

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA  
CAMPUS CAJAZEIRAS**

**ANDREY VIEIRA EUFLASIO**

**UTILIZAÇÃO DE BARRAS POLIMÉRICAS REFORÇADAS COM FIBRA DE VIDRO  
COMO ARMADURA LONGITUDINAL EM PEÇAS DE CONCRETO ARMADO,  
EXPOSTAS EM AMBIENTE NATURAL**

Cajazeiras-PB  
2023

**ANDREY VIEIRA EUFLASIO**

**UTILIZAÇÃO DE BARRAS POLIMÉRICAS REFORÇADAS COM FIBRA DE VIDRO  
COMO ARMADURA LONGITUDINAL EM PEÇAS DE CONCRETO ARMADO,  
EXPOSTAS EM AMBIENTE NATURAL**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Coordenação do Curso de Bacharelado em Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba-*Campus* Cajazeiras, como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil, Orientação do Prof. Daniel Torres Filho.

Cajazeiras-PB  
2023

IFPB / Campus Cajazeiras Coordenação  
de Biblioteca Biblioteca Prof. Ribamar  
da Silva

Catálogo na fonte: Cícero Luciano Félix CRB-15/750

E86u	<p>Euflasio, Andrey Vieira.</p> <p>Utilização de barras poliméricas reforçadas com fibra de vidro como armadura longitudinal em peças de concreto armado, expostas em ambiente natural / Andrey Vieira Euflasio. - 2023.</p> <p>36f. : il.</p> <p>Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Cajazeiras, 2023.</p> <p>Orientador(a): Prof. Esp. Daniel Torres Filho.</p> <p>1. Construção civil. 2. Concreto armado. 3. Estruturas de concreto. 4. Resistência estrutural. I. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba. II. Título.</p>
------	---

IFPB/CZ

CDU: 624.07(043.2)

ANDREY VIEIRA EUFLASIO

**UTILIZAÇÃO DE BARRAS POLIMÉRICAS REFORÇADAS COM FIBRA DE VIDRO  
COMO ARMADURA LONGITUDINAL EM PEÇAS DE CONCRETO ARMADO,  
EXPOSTAS EM AMBIENTE NATURAL**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Coordenação do Curso de Bacharelado em Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, *Campus* Cajazeiras, como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em 12 de julho de 2023.

**BANCA EXAMINADORA**

Documento assinado digitalmente



DANIEL TORRES FILHO

Data: 26/07/2023 08:06:22-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Daniel Torres Filho – IFPB-*Campus* Cajazeiras

Orientador

Documento assinado digitalmente



CINTHYA SANTOS DA SILVA

Data: 27/07/2023 09:50:09-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Cinthya Santos da Silva – IFPB-*Campus* Cajazeiras

Examinador 1

Documento assinado digitalmente



GASTAO COELHO DE AQUINO FILHO

Data: 27/07/2023 13:26:36-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Gastão Coelho de Aquino Filho – IFPB-*Campus* Cajazeiras

Examinador 2

Dedico esse trabalho a minha família, em especial aos meus pais, Gilberto e Alenice.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço imensamente aos meus pais, Gilberto e Alenice, por todo carinho, amor, dedicação e cuidado, que me orientaram para chegar aonde estou hoje.

À minha irmã, por todo amor e companheirismo durante essa jornada.

Ao Professor Daniel Torres Filho, por toda colaboração e compreensão durante o processo de produção, e pela orientação impecável.

Ao Professor Gastão Coelho, por todo auxílio na orientação e desenvolvimento da minha pesquisa.

Aos técnicos de laboratório José e Yohan, por todo auxílio no processo experimental que foi desenvolvido.

À Kely Eudenia, por sua excelente amizade, companheirismo e incentivo durante toda essa etapa.

À Ana Cristina Batista, por todo carinho, preocupação e apoio durante toda essa jornada.

A todas as amigas que conquistei durante essa etapa, Antônio Gomes, Ramon, Thiago, Lamec e muitos outros amigos e amigas que fiz, companheiros que me apoiaram direta ou indiretamente para execução dessa pesquisa.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba (IFPB), *Campus* Cajazeiras, pela oportunidade de realização de trabalhos na minha área de pesquisa.

## RESUMO

As inovações tecnológicas têm gerado uma grande demanda no mercado da construção civil, impulsionando a busca por novos materiais que reforçam a segurança e durabilidade das estruturas. Nesse contexto, surgem as barras não metálicas como uma opção viável para substituir as barras de aço para a armação de peças de concreto, aplicando-as em revitalizações, reparos e até mesmo como a armadura principal. No entanto, esse material ainda necessita de estudos para compreender o seu comportamento em condições climáticas adversas. Diante disso, este trabalho visa analisar a influência do ambiente natural na capacidade de carga em peças armadas com barras poliméricas reforçadas com fibra de vidro (PRFV). Para avaliar a influência da exposição ao ambiente natural, foram ensaiadas duas vigas submetidas à aplicação de carga em quatro pontos. Foram avaliados parâmetros como capacidade de carga, modo de falha e deslocamentos e o ambiente no qual as peças permaneceram expostas foi monitorado, o que permitiu mensurar aspectos como temperatura e umidade relativa do ar, além da temperatura das vigas. Baseado nos resultados experimentais, a capacidade de carga das vigas foi comparada com outro experimento que, na ocasião, ensaiou vigas semelhantes, mas sem exposição ao ambiente. Assim, foi possível constatar que as vigas expostas ao ambiente natural apresentaram um ligeiro aumento na capacidade resistente e modos de falha diferentes das vigas que não estiveram sujeitas à exposição. Por fim, é evidente a necessidade de um período de exposição maior para se obter respostas a longo prazo.

**Palavras-chave:** PRFV; armadura de flexão; exposição ambiental.

## ABSTRACT

Technological innovations have generated great demand in the civil construction market, driving the search for new materials that reinforce safety and durability in structures. In this context, non-metallic bars emerge as a viable option to be replaced as steel bars for framing concrete parts, applying them in revitalization, repairs and even as the main reinforcement. However, this material still needs studies to understand its behavior in adverse climatic conditions. In view of this, this work aims to analyze the influence of the natural environment on the load capacity of parts reinforced with polymeric bars made with fiberglass (FRP). To evaluate the influence of exposure to the natural environment, two beams with four-point loading were tested. Parameters such as load capacity, failure mode and displacements were considered and the environment in which the pieces remained exposed was monitored, which allowed measuring aspects such as temperature and relative humidity, in addition to the temperature of the beams. Based on the experimental results, the load capacity of the beams was compared with another experiment that tested similar beams but without exposure to the environment. Thus, it can be seen that beams exposed to the natural environment demonstrated a slight increase in bearing capacity and different failure modes than beams that were not dependent on exposure. Finally, a longer exposure period is needed to obtain long-term responses.

**Keywords:** GFRP; flexural reinforced; environmental exposure.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Processo de Fabricação das barras PRFV por pultrusão.....	16
Figura 2 – Diagrama de tensão versus deformação do aço e principais tipos de fibras. ....	18
Figura 3 – Detalhamento das vigas utilizadas no experimento .....	23
Figura 4 – Local de exposição das vigas. ....	24
Figura 5 – Exposição das vigas. ....	24
Figura 6 – Medida da temperatura da viga com termômetro infravermelho. ....	25
Figura 7 – Medidor da temperatura e umidade.....	25
Figura 8 – Ruptura da viga V2. ....	30
Figura 9 – Ruptura da viga V3. ....	31

**LISTA DE GRÁFICOS**

Gráfico 1 – Resistência do concreto em relação ao dia de ruptura para cada traço.....	27
Gráfico 2 – Curva para a determinação do traço a partir da resistência do concreto aos 28 dias. .....	27
Gráfico 3 – Variação de temperatura em função do tempo. ....	28
Gráfico 4 – Variação da umidade em função do tempo. ....	29
Gráfico 5 – Temperatura da viga em relação aos horários. ....	29
Gráfico 6 – Gráfico Tensão x Deformação das vigas V2 e V3. ....	31

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> – Propriedades Mecânicas das barras de PRFV.....	18
<b>Tabela 2</b> – Resistência do concreto em função do traço e do dia de ruptura.....	26
<b>Tabela 3</b> – Valores obtidos em função do tempo de exposição.....	28
<b>Tabela 4</b> – Condições ambientais. ....	35

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>12</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>13</b>
2.1	OBJETIVO GERAL .....	13
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
<b>3</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>14</b>
3.1	DESENVOLVIMENTO HISTÓRICO .....	14
3.2	PROCESSOS DE FABRICAÇÃO .....	15
3.3	CARACTERÍSTICAS E PROPRIEDADES DAS BARRAS PRFV .....	17
3.4	RESULTADOS DE PESQUISAS DESENVOLVIDAS NO BRASIL.....	19
3.4.1	Tavares (2006) .....	19
3.4.2	Couto (2007) .....	20
3.4.3	Mazzú (2020) .....	20
3.4.4	Santos et al. (2021).....	21
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>22</b>
4.1	AMBIENTE DE EXPOSIÇÃO DAS PEÇAS .....	23
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E ANÁLISES</b> .....	<b>26</b>
5.1	DOSAGEM DO CONCRETO.....	26
5.2	DADOS DAS CONDIÇÕES AMBIENTAIS.....	28
5.3	RUPTURA DAS VIGAS NA FLEXÃO .....	30
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>32</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>33</b>
	<b>APÊNDICE A - DADOS REFERENTES ÀS CONDIÇÕES AMBIENTAIS</b> .....	<b>35</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Em meio às demandas tecnológicas crescentes da construção civil, novos materiais estão sendo utilizados a fim de melhorar o desempenho e aumentar a vida útil das estruturas. Nessa premissa, as fibras de vidro juntamente com as resinas poliméricas vêm como uma alternativa de substituição das tradicionais barras de aço.

Segundo Sá (2018), as barras poliméricas reforçadas com fibras (PRF) consistem em um material com propriedades de alta resistência que suportam de maneira satisfatória a agressividade ambiental, com sua aplicabilidade já constatada nos setores automobilísticos, rodoviários e até mesmo em estruturas marítimas. Santos *et al.* (2021) afirmam que as barras PRF, especialmente as barras poliméricas reforçadas com fibra de vidro (PRFV), demandam de uma maior atenção devido ao seu módulo de elasticidade baixo, menor que o do aço, gerando, assim, uma deformação maior nos elementos armados com esse material. Desse modo é necessário buscar meios de dimensionamento que visem considerar tal situação.

No entanto, vale ressaltar que as estruturas armadas com barras de PRFV, resistentes à corrosão, necessitam de cuidados como cobrimentos suficientes que levem à proteção das fibras, como afirma Mazzú (2020). Ineia *et al.* (2021), por sua vez, apontam que as barras de PRFV podem ser usadas para armar estruturas em obras como revitalização de edificações, reparos, bem como para novas edificações em condições de ambientes mais agressivos, conduzindo a um menor custo e maior durabilidade da estrutura.

Apesar de já existir uma ampla gama de estudos a respeito do uso de peças armadas com barras de PRFV, é necessário estudar com mais profundidade o comportamento dessas peças diante da exposição ao ambiente natural. Diante do exposto, este trabalho se justifica pela necessidade de um maior conhecimento e pesquisa a respeito do comportamento de tais peças a partir da exposição em ambiente natural.

Apoiado em estudos que contemplem a exposição das peças armadas com barras de PRFV, é possível avaliar a influência dessa exposição no desempenho das barras não metálicas utilizadas para armar estruturas de concreto.

## 2 OBJETIVOS

Neste capítulo estão delimitados os objetivos da pesquisa em questão.

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Determinar a capacidade de carga, modo de falha e deslocamento de peças armadas longitudinalmente com barras poliméricas reforçadas com fibra de vidro (PRFV).

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

De modo a alcançar o objetivo geral, alguns objetivos específicos foram elencados, sendo eles:

- construir exemplares de vigas armadas com barras de PRFV, para exposição em ambiente natural para o desenvolvimento dessa proposta de estudo;
- realizar um levantamento das condições ambientais onde as vigas permaneceram expostas, a partir da determinação de variáveis como temperatura e umidade relativa do ar, compreendendo o período em que as peças permaneceram expostas;
- avaliar o comportamento das peças quanto à aplicação de carga, observando os efeitos da exposição em ambiente natural na resistência das peças e comparando esses resultados com os de peças que não permaneceram expostas.

### 3 REVISÃO DE LITERATURA

Neste capítulo serão abordados os aspectos relevantes sobre as barras de PRFV. A priori, será apresentado um breve histórico sobre o uso deste material, onde será discutido o seu processo de fabricação, enfatizando as etapas envolvidas na produção das barras e os respectivos materiais utilizados. As suas características e propriedades também são apresentadas, além de alguns resultados obtidos em pesquisas desenvolvidas no Brasil utilizando-as.

#### 3.1 DESENVOLVIMENTO HISTÓRICO

Como esclarece Tavares (2006), o uso de materiais compostos em construções civis é uma técnica que data do final da década de 1950. Segundo Couto (2007), foi a partir dos anos 1980 que o uso de barras de PRFV começou a ser utilizada na construção de hospitais por ser um material considerado não condutor magnético.

Beiral (2015) destaca que a utilização de materiais compósitos em estruturas de concreto armado cresceu significativamente nas últimas décadas, uma vez que se tem a possibilidade de se obter uma maior durabilidade e resistência às intempéries. Nesse sentido, a utilização de barras de PRFV tem se mostrado uma alternativa viável, já que apresenta alta resistência mecânica e química, além de serem mais leves e terem uma vida útil mais longa em relação às barras de aço convencionais.

No Brasil, a utilização de barras de PRF em construções civis teve início na década de 1990, quando empresas começaram a importar essas barras para a construção de pontes e passarelas. A partir dos anos 2000, a utilização dessas barras se expandiu para outras aplicações, como reforço de estruturas existentes, construção de reservatórios, tanques e tubulações.

De acordo com Couto (2007), as barras de PRFV também vêm sendo utilizadas em estruturas de concreto armado, substituindo as barras de aço convencionais, especialmente em regiões com alta exposição a ambientes agressivos. Ainda segundo o autor, o mercado de compósitos no Brasil tem crescido significativamente com o aumento da oferta de produtos e serviços e o desenvolvimento de normas técnicas específicas para a utilização desses materiais.

Apesar de não existirem norma brasileiras para a utilização desse compósito no Brasil o Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON) desenvolve alguns trabalhos nesse âmbito, tendo como resultado a publicação de práticas recomendadas, relacionado aos critérios de

dimensionamento, visando fornecer diretrizes e orientações quanto a aplicação desse material em estruturas de concreto armado.

Nos Estados Unidos, o uso de materiais compósitos em construções civis é regulamentado pelo Instituto Americano de Concreto (ACI), que possui uma norma específica para o dimensionamento e aplicação de compósitos de polímeros reforçados com fibras (PRF) em estruturas de concreto armado, a ACI 440.1R (2015). Essa norma estabelece critérios técnicos para o projeto, fabricação e instalação de elementos estruturais em compósitos de PRF, garantindo a segurança e a confiabilidade das estruturas construídas com esses materiais.

Em outros países, normas de dimensionamento surgiram para orientar o estudo e o uso das barras de PRF. Por exemplo, o Canadá através do *Canadian Highway Bridge Design Code* (CHBDC) de 1998 estabelece diretrizes para o uso de barras de PRF. No Japão, a *Japan Society of Civil Engineers* (JSCE) adicionou, por volta de 1997, normas que regem o uso das barras de PRF em estruturas de concreto armado.

Na Europa, também existem estudos que embasam a regulamentação do uso das barras de PRFV. Tavares (2006) menciona o modelo EUROCODE de 1990, que serve como base para as normativas europeias relacionadas à utilização desses materiais.

Com o avanço tecnológico e aprimoramento dos processos de produção, as barras de PRFV vêm se consolidando como uma opção segura e eficiente para as mais diversas aplicações na construção civil. O uso dessas barras já é regulamentado por normas técnicas específicas no exterior, o que garante maior segurança e confiabilidade nas obras em que são empregadas (BEIRAL, 2015). Apesar disso ainda existe a necessidade de novas pesquisas para avaliar melhor suas propriedades quanto a influência da exposição a condições adversas, além de uma norma que regulamente a utilização desse compósito no Brasil.

### 3.2 PROCESSOS DE FABRICAÇÃO

As barras poliméricas reforçadas com fibra de vidro (PRFV) têm sido amplamente estudadas como alternativa às barras de aço em estruturas de concreto armado. O processo de fabricação dessas barras é um dos fatores importantes que afetam suas propriedades mecânicas e, conseqüentemente, sua eficácia como material de reforço.

Existem diversos processos de fabricação das barras de PRFV, incluindo a pultrusão, o enrolamento filamentosos e a infusão de resina termofixa, que podem ser poliéster, viniléster, epóxi ou termoplástica (TAVARES, 2006). No entanto, um dos principais desafios na produção

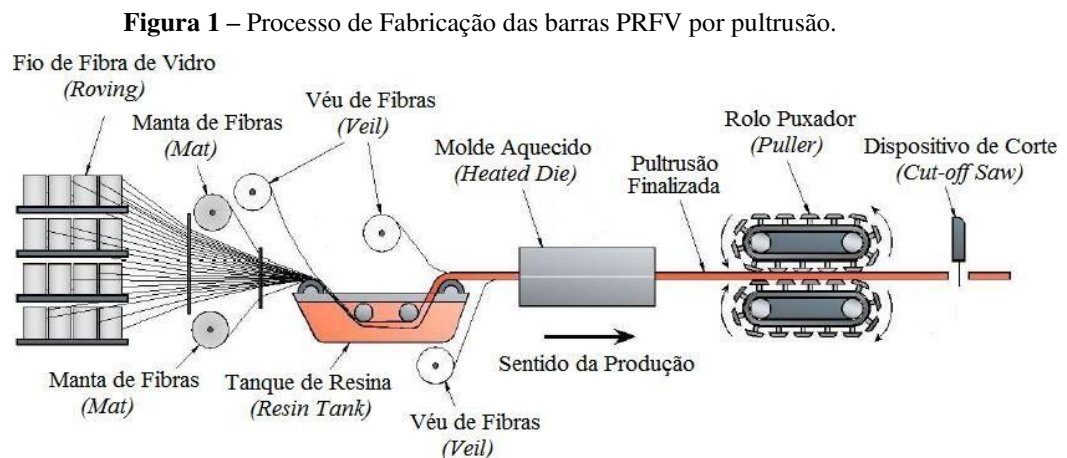


dessas barras está relacionado à interação com o meio alcalino presente no concreto que, combinado com a umidade, degrada o material e reduz drasticamente sua vida útil, conforme cita Mariscal e Shahaway (1993, *apud* TAVARES, 2006).

Nesse contexto, Tavares (2006) apresenta um estudo realizado por Micelli e Nanni (2004), onde foi possível constatar que a resistência do compósito diminui consideravelmente quando exposto a um ambiente alcalino por um período de até 42 dias. No entanto, uma única matriz, a resina termoplástica, mostrou-se eficaz no combate a esse processo de degradação causado pela interação com o meio alcalino do concreto.

Por essa razão, esse material é a principal matriz utilizada na fabricação das barras de PRFV. Tal resina confere uma maior resistência à degradação e contribui para aumentar a vida útil do compósito. Portanto, é escolhido como a opção preferencial na produção do compósito, garantindo a durabilidade e desempenho adequado quando exibidos ao ambiente alcalino do concreto.

A pultrusão é o método mais utilizado na produção de barras PRFV, que consiste em puxar continuamente fibras de vidro através de uma matriz de resina termo fixa aquecida, a qual é puxada por um molde de aço, resultando em uma seção transversal constante e uniforme, como pode ser observado na Figura 1.



**Fonte:** Seruti (2013, *apud* SOUZA, 2017).

O enrolamento filamentar envolve a aplicação de camadas de filamentos de fibra de vidro em torno de um mandril rotativo, seguida da impregnação com resina termo fixa. Já a infusão de resina é um processo de molde fechado, no qual a resina é infundida em uma pilha de fibras de vidro.

Entre as principais empresas que são referências na produção de barras de PRFV, estão a *Composite Group Brazil* e *Brasfib*. Essas empresas oferecem soluções inteligentes e viáveis por meio do uso desse compósito e vêm conquistando cada vez mais espaço no mercado. Eles estão à frente no desenvolvimento e fornecimento de barras de PRFV, atendendo à demanda crescente por materiais de construção mais leves, duráveis e de alto desempenho.

### 3.3 CARACTERÍSTICAS E PROPRIEDADES DAS BARRAS PRFV

A utilização das barras de PRFV como armadura longitudinal em peças de concreto armado apresenta vantagens, como a redução do peso próprio das estruturas, que resultam em uma significativa redução nos custos finais da obra. Além disso, elas possuem uma considerável relação resistência/peso, além não corrosividade e alta resistência à tração, sendo ideal para estruturas protendidas, como afirma Beiral (2015). No entanto sua flexibilidade pode ser um agravante quanto a utilização desse material em elementos de concreto armado. Essas propriedades as destacam como uma opção promissora para melhorar o desempenho e a durabilidade das estruturas de concreto armado, levando em conta o fator deformação da peça como um critério em sua utilização.

Esse compósito exibe um comportamento anisotrópico, o que confere ao material uma resistência significativa à tração nas fibras orientadas longitudinalmente, além de uma menor aderência ao concreto, conforme apontado por Ineia *et al.* (2021). Segundo Beiral (2015) as barras de PRFV apresentam propriedades isolantes elétricas e magnéticas excelentes, tornando-as adequadas para aplicações que requerem isolamento nessas áreas.

A resistência à tração das barras de PRFV é menor quando comparadas com as barras de aço. Vale salientar que essa capacidade pode variar dependendo do diâmetro da bitola utilizada, uma vez que, à medida que o diâmetro aumenta, as fibras localizadas no centro da seção tendem a estar menos solicitadas. Portanto, quanto maior o diâmetro da barra, é possível que a sua capacidade resistiva diminua.

As barras de PRFV apresentam algumas limitações no que diz respeito à resistência à compressão, já que sua capacidade gira em torno de 55% da resistência à tração. Essa característica é evidenciada especialmente no estado limite de ruptura, onde podem ocorrer microfissuras na fibra ou falhas por cisalhamento. É importante ressaltar que o desempenho das barras de PRFV nesse aspecto é influenciado pelo tipo de resina, fibra e fração volumétrica

utilizados, o que impacta diretamente no modelo de falha do material, como destaca Ineia *et al.* (2021).

Como citado por Beiral (2015), a resistência à fadiga das barras de PRFV tende a ser menor em comparação com as barras de aço. No entanto, é importante destacar que elas não sofrem alterações quando submetidas a níveis de tensão inferiores a 50% de sua capacidade de última carga resistindo a cerca de quatro milhões de ciclos de carregamento antes de iniciar a ruptura na zona de ancoragem, consoante a Couto (2007).

Isso significa que tais barras podem suportar carregamentos abaixo desse limite sem apresentar problemas relacionados à fadiga. No entanto, é fundamental considerar essa capacidade ao projetar estruturas que serão atendidas a cargas cíclicas ou dinâmicas, a fim de evitar falhas prematuras devido à fadiga das barras de PRFV.

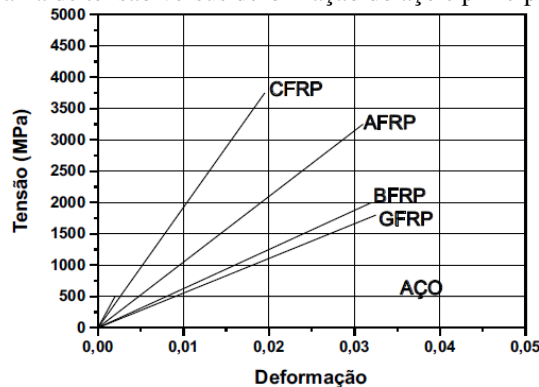
Com um módulo de elasticidade da ordem de 50 GPa, conforme mencionado na Tabela 1, as barras de PRFV apresentam apenas 25% do módulo de elasticidade das barras tradicionais de aço, que gira em torno de 200 GPa. Em seu trabalho, Dalfré, Ferreira e Mazzú (2020) apresenta o comportamento elástico linear e de ruptura frágil das barras de PRFV, conforme ilustrado na Figura 2.

**Tabela 1** – Propriedades Mecânicas das barras de PRFV.

Propriedades das Barras de PRFV		Barra de PRFV
Densidade das barras (g/cm <sup>3</sup> )		1,25 a 2,10
Resistência a tração (Mpa)		483 a 690
Módulo de elasticidade (GPa)		35 a 51
Coeficiente de dilatação térmica (10 <sup>6</sup> /°C)	Direção longitudinal, $\alpha_L$	6 a 10
	Direção Transversal, $\alpha_t$	21 a 23

Fonte: ACI 440.1R-15 (2015).

**Figura 2** – Diagrama de tensão versus deformação do aço e principais tipos de fibras.



Fonte: Adaptado de FIB Bulletin 90 (2019, *apud* DALFRÉ; FERREIRA; MAZZÚ., 2020).

Ao observar a Figura 2, é perceptível que as barras de *Glass fiber reinforced polymer* (GFRP) possuem uma taxa de deformação significativamente maior devido ao seu menor módulo de elasticidade em comparação com os demais compósitos de fibra. Além disso, é evidente que a tensão suportada por elas é consideravelmente inferior quando comparado com as demais barras poliméricas.

Conforme mencionado por Ineia *et al.* (2021), a resistência à tração do aço varia entre 483 a 1600 MPa, enquanto o PRFV pode variar entre 483 a 690 MPa. É importante ressaltar que a resistência à tração das barras de PRFV pode variar dentro dessa faixa, dependendo da taxa de fibra, resina e processo de fabricação utilizados.

Destaca-se que, embora os procedimentos de cálculo das barras de PRFV possam ter semelhanças com os do aço convencional, ainda não existe um patamar de escoamento definido para elas. Ao contrário do aço, as barras de PRFV apresentam uma ruptura frágil quando submetidas à sua resistência limite.

Isso significa que, ao atingir a sua capacidade máxima de resistência, elas tendem a romper de maneira repentina, sem um comportamento de deformação plástica observada no aço. Essa característica deve ser considerada no dimensionamento e projeto estrutural envolvendo barras de PRFV.

Diante do que foi exposto, é preciso considerar que tais propriedades, até então, não consideram o tempo de exposição do material a condições naturais, existindo uma lacuna que precisa ser preenchida. Para isso, é importante o desenvolvimento de pesquisas que considerem a influência do ambiente em possíveis mudanças nas propriedades do material.

### 3.4 RESULTADOS DE PESQUISAS DESENVOLVIDAS NO BRASIL

O capítulo em questão tem como objetivo apresentar as principais pesquisas desenvolvidas nacionalmente no âmbito das barras de PRFV.

#### 3.4.1 Tavares (2006)

A pesquisa em questão visou realizar um estudo comparativo entre as propriedades das barras de PRFV e o aço convencional que permitiu um maior entendimento das características e desempenho das barras do PRFV, abrindo caminho para o desenvolvimento e aplicação mais eficiente desse material no país. Tal pesquisa representou um marco significativo para o avanço da área de estudos de barras não metálicas, trazendo contribuições valiosas para o setor.

O estudo em questão teve como propósito investigar a relação tensão X deformação das barras de PRFV quando submetidas a cargas de serviço e ruptura, além de avaliar suas capacidades resistivas por meio de ensaios de flexão em 4 pontos. Assim, permitiu compreender melhor as capacidades resistivas das barras de PRFV, proporcionando uma visão mais abrangente de sua resposta mecânica a esforços.

Durante os ensaios realizados no estudo, ficou clara a existência de uma grande disparidade na deformação e deslocamento das barras longitudinais entre as barras de PRFV e as barras de aço. Essa disparidade é atribuída ao baixo módulo de elasticidade do compósito de PRFV. Os resultados da pesquisa indicaram que, para uma mesma deformação, as barras de PRFV suportaram aproximadamente metade do carregamento que determina a mudança de estágio das barras de aço como afirma o autor.

Essa constatação ressalta a diferença no comportamento mecânico entre as barras de PRFV e as barras de aço, destacando a necessidade do aumento da taxa de armadura para que os exemplares armados com barras de PRFV possuam deformação semelhante as de aço quando submetidos a uma mesma carga. O autor aponta ainda o uso de protensão como fator de mitigador para as excessivas deformações do compósito.

#### 3.4.2 Couto (2007)

Essa pesquisa foi voltada para avaliar a eficácia da aderência entre barras de PRFV e concreto, através de uma revisão bibliográfica e ensaios de arrancamento padronizados, observando a variação da resistência do concreto e o diâmetro de tais barras.

Os ensaios de arrancamento do compósito foram avaliados tanto por meio de um modelo de análise numérica de elementos finitos, quanto por testes experimentais. Segundo a autora, ambos os métodos produzem resultados semelhantes, evidenciando que o diâmetro da barra e a distribuição dos agregados influenciam diretamente nas tensões de aderência e deslocamento último da barra de PRFV ao concreto.

Os ensaios realizados mostram que a aderência das barras de PRFV não sofre mudanças significativas em peças de concreto com resistência à compressão de 60 MPa e 80 MPa, já para concretos com 30 MPa a aderência foi sensivelmente menor.

#### 3.4.3 Mazzú (2020)

O estudo em questão foi realizado devido à necessidade de investigar os problemas decorrentes das intempéries que enfraquecem os materiais alternativos. Na pesquisa de Mazzú

(2020), foram utilizadas barras de PRFV como substituição das barras de aço em peças de concreto armado. As peças do estudo em questão foram condicionadas no ambiente do laboratório e outras expostas ao ataque de cloretos por meio de solução de NaCl. O objetivo era avaliar a resistência e as características mecânicas das peças armadas com barras de PRFV em situações de exposição ao ataque de cloretos.

No estudo, foram tratados ensaios de flexão em três pontos para avaliar a resistência mecânica, deformação e modo de falha das peças. Os resultados desses ensaios revelaram que as vigas que utilizaram barras de PRFV como substitutas das barras de aço tradicionais apresentaram uma redução de aproximadamente 70% na rigidez. No entanto, houve um aumento de 27% na capacidade de carga das vigas.

Além disso, o estudo enfatiza que não foram observadas mudanças significativas na resistência máxima das peças com barras de PRFV e barras de aço quando expostas ao ataque de cloretos.

#### 3.4.4 Santos *et al.* (2021)

A pesquisa em questão tem como objetivo investigar o comportamento das barras de PRFV utilizadas como armadura longitudinal para resistir aos esforços de flexão. O estudo busca comparar o desempenho estrutural, resistência, deformação e modo de falha desses materiais alternativos em relação às barras de aço.

Para o estudo em questão, Santos *et al.* (2021) utilizaram o ensaio de flexão com aplicação de carga em quatro pontos para testar vigas armadas com barras de PRFV, contendo ou não dispositivos de ancoragem, além de uma viga com barras de aço CA-50.

A partir dos experimentos foi possível observar que as barras de PRFV tiveram um aumento de aproximadamente 19,85% em sua resistência em relação às peças armadas com aço. Em contrapartida os compósitos apresentaram maiores deslocamentos e maior quantidade de fissuras.

Por fim, o autor realiza uma análise baseada nos módulos de falha, revelando que, entre os compósitos de PRFV, a peça que possuía ancoragem chegou ao seu limite devido à ruptura da armadura longitudinal, enquanto a que estava sem ancoragem chegou à sua ruína devido ao esmagamento do concreto, embora as cargas de ruptura sejam muito próximas.

## 4 METODOLOGIA

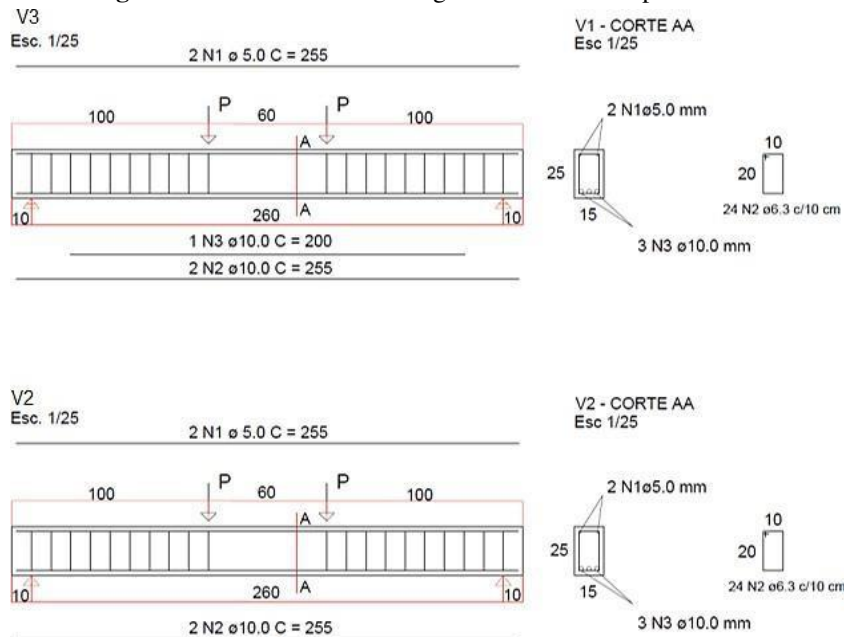
A pesquisa em questão foi desenvolvida inicialmente por meio de um estudo bibliográfico a respeito das propriedades do compósito, levantando os ensaios utilizados em cada estudo, resultados obtidos e conclusões. Além disso foram realizados ensaios experimentais afim de compará-los a pesquisa de outro autor, com intuito de observar a influência da exposição ambiental quanto a deformação e capacidade de carga das peças armadas com barras de PRFV.

Os ensaios do estudo em questão tiveram início com a dosagem do concreto, sendo realizada no Laboratório de Materiais de Construção do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba (IFPB), *Campus* Cajazeiras, no qual foi prevista uma resistência de 25 MPa. Para isso foram adotadas três relações entre cimento e agregados, sendo elas (1:3,5), (1:5) e (1:6,5).

A partir disso foram moldados corpos de prova para determinação da resistência para um período de cura de 7, 14 e 28 dias. Através desses dados foi possível obter uma curva de resistência à compressão para cada traço em função do dia. Para a determinação da resistência à compressão aos 28 dias foi traçada uma curva com esses resultados para cada traço, no qual foi possível extrair o traço utilizado na pesquisa de 1:2:2,7.

Para a realização dos ensaios de flexão foram moldadas duas vigas. Uma das vigas foi armada com uma armadura longitudinal composta por duas barras de PRFV com 10 mm de diâmetro. Já a segunda foi armada com três barras de PRFV com 10 mm de diâmetro, conforme o detalhe da Figura 3, tais arranjos de barras foram adotados visando a ruptura na flexão. Todas as vigas foram confeccionadas com seção de 15 cm de largura e 25 cm de altura, vão livre entre apoios com 2,40 m, sendo seu comprimento total de 2,6 m. Após a confecção das peças, estas passaram por um período de cura de 28 dias, sendo na sequência expostas a um ambiente natural. Estando inseridas em ambiente natural, teve início a aferição periódica da temperatura do ambiente e da umidade relativa do ar.

**Figura 3** – Detalhamento das vigas utilizadas no experimento.



Fonte: Autor, 2023.

Para a ruptura das peças foi utilizado o pórtico de reação do Laboratório de Estruturas do IFPB, *Campus* Cajazeiras. O presente pórtico tem capacidade de aplicação de carga de 50 toneladas, ensaiando vigas com até 3,0 m de comprimento. Para o presente estudo foi conduzido um ensaio de flexão com a aplicação de carga em quatro pontos, sendo dois ativos ao centro da peça, com distância de 60 cm, e dois reativos, caracterizando o suporte nas extremidades, conforme ilustrado na Figura 3. A carga aplicada foi medida através do uso de uma célula de carga do tipo C da Alfa Instrumentos, com capacidade de 100 toneladas. Já os deslocamentos foram medidos com o uso de um paquímetro digital. Esses equipamentos foram conectados a um sistema de captação de dados.

Com a obtenção dos dados foi possível avaliar o comportamento da peça traçando o gráfico do deslocamento em função da força para cada uma das peças.

A fim de avaliar o comportamento das peças no que diz respeito à exposição em ambiente natural, os resultados de ruptura das vigas foram comparados com os dados das vigas ensaiadas por Moreira (2023). Na ocasião, tais peças foram armadas com o mesmo arranjo de armadura, utilizando um concreto produzido a partir do mesmo traço. As variáveis avaliadas foram as formas de ruptura e máxima carga suportada.

#### 4.1 AMBIENTE DE EXPOSIÇÃO DAS PEÇAS

As peças seguiram expostas em ambiente natural entre os dias 8 de maio e 2 de junho de 2023 na parte externa do Laboratório de Estruturas do IFPB, *Campus* Cajazeiras, cuja



localização é  $6^{\circ}53'25.0''S$   $38^{\circ}32'39.2''W$ , como pode ser vista na Figura 4.

**Figura 4** – Local de exposição das vigas.



Fonte: Google Maps, 2023.

As peças permaneceram apoiadas sobre corpos de prova de concreto, com um vão entre apoios próximo ao que seria empregado no ensaio, com aproximadamente 2,30 m, como indicado na Figura 5. A temperatura das vigas foi aferida utilizando um termômetro infravermelho da Vonder, do tipo TIV 6500, conforme exposto na Figura 6. Já as variáveis como temperatura e umidade relativa do ar foram medidas utilizando o equipamento do tipo Akrom Kr825 (Figura 7).

**Figura 5** – Exposição das vigas.



Fonte: arquivo pessoal, 2023.

**Figura 6** – Medida da temperatura da viga com termômetro infravermelho.



Fonte: arquivo pessoal, 2023.

**Figura 7** – Medidor da temperatura e umidade.



Fonte: arquivo pessoal, 2023.

## 5 RESULTADOS E ANÁLISES

Neste capítulo serão abordados os resultados obtidos durante a realização da pesquisa.

### 5.1 DOSAGEM DO CONCRETO

O concreto utilizado neste estudo foi produzido nas instalações do IFPB, *Campus Cajazeiras*. A sua preparação seguiu a metodologia descrita no estudo, onde foram realizados ensaios com os traços previamente determinados. A partir de cada amostra de concreto, foram moldados corpos de prova cilíndricos com dimensões de 100 mm de diâmetro por 200 mm de altura. Os mesmos permaneceram submersos em água para o processo de cura, por períodos de 7, 14 e 28 dias, respectivamente.

Após o período de cura, os corpos de prova de concreto foram desmoldados e submetidos a ensaios de compressão, a fim de obter a resistência de cada traço utilizado. Os resultados desses ensaios foram registrados e apresentados na Tabela 2.

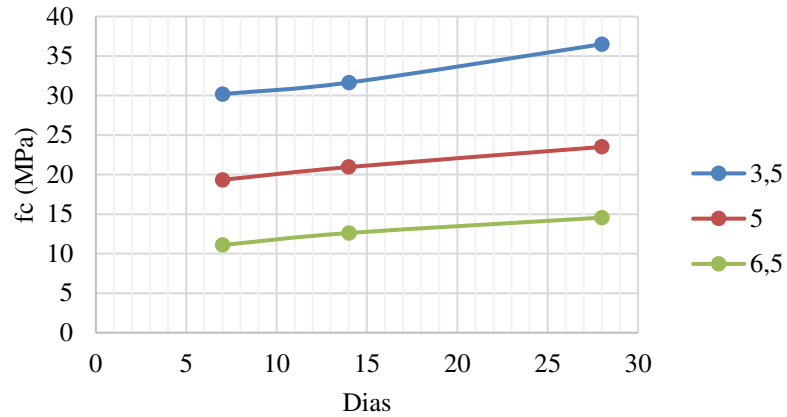
**Tabela 2** – Resistência do concreto em função do traço e do dia de ruptura.

Dias	Traço					
	3,5		5		6,5	
	fc (MPa) exemplar	fc (MPa) amostra	fc (MPa) exemplar	fc (MPa) amostra	fc (MPa) exemplar	fc (MPa) amostra
7	28,80	30,19	19,34	19,34	11,1	11,1
	30,19		18,97		10,6	
14	29,89	31,65	20,58	20,96	12,61	12,61
	31,65		20,96		12,23	
28	35,5	36,5	23,5	23,5	14,56	14,56
	36,5		22,52		14,17	

Fonte: Autor, 2023.

A partir da análise dos resultados da Tabela 2 foi possível identificar a relação entre a composição do traço de concreto e sua resistência final. Para cada traço e período de cura foi selecionada a maior resistência, o que permitiu traçar uma curva representativa do crescimento da resistência em função do tempo, como mostra o Gráfico 1.

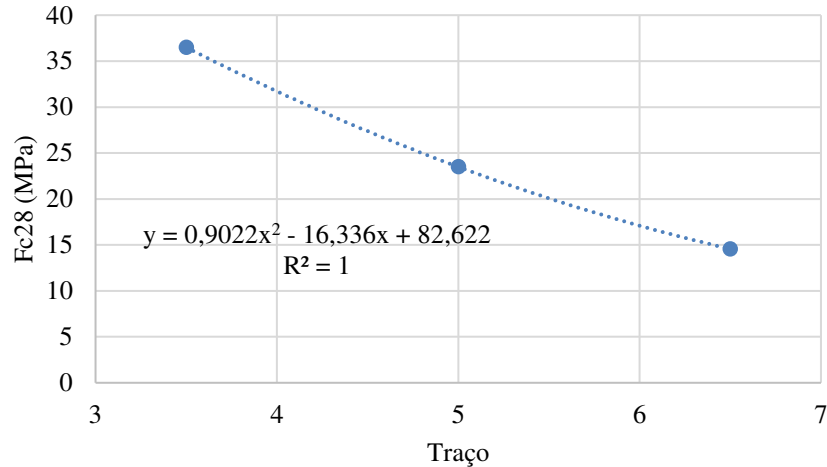
**Gráfico 1** – Resistência do concreto em relação ao dia de ruptura para cada traço.



Fonte: Autor, 2023.

Baseado nas informações obtidas a partir da análise dos gráficos e dos ensaios, foram selecionados os pontos de maior resistência aos 28 dias para cada traço, formando, assim, uma curva de resistência em função do traço utilizado, conforme demonstra o Gráfico 2.

**Gráfico 2** – Curva para a determinação do traço a partir da resistência do concreto aos 28 dias.



Fonte: Autor, 2023.

Por meio do Gráfico 2 foi possível observar uma relação inversamente proporcional entre o traço utilizado e a resistência do concreto. Dessa forma, foi identificado o ponto de intersecção que resulta no traço ideal para a obtenção de um concreto com resistência de 25MPa. Como resultado, foi obtida uma relação entre cimento e agregado de 1:4,7, com uma taxa de argamassa de 52% resultando em um traço de 1:2:2,7.

## 5.2 DADOS DAS CONDIÇÕES AMBIENTAIS

As peças permaneceram expostas por um período de 25 dias em ambiente natural. Durante esse período, foram realizadas medições da temperatura e umidade relativa do ar, totalizando 38 medições em sua maioria em dias úteis e horários diversos, conforme mostra a Tabela 3. Com o propósito de obter uma análise mais precisa, optou-se posteriormente por determinar a temperatura das vigas conforme mostra o apêndice A. Assim, foram reunidas, ao todo, 26 medições durante esse período.

**Tabela 3** – Valores obtidos em função do tempo de exposição.

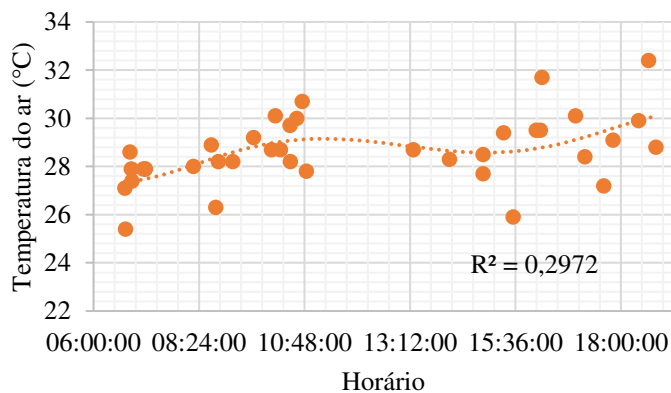
	Temperatura do ar (°C)	UR (%)	Temperatura da viga(°C)
<b>N</b>	38	38	26
<b>Média</b>	28.6	68.7	32.2
<b>Mediana</b>	28.6	69	31.4
<b>Desvio padrão</b>	1.41	7.57	7.07
<b>Amplitude</b>	7.00	39.0	21.1
<b>Mínimo</b>	25.4	49.0	22.4
<b>Máximo</b>	32.4	88.0	43.5

**Fonte:** Autor, 2023.

Durante o período de exposição das peças, a temperatura média do ar foi de 28,6 °C, apresentando um desvio padrão de 1,41, o que demonstra uma baixa flutuação da temperatura ao longo do período analisado. Os dados mostram que a temperatura varia ao longo do dia, com um mínimo de 25,4°C no início da manhã e atingindo a máxima de 32,4°C no final da tarde.

Ao analisar o Gráfico 3, podemos observar a variação dos dados da temperatura do ar.

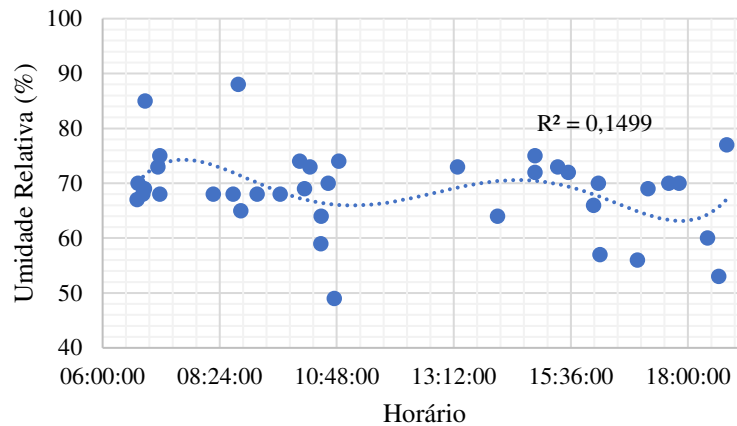
**Gráfico 3** – Variação de temperatura em função do tempo.



**Fonte:** Autor, 2023.

No tocante à umidade relativa do ar, foi possível constatar uma média de 68,7%. Os resultados indicam uma variação nos valores da umidade relativa do ar, conforme evidenciado pelo desvio padrão de 7,57. A Gráfico 4 mostra a variação da umidade relativa, com valores mínimos e máximos de 49,0% e 88,0%, respectivamente, ao longo dos dias.

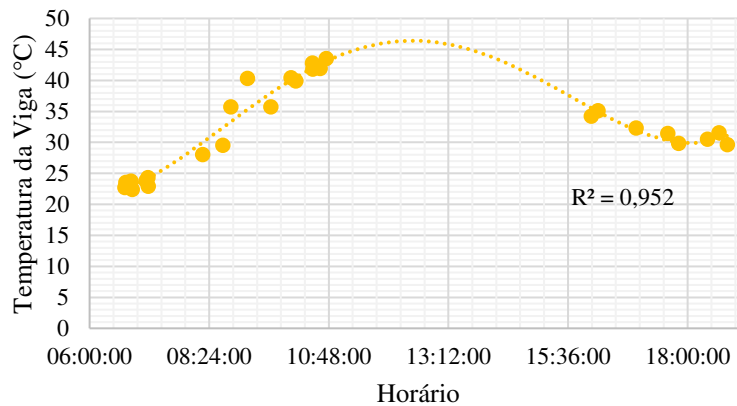
**Gráfico 4** – Variação da umidade em função do tempo.



Fonte: Autor, 2023.

Analisando os dados quanto à temperatura da viga, ela obteve uma média de 32,2°C, com um desvio padrão de 7,07, o que demonstra a flutuação maior dos dados em relação à média. A temperatura da viga ao longo do período apresentou uma variação mínima de 22,4°C e uma temperatura máxima de 43,5°C. Isso pode ser creditado ao calor específico do concreto. É possível observar que os dados seguiram uma linha de tendência, dada por uma equação polinomial de grau 5, com um  $R^2$  de 0,952, conforme apresentado na Gráfico 5.

**Gráfico 5** – Temperatura da viga em relação aos horários.



Fonte: Autor, 2023.

### 5.3 RUPTURA DAS VIGAS NA FLEXÃO

Para a viga V2, o seu estado limite foi atingido com a ruptura da armadura, suportando uma carga máxima de 64,2 kN, alcançando um deslocamento de 91,25 mm. Ao ensaiar uma peça semelhante em seu trabalho, Moreira (2023) observou que a ruína da viga semelhante em seu estudo chegou ao seu estado limite em função do cisalhamento, com uma carga máxima de 53,99 kN e um deslocamento máximo de 77,99 mm. Isso demonstra que a viga V2 suportou uma carga 15,91 % maior e uma rigidez de 29,65% menor que a viga ensaiada por Moreira (2023).

O ensaio de ruptura da viga V2 demonstra a baixa rigidez da peça, apresentando grandes deslocamentos, como visto na Figura 8. Nessa imagem, é possível observar a formação de fissuras na parte central. Pelo fato de a ruptura ocorrer pela barra, não foi possível obter uma imagem da peça no pórtico, pois a peça se dividiu em duas, saindo dos apoios.

**Figura 8** – Ruptura da viga V2.



**Fonte:** arquivo pessoal, 2023.

A viga V3 chegou ao seu estado limite último devido ao esmagamento do concreto, conforme ilustrado na Figura 9, chegando a suportar uma carga máxima de 65,64 kN, seguido de um deslocamento de 47,4 mm.

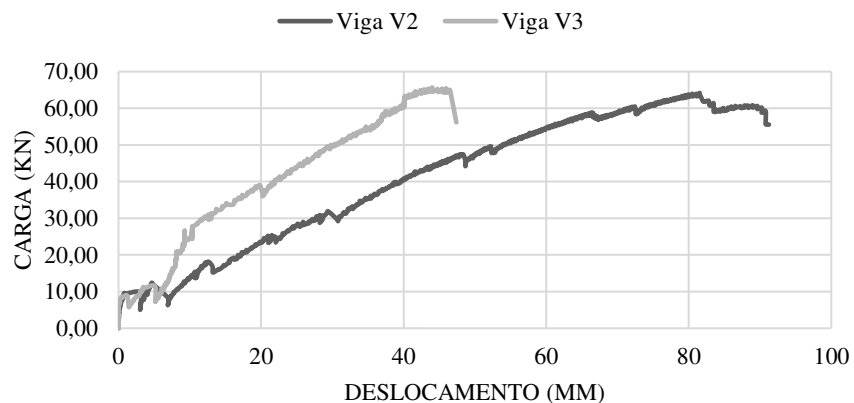


**Figura 9 – Ruptura da viga V3.**

**Fonte:** arquivo pessoal, 2023.

Comparando com os resultados de uma viga semelhante de Moreira (2023), o autor retrata que o módulo de falha da peça acontece por meio do cisalhamento, suportando uma carga máxima de 65,54 kN e um deslocamento de 61,48 mm.

O Gráfico 6 demonstra o comportamento das vigas V2 e V3 ao longo do ensaio. A partir de sua análise, é possível notar que a viga V3, apesar de romper com um carregamento semelhante, possui uma rigidez superior quando comparado com a viga V2, uma vez que o seu deslocamento é, aproximadamente, 51,09 % menor em relação à outra peça. A presença de uma maior quantidade de armadura contribui para o aumento da rigidez da peça, característica que favorece a utilização do compósito em estruturas de concreto armado.

**Gráfico 6 – Gráfico Tensão x Deformação das vigas V2 e V3.**

**Fonte:** Autor, 2023.



## 6 CONCLUSÃO

Os ensaios realizados revelaram que as peças de concreto armado com barras de PRFV alcançaram seu limite máximo por diferentes modos de falha, a viga V2 sofrendo ruptura na armadura e a viga V3, por sua vez, apresentando esmagamento do concreto. É importante destacar que, apesar do curto intervalo de tempo, a viga V2, que permaneceu exposta em ambiente natural, apresentou uma resistência superior em 15,91% quando comparadas com peças semelhantes ensaiadas por Moreira (2023). No caso da viga V3, praticamente não houve diferença entre as capacidades de carga entre elas.

É válido destacar que os modos de ruptura das peças ensaiadas na presente pesquisa diferem do modo reportado por Moreira (2023) que ficaram expostas em ambiente laboratorial, ocorrendo em todas as vigas desta pesquisa o cisalhamento. Outro ponto que precisa ser apontado é o tempo reduzido da exposição das peças, fazendo-se necessário um intervalo maior para avaliar de forma significativa os efeitos da permanência em ambiente natural na capacidade resistente das peças. Isso fica como sugestão para trabalhos futuros.

O levantamento dos dados das condições ambientais foi feito de forma manual, sem uma periodicidade, o que acaba sendo insuficiente para a obtenção de conclusões mais precisas. Para futuras pesquisas, é interessante realizar a medição de forma automatizada, com períodos predeterminados.

## REFERÊNCIAS

- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **ACI 440.1R-15**: Guide for the Design and Construction of Structural Concrete Reinforced with Fiber- Reinforced Polymer (FRP) Bars. Farmington Hills: American Concrete Institute, 2015.
- BEIRAL, W. V. **Análise comparativa do uso de barras de aço e fibras de carbono para reforço de vigas de concreto armado**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2015. Disponível em: <https://uenf.br/posgraduacao/engenharia-civil/wp-content/uploads/sites/3/2015/09/WEVERTHON-VIEIRA-BEIRAL.pdf>. Acesso em: 09 mar. 2023.
- COUTO, I. A. **Análise teórica e experimental do comportamento da aderência entre o concreto e barras de fibra de vidro impregnada por polímero**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.
- DALFRÉ, G. M.; FERREIRA, F. G. S.; MAZZÚ, A. D. E. Dimensionamento de vigas de concreto armado à flexão com barras não metálicas. **Concreto & Construção**, São Paulo, v. 98, p. 72-78, abr./jun. 2020.
- DUARTE, I. O.; FUGIYAMA, M. M.; SANTOS, J. D.; FORTI, N. C. S. Caracterização do comportamento mecânico das barras de GFRP e BFRP. *In*: Brazilian Technology Symposium, 098. 2021, Campinas. **Anais eletrônicos** [...] Campinas: BTSym, 2021, p. 1-6. Disponível em: [https://lcv.fee.unicamp.br/images/BTSym-21/papers/BTSym2021\\_098\\_v1.pdf](https://lcv.fee.unicamp.br/images/BTSym-21/papers/BTSym2021_098_v1.pdf) . Acesso em: 09 mar. 2023.
- FÉDÉRATION INTERNATIONALE DU BÉTON. **FIB Bulletin 90**: Externally applied FRP reinforcement for concrete structures. Alemanha: Technical report, 2019.
- INEIA, A.; POL, W. O.; BRAUN, J. C. A.; LOPES JUNIOR, L. S. Barras de fibra de vidro, uma alternativa inovadora e suas potencialidades: revisão bibliográfica. **Tecno-Lógica**, v. 25, n. 2, p. 243-251, 5 jul. 2021.
- MAZZÚ, A. D. E. **Estudo sobre a substituição de armaduras metálicas por barras de GFRP em vigas de concreto armado à flexão quando submetidas ao ataque acelerado de íons cloreto**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2020. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/12770>. Acesso em: 09 mar. 2023.
- MICELLI, F.; NANNI, A. Durability of FRP rods for concrete structures. **Construction and Building Materials**, v. 18, n. 7, p. 491–503, 1 set. 2004.
- MOREIRA, Y. S. **Peças armadas longitudinalmente com barras poliméricas reforçadas com fibra de vidro; uma proposta de dimensionamento**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Cajazeiras, 2023.

SÁ, F. R. G. **Influência da adição de fibras de polipropileno no comportamento de elementos estruturais de concreto armado com barras de GFRP**. Dissertação (Mestrado em engenharia Civil) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

SANTOS, J. D.; FUGIYAMA, M. M.; DUARTE, I.O.; FORTI, N. C. S. **Estudo do comportamento à flexão de vigas de concreto armado com barras de GFRP e BFRP**. In: Brazilian Technology Symposium, 096p., 2021, Campinas. **Anais eletrônicos** [...] Campinas: BTSym, 2021, p. 1-7. Disponível em: [https://lcv.fee.unicamp.br/images/BTSym-21/papers/BTSym2021\\_096\\_v1.pdf](https://lcv.fee.unicamp.br/images/BTSym-21/papers/BTSym2021_096_v1.pdf) . Acesso em: 09 mar. 2023.

SOUZA, F. S. **Influência de Temperaturas Elevadas no Comportamento à Flexão de Compósitos Poliméricos Pultrudados Reforçados com Fibra de Vidro (PRFV)**. Dissertação (Mestrado em engenharia Civil) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

TAVARES, D. H. **Análise teórica experimental de vigas de concreto armadas com barras não metálicas de GFRP**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006. Disponível em: [https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18134/tde-22062006-105650/publico/2006ME\\_DanusaHTavares.pdf](https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18134/tde-22062006-105650/publico/2006ME_DanusaHTavares.pdf). Acesso em: 09 mar. 2023.

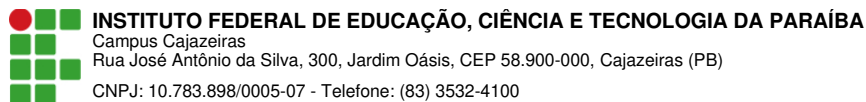
## APÊNDICE A - Dados referentes às condições ambientais

Dados da medição da temperatura do ar, umidade relativa e temperatura da viga no ambiente onde as peças foram expostas.

**Tabela 4 – Condições ambientais.**

<b>Hora</b>	<b>Dia</b>	<b>Temperatura do ar (°C)</b>	<b>UR do ar (%)</b>	<b>Temperatura da viga (°C)</b>
06:42:41	24/05/2023	27,1	67	22,7
06:43:47	31/05/2023	25,4	70	23,5
06:49:46	02/06/2023	28,6	68	23,7
06:51:37	29/05/2023	27,9	69	22,4
06:52:23	15/05/2023	27,4	85	
07:08:11	27/05/2023	27,9	73	23,8
07:10:21	19/05/2023	27,9	75	24,3
07:10:40	26/05/2023	27,9	68	22,9
08:16:09	23/05/2023	28	68	28
08:40:39	30/05/2023	28,9	68	29,5
08:46:59	15/05/2023	26,3	88	
08:50:13	25/05/2023	28,2	65	35,7
09:10:03	29/05/2023	28,2	68	40,3
09:38:21	01/06/2023	29,2	68	35,7
10:02:45	27/05/2023	28,7	74	40,4
10:08:22	18/05/2023	30,1	69	39,9
10:15:00	10/05/2023	28,7	73	
10:28:25	31/05/2023	29,7	59	42,8
10:28:55	24/05/2023	28,2	64	41,8
10:37:41	17/05/2023	30	70	41,9
10:44:59	30/05/2023	30,7	49	43,5
10:50:29	11/05/2023	27,8	74	
13:16:45	12/05/2023	28,7	73	
14:06:00	11/05/2023	28,3	64	
14:52:00	09/05/2023	28,5	72	
14:52:00	15/05/2023	27,7	75	
15:20:00	13/05/2023	29,4	73	
15:33:00	16/05/2023	25,9	72	
16:04:14	01/06/2023	29,5	66	34,2
16:10:00	08/05/2023	29,5	70	
16:12:07	23/05/2023	31,7	57	35,1
16:58:02	30/05/2023	30,1	56	32,3
17:11:00	17/05/2023	28,4	69	
17:36:25	26/05/2023	27,2	70	31,4
17:49:20	22/05/2023	29,1	70	29,8
18:24:04	31/05/2023	29,9	60	30,5
18:37:53	30/05/2023	32,4	53	31,5
18:47:49	18/05/2023	28,8	77	29,6

**Fonte:** Autor, 2023.



## Documento Digitalizado Restrito

### Entrega de TCC

**Assunto:** Entrega de TCC  
**Assinado por:** Andrey Euflasio  
**Tipo do Documento:** Dissertação  
**Situação:** Finalizado  
**Nível de Acesso:** Restrito  
**Hipótese Legal:** Informação Pessoal (Art. 31 da Lei no 12.527/2011)  
**Tipo do Conferência:** Cópia Simples

Documento assinado eletronicamente por:

- **Andrey Vieira Euflasio, ALUNO (201912200019) DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL - CAJAZEIRAS**, em 27/07/2023 16:34:34.

Este documento foi armazenado no SUAP em 27/07/2023. Para comprovar sua integridade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifpb.edu.br/verificar-documento-externo/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 889231

Código de Autenticação: fd1d760bb5

