



Estudo da viabilidade financeira de vergalhões de polímero reforçado com fibras de vidro – GFRP em substituição ao vergalhão de aço carbono utilizados em laje maciça.

Study of the financial feasibility of glass fiber reinforced polymer–GFRP rebars as a replacement for carbon steel rebars used in solid slabs.

Cintra, T. S. F.¹; Brito, S. S. M. A.²

Graduandos, Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, Goiás, Brasil

Ferreira Júnior, E. L.³

Professor Me., Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, Goiás, Brasil.

¹*filhosilveiracintrathiago.17@gmail.com;* ²*samuelbrito0986@gmail.com;* ³*epaminondas@pucgoias.edu.br*

RESUMO: A competitividade no mercado da construção civil tem se intensificado significativamente ao longo dos anos, exigindo que as empresas incorporem novos materiais e técnicas construtivas capazes de garantir sua permanência no setor, assegurando, ao mesmo tempo, o retorno financeiro e o desempenho adequado das edificações. Nesse contexto, o concreto armado, apesar de sua elevada eficiência estrutural, apresenta como principal limitação a suscetibilidade do aço à corrosão. Essa característica implica especificidades no dimensionamento estrutural e, em determinadas situações, acarreta elevados custos de manutenção e reparo. Diante desse cenário, os vergalhões de polímero reforçado com fibra de vidro GFRP surgem como uma alternativa tecnológica promissora, destacando-se especialmente por sua elevada resistência à corrosão e potencial de desempenho econômico, uma vez que algumas premissas do dimensionamento convencional podem ser dispensadas quando da utilização desse material. Neste trabalho realizou-se uma análise comparativa do desempenho financeiro de um projeto de uma laje padrão, considerando-se duas configurações distintas: uma com armaduras em aço carbono e outra com armaduras em GFRP. Os resultados obtidos indicaram que, no contexto abordado na pesquisa e na região geográfica do estudo, o uso dos vergalhões de GFRP ainda não se mostra economicamente viáveis para aplicação em larga escala quando comparados ao vergalhão de aço carbono.

Palavras-chave: GFRP, aço-carbono; corrosão, análise financeira.

ABSTRACT: The competitiveness within the civil construction market has intensified significantly over the years, requiring companies to incorporate new materials and construction techniques capable of ensuring their permanence in the sector, while simultaneously guaranteeing financial returns and adequate building performance. In this context, reinforced concrete, despite its high structural efficiency, presents as its main limitation the susceptibility of steel to corrosion. This characteristic implies specific requirements in structural design and, in certain situations, leads to high maintenance and repair costs. Given this scenario, glass fiber-reinforced polymer (GFRP) rebars emerge as a promising technological alternative, standing out particularly due to their high resistance to corrosion and potential economic performance, since some assumptions of conventional design can be disregarded when using this material. In this study, a comparative analysis of the financial performance of a standardized slab design was conducted, considering two distinct configurations: one with carbon steel reinforcement and another with GFRP reinforcement. The results indicate that, within the context addressed in the research and in the geographical region of the study, the use of GFRP rebars is still not economically viable for large-scale application when compared to carbon steel reinforcement.

Keywords: GFRP, carbon steel, corrosion, financial analysis.

1 INTRODUÇÃO

A construção civil é reconhecida como uma das atividades mais antigas da humanidade, acompanhando o desenvolvimento das sociedades desde as primeiras edificações em pedra e argila até as modernas estruturas de concreto armado e aço. Essa evolução, marcada pela incorporação de novos materiais e técnicas, foi significativamente intensificada a partir do século XIX, com a Revolução Industrial. Nesse período, o advento do concreto armado, oficialmente registrado em 1867 por Joseph Monier, constituiu um marco para a engenharia, ao possibilitar a execução de edificações mais resistentes, duráveis e adaptáveis às demandas crescentes da urbanização (Mehta & Monteiro, 2014).

No entanto, com o passar do tempo, a necessidade de aliar a eficiência estrutural à durabilidade e a sustentabilidade impulsionou a busca por materiais alternativos que pudessem superar as limitações do aço tradicional. Isso se deve, porque, embora amplamente utilizado como armadura em estruturas de concreto armado, o vergalhão de aço apresenta uma vulnerabilidade intrínseca a sua constituição metálica: a corrosão. Esse processo, quando evidenciado, compromete a integridade estrutural e exige altos investimentos em manutenção e pode reduzir significativamente a vida útil das construções (Helene; Pereira, 2015). Diante dessa fragilidade, surge então um material compósito que se mostra como opção à substituição do aço carbono em estruturas de concreto: o polímero reforçado com fibra de vidro Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP), o qual reúne características físico-químicas e mecânicas promissoras, tais como resistência à corrosão, elevada resistência à tração direta, baixa densidade e maior durabilidade.

Ensaio recentes, como os conduzidos por Vergraf (2025), demonstram que os valores de densidade, resistência à tração direta e módulo de elasticidade de vergalhões GFRP são compatíveis com sua utilização em concreto estrutural. Villar e Sousa (2024), abordam a

questão financeira da utilização do GFRP, ressaltando que o investimento inicial no GFRP é superior ao do aço. Esse maior custo inicial do GFRP decorre de seus processos produtivos mais complexos, da baixa escala de produção e da mão de obra especializada para essa produção. No entanto, a redução dos custos com manutenção e a mitigação de danos provocados pela corrosão podem tornar o material economicamente viável ao longo do ciclo de vida das edificações. Da mesma forma, Santos, Almeida e Cruz (2022) identificaram vantagens significativas do GFRP em relação ao aço, especialmente em termos de resistência à corrosão, leveza e resistência à tração direta, sendo até três vezes mais resistente nesse aspecto. Também, estudos como o de Munhos e Santana Junior (2023) confirmam que vigas de concreto armado com substituição parcial do aço por GFRP alcançam desempenho estrutural adequado, ainda que apresentem valores médios de resistência inferiores aos obtidos com armaduras tradicionais.

Tais resultados sugerem que o GFRP, mesmo com suas limitações dadas principalmente pelo seu baixo módulo de elasticidade, pode atender a diversas aplicações, desde que corretamente dimensionado. Essa constatação tem motivado a ampliação de normas e diretrizes técnicas, como as do American Concrete Institute (ACI, 2015) e da Canadian Standards Association (CSA, 2015), além da recente NBR 17196 (ABNT, 2025), que regulamenta a utilização do GFRP em estruturas de concreto armado no Brasil e da NBR 17201 (ABNT, 2025) que estabelece os requisitos e ensaios em barras de polímero reforçado com fibras destinadas a armadura para utilização em estruturas de concreto armado.

Outro aspecto de destaque em relação a esse material, refere-se à sustentabilidade. O vidro, matéria-prima essencial na produção do GFRP, é amplamente reconhecido como 100% reciclável e pode ser reutilizado diversas vezes sem perda de suas propriedades físico-químicas (Ferreira, 2015). Sua aplicação no processo de pultrusão, em que fibras de vidro são

impregnadas com resina polimérica, reforça o caráter ambientalmente favorável do material, alinhando-se aos princípios da economia circular. Essa abordagem contribui para a redução do consumo de recursos não renováveis, como a areia silicosa, além de diminuir a emissão de gases de efeito estufa durante a produção.

No entanto, a adoção do GFRP como componente do elemento estrutural enfrenta desafios práticos. Conforme salientam Silva e Rosas (2024), fatores como o alto custo do material, falta de mão de obra qualificada e as dificuldades na conformação de elementos estruturais específicos, a exemplo de estribos, que não podem ser dobrados em canteiro (Alberto, 2016), ainda limitam a aplicação em larga escala. Tais limitações exigem soluções híbridas, como o uso combinado de aço e GFRP para garantir a viabilidade técnica e construtiva.

Portanto, a partir das características físicas e mecânicas dos materiais que direcionam o dimensionamento das estruturas de concreto armado, torna-se fundamental avaliar não apenas o desempenho técnico-construtivo, mas também a viabilidade financeira quando da substituição parcial do aço-carbono pelo GFRP em estruturas de concreto armado.

Assim, este artigo apresentará uma análise comparativa de custo na produção de uma estrutura de concreto armado – especificamente uma laje, utilizando os dois tipos de vergalhões, dando ênfase, também na durabilidade, a aplicabilidade prática e os impactos sustentáveis desses materiais, oferecendo subsídios para a tomada de decisão de engenheiros, projetistas e demais profissionais envolvidos na concepção e execução de obras civis.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O concreto armado, material amplamente utilizado desde o século XIX, consolidou-se

como a principal solução estrutural ao unir a elevada resistência à compressão do concreto à resistência à tração do aço (MEHTA; MONTEIRO, 2014). Contudo, sua suscetibilidade à corrosão, especialmente em ambientes agressivos, gera elevados custos de manutenção e compromete a vida útil das construções (HELENE; PEREIRA, 2015). Diante desse cenário, o vergalhão reforçado com fibra de vidro GFRP tem se mostrado como um material alternativo que concilia resistência mecânica, leveza, durabilidade e sustentabilidade.

Dessa forma, torna-se salutar analisar o desenvolvimento histórico dos sistemas estruturais e seus materiais componentes, dentre eles, o GFRP.

2.1 Materiais compósitos e introdução ao GFRP:

Os materiais compósitos são amplamente reconhecidos como uma das inovações mais relevantes no campo da engenharia de materiais, pois permitem a obtenção de características que dificilmente seriam alcançadas por componentes isolados. No setor da construção civil, os compósitos vêm sendo estudados e aplicados desde a segunda metade do século XX, principalmente em situações em que o desempenho estrutural precisa estar associado à durabilidade em ambientes agressivos (Mehta & Monteiro, 2014).

O GFRP, em especial, tem se destacado por unir a resistência à tração direta proporcionada pelas fibras de vidro com a proteção e aderência da matriz polimérica. Essa combinação gera um material com desempenho satisfatório em termos de leveza, alta resistência mecânica e, sobretudo, imunidade à corrosão, o que representa um grande diferencial em comparação ao aço tradicional. Em países como Canadá, Japão e Estados Unidos, o uso do GFRP já está consolidado em aplicações estruturais específicas, como pontes, barreiras rodoviárias e fundações em ambientes

marítimos (FIBAR, 2023). No Brasil, entretanto, a difusão ainda é incipiente, o que reforça a importância de estudos que investiguem sua viabilidade econômica em substituição ao aço.

2.2 Processo de fabricação do GFRP:

O processo de fabricação do GFRP é determinante para as propriedades finais do material e, consequentemente, para seu custo. O método mais difundido é a pultrusão, caracterizado pela tração contínua das fibras de vidro por um banho de resina polimérica. Na continuidade do processo de produção, o conjunto passa por uma matriz aquecida, que confere a geometria definitiva da barra, e pela etapa de cura, responsável pela consolidação da estrutura do compósito (Tencom, 2023).

Essa técnica assegura o alinhamento das fibras na direção dos esforços principais, garantindo elevada resistência à tração direta. Entretanto, pequenas variações no processo, como o percentual de fibras, o tipo de resina empregada (epóxi, poliéster ou viniléster) e o controle da cura, impactam diretamente o desempenho final do produto (Income Pultrusion, 2023). A necessidade de equipamentos sofisticados e mão de obra especializada torna a produção do GFRP mais cara quando comparada ao aço CA-50, que é fabricado em larga escala em processos siderúrgicos consolidados. Portanto, apesar da fabricação do GFRP explicar seu desempenho superior em durabilidade, ajuda a justificar seu custo inicial mais elevado.

2.3 Propriedades mecânicas e físico-químicas do GFRP:

Do ponto de vista estrutural, o GFRP apresenta uma resistência à tração direta elevada, variando entre 600 e 1000 MPa, GTROF (2025) – valores que podem superar os encontrados no aço CA-50. Contudo, essa vantagem é acompanhada de limitações, já que o módulo de deformação do compósito (40–60

GPa) é significativamente inferior ao do aço (cerca de 200 GPa). Essa diferença implica em menor deformabilidade e menores flechas em elementos estruturais quando submetidos a cargas usuais (FIBAR, 2023).

No entanto, dada essa condição de deformabilidade, o GFRP apresenta ruptura frágil, sem escoamento plástico, o que o diferencia do aço em termos de comportamento em regime último. Isso significa que estruturas reforçadas com esse material exigem um dimensionamento cuidadoso para garantir segurança.

Quanto às propriedades químicas, o compósito se destaca por sua alta resistência à tração direta e por sua imunidade à corrosão, característica que o torna particularmente atrativo em obras localizadas em regiões marítimas ou industriais (MDPI, 2024). Dessa forma, mesmo que apresente limitações mecânicas, o GFRP oferece um ganho expressivo em termos de durabilidade.

2.4 Custos iniciais no mercado do GFRP:

A análise financeira do GFRP deve considerar inicialmente o custo por metro linear do material. Estudos mostram que o preço do vergalhão de GFRP varia entre US\$ 2,13 e US\$ 8,20, enquanto o do aço oscila entre US\$ 1,30 e US\$ 7,38, evidenciando uma diferença média de 15% a 25% (Income Pultrusion, 2023). Essa diferença é atribuída principalmente à baixa escala de produção, ao fato de que parte da oferta ainda depende de importação e à necessidade de processos de fabricação mais sofisticados.

O mercado do GFRP ainda é considerado restrito, com poucos fornecedores e limitada disponibilidade comercial. Isso gera barreiras de entrada para construtoras e projetistas, que precisam planejar de forma mais estratégica sua utilização. Enquanto o aço CA-50 é facilmente adquirido em qualquer região do país, o GFRP depende de uma cadeia de distribuição reduzida, o que pode encarecer a

logística. Assim, embora tecnicamente competitivo, o material ainda enfrenta desafios para ganhar espaço no mercado nacional.

2.5 Análise do ciclo de vida e retorno econômico:

Quando analisado em termos de ciclo de vida, o GFRP apresenta vantagens financeiras importantes. Balendran et al. (2002) mostraram que, embora o custo inicial do GFRP fosse maior (US\$ 5,69/m) que o do aço (US\$ 2,99/m), os gastos com manutenção e reparos ao longo da vida útil da estrutura faziam com que o compósito se tornasse mais econômico. Isso ocorre porque o aço, sujeito à corrosão, exige intervenções periódicas, enquanto o GFRP se mantém estável mesmo em ambientes agressivos.

Pesquisas mais recentes, como as de Yu et al. (2016), apontam que o uso do GFRP pode aumentar o benefício econômico total de uma estrutura em até 23%, além de prolongar sua vida útil em cerca de 40% em comparação ao aço. Esses resultados reforçam que, embora o GFRP demande maior investimento inicial, ele se apresenta como alternativa vantajosa em projetos que consideram a durabilidade como fator crítico.

2.6 Normas técnicas e confiabilidade no uso:

A normatização é um aspecto central para a difusão de novos materiais no setor da construção. No caso do GFRP, a NBR 17196:2022 apresenta conceitos gerais sobre compósitos, enquanto a NBR 17201:2024 trata especificamente das barras poliméricas de reforço. Entretanto, tais documentos ainda não possuem o mesmo grau de consolidação das normas que regem o uso do aço no concreto, como a NBR 6118:2014 e a NBR 7480:2020.

Devido a essa lacuna normativa, muitos projetistas brasileiros recorrem a referências internacionais, como a ACI 440.1R-15, que orienta o dimensionamento de estruturas de concreto armado com GFRP nos Estados

Unidos, e a CSA S806, utilizada no Canadá (ABNT, 2022; ACI, 2015). Essa dependência normativa eleva os custos de projeto, pois demanda maior especialização de profissionais e, muitas vezes, consultorias externas. Ainda assim, a tendência é que, com a maior adoção do GFRP, haja avanços significativos na normatização brasileira.

2.7 Estruturas mistas:

As chamadas estruturas mistas, que combinam vergalhões de polímero reforçado com fibra de vidro o GFRP e estribos de aço convencional, representam uma solução intermediária entre o uso integral de aço e a substituição total por materiais compósitos.

Essa combinação tem como principal objetivo aproveitar o melhor desempenho de cada material: o GFRP oferece alta resistência à tração e total imunidade à corrosão, o que aumenta a durabilidade da estrutura e reduz significativamente os custos de manutenção ao longo do tempo.

Já os estribos de aço, por sua vez, mantêm a ductilidade e a capacidade de confinamento do concreto, características fundamentais para garantir o comportamento adequado em regiões sujeitas a esforços de cisalhamento e ancoragem.

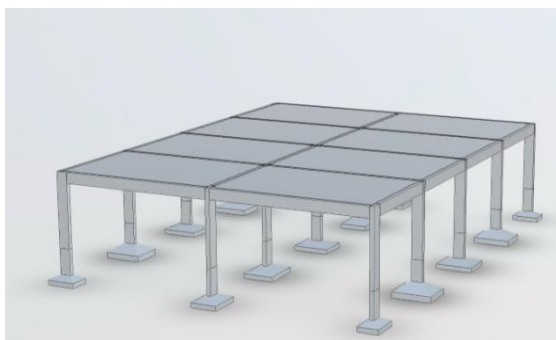
Em outras palavras, essa solução híbrida proporciona um equilíbrio interessante entre desempenho mecânico, durabilidade e viabilidade econômica, sendo especialmente vantajosa em ambientes agressivos como regiões litorâneas ou estruturas sujeitas à umidade constante, onde o aço tradicional tende a apresentar maior risco de corrosão.

Dessa forma, o uso combinado de GFRP e aço em elementos estruturais surge como uma alternativa promissora, capaz de estender a vida útil das edificações sem comprometer a segurança ou encarecer significativamente o projeto.

3 METODOLOGIA

Para a análise comparativa entre os dois sistemas estruturais abordados neste trabalho, foram desenvolvidos dois projetos hipotéticos de uma edificação com dimensões em planta de uma laje de 15 metros por 20 metros, desconsiderando o dimensionamento dos outros elementos: vigas epilares—Figura1.

Figura1: Renderização do projeto em estudo



Fonte: Autor

As cargas aplicadas foram definidas de modo a exigir variações nas dimensões do elemento estrutural, permitindo uma avaliação mais abrangente do comportamento de cada solução. O primeiro projeto foi concebido com a utilização de vergalhões de GFRP, em conformidade com as diretrizes normativas aplicáveis. O segundo adotou-se como armadura o aço CA-50, tradicionalmente empregado em estruturas de concreto armado. Dessa forma, estabeleceu-se uma base comparativa consistente, possibilitando a análise técnica e financeira entre os dois sistemas, com foco no desempenho estrutural, na durabilidade e no custo global ao longo da vida útil da edificação.

Para cada projeto, extraiu-se de forma detalhada os quantitativos de materiais necessários para execução do elemento estrutural, abrangendo vergalhões, concreto e fôrmas, de modo a possibilitar uma avaliação precisa do consumo e do impacto econômico de cada alternativa. A definição desses quantitativos considerou a correspondência

entre as bitolas dos vergalhões de GFRP e asdos vergalhões de aço CA-50, respeitando as diferenças intrínsecas de propriedades mecânicas, como resistência à tração, módulo de elasticidade e comportamento à ruptura. Essa correspondência é fundamental para garantir a equivalência estrutural entre as soluções analisadas, assegurando que ambas atendam aos mesmos requisitos de segurança e desempenho.

O dimensionamento do elemento estrutural foi realizado com base nas diretrizes estabelecidas pelas normas técnicas nacionais e internacionais aplicáveis, como a ABNT NBR 6118:2023, que rege o projeto de estruturas de concreto armado, a ABNT NBR 17196:2025 e a ABNT NBR 17201:2025, que tratam especificamente do emprego de barras de GFRP. Dessa forma, assegura-se que os projetos atendam a critérios de segurança, estabilidade, durabilidade e funcionalidade exigidos para uso em edificações.

A partir do dimensionamento obtido, procedeu-se como levantamento detalhado de custos, contemplando não apenas os materiais, mas também a mão de obra necessária à execução para as soluções estruturais adotadas. Essa etapa fornece subsídios para a análise econômica comparativa, permitindo avaliar o custo inicial, a relação custo-benefício e o impacto de cada sistema construtivo ao longo do ciclo de vida da edificação.

Os custos dos materiais foram definidos a partir da média de preços obtida junto a, no mínimo, três fornecedores distintos, de modo a reduzir distorções pontuais de mercado e garantir maior confiabilidade às estimativas. Essa metodologia permite estabelecer um valor representativo e equilibrado para cada insumo, considerando as oscilações naturais de preço e assegurando maior precisão na análise comparativa entre as soluções estruturais propostas.

Quanto aos custos de mão de obra necessários para a execução da estrutura,

esses foram obtidos a partir da composição unitária de serviços, elaborada conforme parâmetros técnicos de produtividade e consumo de insumos. Para a definição dessa composição, adotou-se como referência a tabela oficial da GOINFRA (2025), reconhecida como fonte normativa no âmbito de orçamentos e obras públicas no Estado de Goiás. Tal procedimento confere respaldo técnico ao levantamento de custos, ao mesmo tempo em que assegura padronização e alinhamento às práticas de mercado regional.

4 RESULTADO E DISCUSSÕES

Com base no levantamento orçamentário feito tendo insumos da GOINFRA como base de mão de obra e nas evidências da literatura técnica, apresenta-se a seguir uma análise mais detalhada, contemplando o custo inicial das alternativas AÇO x GFRP.

4.1 Custo Inicial ou custo direto

As tabelas 1 e 2 apresentadas a seguir, mostram os custos sintéticos dos insumos e serviços para execução das lajes, considerando a utilização dos dois tipos de insumos abordados: aço carbono e GFRP.

Tabela 1 – Custo orçado para laje convencional

Item	Insumo/Serviço	Custo (R\$)
1	Fôrmas	R\$37.315,78
2	Aço	R\$40.755,24
3	Concreto	R\$20.807,86
Custo Total		R\$98.878,88
Custo/m ²		R\$164,80/m²

Item	Insumo/Serviço	Custo (R\$)
1	Fôrmas	R\$37.315,78
2	GFRP	R\$47.928,97
3	Concreto	R\$20.807,86
Custo Total		R\$106.358,60
Custo/m ²		R\$177,26/m²

Como observado nas tabelas 1 e 2, o custo orçado para execução da estrutura em aço carbono foi de R\$ 98.878,88, enquanto a alternativa em GFRP atingiu o montante de R\$ 106.358,60 representando acréscimo de custo da estruturada laje, de aproximadamente 7,03% em relação ao aço.

A composição de custo em que se obteve os valores mostrados nas tabelas 1 e 2, está apresentado no Anexo 1 e 2.

Essas diferenças iniciais são consistentes com dados de mercado que indicam valores mais elevados para GFRP em função de produção e logística, como citado por Income Pultrusion (2023) de US\$ 2,13-8,20/m para GFRP em comparação a US\$ 1,30-7,38/m para aço. Para os materiais em questão, considerando a aquisição e entrega do material na cidade de Goiânia, obteve-se valores médios de R\$3,08/m para o de aço e de 4,24/m para o GFRP.

No entanto, estes custos diretos apresentados nas tabelas 1 e 2 não devem ser considerados como o único parâmetro para avaliação da viabilidade da utilização de um ou de outro material, principalmente porque para o custo total do sistema haveria de se considerar as variações que implicam os dimensionamentos de vigas e pilares.

4.2 Manutenção, durabilidade e ciclo de vida

Um dos pontos centrais da discussão da viabilidade do uso do GFRP reside no fato de que o custo inicial representa apenas uma parte da equação para análise de viabilidade financeira, que ainda deve ser composta pelo custo de manutenção dos sistemas ao longo da sua vida útil. As estruturas em aço tradicional exigem manutenção periódica, especialmente em ambientes agressivos como umidade elevada, agentes químicos: cloretos, sulfatos e carbonatos, devido a susceptibilidade à corrosão dos vergalhões. Esses mecanismos de

deterioração geram a fissuração, delaminação e expansão do concreto e a oxidação do aço resultando na perda da capacidade portante e consequentemente, a necessidade de intervenções corretivas ou substituição prematura, o que eleva o custo total durante a vida útil da edificação.

Em contraste ao aço carbono, as estruturas em GFRP se destacam pela resistência à corrosão, o que reduz significativamente as intervenções de manutenção. Por exemplo, segundo estudo apresentado pelo site gtofrp.com (2024), as estruturas com GFRP podem apresentar até 30-40 % de custo do ciclo de vida menor do que o aço em ambientes agressivos. Outro levantamento técnico feito pelo Composite-Tech (2025) indica que, em ambientes agressivos, a economia no ciclo de vida pode chegar a 50-70 % em função da menor necessidade de reparos.

Contudo, não foi possível identificar, na literatura técnica nacional ou internacional, dados consolidados ou consistentes que quantifiquem de forma precisa o valor ou o percentual de custo referente às manutenções estruturais, tanto para estruturas em aço quanto para aquelas em GFRP.

4.3 Viabilidade econômica e perspectivas para o mercado brasileiro

Ao integrar os aspectos de custo, durabilidade e sustentabilidade, observa-se que o GFRP se apresenta como alternativa tecnicamente viável para empreendimentos com exposição severa à umidade ou exigência de manutenção mínima.

Apesar do custo inicial superior, a economia gerada pela ausência de corrosão e pela menor necessidade de intervenções pode reduzir o custo global do ciclo de vida em até 25%, dependendo do ambiente e do tempo de uso gtofrp.com (2024).

Em contrapartida, o aço mantém vantagem competitiva em obras em locais com baixa agressividade ambiental e onde a reposição de

elementos é facilmente acessível. Para o mercado brasileiro, a transição para o GFRP depende de alguns fatores:

- Aperfeiçoamento normativo, com a consolidação das NBR 17196:2025 e 17201:2025;
- Capacitação técnica da mão de obra para execução e fiscalização;
- Escala de produção e logística nacional, que possam reduzir custos e ampliar a oferta.
- Sistematização de métodos de cálculos em vigas e pilares, que poderiam considerar a redução de seção em função das propriedades do GFRP, reduzindo assim o custo do sistema.

Esses fatores poderão permitir a utilização mais ampla do GFRP em edificações residenciais e comerciais, especialmente em projetos de incorporação que valorizem a durabilidade, sustentabilidade e o custo de manutenção reduzido como diferenciais de mercado.

5 CONCLUSÃO

A análise comparativa realizada entre as estruturas compostas por vergalhões de aço e aquelas executadas com barras de GFRP permitiu avaliar, de forma técnica e financeira, a viabilidade de substituição do aço convencional por um material compósito alternativo.

Os resultados obtidos, com base no levantamento orçamentário em anexo com auxílio da planilha de insumos GOINFRA (2024), evidenciaram que o custo total da estrutura proposta nesse trabalho utilizando o GFRP apresentou um acréscimo médio de 7,03 % em relação à estrutura tradicional em aço carbono. Embora o GFRP se destaque por características relevantes, como resistência à corrosão, baixa densidade e maior durabilidade, o cenário atual do mercado brasileiro em especial o contexto regional de Goiânia (GO) e a falta de estudos e análises mais profundas no dimensionamento do GFRP, ainda não favorece sua adoção em larga escala.

O resultado obtido e apresentado nesse trabalho se justifica pela baixa disponibilidade comercial do material, pela ausência de fornecedores locais consolidados, pelos custos elevados de importação e transporte e pela escassez de mão de obra especializada para execução e controle de qualidade das armaduras em compósitos. Além disso, o marco normativo nacional referente ao uso do GFRP ainda se encontra em fase de consolidação (NBR 17196:2025e NBR17201:2025), o que limita a sua aplicação em empreendimentos imobiliários.

Dessa forma, concluiu-se que, nas condições atuais de mercado e considerando o contexto regional estudado, a substituição do aço pelo GFRP não se mostra economicamente viável para edificações residenciais. No entanto, a continuidade de pesquisas, a sofisticação de métodos de cálculo em vigas e pilares, o avanço normativo e o aumento da escala de produção nacional poderão, em médio prazo, tornar o GFRP uma alternativa competitiva, especialmente em obras expostas a ambientes agressivos ou que demandem alta durabilidade e baixo custo de manutenção ao longo da vida útil.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR17196: Projeto de estruturas de concreto armado com barras e polímero reforçado com fibras (FRP). São Paulo, ABNT, 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR17201: Barras de polímero reforçado com fibras (FRP) destinadas a armaduras para estruturas de concreto armado Parte 1: Requisitos. São Paulo, ABNT, 2025

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: Projeto de estrutura de concreto - Procedimento. São Paulo, ABNT, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7480:2020 Barras e fios de aço destinados a armaduras para concreto armado – Especificação. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2020.

ACI COMMITTEE 440. Guide for the Design and Construction of Structural Concrete Reinforced with FRP Bars. Farmington Hills: American Concrete Institute, 2015.

ALBERTO, J. S. H.; Barra de reforço PRFV. LinkedIn 06 Jan 2018

BALENDRAN, R.V.; ZHOU, F.P.; NIGEL, R.; PANDEY, C. K. Sustainable use of fibre reinforced polymer composites in construction. Proceedings of the International Conference on Sustainable Building, 2002

FERREIRA, S. H.; Reciclagem ou reuso de embalagens de vidro. Ribeirão Preto: Universidade de São Paulo (USP), 2015.

FIBAR. GFRP vs Steel: Which is the Better Choice for Sustainable Construction Practices? 2023.

“FIBERGLASS REBAR VS STEEL COST: Which One Saves You More?”(2024, GTOFRP).

HELENE, P.; PEREIRA, J. C. Durabilidade do Concreto Armado: Teoria, Prática e Normatização. São Paulo: PINI, 2015.

INCOME PULTRUSION. Glass Fiber Reinforced Polymer Rebar Cost. 2023.

MADARELI COMÉRCIO.; Conheça as vantagens de se usar os vergalhões de fibra de vidro na Construção. 23 Jul 2021.

MDPI. Sustainability Journal. Mechanical Properties of GFRP Bars in Concrete Applications. Basel: MDPI, 2024.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. . Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais. 2. ed. São Paulo: IBRACON, 2014.

MUNHOZ, M.F. ;SANTANA JUNIOR, J. P.; Análise da substituição parcial de vergalhão de polímero de fibra de vidro em uma viga de concreto armado. UNIPAR, 2023

RECICLOTECA; Vidro: história, composição, tipos, produção e reciclagem. 17 agosto, 2017.

SANTOS, D. B.; ALMEIDA, I. G.; CRUZ, C. P.; Estudo comparativo entre os vergalhões de aço e Polímero Reforçado com fibra de vidro. Universidade Potiguar, 2022

SILVA, A. Z .; ROSAS, L. B.; Análise comparativa da resistência a tração na flexão entre vergalhões de aço e de fibra de vidro aplicados no concreto. Revista Científica ERA–MT – Volume 1: junho, 2024

SILVÉRIO, M.; Vergalhões de Fibra de Vidro: Substituição do aço no concreto armado. Universidade estadual de Maringá, 2024

TEIXEIRA, V. A.; Viabilidade técnica da Substituição do Vergalhão de aço pelo vergalhão de fibra de vidro em Vigas de concreto armado submetidas à flexão. Universidade Tecnológica Federal do Pará, 20 Jun 2024

TENCOM. Fiberglass Pultrusion vs. Traditional Materials: Cost Benefit Analysis. 2023.

VILLAR, L. G. S.; SOUSA, J. C.; Viabilidade de Utilização de Vergalhão de Fibra de Vidro. Boletim do Gerenciamento, [S.l.], v. 43, n. 43, jul.2024. ISSN 2595-6531 Acesso em: 31 mar. 2025.

YU, T.; YANG, E. H.; PAN, Z. Life cycle cost analysis of glass fiber reinforced polymer reinforced concrete beam. Construction and Building Materials, v. 112, p. 595-604, 2016.

ANEXOS PLANILHA DE COMPOSIÇÃO DE CUSTOS DE MATERIAL E MÃO DE OBRA

A1-TABELA DE COMPOSIÇÃO DE CUSTOS PARA EXECUÇÃO EM CONCRETO ARMADO COM AÇO CARBONO

CÓDIGO	DESCRIÇÃO	UNID	COEF.	AUXILIAR	QUANT	VALOR UNITÁRIO	VALOR	VALORTOTAL
								98.878,88
060203	FORMACHAPADECOMPENSADORE SINADO12MMU=3V (OBRAS CIVIS)	m2			274,48			37.315,78
1968	SARRAFODEMADEIRA10 CM	m	1,10	274,48	301,82	5,30	5,83	1.599,64
2023	TABUAPARAFORMA (30CM)	m	1,15	274,48	315,65	15,67	18,02	4.946,27
2380	ESCORAROLIÇA(TIPOEUCALIPTO)	m	2,00	274,48	548,96	3,67	7,34	2.014,68
1263	DESMOLDANTEPARA CONCRETO	l	0,10	274,48	27,45	13,49	1,35	370,27
1861	PREGO18x24	Kg	0,25	274,48	68,62	18,90	4,73	1.296,92
1696	CHAPADE MADEIRITE 220X110X 12MM PLASTIFICADO	m2	0,43	274,48	118,03	88,00	37,84	10.386,32
0005	SERVENTE	m2	1,24	274,48	338,98	20,12	24,85	6.820,33
0010	CARPINTEIRO	m2	1,24	274,48	338,98	29,15	36,00	9.881,35
060302	ACOCA-25 -6,3MM (1/4")-(OBRAS CIVIS)	Kg			8,00			111,06
0102	ARAMERECOZIDO18 BWG	Kg	0,02	8,00	0,16	26,00	0,52	4,16
2436	AÇOCA-50-6,3MM(1/4") -BARRALISAA-36	Kg	1,10	8,00	8,80	8,90	6,36	50,86
0008	AJUDANTE	Kg	0,07	8,00	0,56	21,86	1,53	12,24
0006	ARMADOR	Kg	0,07	8,00	0,56	29,17	2,04	16,34
060304	ACOCA-50 A-8,0MM (5/16") -(OBRAS CIVIS)	Kg			851,00			10.029,38
0102	ARAMERECOZIDO18 BWG	Kg	0,02	851,00	17,02	26,00	0,52	442,52
2438	AÇOCA-50-8,0MM (5/16")	Kg	1,10	851,00	936,10	6,53	5,80	4.933,25
0008	AJUDANTE	Kg	0,08	851,00	68,08	21,86	1,75	1.488,23
0006	ARMADOR	Kg	0,08	851,00	68,08	29,17	2,33	1.985,89

060305	ACOCA-50A -10,0MM(3/8")-(OBRAS CIVIS)	Kg			1.452,00			16.505,46
0102	ARAMERECOZIDO18 BWG	Kg	0,02	1.452,00	29,04	26,00	0,52	755,04
2439	AÇO CA50A- 10,0 MM(3/8")	Kg	1,10	1.452,00	1.597,20	6,15	5,72	8.305,44
0008	AJUDANTE	Kg	0,08	1.452,00	116,16	21,86	1,75	2.539,26
0006	ARMADOR	Kg	0,08	1.452,00	116,16	29,17	2,33	3.388,39
060306	ACOCA-50A -12,5MM(1/2")-(OBRAS CIVIS)	Kg			1.135,00			14.047,90
0102	ARAMERECOZIDO18 BWG	Kg	0,02	1.135,00	22,70	26,00	0,52	590,20
2440	AÇO CA50A- 12,5 MM(1/2")	Kg	1,10	1.135,00	1.248,50	5,19	6,14	6.479,72
0008	AJUDANTE	Kg	0,10	1.135,00	113,50	21,86	2,19	2.481,11
0006	ARMADOR	Kg	0,10	1.135,00	113,50	29,17	2,92	3.310,80
060307	ACOCA-50A - 5,0MM(")-(OBRAS CIVIS)	Kg			5,00			61,45
0102	ARAMERECOZIDO18 BWG	Kg	0,02	5,00	0,10	26,00	0,52	2,60
2441	AÇO CA50A- 5,0MM	Kg	1,10	5,00	5,50	6,06	6,67	33,33
0008	AJUDANTE	Kg	0,10	5,00	0,50	21,86	2,19	10,93
0006	ARMADOR	Kg	0,10	5,00	0,50	29,17	2,92	14,59
51036	CONCRETOUSINADOBOMBEÁVEL FCK=25MPA (O.C.)	M3			32,94			19.263,20
2666	CONCRETOUSINADOBOMBEÁVELFCK=25 MPA	M3	1,02	32,94	33,60	573,33	584,80	19.263,20
060800	LANÇAMENTO/APLICAÇÃO/ADENSAMENTODECONCRETO USINADO BOMBEADO EM ESTRUTURA - (O.C.)	M3			32,94			1.544,66

ANEXOS – PLANILHA DE COMPOSIÇÃO DE CUSTOS DE MATERIAL E MÃO DE OBRA

A2–TABELA DE COMPOSIÇÃO DE CUSTOS PARA EXECUÇÃO EM CONCRETO ARMADO COM GFRP

CÓDIGO	DESCRIÇÃO	UNID	COEF.	AUXILIAR	QUANT	VALOR UNITÁRIO	VALOR	VALORTOTAL
								106.358,60
060203	FORMACHAPADECOMPENSADORE SINADO12MMU=3V (OBRAS CIVIS)	m2			274,48			37.315,78
1968	SARRAFODEMADEIRA10 CM	m	1,10	274,48	301,82	5,30	5,83	1.599,64
2023	TABUAPARAFORMA (30CM)	m	1,15	274,48	315,65	15,67	18,02	4.946,27
2380	ESCORAROLIÇA(TIPOEUCALIPTO)	m	2,00	274,48	548,96	3,67	7,34	2.014,68
1263	DESMOLDANTEPARA CONCRETO	l	0,10	274,48	27,45	13,49	1,35	370,27
1861	PREGO18x24	Kg	0,25	274,48	68,62	18,90	4,73	1.296,92
1696	CHAPADE MADEIRITE 220X110X 12MM PLASTIFICADO	m2	0,43	274,48	118,03	88,00	37,84	10.386,32
0005	SERVENTE	m2	1,24	274,48	338,98	20,12	24,85	6.820,33
0010	CARPINTEIRO	m2	1,24	274,48	338,98	29,15	36,00	9.881,35
060302	VERGALHÃO FIBRA6,3MM(1/4") -(OBRAS CIVIS)	m			1.618,54			10.468,88
0102	ARAMERECOZIDO18 BWG	Kg	0,02	1.618,54	32,37	26,00	0,52	841,64
2436	VERGALHÃO FIBRA-6,3MM(1/4")	m	1,10	1.618,54	1.780,39	2,16	2,38	3.845,65
0008	AJUDANTE	m	0,07	1.618,54	113,30	21,86	1,53	2.476,69
0006	ARMADOR	m	0,07	1.618,54	113,30	29,17	2,04	3.304,90
060304	VERGALHÃO FIBRA-8,0MM(5/16")-(OBRAS CIVIS)	m			2.552,89			22.308,17
0102	ARAMERECOZIDO18 BWG	Kg	0,02	2.552,89	51,06	26,00	0,52	1.327,50
2438	VERGALHÃO FIBRA- 8,0 MM (5/16")	m	1,10	2.552,89	2.808,18	3,76	4,14	10.558,75
0008	AJUDANTE	m	0,08	2.552,89	204,23	21,86	1,75	4.464,49
0006	ARMADOR	m	0,08	2.552,89	204,23	29,17	2,33	5.957,42

060305	VERGALHÃO FIBRA -10,0MM(3/8")-(OBRAS CIVIS)	m			344,23			3.765,33
0102	ARAMERECOZIDO 18 BWG	Kg	0,02	344,23	6,88	26,00	0,52	179,00
2439	VERGALHÃO FIBRA 10,0MM (3/8")	m	1,10	344,23	378,65	5,76	6,34	2.181,04
0008	AJUDANTE	m	0,08	344,23	27,54	21,86	1,75	601,99
0006	ARMADOR	m	0,08	344,23	27,54	29,17	2,33	803,30
060306	VERGALHÃO FIBRA -12,5MM(1/2")-(OBRAS CIVIS)	m			772,70			11.484,64
0102	ARAMERECOZIDO 18 BWG	Kg	0,02	772,70	15,45	26,00	0,52	401,80
2440	VERGALHÃO FIBRA 12,5MM (1/2")	m	1,10	772,70	849,97	8,40	9,24	7.139,75
0008	AJUDANTE	m	0,10	772,70	77,27	21,86	2,19	1.689,12
0006	ARMADOR	m	0,10	772,70	77,27	29,17	2,92	2.253,97
060307	VERGALHÃO FIBRA - 5MM- (OBRAS CIVIS)	m			29,61			207,94
0102	ARAMERECOZIDO 18 BWG	Kg	0,02	29,61	0,59	14,58	0,52	8,63
2441	VERGALHÃO FIBRA -5,0MM	m	1,10	29,61	32,57	1,48	1,63	48,21
0008	AJUDANTE	m	0,10	29,61	2,96	21,86	2,19	64,73
0006	ARMADOR	m	0,10	29,61	2,96	29,17	2,92	86,37
51036	CONCRETO USINADO BOMBEÁVEL FCK=25MPA (O.C.)	M3			32,94			19.263,20
2666	CONCRETO USINADO BOMBEÁVEL FCK=25 MPA	M3	1,02	32,94	33,60	573,33	584,80	19.263,20
060800	LANÇAMENTO/APLICAÇÃO/ADENSAMENTO DE CONCRETO USINADO BOMBEADO EM ESTRUTURA - (O.C.)	M3			32,94			1.544,66



PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE GOIÁS
GABINETE DO REITOR

Av. Universitária, 1069 • Setor Universitário
Caixa Postal 88 • CEP 74605-010
Goiânia • Goiás • Brasil
Fone: (62) 3948.1000
www.pucgoias.edu.br • reitoria@pucgoias.edu.br

RESOLUÇÃO nº 038/2020 – CEPE

ANEXO I

APÊNDICE ao TCC

Termo de autorização de publicação de produção acadêmica

Os estudantes **Samuel de Brito de Souza Moraes Alves** matrícula **2021.1.0025.0038-5**, telefone: (62) 99307-6897 e-mail: samuelbrito0986@gmail.com e **Thiago Silveira de Cintra Filho**, matrícula 2021.1.0025.0019-9, telefone (62) 99829-7629, e-mail: filhosilveiracintrathiago17@gmail.com; ambos do Curso de Engenharia Civil, na qualidade de titulares dos direitos autorais, em consonância com a Lei nº 9.610/98 (Lei dos Direitos do Autor), autorizam a Pontifícia Universidade Católica de Goiás (PUC Goiás) o Trabalho de Conclusão de Curso intitulado **VIABILIDADE FINANCEIRA DE VERGALHÕES DE POLÍMERO REFORÇADO COM FIBRAS DE VIDRO – GFRP EM SUBSTITUIÇÃO AO VERGALHÃO DE AÇO CARBONO**, gratuitamente, sem ressarcimento dos direitos autorais, por 5 (cinco) anos, conforme permissões do documento, em meio eletrônico, na rede mundial de computadores, no formato especificado (Texto (PDF); Imagem (GIF ou JPEG); Som (WAVE, MPEG, AIFF, SND); Vídeo (MPEG, MWV, AVI, QT); outros, específicos da área; para fins de leitura e/ou impressão pela internet, a título de divulgação da produção científica gerada nos cursos de graduação da PUC Goiás.

Goiânia, 24 de setembro de 2025.

Assinatura do autor1: Samuel Brito de Souza Moraes Alves
Nome completo do autor: **Samuel de Brito de Souza Moraes Alves**

Assinatura do autor2: Thiago B. Cintra Filho
Nome completo do autor: **Thiago Silveira de Cintra Filho**

Assinatura do professor-orientador: Epaminondas Luiz Ferreira Júnior
Nome completo do professor-orientador: **Epaminondas Luiz Ferreira Júnior**