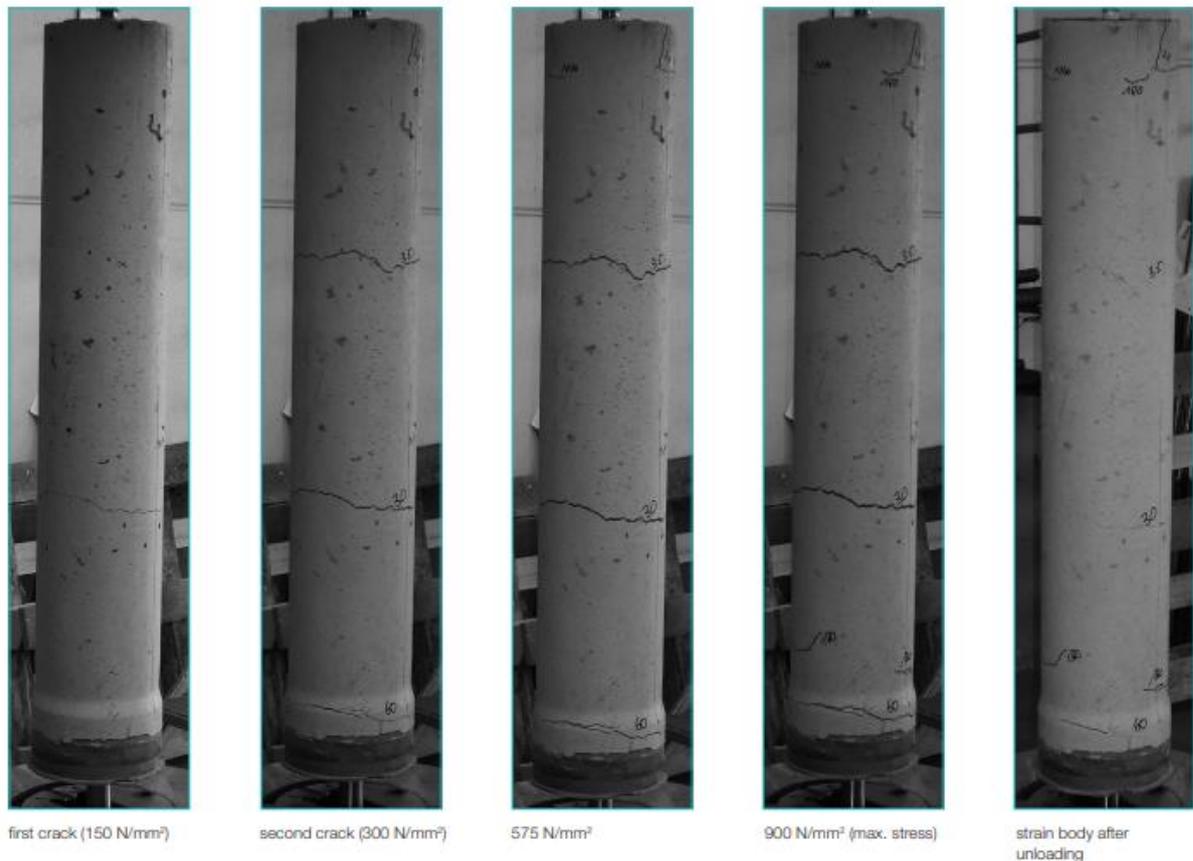
Fonte: JOHNSON, D. 2014.

Comparando as duas imagens, fica claro que o surgimento de fissuras em estruturas armadas com vergalhões de fibra de vidro ocorre em menores cargas, a viga com reforço de aço apresentou grau de fissuração semelhante, porém com cerca de 150kN a mais de esforço.

Apesar de apresentar maior deformação, não necessariamente haverá problemas estruturais. As barras de aço, por exemplo, começam a escoar a partir de um determinado esforço até chegarem à carga de ruptura, no entanto, a partir do momento que começam a escoar o aço não volta a sua forma original, diferente do vergalhão de fibra de vidro que após diminuir carga de esforço volta para sua forma original.

É possível observar essa característica do aço na Figura 15, retirada de uma pesquisa demonstrada pela Fiberline Composite (2017).

Figura 15 – Teste de tensão para avaliação de surgimento de fissuras.



Fonte: Fiberline Composite, 2017.

Observa-se que as fissurações vão aumentando conforme a solicitação, no entanto, após retirar a carga o elemento estrutural consegue praticamente voltar a seu formato original. Após a descarga, as barras não apresentaram nenhum tipo de dano. Além da fissuração, outro ponto relevante é a resistência a agentes agressivos, a durabilidade das barras de PRFV foi testada por diversos pesquisadores, e quando fabricadas com materiais apropriados são extremamente resistentes ao meio (IŞILDAR et al., 2020).

Com o surgimento das fissuras, a armação fica exposta as reações químicas no ambiente. No caso do aço, isso é um grande problema principalmente em áreas onde a ocorrência de oxidação é maior.

4. Aplicações na Engenharia Civil

A utilização dos materiais compostos por fibra de vidro ainda é pouco difundida no Brasil, embora haja obras que já desfrutam deste tipo de material. No entanto, há diversos países que fazem o uso de PRFV em estruturas.

Isso é possível graças aos avanços tecnológicos e a difusão da técnica de fabricação do material, que vem sendo estudado há anos; o que torna esse material tão interessante são suas vantagens já citadas, como resistência a corrosão, baixo peso específico, trabalhabilidade, elevada resistência, manutenção mínima ao longo dos anos e rápida fabricação, é uma solução menos agressiva ao meio ambiente e que pode trazer economia em longo prazo.

A seguir, têm-se algumas obras que fizeram utilização dos vergalhões de fibras de vidro pelo mundo.

- Ponte West Mill – Inglaterra.

A ponte West Mill é responsável por unir as cidades de Highworth e Watchfield no Sul da Inglaterra. Ela é composta por uma estrutura que utiliza 34 perfis pultrudados de PRFV, além de perfis de fibra de carbono.

A ponte pesa cerca de 120 kN, uma das vantagens da utilização desses materiais não convencionais. A mesma ponte se construída da forma convencional com aço, poderia chegar a pesar cerca 260 kN, mais do que o dobro do peso.

A estrutura foi construída para suportar um tráfego diário de mil veículos. Segundo a Construction Sector Group Publication (2015), em suas últimas principais inspeções (2008 e 2014) não demonstrou nenhuma alteração em suas propriedades estruturais.

Figura 16 – Ponte West Mill



Fonte: CANNING, L. 2010.

- Edifício Eyecatcher – Suíça

O Edifício Eyecatcher possui 15 metros de altura e é uma das obras mais altas a utilizar apenas reforço em PRFV na estrutura. Foi primeiramente construído em uma feira de engenharia e posteriormente desmontado e montado em Munchensteinnerstrasse, Basel. As colunas são compostas por perfis de PRFV.

Figura 17 – Edifício Eyecatcher



Fonte: MOSALLAN, A. 2021.

- Posto de Combustível – Brasil

Em Salvador-BA foi construído um posto estruturado com perfis pultrudados, escolha feita com a finalidade de reduzir a manutenção na estrutura, uma vez que perfis metálicos apresentam maior oxidação em regiões próximas ao mar.

Figura 18 – Posto de combustível em PRF.



Fonte: PIERIN, I. 2005.

- San Cristobal de La Laguna Cathedral – Ilha de Tenerife

A catedral construída no início de 1900, foi um dos primeiros projetos espanhóis a utilizar concreto com função estrutural, contudo, devido às condições climáticas, ao longo dos anos houve considerável dano em seu teto.

Após ficar alguns anos fechada para visitação, resolveram substituir a estrutura comprometida. Considerando a adversidade climática da região, optaram por inovar e utilizar concreto reforçado com polímero de fibra de vidro, todas as 22 cúpulas, vigas e pilares foram reforçados com barras de PRFV.

Figura 19 – Catedral de San Cristobal de La Laguna.



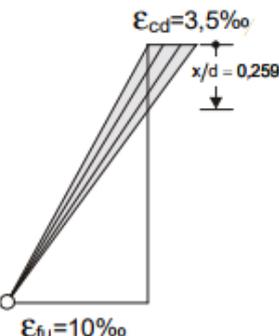
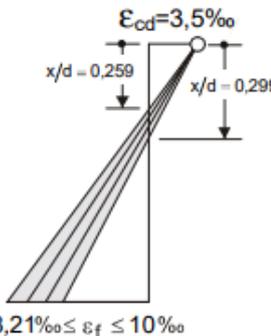
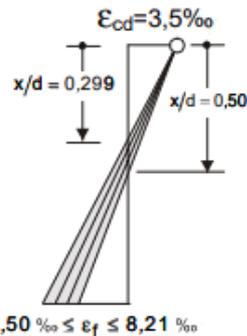
Fonte: Fortius News, 2013.

5. Dimensionamentos de Estruturas Armadas com Fibra de Vidro

No Brasil ainda não existe uma norma definitiva para dimensionamento de estruturas reforçadas com PRFV. Apesar disso, já existem estudos para implementar uma norma nacional. No geral, os cálculos são feitos de forma análoga ao concreto armado convencional, introduzindo informações de normas estrangeiras como a ACI 440.

Analisando o dimensionamento conforme a ACI 440.1R-15, o cálculo das estruturas deve ser feito levando em consideração os estados limites. Na maioria dos casos, o dimensionamento é mais crítico pelo estado limite de serviço, diferente das estruturas convencionais com barras de aço, uma vez que as barras de PRFV possuem comportamento frágil. Já as armações metálicas são dimensionadas para que o aço escoe antes do esmagamento do concreto, conseqüentemente, a falha é controlada pelo esmagamento do concreto ou ruptura das barras (Abbood et al., 2021).

Figura 20 – Tipos de ruptura e domínios de dimensionamento para vigas.

RUPTURA POR ROMPIMENTO DAS FIBRAS	ESMAGAMENTO DO CONCRETO E ROMPIMENTO DAS FIBRAS	RUPTURA POR ESMAGAMENTO DO CONCRETO
<p><i>Taxa armadura</i> $\rho_f \leq \rho_{fb}$</p> <p><i>Coefficiente de minoração da resistência da fibra</i> $\phi = 0,50$</p>	<p>$\rho_{fb} < \rho_f < 1,4 \rho_{fb}$</p> <p>$0,50 \leq \phi \leq 0,70$</p>	<p>$\rho_f \geq 1,4 \rho_{fb}$</p> <p>$\phi = 0,70$</p>
<p><i>Domínios de Deformação</i></p>  <p>$\epsilon_{cd} = 3,5\text{‰}$ $x/d = 0,259$</p> <p>$\epsilon_{fu} = 10\text{‰}$</p> <p><i>Profundidade LN</i> $0 \leq x/d \leq 0,259$</p>	 <p>$\epsilon_{cd} = 3,5\text{‰}$ $x/d = 0,259$ $x/d = 0,299$</p> <p>$8,21\text{‰} \leq \epsilon_f \leq 10\text{‰}$</p> <p>$0,259 \leq x/d \leq 0,299$</p>	 <p>$\epsilon_{cd} = 3,5\text{‰}$ $x/d = 0,299$ $x/d = 0,50$</p> <p>$3,50\text{‰} \leq \epsilon_f \leq 8,21\text{‰}$</p> <p>$0,299 \leq x/d \leq 0,500$</p>

Fonte: BANDEIRA, A. et al, 2006.

Segundo Fernandes et al., (2021), recomenda-se que o dimensionamento seja feito considerando esmagamento do concreto. Dessa forma, a estrutura irá apresentar um comportamento inelástico antes da falha; o dimensionamento governado pela ruptura da barra também é aceito, desde que os critérios de segurança e dimensionamento sejam atendidos. Nesse caso, a estrutura não irá “avisar” antes de romper.

As estruturas armadas com PRFV costumam apresentar excesso de fissuração e de deslocamento devido ao seu baixo módulo de elasticidade. Apesar dessa desvantagem com relação ao aço, as fissurações podem não afetar a integridade das barras que possuem boas propriedades corrosivas, mas são indesejáveis por fins estéticos e podem danificar o elemento estrutural.

Além disso, as estruturas devem atender a um limite de deformação vertical, para que não alterem a finalidade da construção. Em estruturas residenciais, por exemplo, é indesejável excesso de deformação, pois pode afetar a estanqueidade do elemento, quebrar pisos, causar desconforto ao andar e entre outros problemas.

No Brasil, para dimensionamento de estruturas, têm-se as Recomendações práticas do IBRACON/ABECE (2021), que segue os mesmos critérios considerados na NBR 6118 (ABNT, 2014) para estruturas de concreto armado com aço. Assim como na ACI 440, utiliza-se um coeficiente de redução ambiental que serve para considerar os efeitos da exposição das barras ao ambiente, como é possível observar na Tabela 2.

Tabela 2 – Fator de redução ambiental.

Condição de exposição	Material	Fator de redução ambiental C_E
Interior e sem contato com solo	AFRP	0,9
	CFRP	1,0
	GFRP / BFRP	0,8
Exterior ou em contato com solo	AFRP	0,8
	CFRP	0,9
	GFRP / BFRP	0,7

Fonte: Prática Recomendada IBRACON/ABECE (2021).

Como o IBRACON utiliza os critérios da NBR 6118, o dimensionamento à flexão é feito considerando hipóteses usuais de cálculo de estruturas de concreto armado, sendo elas:

- Seções permanecem planas após a flexão;
- Resistência a tração do concreto deve ser desprezada;
- Aderência perfeita entre PRFV e concreto;
- Armadura de PRFV apresenta comportamento elástico linear até a ruptura e as tensões na armadura são proporcionais às deformações.

Para verificação do Estado Limite de Serviço é necessário avaliar as deformações excessivas e aberturas de fissuras. Conforme prática recomendada do IBRACON/ABECE (2021), é possível determinar a flecha imediata considerando a rigidez equivalente utilizando a fórmula de Branson modificada.

Outra análise importante a ser feita diz respeito aos deslocamentos verticais, que seguem os limites prescritos pela NBR 6118 (ABNT, 2014). Já a verificação da fissuração é feita a partir da fórmula do Fib Model Code 2010.

Além da norma americana ACI 440, é possível analisar outras normas estrangeiras a fim de adquirir conhecimento de países que já utilizam esse tipo de material há diversos anos, podemos citar como exemplo: ASTM F3059, GOST 31938 e ISO 10406-1:2015.

6. Conclusão

A construção civil no Brasil é muito apegada aos métodos tradicionais de obra, e a implementação de novos materiais costuma ser lenta. Durante o estudo de diversas pesquisas, nota-se que a utilização de perfis compostos com fibra de vidro pode trazer diversas vantagens as estruturas.

Sabe-se que a resistência à tração do PRFV é praticamente o dobro se comparado ao aço, porém, em cálculos de estrutura não devemos olhar apenas para essa característica. Quando falamos de módulo de elasticidade, tem-se um grande problema na utilização dos vergalhões de fibra de vidro em estruturas. Diferente de estruturas convencionais, que utilizam aço como reforço, os elementos estruturais que fazem uso de PRFV apresentam ruptura frágil e maior quantidade de fissuras, não demonstrando sinal prévio de rompimento, por isso seu dimensionamento costuma ser feito considerando Estado Limite Serviço, porém deve ser verificado por questões de segurança o Estado Limite Último.

Levando em conta essa característica elástica das fibras, o dimensionamento deve atender aos limites de deformação e deslocamento exigidos pela NBR 6118 (2014). É importante ressaltar que o surgimento de fissuras não necessariamente vai inviabilizar a utilização da estrutura, mas pode interferir com relação a aparência e principalmente desconforto causado pelas deformações. Analisando ainda o aparecimento de fissuras, quando controlado, tem-se uma grande vantagem comparado às armações metálicas devido a resistência a corrosão do material que ficará exposto.

Os polímeros reforçados com fibra de vidro são extremamente resistentes a produtos químicos, temperatura e oxidação, os quais são características essenciais para estruturas de locais onde o clima e os agentes químicos danificam o aço. Assim, não só trazem maior vida útil para estruturas como também diminuem consideravelmente o gasto com manutenção durante todo seu período de utilização.

Em relação ao custo e benefício, os elementos de PRFV possuem um preço superior ao aço. Deve-se considerar que nos últimos anos o preço de materiais metálicos aumentou consideravelmente e a utilização dos vergalhões de fibra começa a apresentar vantagens principalmente se considerarmos os seguintes pontos:

1. Tempo de vida útil superior, diminuindo despesas com reparos e reforços;
2. Material leve, portanto, estruturas e perfis mais leves, com menor quantidade de armação;
3. Menor demanda de mão de obra devido a leveza do material;
4. Custo com armazenamento e transporte inferior, podem ser armazenados em locais onde tem-se maior ocorrência de corrosão do aço;
5. Produção menos agravante ao meio ambiente.

A dificuldade de utilizar esse material no Brasil ainda se deve muito pela falta de uma norma brasileira que facilite o uso do PRFV nas construções, pois os cálculos são feitos utilizando principalmente normas estrangeiras em paralelo com a NBR 6118 (2014). Essa dificuldade deve ser sanada nos próximos anos, já que existem recomendações práticas oferecidas pelo IBRACON/ABECE (2021) que estão em processo de execução.

Por fim, entende-se que não são todos os tipos de estruturas que fazem sentido alterar o aço por PRFV, devido a seu baixo módulo de elasticidade, mas é possível fazer uso misto das armações para aproveitar as vantagens de ambos os materiais.

7. Referências

ABBOOD, I. S.; ODAA, S. A.; HASAN, K. F.; JASIM, M. A. **Properties evaluation of fiber reinforced polymers and their constituent materials used in structures – A review.** *Materials Today: Proceedings*, 43, 1003–1008, (2021). Disponível em: <https://doi.org/10.1016/J.MATPR.2020.07.636>. Acesso em 21 de nov. 2022.

AHMED, A.; GUO, S.; ZHANG, Z.; SHI, C.; ZHU, D. **A review on durability of fiber reinforced polymer (FRP) bars reinforced seawater sea sand concrete.** *Construction and Building Materials*, 256, 119484, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2020.119484>>. Acesso em 21 de nov. 2022.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. ACI 440.1R-2015: **Guide for the Design and Construction of Structural Concrete Reinforced with FRP bars.** Nova York, EUA, 2015.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - **ASTM D7957/D7957M: Standard Specification for Solid Round Glass Fiber Reinforced Polymer Bars for Concrete Reinforcement**, 2017.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - **ASTM F3059-18: Standard Specification for Fiber-Reinforced Polymer (FRP) Gratings Used in Marine Construction and Shipbuilding**, 2018.

AMRAN, Y. H. M.; ALYOUSEF, R.; RASHID, R. S. M.; ALABDULJABBAR, H.; HUNG, C. C. **Properties, and applications of FRP in strengthening RC structures: A review.** *Structures*, v. 16, p. 208 – 238, 2018.

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://patrimonio.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: 12 novembro 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 6118: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro, ABNT, 2014.

ATTIA, K.; ALNAHAL, W.; ELREFAI, A.; RIHAN, Y. **Flexural behavior of basalt fiber-reinforced concrete slab strips reinforced with BFRP and GFRP bars**. *Composite Structures*, 211, 1–12, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/J.COMPSTRUCT.2018.12.016>. Acesso em 12 nov. 2022

BANDEIRA, A.; JUNIOR, A.; PRISZKULNIK, S. **COMPORTAMENTO À FLEXÃO DE VIGAS DE CONCRETO ARMADAS COM BARRAS DE FIBRA DE VIDRO (GFRP) BEHAVIOR OF CONCRETE BEAMS REINFORCED WITH GFRP BARS**. [s.l: s.n.]. São Paulo, 2006. Disponível em: <<http://www.dcc.ufpr.br/portal/wp-content/uploads/2019/09/Barras-de-fibra-de-vidro-Epusp.pdf>>. Acesso em: 10 nov. 2022.

CANNING, L.; KNIGHT MERTZ, S. **PERFORMANCE AND 8-YEAR LOAD TEST ON WEST MILL FRP BRIDGE**. Manchester, Inglaterra. 2010. [s.l: s.n.]. Disponível em: <https://www.iifc.org/proceedings/CICE_2012/11_Durability%20and%20Long-Term%20Performance/11_750_Canning_PERFORMANCE%20AND%208-YEAR%20LOAD%20TEST%20ON%20WEST%20MILL%20FRP.pdf>. Acesso em: 12 nov. 2022.

EL-HASSAN, H.; EL-MAADDAWY, T.; AL-SALLAMIN, A.; AL-SAYDY, A. **Durability of glass fiber-reinforced polymer bars conditioned in moist seawater-contaminated concrete under sustained load**. *Construction and Building Materials*, 175, 1–13, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2018.04.107>. Acesso 10 nov. 2022.

FÉDERATION INTERNATIONALE DU BÉTON. fib (CEBFIP) **Model Code for Concrete Structures 2010**. Lausanne: Ernst & Sohn, 2013.

FERNANDES, T. V.; PALIGA, A. R.; PALIGA, C. M. **“Bending reinforced concrete beams with glass fiber reinforced polymer bars: an experimental**

analysis,” *Rev. IBRACON Estrut. Mater.*, vol. 14, no. 3, e14306, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1983-41952021000300006>. Acesso em 28 out. 2022.

FIBERLINE COMPOSITES. **Technical Information ComBAR® by Fiberline**. 2017. Disponível em: < https://1stdirectory.co.uk/_assets/files_comp/c9cb3ce6-9b2e-4ad7-b3aa-5b29c178489d.pdf >. Acesso 10 out. 2022.

FORTIUS NEWS. **GFRP rebars for renewal of roof – domes of Cathedral in Tenerife**. Disponível em: <us>. Acesso em: 12 nov. 2022.

GOSSTANDARD I.E. NATIONAL STANDARD. **GOST 31938-2022: Fiber-reinforced polymer bars for reinforcing concrete structures. General specifications**, 2022

HENIN, E.; MORCOUS, G. **Bond behavior of helically wrapped sand coated deformed Glass Fiber-Reinforced Polymer (GFRP) bars in concrete**. *Construction and Building Materials*, 288, 123120. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2021.123120>. Acesso em 21 de nov. 2022.

IŞILDAR, G. Y.; MORSALI, S.; ZAR GARI, Z. H. **A comparison LCA of the common steel rebars and FRP**. *Journal of Building Pathology and Rehabilitation*, 5(1), 8. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s41024-020-0074-4>. Acesso em 21 de nov. 2022.

JEREMIC, N. **Short-Term and Long-Term Performance of Glass Fibre Reinforced Polymer (GFRP) Bent Bars**. [s.l.: s.n.]. University of Toronto. 2018 Disponível em: <https://tspace.library.utoronto.ca/bitstream/1807/89593/1/Jeremic_Natasa_201806_MAS_thesis.pdf>. Acesso em: 12 nov. 2022.

JOHNSON, D. (2014). **INVESTIGATION OF GLASS FIBRE REINFORCED POLYMER REINFORCING BARS AS INTERNAL REINFORCEMENT FOR CONCRETE STRUCTURES**. Universidade de Toronto. Toronto - CA, 2014.

LU, J.; AFEFY, H. M.; AZIMI, H.; SENNAH, K.; SAYED-AHMED, M. **Bond performance of sand-coated and ribbed-surface glass fiber reinforced polymer bars in high-performance concrete**. *Structures*, 34, 10–19, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/J.ISTRUC.2021.07.060>. Acesso em 21 de nov. 2022.

MARTYNOVA, E.; CEBULLA, H. **Glass Fibers**. *Inorganic and Composite Fibers: Production, Properties, and Applications*, 131–163, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102228-3.00007-4>. Acesso em 15 out. 2022.

MOSALLAN, AS; BAYRAKTAR, A.; ELMIKAWI, M.; PUL, S.; ADANUR, S. **Polymer Composites in Construction: An Overview**. *UC Irvine*. 2021. Disponível em: <https://escholarship.org/uc/item/5xf7s8nj>. Acesso em: 20 out. 2022.

MOURA, R. **Análise da Durabilidade de Armaduras Poliméricas Reforçadas com Fibra de Vidro Submetidas ao Ambiente Alcalino e a Elevadas Temperaturas**. 176 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufba.br/bitstream/ri/34934/1/Tese_Doutorado_Ruan_Moura_PPE_C_Final.pdf.> Acesso em: 11 out. 2022.

PIERIN, I. **Estudo de estabilidade de perfis pultrudados de materiais PRFV**. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, p. 181. 2005.

PRÁTICA RECOMENDADA IBRACO/ABECE. **Estruturas de concreto armado com barras de polímeros reforçado com fibras (FRP)**. São Paulo. Ed. IBRACON/ABECE, 1ª Edição, 2021.ASTRM.

RAMESH, B.; ESWARI, S.; SUNDARARAJAN, T. **Flexural behaviour of glass fibre reinforced polymer (GFRP) laminated hybrid-fibre reinforced concrete beams**. *SN Applied Sciences*, 2(2), 204, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s42452-020-1966-2>. Acesso em 22 de nov. 2022.

SENNAH, K.; TROPYNINA, E.; IBRAHIM, Z.; HEDJAZI, S.. **Structural Qualification of a Developed GFRP-Reinforced Concrete Bridge Barrier using Ultimate Load Testing**. *International Journal of Concrete Structures and Materials*, 12(1), 63, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s40069-018-0284-1>. Acesso em 22 de nov. 2022.

STRATUS, R. **Especificações e características de vergalhões em fibra de vidro, estribos e estruturas armadas**. Stratus, São José dos Campos, 2015.

THE INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR SATANDARDIZATION. **ISO 10406-1:2015: Fibre-reinforced polymer (FRP) reinforcement of concrete – test methods – part1: FRP bars and grids**, 2015.

WIATER, A.; SIWOWSKI, T. **Comparison of Tensile Properties of Glass Fibre Reinforced Polymer Rebars by Testing According to Various Standards.** *Materials* **2020**, *13*, 4110. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ma13184110>. Acesso em 27 out. 2022.