

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

GUSTAVO GRAEF BAZANELLA

**ANÁLISE TÉCNICA E COMPARATIVA DA ADERÊNCIA DAS BARRAS DE AÇO E
DE POLÍMERO REFORÇADO COM FIBRA DE VIDRO NO CONCRETO**

**PATO BRANCO
2025**

versão 11.0 (abr.25)

GUSTAVO GRAEF BAZANELLA

**ANÁLISE TÉCNICA E COMPARATIVA DA ADERÊNCIA DAS BARRAS DE AÇO E
DE POLÍMERO REFORÇADO COM FIBRA DE VIDRO NO CONCRETO**

**TECHNICAL AND COMPARATIVE ANALYSIS OF THE ADHESION OF STEEL
BARS AND GLASS FIBER REINFORCED POLYMER BARS IN CONCRETE**

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

Orientador(a): Prof.(a) Dr.(a) Priscila Ongaratto Trentin

PATO BRANCO

2025



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

GUSTAVO GRAEF BAZANELLA

**ANÁLISE TÉCNICA E COMPARATIVA DA ADERÊNCIA DAS BARRAS DE AÇO E
DE POLÍMERO REFORÇADO COM FIBRA DE VIDRO NO CONCRETO**

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

Data de aprovação: 27/Junho/2025

Priscila Ongaratto Trentin

Doutorado em Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Paraná
Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR

Paôla Regina Dalcanal

Doutorado em Engenharia Civil/Estruturas – (PUC) Pontifícia Universidade Católica – Rio de Janeiro
Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR

Vitor Baldin

Doutorado em Engenharia Mecânica – (PUC) Pontifícia Universidade Católica – Paraná
Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR

PATO BRANCO

2025

Dedico este trabalho à minha família e aos meus amigos, pelo amor, apoio e incentivo por todos os momentos da minha vida.

AGRADECIMENTOS

Todo sonho realizado e cada meta alcançada são reflexos das parcerias que cultivamos ao longo da vida. Conexões que inspiram, fortalecem e tornam possível cada passo da nossa trajetória. Por isso, é com imensa gratidão que expresso meus sinceros agradecimentos.

Agradeço primeiramente a Deus por me conceder saúde e paciência ao longo desta jornada. Mesmo diante dos desafios, foi na fé e na força que encontrei o impulso necessário para seguir em frente e transformar este sonho em realidade.

À minha família, que sempre me apoiou e incentivou ao longo deste percurso, por me instruir com amor e sabedoria para ser uma pessoa melhor a cada dia.

Aos meus amigos pela irmandade construída, pelo companheirismo, momentos de descontração, por cada conversa e por estarem presentes nos momentos em que mais precisei.

Agradeço a todos os professores que, ao longo da minha trajetória acadêmica, contribuíram de forma significativa para minha formação. Em especial, à Prof.^a Dr.^a Priscila Ongaratto Trentin, minha orientadora, pela orientação dedicada, paciência incansável e valiosas contribuições na construção deste trabalho. Sua generosidade em compartilhar conhecimento foi essencial para que este projeto se tornasse realidade.

E a vocês que talvez não tenham sido citados aqui, mas que, de alguma forma, estiveram presentes, torceram, ajudaram ou simplesmente fizeram parte dessa caminhada, o meu muito obrigado.

“ Embora ninguém possa voltar atrás e fazer um novo começo, qualquer um pode começar agora e fazer um novo fim. ”
(Chico Xavier).

RESUMO

O concreto armado se destaca como o material de construção mais utilizado no mundo e, nos últimos anos, diversos estudos têm sido realizados para melhoramento desse material. Considerando a importância do concreto, deve-se levar em conta as principais características dos elementos estruturais concebidos, dentre elas a resistência do concreto à tração, a qual é limitada, o que torna necessário a incorporação de armaduras de aço, resultando assim no concreto armado. Em busca de novas alternativas para substituir a armadura do concreto armado, levando em conta a possível escassez de matéria prima, e além disso, encontrar melhores desempenhos dos elementos estruturais, novos produtos vêm sendo estudados, como o polímero reforçado com fibra de vidro, *Glass Fiber Reinforced Polymer bars* (GFRP). Dessa forma, este trabalho tem a finalidade de comparar as características e comportamento da barra de aço e o GFRP, com ênfase na aderência ao concreto. Para executar a análise de aderência, foi realizado o ensaio de arrancamento direto modificado (APULOT). Os procedimentos adotados buscaram compreender os impactos das variáveis analisadas no comportamento dos vergalhões e na interação concreto-armadura. Por fim, os resultados obtidos demonstraram que as barras de GFRP apresentaram uma melhor resistência a tração e maiores valores médios de tensão de aderência em comparação ao aço, o qual foram comparados de maneira técnica e objetiva, visando identificar as vantagens e limitações de cada material em relação ao desempenho estrutural.

Palavras-chave: Aderência, Aço, Polímero reforçado com fibra de vidro, Apulot.

ABSTRACT

Reinforced concrete stands out as the most widely used construction material in the world and, in recent years, various studies have been carried out to improve this material. Considering the importance of concrete, the main characteristics of the structural elements designed must be taken into account, including the concrete's tensile strength, which is limited, making it necessary to incorporate steel reinforcement, thus resulting in reinforced concrete. In search of new alternatives to replace the reinforcement in reinforced concrete, taking into account the possible scarcity of raw materials, and also to find better performance of structural elements, new products have been studied, such as glass fiber reinforced polymer (GFRP) bars. The purpose of this study is to compare the characteristics and behavior of steel bars and GFRP, with an emphasis on adhesion to concrete. To carry out the adhesion analysis, the modified direct pull-out test (APULOT) was performed. The procedures adopted sought to understand the impact of the variables analyzed on the behavior of the rebars and the concrete-reinforcement interaction. Finally, the results obtained showed that the GFRP bars had better tensile strength and higher average bond strength values compared to steel, which were compared in a technical and objective manner, with the aim of identifying the advantages and limitations of each material.

Keywords: Adhesion, Steel, Glass Fiber Reinforced Polymer bars, Apulot.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Processo de fabricação do aço.....	18
Figura 2: Processo de Pultrusão	19
Figura 3: Aderência por Adesão	21
Figura 4: Aderência por Atrito.....	22
Figura 5: Aderência Mecânica.....	22
Figura 6: Arranjo para o ensaio APULOT.....	24
Figura 7: Barra de GFRP.....	26
Figura 8: Barra de aço	27
Figura 9: Esquema do corpo de prova para o ensaio APULOT	28
Figura 10: Barras cortadas e com tubos plásticos	29
Figura 11: Barras posicionadas nas garrafas PET	29
Figura 12: Corpos de prova concretados.....	30
Figura 13: Ancoramento das barras de GFRP	31
Figura 14: Barra de GFRP com ancoramento nas extremidades.....	32
Figura 15: Escorregamento do tubo de ancoragem.....	33
Figura 16: Dispositivo para ensaio de arrancamento APULOT.....	34
Figura 17: Verificação interna do corpo de prova com barra de aço	35
Figura 18: Falha no ancoramento da amostra	36
Figura 19: Verificação interna do corpo de prova com barra de GFRP.....	38
Figura 20: Gráfico médio das tensões máximas de aderência	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Propriedades das barras	19
Tabela 2: Especificações técnicas do GFRP	26
Tabela 3: Especificações técnicas do aço	27
Tabela 4: Resultados do ensaio de tração longitudinal.....	32
Tabela 5: Valor médio da tensão de aderência dos corpos de prova com barras de aço	34
Tabela 6: Valor médio da tensão de aderência dos corpos de prova com barras de GFRP	37

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Objetivos	14
1.1.1	Objetivo geral	14
1.1.2	Objetivos específicos.....	14
1.2	Justificativa	14
2	REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1	Histórico geral	16
2.2	Barras de aço	16
2.3	Barras de GFRP	18
2.4	Aderência das barras ao concreto	20
2.4.1	Tipos de Aderência entre Concreto e Armadura	21
<u>2.4.1.1</u>	<u>Aderência por Adesão</u>	<u>21</u>
<u>2.4.1.2</u>	<u>Aderência por Atrito</u>	<u>21</u>
<u>2.4.1.3</u>	<u>Aderência Mecânica</u>	<u>22</u>
2.5	Ensaio de aderência	22
2.5.1	Ensaio de Arrancamento Direto Modificado (<i>Appropriate Pull-Out Test</i>)23	
3	METODOLOGIA	25
3.1	Propriedades dos Materiais	25
3.1.1	Barra de GFRP	25
3.1.2	Barra de AÇO	26
3.1.3	Concreto	27
3.2	Métodos de Ensaio	28
3.2.1	Ensaio APULOT	28
3.2.2	Ensaio de tração.....	31
4	RESULTADOS E ANÁLISES	32
4.1	Ensaio de tração das barras	32
4.2	Ensaio de arrancamento APULOT	33
4.2.1	Corpos de prova com barras de aço	34
4.2.2	Corpos de prova com barras de GFRP	36
<u>4.2.2.1</u>	<u>Ensaio APULOT com maior comprimento de ancoragem</u>	<u>36</u>
4.3	Análise comparativa da aderência das barras	38
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	40
5.1	Sugestão para trabalhos futuros	41

REFERÊNCIAS.....	42
-------------------------	-----------

1 INTRODUÇÃO

A velocidade das transformações que ocorrem nas empresas e nas operações realizadas é, sem dúvida, sem comparação na história. A globalização, o aumento da especialização, os progressos tecnológicos, a elevação das expectativas dos consumidores e as alterações nas leis, são apenas alguns dos elementos que evidenciam a atual intensidade da concorrência, e não é diferente na construção civil, em vista de que há, além de uma cobrança dos consumidores por melhores produtos, a preocupação do setor com a disponibilidade dos recursos naturais utilizados.

De acordo com informações do IBRACON (2024), o concreto se destaca como o material de construção mais utilizado no mundo. Nos últimos anos, inúmeras pesquisas têm sido realizadas para encontrar alternativas que ofereçam melhor desempenho mecânico, maior longevidade, buscando garantir a segurança das edificações. Juntamente com os avanços tecnológicos nos materiais e métodos construtivos, há o incentivo pela busca por soluções inovadoras, no que diz respeito ao reforço de estruturas de concreto armado.

Considerando a importância do concreto, deve-se levar em conta as principais características dos elementos estruturais concebidos, dentre elas a resistência do concreto à tração, a qual é limitada, o que torna necessário a incorporação de armaduras de aço, resultando assim no concreto armado. Essa combinação dos materiais oferece ótimos resultados, devido a forte ligação por aderência entre aço e concreto.

A barra de aço é um dos materiais mais utilizados na construção civil, no Brasil e no mundo. Contudo, é necessário compreender o comportamento do vergalhão como material e não somente como elemento estrutural. Alguns estudos vêm explorando novos tipos de materiais, buscando torná-los mais eficientes, versáteis, eficazes e que não afetem o meio ambiente, atendendo os requisitos necessários para as edificações. Nesse contexto, surge a proposta de substituir o aço pelas barras de fibra de vidro.

Considerando esses aspectos, este trabalho tem como objetivo analisar a viabilidade da substituição da barra de aço por polímero reforçado com fibra de vidro (*Glass Fiber Reinforced Polymer bars*, GFRP) em elementos estruturais, tendo em vista que seu uso ainda é limitado no Brasil, sendo pouco conhecido em projetos de engenharia. Desta forma, tendo todos esses parâmetros em vista com suas

respectivas características, pretende-se responder ao seguinte questionamento: qual das barras, aço ou polímero reforçado com fibra de vidro apresenta melhor comportamento no concreto em relação a aderência?

Este trabalho de conclusão de curso está estruturado em 5 capítulos sendo eles: o primeiro contendo a introdução, trazendo um âmbito geral do assunto, justificativa, objetivo geral e objetivos específicos; o segundo com o referencial teórico sobre a diferenciação das barras; o terceiro contemplando a metodologia utilizada no estudo, ensaios das barras na tração e arrancamento direto; o quarto abrangendo os resultados e discussões, com uma análise comparativa dos resultados obtidos sobre aderência ao concreto, ao final, na parte cinco, apresenta-se a conclusão do trabalho.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Analisar a viabilidade técnica da substituição do aço por polímero reforçado com fibra de vidro (*Glass Fiber Reinforced Polymer bars*, GFRP) em elementos estruturais, com ênfase na aderência ao concreto.

1.1.2 Objetivos específicos

- Apresentar as propriedades mecânicas e químicas das barras de aço e de polímero reforçado com fibra de vidro;
- Comparar o comportamento das barras quanto ao limite de resistência à tração;
- Analisar a aderência das barras ao concreto por meio do ensaio de arrancamento direto modificado (APULOT);
- Analisar comparativamente a viabilidade técnica dos materiais em estudo.

1.2 Justificativa

Em busca de novas alternativas para substituir a armadura do concreto armado, levando em conta a possível escassez de matéria prima, e além disso, encontrar melhores desempenhos dos elementos estruturais, novos produtos vêm sendo estudados, como por exemplo o polímero reforçado com fibra de vidro (GFRP). Recentemente, a utilização de barras de fibra de vidro, têm sido mais comumente empregadas em países desenvolvidos como Estados Unidos, Canadá e Alemanha,

proporcionando soluções eficientes devido seus inúmeros benefícios, como resistência à corrosão, baixa dilatação térmica, maior resistência a tração, não conduzir eletricidade e apresentar baixo impacto ambiental, sendo uma alternativa promissora diante dos desafios enfrentados no setor da construção civil (SILVA et al, 2014). No Brasil, a utilização das barras de fibra de vidro ainda não é tão difundida, devido a norma técnica, ainda em fase de consolidação, o que representa uma barreira significativa, dificultando a aceitação desse material no mercado brasileiro.

Segundo Cunha (2019), para que uma estrutura de concreto armado tenha um ótimo desempenho, é necessário que a armadura e concreto não deslizem. Esse fator é conhecido como aderência, um fator importante que tem impacto direto no comportamento dos elementos estruturais. As barras de aço devido à sua flexibilidade, superfície áspera e nervurada, aderem bem ao concreto, permitindo uma boa transferência de tensões. Já as barras de GFRP possuem características distintas, como uma superfície menos rugosa e um comportamento linear elástico até a ruptura, podendo influenciar sua aderência ao concreto. Tavares et al (2014) complementa que, a aderência entre a armadura de aço e o concreto é um dos mecanismos mais importantes para a existência das estruturas de concreto armado, uma vez que, para absorver os esforços solicitantes, os dois materiais devem atuar conjuntamente. Com a utilização das armaduras de GFRP, busca-se encontrar um desempenho próximo ao da armadura convencional.

Embora a aderência do aço ao concreto seja algo compreendido, a relação entre GFRP e concreto exige muitos estudos, especialmente sob condições extremas. As estruturas de concreto armado dependem da aderência entre as barras e o concreto para garantir sua estabilidade e resistência.

Além disso, a interação tensão-deslizamento entre as barras de GFRP e o concreto, geram incertezas sobre seu desempenho estrutural em diferentes condições de carregamento. Essas incertezas reforçam a importância de estudos experimentais para avaliar a eficiência da aderência das barras de GFRP e sua viabilidade como substituto do aço em estruturas de concreto armado. Compreender o comportamento mecânico desse novo material estrutural, garante a segurança dos ocupantes e longevidade das estruturas, caracterizando originalidade deste trabalho e justificando sua realização.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste trabalho é apresentado um breve histórico geral, em seguida, uma discussão sobre compósitos de fibra de vidro e barras de aço nervuradas, na qual são elencados os tipos de aderência ao concreto e as modificações que podem ocorrer em suas propriedades físicas e mecânicas.

Para o desenvolvimento deste trabalho, garantindo sua viabilidade, foram utilizados alguns estudos disponibilizados pela [ScienceDirect](#), [SciELO](#), [Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações \(BDTD\)](#), [Scopus](#).

2.1 Histórico geral

Desde a década de 1940 os compósitos de polímero reforçado com fibra (FRP) vem sendo utilizados, porém, nos últimos anos vem ganhando espaço no mercado da construção civil.

Os primeiros materiais de FRP, foram utilizados após a Segunda Guerra Mundial, onde surgiu a necessidade de suprir a corrida espacial, quando os materiais tradicionais não eram suficientes. Como alternativa para solucionar esse problema, pesquisadores e cientistas desenvolveram os materiais compósitos com fibra, que eram muito mais leves, mais resistentes e rígidos do que os materiais convencionais, reduzindo assim o peso das estruturas das aeronaves. Só no final dos anos 80, após a necessidade de uma atualização nas estruturas, surgiu a iniciativa de implementar os compósitos de FRP (BAKIS et al, 2002).

Tavares et al, (2014) afirma que a introdução do FRP na construção civil foi lenta, porém, o aumento da corrosão em armaduras de aço, motivou investidores e pesquisadores, intensificando pesquisas sobre esse novo material.

No Brasil, algumas pesquisas sobre FRP começaram a ser realizadas em Fortaleza-CE, apenas no início da década de 90. Recentemente, indústrias começaram a produzir e comercializar barras de FRP. Esse cenário reforça a necessidade e a importância de estudos mais aprofundados para compreender o comportamento desse material em relação ao concreto (COUTO, 2007).

2.2 Barras de aço

As barras de aço são materiais compostos essencialmente por ferro e carbono, cuja proporção pode variar sendo caracterizados como aço de baixo, médio

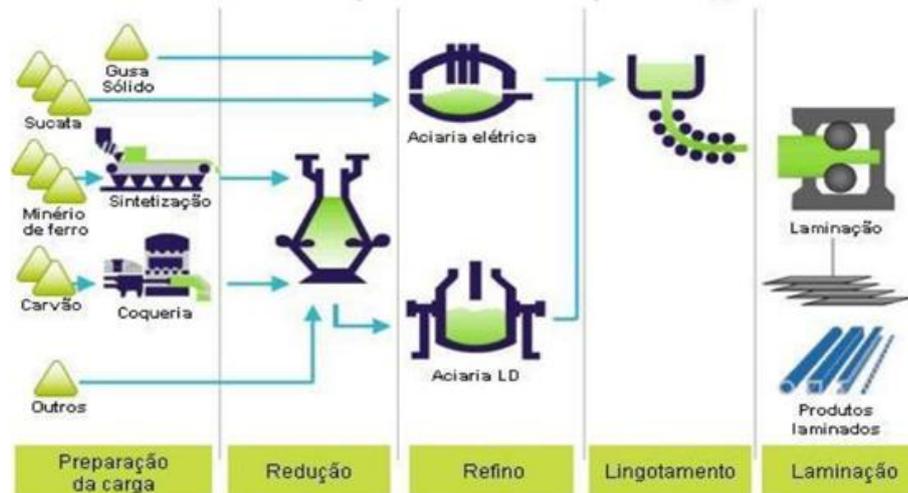
e alto teor de carbono. Na construção civil são utilizados aços com teor de carbono entre 0,15% e 0,30%, considerados aços com baixo teor de carbono. Essa variação é crucial, pois o carbono é o principal elemento responsável pela ductilidade do aço, permitindo que ele resista a deformações sem ruptura. Além disso, os vergalhões apresentam seção transversal circular, podendo possuir superfície lisa ou nervurada, e são classificados em diferentes tipos. Conforme o valor característico da resistência ao escoamento, as barras de aço são divididas nas classes CA-25, CA-50 e CA-70, enquanto os fios de aço pertencem à classe CA-60.

Esses produtos se diferenciam em relação à resistência mínima do aço ao escoamento, ou seja, a classe de resistência do material. Outro diferencial é a aplicabilidade de cada aço, CA-50 é mais utilizado em lajes, vigas e pilares enquanto CA-60 em armaduras longitudinais de lajes, vigas e em estruturas pré-moldadas.

De acordo com Ferraz (2003), as barras de aço apresentam qualidades importantes, como alta resistência ao escoamento, que evita a deformação plástica, e elevada tenacidade, que previne rupturas frágeis. Além disso, possuem boa soldabilidade, excelente formabilidade e um custo reduzido, tornando-os amplamente utilizados na construção civil.

A fabricação das barras de aço no Brasil segue as diretrizes estabelecidas pela NBR 7480 (ABNT, 2024). O processo de fabricação pode ocorrer de duas formas, sendo elas a integrada composta por três fases, redução, refino e laminação ou no modo semi integrado, no qual ocorre o refino e laminação. Nas usinas siderúrgicas o processo de fabricação se dá inicialmente pela matéria prima, composta por sucata ferrosa ou o ferro gusa, que é encaminhada para a aciaria elétrica, onde ocorre a fusão, o refino e a solidificação. Em seguida, obtém-se o produto semiacabado conhecido como tarugo. A partir do tarugo, inicia-se a etapa de laminação, que inclui o reaquecimento e a conformação, resultando no produto final: o vergalhão. A Figura 1 mostra o processo de fabricação do aço.

Figura 1: Processo de fabricação do aço



Fonte: Instituto de aço Brasil (2015)

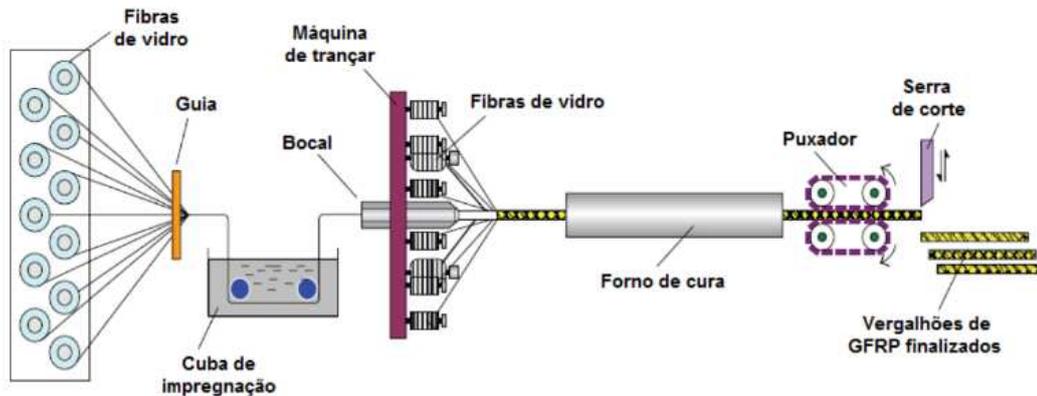
2.3 Barras de GFRP

Os compósitos poliméricos reforçados com fibras, conhecidos como FRP, são formados pela combinação de fibras, incorporadas em uma matriz formada por polímeros e aditivos. As fibras são responsáveis por proporcionar resistência e rigidez, enquanto a matriz transfere as tensões, mantendo seu alinhamento e espaçamento.

De acordo com Couto (2007), as barras de GFRP “são formadas por um núcleo de fibras sintéticas ou minerais estiradas de elevada resistência, e impregnadas por uma matriz polimérica (resina), possuindo propriedades anisotrópicas, por ter maior resistência longitudinal do que transversal”.

As barras passam por um processo chamado pultrusão, que consiste em alongar as fibras e impregná-las com resina. Após esse processo, os fios de fibra passam por um bico compactador que forma a barra. A barra então passa por uma máquina de trançar helicoidal, após isso ela é aquecida, iniciando uma reação exotérmica de endurecimento da resina. Após a cura, a barra é tracionada e cortada no tamanho desejado (TAVARES, 2006). A Figura 2 mostra o processo de pultrusão.

Figura 2: Processo de Pultrusão



Fonte: Moura (2021)

A resistência à tração e rigidez das barras de GFRP está ligada diretamente à qualidade e ao desempenho da resina e das fibras, da eficiência do processo de cura, métodos utilizados na fabricação e o cuidado no controle de qualidade. Todos esses aspectos são essenciais para garantir um produto confiável e durável.

As barras de GFRP quando submetidas a cargas de tração, não apresentam uma fase de escoamento, ou seja, elas não exibem uma zona de deformação plástica antes da sua ruptura. Seu comportamento é marcado por uma relação linear entre a tensão e a deformação, mantendo essa proporcionalidade até o ponto de ruptura. A Tabela 1 apresenta as propriedades mecânicas de tração das barras de aço e GFRP.

Tabela 1: Propriedades das barras

Propriedade	Aço	GFRP
Tensão de escoamento (MPa)	276 a 517	N/A
Resistência à tração (MPa)	483 a 690	483 a 1600
Módulo de elasticidade (GPa)	200	35 a 51
Deformação no escoamento (%)	0,14 a 0,25	N/A
Deformação na ruptura (%)	6,0 a 12,0	1,2 a 3,1

Fonte: Adaptado de ACI 440.1R (ACI, 2015)

De maneira geral, as barras de GFRP se sobressaem em comparação com as barras de aço convencionalmente empregadas no concreto armado, devido a resistência à tração mais elevada, embora demonstrem um módulo de elasticidade inferior. Enquanto o aço apresenta um comportamento elasto-plástico, marcado pela sua ductilidade, as barras de GFRP demonstram um comportamento elasto-frágil.

A ductilidade do aço permite a absorção de impactos e cargas dinâmicas sem danos permanentes, conferindo-lhe deformações significativas antes da falha. Com o comportamento diferente, as barras de GFRP não possuem a capacidade de

deformação antes da ocorrência da falha, resultando em rupturas abruptas e inesperadas (INEIA et al, 2021).

2.4 Aderência das barras ao concreto

O concreto armado é constituído por concreto e armadura, no qual a armadura pode ser de natureza metálica, ou de origem não metálica, que é o caso do GFRP. Para que uma estrutura de concreto armado apresente um ótimo desempenho, é necessário que atenda aos requisitos técnicos e funcionais estabelecidos no projeto. Isso inclui garantir a segurança estrutural, capaz de suportar os esforços e cargas aplicadas sem apresentar falhas ou rupturas, além de assegurar sua durabilidade ao longo do tempo, mesmo quando submetido a condições ambientais adversas, como umidade, agentes químicos ou variações de temperatura. Além disso, a estrutura deve oferecer estabilidade, evitando deslocamentos ou deformações excessivas, ou seja, é fundamental que não ocorram deslizamentos entre a armadura e o concreto. Essa conexão é conhecida como aderência, e é realizada entre os dois materiais onde ambos resistem aos esforços a que forem submetidos, permitindo a transferência de tensões. De acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2023), elementos de concreto armado, são aqueles cujo comportamento estrutural depende da aderência entre concreto e armadura, e nos quais não se aplicam alongamentos iniciais das armaduras antes da materialização dessa aderência.

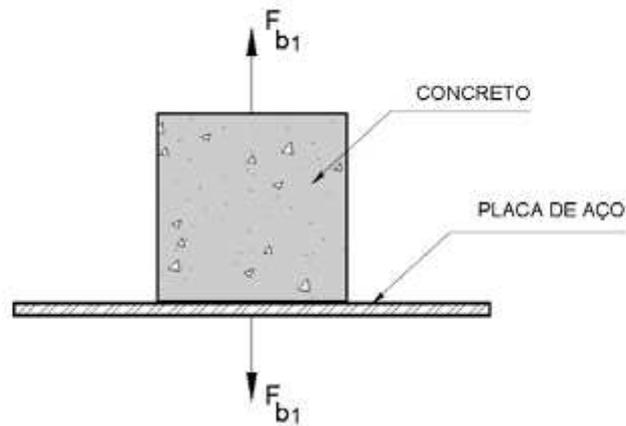
Na ausência de aderência, as armaduras seriam incapazes de resistir a qualquer esforço de tração, pois o aço deslizaria ao longo de sua extensão, e perdendo sua capacidade de acompanhar as mudanças da estrutura. Por outro lado, devido a aderência, o vergalhão e o concreto colaboram em conjunto já nos estágios iniciais. Quando surgem pequenas fissuras, a aderência garante que o vergalhão mantenha seu desempenho de maneira uniforme ao longo da estrutura. Este mecanismo é fundamental para que o vergalhão consiga resistir aos esforços de tração, possibilitando a ligação entre os dois materiais nas regiões afetadas pelas fissuras (FERNANDES, 2000).

2.4.1 Tipos de Aderência entre Concreto e Armadura

2.4.1.1 Aderência por Adesão

A aderência por adesão, surge através das ligações físico-químicas que existem entre o concreto e o aço, enquanto ocorrem as reações de pega do cimento. Essa parcela tem pouca relevância, pois é formada por ligações fracas e com pequenos deslocamentos relativos entre a barra e a massa de concreto que a envolve, consequentemente se rompem facilmente. Pode-se observar que a interação entre os dois materiais ocorre devido à aderência na interface, permitindo a transferência de esforços, conforme ilustrado na Figura 3.

Figura 3: Aderência por Adesão

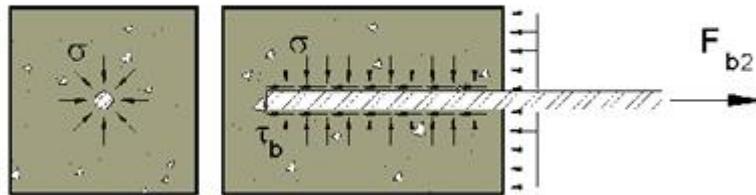


Fonte: Pinheiro (2007)

2.4.1.2 Aderência por Atrito

Esse fenômeno ocorre devido a uma força de atrito entre os materiais, que dependem do coeficiente de atrito entre a barra e o concreto. Pinheiro (2007), descreve que, por meio do arrancamento de uma barra em um bloco concreto, verifica-se que a força de arrancamento é maior do que a força mobilizada pela adesão. Esse acréscimo é devido ao atrito entre a barra e o concreto. O atrito manifesta-se quando há tendência ao deslocamento relativo entre os materiais, dependendo da rugosidade superficial da barra e da pressão transversal, exercida pelo concreto sobre a barra, em virtude da retração, conforme ilustrado na Figura 4.

Figura 4: Aderência por Atrito

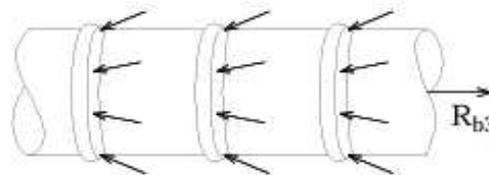


Fonte: Pinheiro (2007)

2.4.1.3 Aderência Mecânica

A aderência mecânica ocorre devido a presença de nervuras na superfície da barra. Essas saliências mobilizam forças localizadas, ocasionando tensões de compressão no concreto, aumentando significativamente a aderência. Para entender o funcionamento por aderência mecânica, as nervuras têm o efeito cunha e a saliência da armadura funciona como uma barreira para o deslizamento do concreto com a armadura, conforme ilustrado na Figura 5.

Figura 5: Aderência Mecânica



Fonte: Fernandes (2000)

2.5 Ensaio de aderência

Para a realização de ensaios de aderência para polímeros reforçados com fibra de vidro, a execução do ensaio pode ser orientada utilizando normas internacionais, como a ACI 440 (*AMERICAN CONCRETE INSTITUTE*), ou utilizar a ABNT NBR 17201 (2025), barras de polímero reforçado com fibras (FRP) utilizadas como armaduras para estruturas de concreto armado, sendo necessário ajuste aos materiais e condições locais.

Dada a falta de um corpo normativo amplamente reconhecido e consolidado, diversos procedimentos de ensaio têm sido desenvolvidos para avaliar a aderência entre barras e concreto, resultando em uma ampla variedade de adaptações aos métodos tradicionais promovidas por diferentes pesquisadores. Embora essas modificações busquem fornecer respostas mais precisas e alinhadas ao comportamento real das estruturas, a falta de padronização representa um obstáculo

significativo para a comparação dos resultados obtidos, além de dificultar a uniformização de uma metodologia de ensaio que possa ser amplamente aceita e aplicada (CAETANO, 2008).

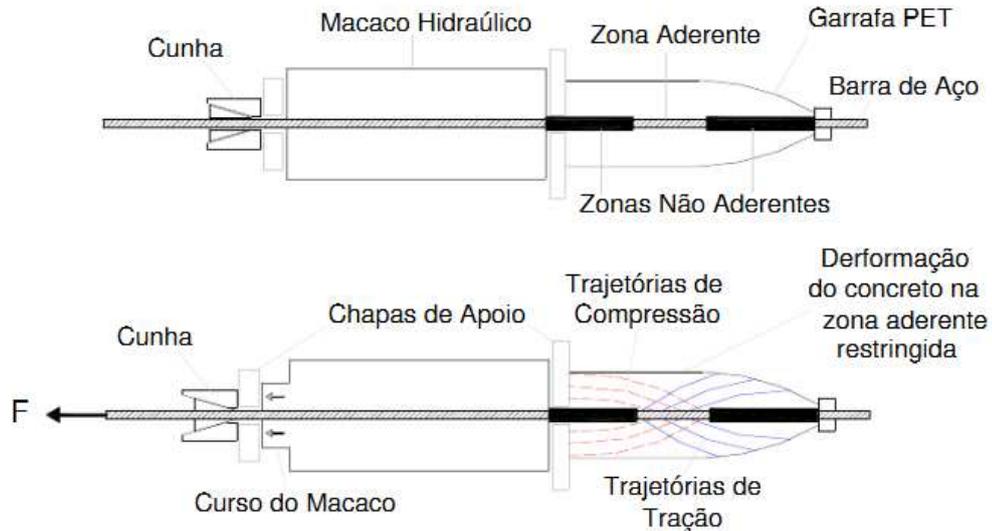
Os ensaios de aderência entre barras (armaduras) e o concreto têm como objetivo avaliar a interação e o comportamento entre esses materiais. Dentre os diversos tipos de ensaios de aderência, neste trabalho foi executado o Ensaio de Arrancamento Direto Modificado (*Appropriate Pull-Out Test*) a qual é uma variação do ensaio de arrancamento direto (*Pull-Out Test*), desenvolvido com o objetivo de fornecer resultados mais representativos do comportamento da aderência em condições próximas às reais de estruturas de concreto armado.

2.5.1 Ensaio de Arrancamento Direto Modificado (*Appropriate Pull-Out Test*)

O Ensaio de Arrancamento Direto Modificado conhecido como *Appropriate Pull-Out Test* (APULOT), foi escolhido devido ao fato de ser um dos métodos mais conhecidos e com uma abordagem mais eficaz, possibilitando uma análise detalhada para avaliar a aderência entre as barras e o concreto e o comportamento tensão-deslizamento, além de permitir determinar a resistência a tração das barras o que é fundamental para prever o desempenho estrutural da edificação.

Esse método foi adaptado para lidar com as limitações do ensaio tradicional, garantindo uma melhor distribuição das tensões ao longo da interface concreto-armadura. Com a intenção de otimizar o processo de ensaio de arrancamento direto, buscando implementá-lo nos canteiros de obra, o ensaio APULOT utiliza um macaco hidráulico e garrafas de plástico PET cilíndricas, como moldes para os corpos de prova. Essas garrafas devem apresentar um diâmetro mínimo de 8 cm e, se viável, um formato uniforme na área de aderência (SILVA, 2010), conforme apresentado na Figura 6.

Figura 6: Arranjo para o ensaio APULOT



Fonte: Silva (2010)

No ensaio modificado, a barra é embutida em um bloco de concreto e submetida a uma força axial de tração até ocorrer o deslizamento ou a ruptura na interface. A diferença principal em relação ao ensaio convencional é o controle sobre o comprimento de ancoragem e as condições de confinamento, o que reduz as tensões concentradas na extremidade livre da barra e possibilita a análise de forma mais uniforme.

A zona de aderência, também chamada de comprimento de ancoragem básico ou comprimento de aderência (l_{exp}), é influenciada pela tensão última de aderência (τ_b), pela força de arrancamento (F) e pelo diâmetro da barra de aço (\emptyset). De acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2023), o "comprimento de ancoragem é definido como o comprimento reto da armadura necessário para ancorar a força limite nessa barra, admitindo resistência de aderência uniforme ao longo de tal comprimento" (CASAGRANDE, 2014).

Para determinar a tensão última de aderência, pode-se utilizar a Equação 1.

$$\tau_b = \frac{F}{\pi \cdot \emptyset \cdot l_{exp}} \quad (\text{Equação 1})$$

3 METODOLOGIA

Este trabalho possui natureza experimental e foi realizado em ambiente laboratorial. A pesquisa seguiu um método investigativo, com objetivo de analisar e comparar a resistência à tração e a aderência dos vergalhões no concreto.

Para isso, foi empregado o ensaio de arrancamento direto modificado, observando a norma técnica, NBR 7480 (ABNT, 2024), guias técnicos do *American Concrete Institute* (ACI) além de publicações científicas que tratam das propriedades mecânicas de barras de aço e polímeros reforçados com fibras de vidro.

O ensaio APULOT, foi escolhido devido sua relevância em avaliar a aderência do material ao concreto, permitindo assim uma análise das interações e a capacidade de transferência de tensões entre concreto e armadura. Esse ensaio foi aplicado tanto para as barras de GFRP quanto para as barras de aço.

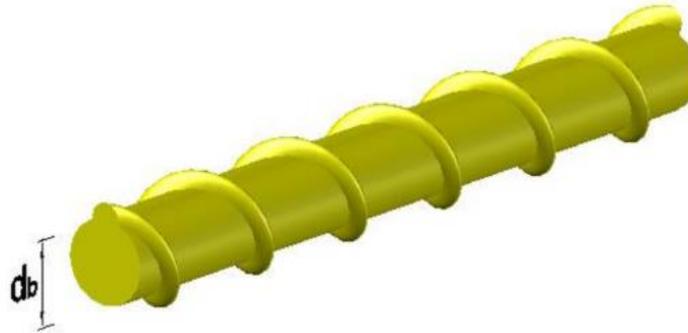
Os procedimentos adotados buscaram compreender os impactos das variáveis analisadas sobre o comportamento dos vergalhões e a interação concreto-armadura. Por fim, os resultados foram comparados de maneira técnica e objetiva, visando identificar as vantagens e limitações de cada material em termos de desempenho estrutural.

3.1 Propriedades dos Materiais

3.1.1 Barra de GFRP

Foram utilizadas barras de GFRP, produzidos pelo processo de enrolamento (*pullwinding*), com a utilização de fibras de vidro especiais e resina termofixa epóxi éster-vinílica, resultando em um produto constituído por filamentos contínuos unidirecionais de fibra de vidro com nervuras helicoidais conforme Figura 7.

Figura 7: Barra de GFRP



Fonte: Moura (2021)

As especificações da barra de GFRP em estudo, de acordo com o fabricante estão contidos na Tabela 2:

Tabela 2: Especificações técnicas do GFRP

Propriedade	GFRP
Diâmetro nominal (mm)	8
Tensão de cisalhamento (MPa)	210
Resistência à tração (MPa)	950
Módulo de elasticidade (GPa)	48
Alongamento (%)	1,83
Carga de tração final (kN)	67

Fonte: Stratus (2025)

3.1.2 Barra de AÇO

Foram utilizadas barras de aço CA-50, produzido de acordo com as especificações da norma NBR 7480 (ABNT, 2024) e fabricado através do processo de laminação a quente com superfície nervurada, garantindo assim, uma melhor aderência ao concreto, Figura 8.

Figura 8: Barra de aço

Fonte: Gerdau (2025)

As especificações da barra de aço em estudo, de acordo com o fabricante estão contidos na Tabela 3:

Tabela 3: Especificações técnicas do aço

Propriedade	Aço
Diâmetro nominal (mm)	8
Tensão de escoamento (MPa)	500
Resistência à tração (MPa)	550
Módulo de elasticidade (GPa)	200
Alongamento (%)	8
Carga de tração final (kN)	50

Fonte: Gerdau (2025)

3.1.3 Concreto

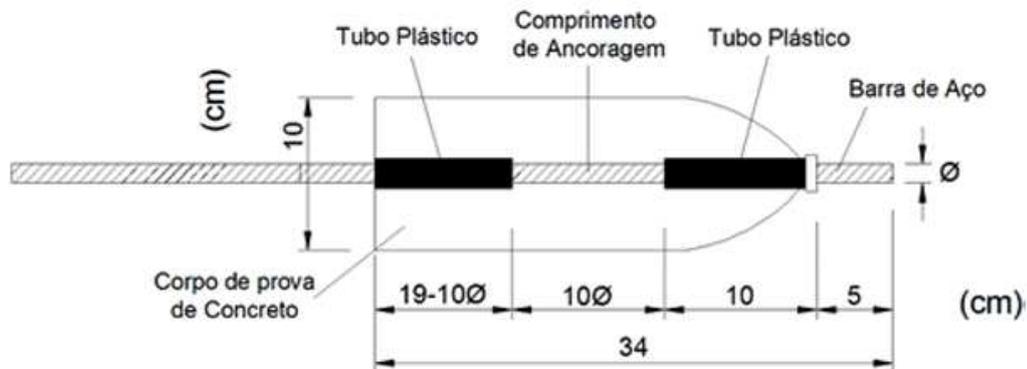
Para a dosagem do concreto, utilizou-se o cimento Portland CP II-Z-32, no qual atende às exigências da NBR 16697 (ABNT, 2018) de maneira a estabelecer uma resistência característica de 25 MPa aos 28 dias. O traço utilizado para dosagem do concreto foi 1:2:3 (cimento: areia: brita), com relação água/cimento de 0,5 e adição de 0,7% de aditivo superplastificante. Essa proporção foi escolhida por ser amplamente reconhecida como um traço padrão com resistência moderada. A dosagem resultou em um abatimento (slump) de 8,5 cm. Como agregados, foram empregados areia natural fina e brita 0 de origem basáltica.

3.2 Métodos de Ensaio

3.2.1 Ensaio APULOT

Tendo como base para o ensaio APULOT o trabalho de Casagrande (2014), foi utilizado como molde para os corpos de prova, as garrafas PET com capacidade de 2 litros, conforme ilustrado na Figura 9:

Figura 9: Esquema do corpo de prova para o ensaio APULOT



Fonte: Silva et al (2014)

Foram moldadas as garrafas PET com barras embutidas de GFRP e aço, garantindo que as dimensões e proporções dos corpos de prova atendessem às especificações do experimento. Durante a moldagem, a barra foi alinhada e deixada com um comprimento definido exposto, enquanto o restante permaneceu embutido no concreto, seguindo as dimensões da Figura 9, garantindo que a ancoragem seguisse o comprimento especificado.

Para a confecção dos corpos de prova, as barras foram cortadas com 54 cm de comprimento. Em suas extremidades foram colocados tubos plásticos, deixando livre uma região central sem revestimento, associado ao comprimento de aderência. Esse comprimento de aderência foi fixado em 10 vezes o diâmetro da barra ($10 \times \varnothing$), ou seja 8 cm para a área efetiva de aderência (CASAGRANDE, 2014), conforme pode ser visualizado na Figura 10.

Com as barras preparadas, as mesmas foram inseridas em garrafas PET, nas quais foram realizados furos na tampa e no fundo para permitir o posicionamento central e alinhamento das barras no interior do corpo de prova durante a concretagem, Figura 11.

Figura 10: Barras cortadas e com tubos plásticos



Fonte: Autoria própria

Figura 11: Barras posicionadas nas garrafas PET



Fonte: Autoria própria

Com os corpos de prova devidamente montados, foi realizada a concretagem. A Figura 12 mostra as amostras já preenchidas com o concreto.

Figura 12: Corpos de prova concretados



Fonte: Autoria própria

Após a concretagem, os corpos de prova foram submetidos a cura em câmara úmida com temperatura de 20 °C a 23 °C, atingindo assim as condições especificadas de resistência.

Para os corpos de prova que continham as barras de GFRP, foram feitos ancoramentos na extremidade das barras, com o intuito de evitar escorregamentos, esmagamento ou possíveis falhas por cisalhamento entre a barra e as garras da máquina durante o ensaio.

Para o ancoramento das barras, foram confeccionados tubos cilíndricos metálicos com 10 cm de comprimento, 1 mm de espessura e 2 cm de diâmetro, os quais foram preenchidos com adesivo epóxi de média fluidez, com tempo de secagem de 24 horas conforme a Figura 13.

Figura 13: Ancoramento das barras de GFRP



Fonte: Autoria própria

3.2.2 Ensaio de tração

Foram cortadas duas barras de GFRP e aço com uma dimensão de 30 cm (as quais seguiram as especificações da NBR 7480 (ABNT, 2024)) e ajustados para as barras não metálicas.

Para as barras de GFRP foram feitos ancoramentos nas extremidades para evitar escorregamentos, esmagamentos ou possíveis falhas por cisalhamento entre a barra e as garras da máquina durante os ensaios. Em seguida, as amostras foram posicionadas na máquina universal de ensaios EMIC. O ensaio seguiu os procedimentos de acordo com a NBR 6892-1 (ABNT, 2024).

4 RESULTADOS E ANÁLISES

Neste tópico são apresentados os resultados e análises do comportamento mecânico das barras de aço e de GFRP obtidas a partir dos ensaios de tração e APULOT.

4.1 Ensaio de tração das barras

Os ensaios de tração longitudinal foram realizados no laboratório de materiais do campus UTFPR-PB, utilizando a máquina universal de ensaios EMIC. Após serem feitos os ancoramentos nas extremidades da barra Figura 14, a mesma foi posicionada, e assim deu-se início ao ensaio.

Figura 14: Barra de GFRP com ancoramento nas extremidades



Fonte: Autoria própria

Os valores médios do ensaio de tração das barras estão dispostos na Tabela 4:

Tabela 4: Resultados do ensaio de tração longitudinal

Propriedade	Aço.	GFRP
Diâmetro nominal (mm)	8	8
Resistência à tração (MPa)	540	1200

Fonte: Autoria própria

As barras de GFRP, após feito os ancoramentos nas extremidades das barras quando ensaiadas, não apresentaram uma boa aderência ao tubo metálico, pois, antes que as barras atingissem sua resistência máxima, ocorreu escorregamento da barra em relação ao tubo de ancoragem Figura 15.

Figura 15: Escorregamento do tubo de ancoragem



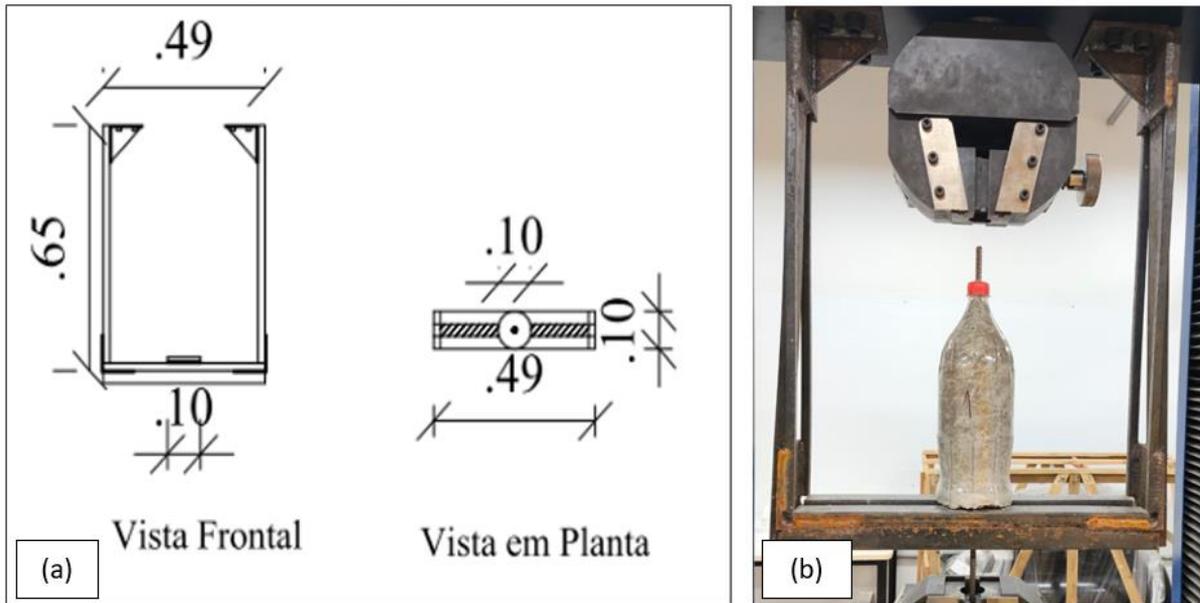
Fonte: Autoria própria

O mesmo problema aconteceu em demais trabalhos utilizados como referência, como o de Rybar (2024) e Cunha (2019). Este problema deve-se ao fato do tamanho do tubo metálico utilizado no ancoramento ser pequeno (comprimento) em relação ao diâmetro da barra de GFRP. O diâmetro da barra influencia diretamente na resistência ao arrancamento, nesse caso, observa-se o escorregamento da barra sem que ocorra sua ruptura.

4.2 Ensaio de arrancamento APULOT

Para executar o ensaio de arrancamento, utilizou-se um dispositivo de metal Figura 16, que foi fixado na máquina universal de ensaios EMIC. O dispositivo serviu para restringir os deslocamentos da amostra, de modo que, ao se aplicar tração na barra de aço, apenas esta seja deslocada.

Figura 16: Dispositivo para ensaio de arrancamento APULOT



Fonte: (a) Esquema do dispositivo (CASAGRANDE (2014)); (b) Dispositivo APULOT

Após o ensaio de arrancamento, realizou-se uma análise visual nos corpos de prova com o objetivo de encontrar deslocamentos, falhas, fissuras e o tipo de ruptura no concreto, tanto para as amostras com barras de aço como de GFRP.

Foram moldados quatro corpos de prova para a caracterização do concreto, contudo, devido a uma falha durante a realização do ensaio, não foi possível determinar sua resistência.

4.2.1 Corpos de prova com barras de aço

Com os dados obtidos através dos ensaios, procedeu-se a aplicação da Equação 1 utilizando a resistência a tração máxima de cada amostra e assim montou-se uma Tabela 5, contendo a média dos respectivos valores.

Tabela 5: Valor médio da tensão de aderência dos corpos de prova com barras de aço

Amostra	Idade (dias)	$\tau_{bm\acute{a}x}$ (MPa)
Amostra com barra de aço	28	16,56

Fonte: Autoria própria

O comportamento predominante entre as amostras foi o deslizamento, característica da falha entre concreto e armadura e não do corpo de prova em si. De acordo com Silva (2010), o corpo de prova que não apresenta fendilhamento, possui as dimensões adequadas para suportar as tensões geradas durante o ensaio.

Observa-se uma semelhança dos resultados obtidos experimentalmente, quando comparado com o estudo de Silva (2010), no qual utilizou barras de 8 mm, comprimento de ancoragem de $10 \times \varnothing$ e f_{ck} de 25 MPa aos 28 dias, obtendo uma média da tensão máxima de aderência de 16,31 MPa, reforçando a confiabilidade dos ensaios realizados.

Após o ensaio de arrancamento, utilizando uma serra circular, os corpos de prova foram então cortados ao meio, ilustrado na Figura 17, com o intuito de verificar a existência de alongamento das barras, o qual está sinalizado em vermelho. Essa etapa foi fundamental para garantir que os resultados obtidos nos ensaios não foram afetados por deformações plásticas no material, o que poderia comprometer os resultados.

Figura 17: Verificação interna do corpo de prova com barra de aço



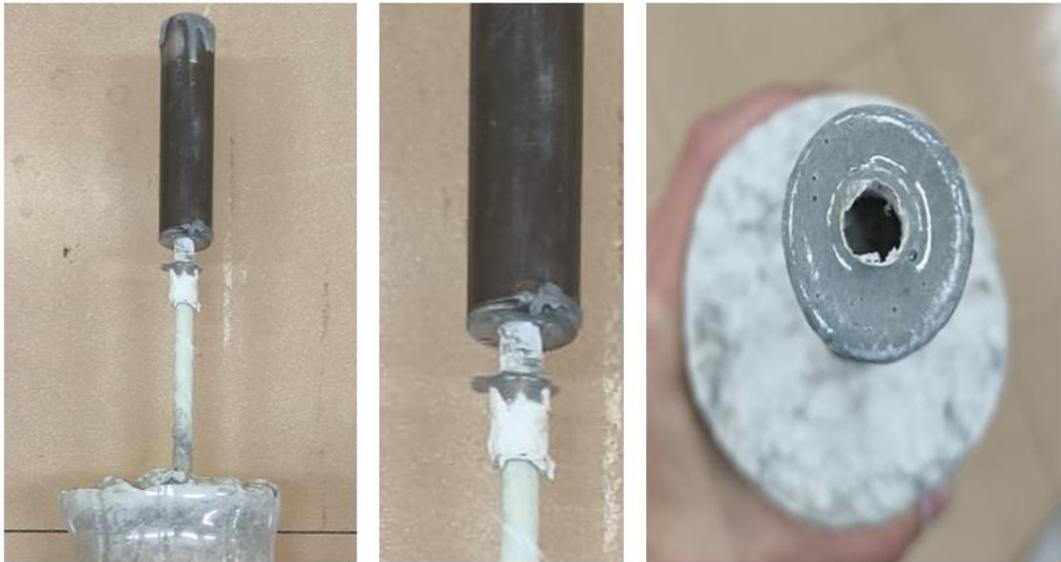
Fonte: Autoria própria

Na figura acima é possível visualizar que não houve ruptura da barra, alongamento ou fissuras no concreto, apenas perda de aderência, deslizamento entre a barra e o concreto, característica de falha por deslizamento.

4.2.2 Corpos de prova com barras de GFRP

Ao iniciar os ensaios de arrancamento para as amostras com barras de GFRP, nos estágios iniciais do ensaio, percebeu-se deslizamentos entre o tubo metálico e a barra, o qual servia como ancoramento da barra, conforme a Figura 18. Diante deste problema, o ensaio foi paralisado e aplicou-se uma nova abordagem.

Figura 18: Falha no ancoramento da amostra



Fonte: Autoria própria

Inicialmente foram confeccionados tubos metálicos com comprimento (L) de 10 cm, ou seja, 2 centímetros a mais que o diâmetro da barra, o que resultou em escorregamento entre o sistema de ancoramento e a barra.

4.2.2.1 Ensaio APULOT com maior comprimento de ancoragem

Com o objetivo de contornar o problema de escorregamento da barra com o tubo metálico, foram ensaiados novamente os corpos de prova, visto que não haviam sido observados deslocamento da barra em relação ao concreto. Essa iniciativa teve como finalidade verificar se o comprimento de ancoragem era o responsável por estar acontecendo escorregamento. Com um ancoramento maior, o esforço de aderência seria transferido de uma forma mais eficaz ao longo de todo o material. Além disso, buscou-se validar a metodologia do ensaio e eliminar possíveis interferências.

Em um segundo momento, foram confeccionados tubos metálicos com comprimento (L) de 16 cm, equivalente ao dobro do diâmetro da barra, proporcionando um ancoramento mais eficiente.

Com os novos comprimentos de ancoragem, foram realizados os devidos ensaios, chegando a uma carga máxima de 34,89 kN, ocasionando assim deslizamento entre armadura e concreto. Os resultados da tensão máxima de aderência obtidos com os novos comprimentos de ancoragem, estão na Tabela 6:

Tabela 6: Valor médio da tensão de aderência dos corpos de prova com barras de GFRP

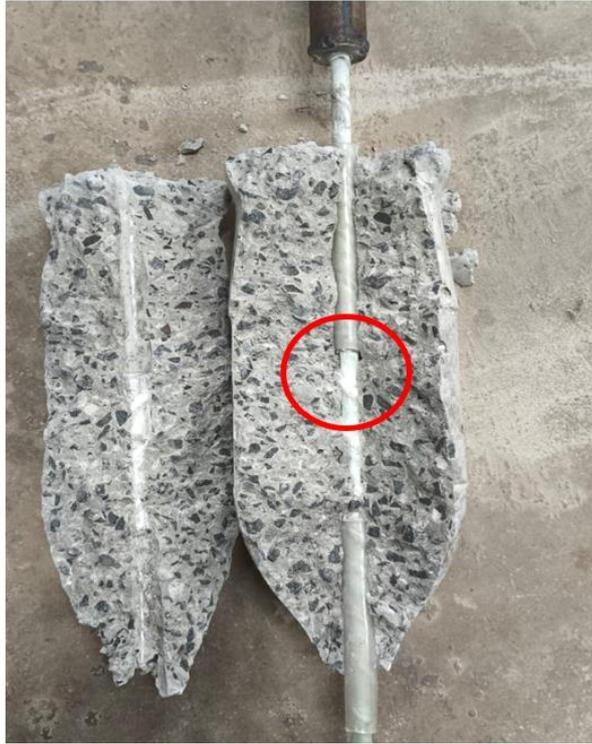
Amostra	$\tau_{bm\acute{a}x}$ (MPa)
Amostra com barra de GFRP	17,35

Fonte: Autoria própria

Esses valores são condizentes com o estudo de Araujo (2017), no qual é citado que com um ancoramento adequado, os vergalhões de GFRP podem oferecer uma aderência semelhante ou até superior aos vergalhões de aço.

Após os ensaios, os corpos de prova foram seccionados ao meio para verificar se continham deformações ou alongamento das barras de GFRP. Ao seccionar ao meio, foi possível visualizar que continham um pó branco oriundo da própria barra. Também não foram encontradas fissuras no concreto, nem alongamento ou ruptura da barra, apenas deslizamento, o qual está sinalizado em vermelho, conforme Figura 19.

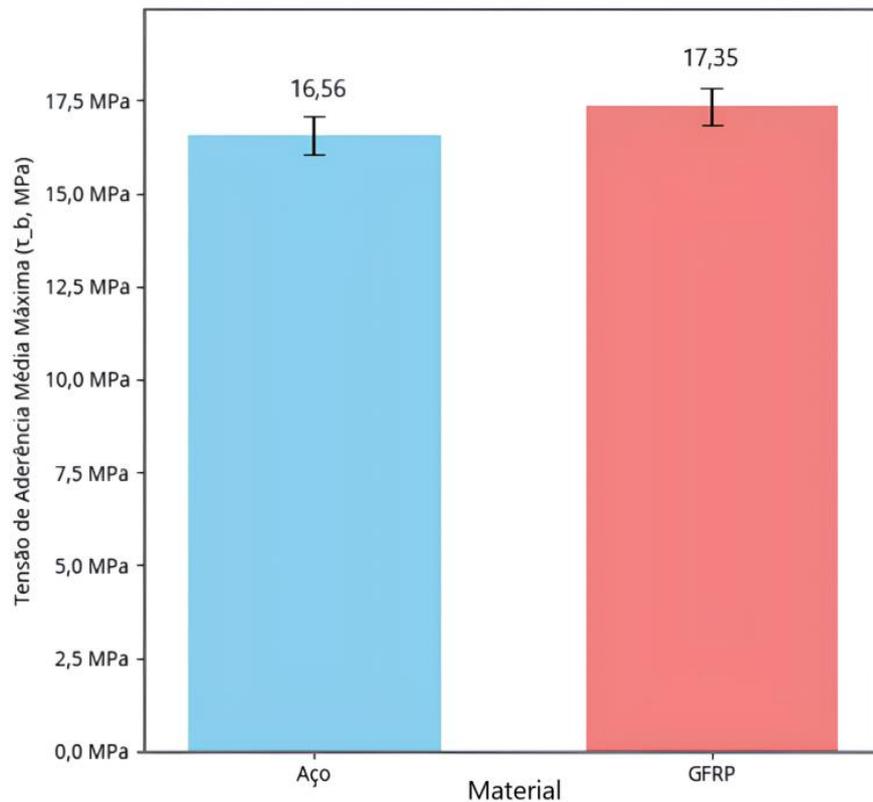
Figura 19: Verificação interna do corpo de prova com barra de GFRP



Fonte: Autoria própria

4.3 Análise comparativa da aderência das barras

Com os resultados dos ensaios, foi possível montar um gráfico com as médias das tensões de aderência máxima dos corpos de prova com barras de aço e de GFRP, conforme ilustrado na Figura 20.

Figura 20: Gráfico médio das tensões máximas de aderência

Fonte: Autoria própria

Os ensaios com vergalhões de aço resultaram em uma média de $16,56 \pm 0,53$ MPa. Já para as amostras com os vergalhões de GFRP, obteve-se um desempenho superior às barras de aço, alcançando uma tensão média de $17,35 \pm 0,49$ MPa. Estes resultados evidenciam que, nas mesmas condições experimentais, as barras de GFRP demonstram um potencial de aderência, equivalente aos resultados de aderência com vergalhões de aço, ou seja, a tensão de aderência entre armadura e concreto, são próximos. No entanto, as barras de GFRP apresentam uma baixa aderência química, ou seja, baixa aderência inicial ao concreto e, devido a superfície da barra, a qual é nervurada, intensifica a ação da aderência mecânica, podendo compensar essa limitação de aderência química.

Por fim, é importante destacar que a barra de GFRP possui baixa rigidez, permitindo uma distribuição mais uniforme das tensões de aderência ao longo de seu comprimento, reduzindo tensões localizadas.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A proposta inicial do trabalho teve como objetivo realizar um comparativo da aderência de barras de aço e barras de GFRP em relação ao concreto, levando em consideração a utilização de novos materiais alternativos, o qual vem ganhando espaço. Esta análise foi feita utilizando o método de arrancamento direto modificado APULOT.

Inicialmente foi realizada revisão bibliográfica sobre o tema abordado buscando compreender os tipos de aderência entre armadura e o concreto, estabelecendo assim uma metodologia a ser seguida, a qual foram determinados os materiais, dosagem do concreto, comprimento de aderência e execução dos ensaios. O método APULOT, apesar de sua simplicidade de execução, mostrou-se eficiente para a comparabilidade das amostras.

Para a caracterização dos materiais, foi realizado o ensaio de tração, no qual verificou-se que as barras de GFRP apresentaram uma resistência máxima superior às barras de aço, resultado que era esperado de acordo com a literatura. Entretanto, deparou-se com o problema de deslizamento das barras de GFRP no ponto de ancoramento com 10 cm de comprimento. Para contornar o escorregamento do ancoramento, utilizou-se tubos maiores (16 cm), permitindo alcançar tensões máximas de 1200 kN, aproximadamente o dobro da resistência das barras de aço.

No ensaio de arrancamento modificado foi identificado que, em todos os corpos de prova, prevaleceu a ruptura por deslizamento. Esse comportamento foi comum tanto nas barras de aço como nas barras de GFRP. Isso indica que, mesmo as barras tendo propriedades mecânicas diferentes, ocorre o mesmo tipo de falha entre concreto-armadura.

Além disso, a ruptura por deslizamento ocorrido em todos os corpos de prova, aponta que o dimensionamento das amostras e o comprimento de ancoragem adotados foram adequados para avaliar a aderência dos materiais. Ao comparar a aderência entre as barras, observou-se que os dois materiais apresentaram comportamento semelhante quanto a capacidade de aderência ao concreto.

O problema de ancoramento em ensaios com amostras de GFRP, foi relatado em diversos trabalhos anteriores que estudaram o comportamento das barras de GFRP, portanto é necessário que desenvolva-se um método de ancoramento mais eficiente e específico para este material.

Os resultados obtidos neste trabalho são de grande importância para compreender o comportamento de aderência de materiais alternativos, como o GFRP.

O sistema Apulot se mostrou eficaz para avaliar e comparar os dois tipos de armaduras, reforçando seu potencial como ferramenta de controle em canteiros de obras.

De maneira geral o GFRP se mostra como um material promissor, superior ao aço em relação a aderência e a tração. Entretanto, a disponibilidade do material e a mão de obra especializada, além da insegurança em utilizar algo novo, se tornam um problema para as construtoras aderirem a este novo elemento estrutural.

5.1 Sugestão para trabalhos futuros

Com a intenção de compreender mais sobre o assunto abordado neste trabalho, sugere-se para trabalhos futuros:

- Melhorar o sistema de ancoramento para barras de GFRP;
- Determinar o melhor comprimento de ancoragem;
- Realizar ensaios utilizando o método de arrancamento direto (Pull-out) e comparar com o arrancamento direto modificado (APULOT);
- Comparar a tensão máxima de aderência com diferentes diâmetros de barras de aço e GFRP;
- Realizar o ensaio APULOT com diferentes tipos de barras, além das citadas neste trabalho.

REFERÊNCIAS

ACI AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **COMMITTEE 440.1R: Guide for the Design and Construction of Concrete Reinforced with FRP Bars**. Michigan: ACI, 2015.

ARAUJO, 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. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2017.

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

_____. **ABNT. NBR 16697:2018. Cimento Portland - Requisitos**. Rio de Janeiro, 2018.

_____. **ABNT. NBR 17201:2025 - Barras de polímero reforçado com fibras (FRP) destinadas a armaduras para estruturas de concreto armado**. Rio de Janeiro. 2025.

_____. **ABNT. NBR 7480:2024 – Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado – Especificação**. Rio de Janeiro: ABNT, 2024.

_____. **ABNT. NBR ISO 6892-1:2024 - Materiais metálicos — Ensaio de tração — Parte 1: Método de ensaio à temperatura ambiente**. Rio de Janeiro. 2024.

BAKIS, C. E. et al. Fiber-Reinforced Polymer Composites for Construction - States-of-the-Art Review. **Journal of Composites for Construction**, v. **06**, n. **2**, maio 2002.

CAETANO, Luciane Fonseca. **Estudo do comportamento da aderência em elementos de concreto armado submetidos à corrosão e elevadas temperaturas**. 2008. 153 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

CASAGRANDE, Thayna Caroline. **Avaliação da eficiência do ensaio de aderência aço-concreto para estimativa da resistência à compressão axial do concreto**.

2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2014.

COUTO, Iara A. **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, 2007.

CUNHA, D. R. **Estudo da aderência de barras poliméricas reforçadas com fibras de vidro (GFRP) ao concreto**. 111 f. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, [s. l.], 2019.

FERNANDES, Rejane M. **A influência das ações repetidas na aderência aço-concreto**. 2000. 172 f. Dissertação (Mestrado em Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

FERRAZ, Henrique. O aço na construção civil. **Revista Eletrônica de Ciências**, n. 22, outubro 2003.

GERDAU. **Página oficial da Gerdau**. Disponível em: <https://www2.gerdau.com.br/>. Acesso em: 11 jan. 2025.

IBRACON – **Instituto Brasileiro do Concreto**. Disponível em: <https://site.ibracon.org.br/>. Acesso em: 11 out. 2024

INEIA, Adriano; POL, William de O.; BRAUN, Julia C. A.; JUNIOR, Luizamar da S. L. Barras de fibra de vidro, uma alternativa inovadora e suas potencialidades: revisão bibliográfica. **Revista TECNO-LÓGICA**, Santa Cruz do Sul, v. 25, n. 2, p. 243-251, jul./dez. 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DO CONCRETO - **IBRACON. CT - 303: Uso de Materiais Não Convencionais para Estruturas de Concreto, Fibras e Concreto Reforçado com Fibras**. São Paulo, 2021.

INSTITUTO DE AÇO BRASIL. **Aço processo siderúrgico**. Instituto de Aço Brasil, 2015.

MOURA, Ruan Carlos de Araújo. **Análise da durabilidade de armaduras poliméricas reforçadas com fibras de vidro submetidas ao ambiente alcalino e a**

elevadas temperaturas. 2021. 146 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2021

PINHEIRO, Libânio M. **Fundamentos do concreto e projeto de edifícios**. São Carlos: EESC-USP, 2007. Disponível em: <https://arquitetonica.wordpress.com/wp-content/uploads/2011/11/fundamentos-do-concreto-eesc-usp.pdf>. Acesso em: 11 dez. 2024.

RYBAR, Danrlei. **Estudo comparativo da aderência entre vergalhão de aço e GFRP em concreto armado**. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade do Vale do Taquari, Lajeado, 2024.

SILVA, B. V., BARBOSA, M. P., SILVA FILHO, L. C. P., & LORRAIN, M. S. Experimental investigation on the use of steel-concrete bond tests for estimating axial compressive strength of concrete. Part 2: APULOT. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, 7(5), 856–878 (2014). <https://doi.org/10.1590/S1983-41952014000500008> . Acesso em: 11 jan. 2025.

SILVA, Bruno do V. **Investigação do potencial dos ensaios APULOT e pull-out para estimativa da resistência a compressão do concreto**. 2010. 180f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2010.

STRATUS FRP. **Vergalhão em fibra de vidro para construção civil**. Disponível em: <https://www.stratusfrp.com/artigo/vergalhao-em-fibra-de-vidro-para-construcao-civil>. Acesso em: 11 jan. 2025.

TAVARES, A. J. et al. Aderência aço-concreto: simulação numérica dos ensaios de arrancamento pull-out e APULOT usando o programa ATENA. **Rev. IBRACON Estrut. Mater.**, São Paulo, v. 7, n. 1, p. 138-157, fev. 2014.

TAVARES, Danusa H. **Análise teórica e experimental de vigas de concreto armadas com barras não metálicas de GFRP**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas). Escola de Engenharia de São Carlos, 2006.