

Submitted: Feb 16th, 2024
Approved: Mar 22th, 2024

Utilização de compostos de fibra de carbono em reforços de estrutura de concreto armado

Use of carbon fiber compounds in reinforced concrete structures

Uso de compuestos de fibra de carbono en refuerzos de estructuras de hormigón armado

Raí Victor Pedroza

Bacharelado em Engenharia Civil pelo Centro Universitário de Tecnologia de Curitiba (UNIFATEC)

Instituição: Centro Universitário de Tecnologia de Curitiba (UNIFATEC)

Endereço: Curitiba, Paraná, Brasil

E-mail: raivictor.pedroza@gmail.com

Alessandra Monique Weber Abdalla

Doutora em Engenharia Civil pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)

Instituição: Centro Universitário de Tecnologia de Curitiba (UNIFATEC)

Endereço: Curitiba, Paraná, Brasil

E-mail: alessandra.abdalla@unifatecpr.com.br

RESUMO

Com o progresso da sociedade, tornou-se crucial encontrar soluções ágeis e eficientes na indústria da construção, particularmente em consertos de estruturas de concreto armado. Neste cenário, os compósitos de fibra de carbono (CFRP) emergem como uma opção inovadora e eficaz, sobressaindo-se pela sua leveza, durabilidade e simplicidade de aplicação, diminuindo consideravelmente o tempo de execução. Com isso o presente estudo tem como objetivo abordar características e aplicabilidades dos CFRP e por meio de revisão bibliográfica e estudos de caso, foram analisados os métodos de aplicação dos CFRP e suas vantagens, como a leveza, alta resistência mecânica, baixa manutenção e rapidez de execução. Também foram consultadas normas técnicas disponíveis relacionadas ao uso de CFRP no reforço de estruturas de concreto armado. A metodologia desse trabalho é baseada em uma pesquisa bibliográfica descritiva. Conclui-se que os compósitos de fibra de carbono representam uma solução inovadora e sustentável para reforço de estruturas de concreto armado, destacando-se pela eficiência.

Palavras-chave: reforço, fibra, carbono, CFRP, estrutura.

ABSTRACT

With the progress of society, it has become essential to find agile and efficient solutions in the construction industry, particularly for repairing reinforced concrete structures. In this context, carbon fiber-reinforced polymers (CFRP) have emerged as an innovative and effective option, standing out for their lightness, durability, and ease of application, significantly reducing execution time. This study aims to explore the characteristics and

applications of CFRP. Through a bibliographic review and case studies, methods of applying CFRP were analyzed, along with its advantages, such as lightness, high mechanical strength, low maintenance requirements, and quick execution. Additionally, technical standards related to the use of CFRP in reinforcing concrete structures were reviewed. The methodology of this work is based on a descriptive bibliographic research approach. It is concluded that carbon fiber-reinforced polymers represent an innovative and sustainable solution for strengthening reinforced concrete structures, excelling in efficiency.

Keywords: reinforcement, fiber, carbon, CFRP, structure.

RESUMEN

A medida que la sociedad avanza, se ha vuelto crucial encontrar soluciones ágiles y eficientes en la industria de la construcción, particularmente en la reparación de estructuras de hormigón armado. En este escenario, los compuestos de fibra de carbono (CFRP) surgen como una opción innovadora y eficaz, destacando por su ligereza, durabilidad y sencillez de aplicación, reduciendo considerablemente el tiempo de ejecución. Por tanto, el presente estudio tiene como objetivo abordar las características y aplicabilidad del CFRP y, a través de una revisión bibliográfica y estudios de casos, se analizaron los métodos de aplicación del CFRP y sus ventajas, como ligereza, alta resistencia mecánica, bajo mantenimiento y velocidad de ejecución. También se consultaron las normas técnicas disponibles relacionadas con el uso de PRFC en el refuerzo de estructuras de hormigón armado. La metodología de este trabajo se basa en la investigación bibliográfica descriptiva. Se concluye que los compuestos de fibra de carbono representan una solución innovadora y sostenible para el refuerzo de estructuras de hormigón armado, destacándose por su eficiencia.

Palabras clave: refuerzo, fibra, carbono, CFRP, estructura.

1 INTRODUÇÃO

O concreto armado é um material extremamente utilizado na construção civil, devido a sua grande resistência e uma longa vida útil, quando executado corretamente e prestado sua devida manutenção. No entanto, há estruturas que necessitam de reforços, principalmente quando são expostas a condições severas devido a má execução ou quando passa a suportar cargas maiores do que as previstas inicialmente em projeto. Em muitos casos, essas deteriorações, podem levar a perda da sua resistência, comprometendo a segurança e a utilização da construção. Tendo em vista complicações como estas, os reforços, tradicionalmente necessários, podem demandar um elevado tempo de execução e apresentar altos custos.

A necessidade de reforços em estruturas de concreto armado vem se tornando cada

vez mais frequente e soluções de rápida execução e alto desempenho surgem. Com isso, a utilização de compósitos com fibras de carbono - CFRP (carbon fiber reinforced polymer), se destacam, nesses casos, devido ao seu alto desempenho mecânico e representam o que há de mais moderno no segmento de reforços estruturais, substituindo tratamentos convencionas como o reforço com estruturas de aço, no qual o material tem um elevado peso e um maior tempo de execução em comparação com o reforço utilizando fibras de carbono. Algumas características como o baixo peso, facilitando a aplicação e assim diminuindo o tempo de reforço, a alta resistência a corrosão, entre outras, que serão citadas na pesquisa, contam a favor do CFPR no momento da escolha da solução desejada para a patologia.

1.1 OBJETIVO GERAL DA PESQUISA PROPOSTA

A pesquisa tem como trabalho principal, explorar os compósitos de fibra de carbono e demonstrar as maneiras corretas para a execução de projetos e reforços e os comportamentos destes em estruturas de concreto armado, com a utilização de compósitos de CFRP.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS DA PESQUISA

- Descrever as características dos compósitos de fibra de carbono, sendo as propriedades mecânicas, químicas e físicas, e os materiais primários em CFRP;
- Discutir os métodos de aplicação do CFRP e as etapas de execução, em reforços de estruturas de concreto armado, desde a preparação do substrato até a instalação do reforço;
- Identificar e discutir os parâmetros técnicos e regulamentares que orientam o uso de CFRP em reforços estruturais no Brasil e no mundo.

1.3 JUSTIFICATIVA

A cada dia que passa o avanço da sociedade nos incentiva a criar soluções cada vez mais rápidas, sendo o tempo um fator crítico em todos os setores da construção civil, influenciando diretamente no custo e viabilidade dos projetos, especialmente em relação

a reforços em estruturas existentes de concreto armado, assim fazendo ser necessário a inovação, com novas soluções para as manifestações patológicas em estruturas.

Neste cenário, os compósitos de fibra de carbono (CFRP) surgem como uma solução altamente eficaz por serem mais leves, o que facilita a execução e reduz significativamente o tempo, permitindo que a estrutura da edificação tenha sua função restabelecida sem grandes interrupções. Apresentam melhor eficiência em comparação com as técnicas convencionais de reforço, como as chapas de aço, que, segundo Machado e Machado (2015, p. 01), são cada vez menos utilizadas devido ao peso elevado, exigência de equipamentos robustos, preparações complexas e à necessidade recorrente de manutenção por serem suscetíveis à corrosão. Além disso, as resinas apresentam perda de resistência por fluência.

2 METODOLOGIA

Em fontes científicas e técnicas, foi realizada uma pesquisa bibliográfica, como artigos, livros, normas técnicas e publicações. Para tanto, a revisão bibliográfica focou principalmente na abordagem do estudo nas seguintes linhas:

- Características dos compósitos de fibra de carbono e sua composição;
- Aplicabilidades dos compósitos de fibra de carbono nos reforços em estruturas de concreto.
- Métodos de aplicação dos CFRP em reforços estruturais;
- Vantagens e limitações associadas ao uso dos CFRP.

3 CONCRETO ARMADO E SUA NECESSIDADE DE REFORÇO

Segundo a ABNT NBR 6118 (2023, p. 15), as estruturas de concreto devem ser projetadas e construídas de forma a garantir, nas condições ambientais previstas no momento do projeto e quando utilizadas conforme especificado, a manutenção de sua segurança, estabilidade e funcionalidade ao longo de toda a sua vida útil.

Contudo, apesar dos avanços tecnológicos e do aprimoramento no conhecimento sobre estruturas de concreto armado, os reforços estruturais continuam sendo necessários. Segundo Moura (2013, p 14), isso ocorre devido a falhas ou desempenhos insatisfatórios, em que a estrutura não atende aos requisitos projetados ou em situações onde é necessário

suportar um aumento de carga. Entre as diversas causas que podem levar à deterioração de uma estrutura, destacam-se o envelhecimento natural, a ausência de manutenção, equívocos na proporção e utilização dos materiais, falhas de projeto, baixa qualidade da execução por parte da mão de obra, entre outros fatores.

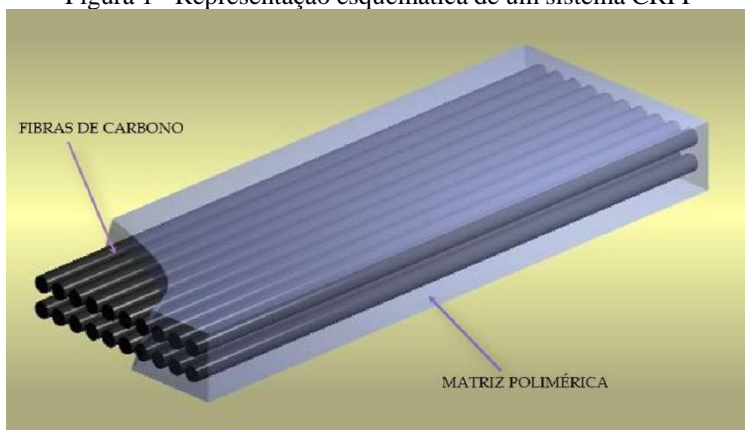
Conhecido como Patologias de Estruturas esse campo da engenharia, que segundo Helene (2003, p. 84), pode ser entendida como parte da engenharia que estuda sintomas, os mecanismos, as causas e as origens dos defeitos das construções civis. O estudo das patologias se tornou fundamental para um melhor diagnóstico. Segundo Helene (2003, p. 26), costuma-se separar as consequências em dois tipos: as que afetam a segurança da estrutura (associada ao estado de limite último) e as que comprometem a utilização e funcionamento da edificação (associadas ao estado de limite de utilização). Quanto mais cedo for feita a correção, maior será efetividade, maior facilidade de execução e mais econômicas.

4 COMPÓSITOS DE FIBRA DE CARBONO (CFRP)

O uso de compósitos de fibra de carbono (CFRP - Carbon Fiber Reinforced Polymer) no reforço de estruturas de concreto armado surgiu, segundo Souza e Ripper (1998, p. 152), no Japão, material que já era utilizado nos reforços de alto desempenho em indústrias como a aeronáutica, aeroespacial, naval e automobilística.

Os CFRP são estruturados em dois elementos: a matriz polimérica e as fibras de carbono. De acordo com Machado e Machado (2015, p. 48), a matriz polimérica tem como finalidade manter as fibras unidas, facilitando a transferência das tensões de cisalhamento entre os dois componentes estruturais: o concreto e a fibra de carbono. As fibras de carbono, que estão organizadas de maneira unidirecional dentro de matrizes poliméricas, são responsáveis por absorver as tensões de tração geradas pelos esforços solicitantes que atuam sobre a estrutura.

Figura 1 - Representação esquemática de um sistema CRFP



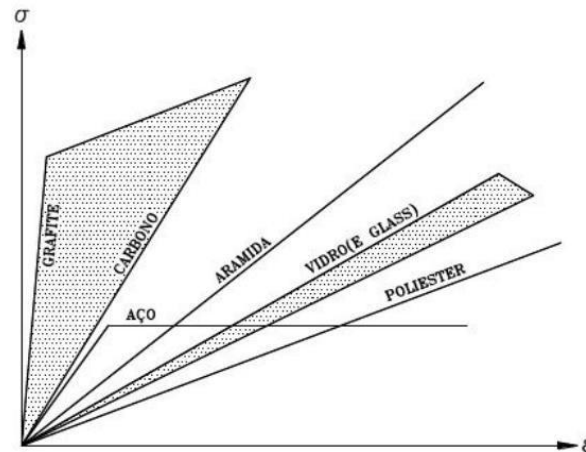
Fonte: MACHADO (2002)

A figura 1 mostra a esquemática de um sistema composto com fibras de carbono, no qual as fibras estão submersas na matriz polimérica. Sendo a fibra a responsável pela resistência mecânica do sistema e a matriz polimérica pela transferência das tensões de cisalhamento.

As fibras de carbono são obtidas, em sua maioria, através do resultado de um tratamento térmico do polímero poliacrilonitrila e, segundo Machado (2002, p. 06), podem também ser obtidas com base no alcatrão derivado do petróleo ou do carvão (PITCH) em um ambiente inerte e, também, através de fibras de rayon. O tratamento térmico varia de 1.000°C até 1.500°C para as fibras de carbono, em que a temperatura tem relação direta com módulo de elasticidade do material que varia desde 100 GPa a 300 GPa.

A figura 2 apresenta um comparativo entre a resistência de diversos tipos de materiais utilizados em reforço de estruturas de concreto armado:

Figura 2 - Diagrama Tensão vs. Deformação das Fibras.



Fonte: MACHADO (2002)

No mercado da construção civil, especificamente para o uso de reforço de estruturas de concreto, as fibras de carbono são separadas em dois tipos de sistemas: pré-fabricados e impregnados in-situ. No qual, segundo Carvalho (2010 p. 51), CFRP pré-fabricados são compostos por múltiplas camadas de fibras sobrepostas, que podem variar tanto no tipo de material quanto na orientação. Essas fibras são impregnadas em uma matriz polimérica, formando um compósito com propriedades ajustáveis conforme a aplicação desejada os materiais mais comuns neste tipo de sistema são os laminados, tiras, redes ou barras de pré-esforço. Já o sistema impregnado in-situ, composto por mantas, que são produzidos pelo agrupamento de feixes de fibras, são alinhados e tensionados, sendo posteriormente inseridos em uma prensa juntamente com uma tela impregnada com quantidades mínimas de resina.

Atualmente, as normas mais amplamente utilizadas para o reforço de estruturas de concreto com compósitos de fibra de carbono, além da NBR 6118:2023 que embora não trate diretamente de CFRP, estabelece os princípios de segurança, estabilidade e funcionalidade das estruturas, sendo fundamental para a implementação de qualquer tipo de reforço, são também utilizadas a ACI 440.2R (2017) e a ACI 318 (2019). A ACI 440.2R (2017), emitida pelo American Concrete Institute, fornece diretrizes específicas sobre o uso de compósitos reforçados com fibras, abordando aspectos como projeto, instalação e controle de qualidade, essenciais para garantir a eficácia e a segurança do reforço estrutural. Já a ACI 318 (2019), amplamente reconhecida como referência para o projeto de concreto estrutural, apresenta requisitos gerais que incluem o uso de materiais compósitos no contexto de reforço e reparo de estruturas, consolidando sua aplicação como uma prática tecnicamente embasada e normativamente respaldada.

4.1 APLICAÇÕES DOS CFRP

São diversas as aplicabilidades dos compósitos de fibra de carbono em reforçar estruturas de concreto armado. Segundo Machado (2002 p.13), são utilizadas em elementos estruturais onde ocorrem momentos fletores, com suas correspondentes tensões de tração e compressão, esforços cortantes e de torção com suas tensões tangenciais. Segundo Ari de Paula Machado e Bruno A. Machado (2015, p. 124), o sistema CFRP, preferencialmente, é aplicado nas faces superior e/ou inferior das peças, atuando como um reforço externo.

4.1.1 Reforço de vigas

Vigas em concreto armado tendem a necessitar de reforço devido, de acordo com Perez (2014 p. 52), aos momentos fletores que acabam tracionando a face inferior e comprimindo a superior e também em vigas sujeitas a força de corte. Compósitos de fibra de carbono são geralmente aplicados nas áreas de tensão das vigas para aumentar a resistência à tração e evitar a formação de fissuras, promovendo assim um aumento na capacidade de suporte de carga estrutural sem a necessidade de intervenção invasiva. Segundo Beber (2003 p.53), a fibra de carbono pode ser usada para absorver tensões de tração resultantes de momentos fletores positivos e negativos, bem como cisalhamentos resultantes de tensões de cisalhamento.

Figura 3 e 4 – Viga reforçada com manta de fibra de carbono.



Fonte: Unicom Engenharia

Perez (2014 p. 53) afirma que para resistir aos esforços de flexão, utilizam-se lâminas ou tecidos de fibra de carbono aplicados ao longo do eixo longitudinal da viga.

Já para os esforços de corte, podem ser empregadas lâminas ou tecidos posicionados perpendicularmente ao eixo longitudinal da viga ou alinhados de forma a cruzar as fissuras geradas pelos esforços transversais, como mostra as figuras 3 e 4.

4.1.2 Reforço de pilares

Nos pilares, de acordo com Machado (2002, p. 14) o CFRP além de aumentar a sua resistência tração é principalmente utilizado para aumentar a sua compressão e melhorar o confinamento do concreto, tornando os pilares mais resistentes às cargas verticais. O confinamento proporcionado pelo CFRP também aumenta a ductilidade, que é a capacidade de um material de se deformar plasticamente sem se romper, o que é crítico em áreas propensas a terremotos, onde é necessária maior capacidade de deformação sem perda significativa de resistência.

Figura 5 – Pilar reforçado com manta de fibra de carbono.



Fonte: Viapol.

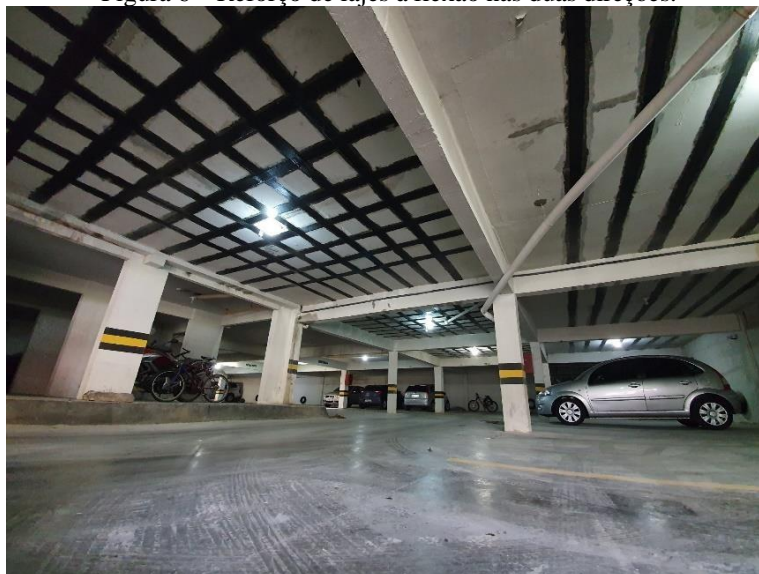
Segundo Perez (2014 p.56), quando é necessário reforçar a estrutura para atender tanto aos esforços de flexão quanto aos de corte, o reforço à flexão deve ser aplicado primeiro. Esse procedimento é fundamental, pois o reforço à flexão exige uma "colagem crítica" entre o compósito e o concreto, garantindo uma ligação eficaz. Já no caso do confinamento, é necessário assegurar um "contato íntimo", sendo que as condições de

aderência à superfície do concreto não são tão restritivas.

4.1.3 Reforço de lajes

As lajes de concreto armado podem ser reforçadas com o CFRP para aumentar sua capacidade de carga, especialmente em áreas sobrecarregadas ou com vãos longos. Segundo Machado (2002, p. 14), ao aplicar mantas de fibra de carbono nas áreas de tração da laje, é possível aumentar a resistência à tração e minimizar a deflexão sem aumentar a espessura da laje.

Figura 6 – Reforço de lajes à flexão nas duas direções.



Fonte: Techniques Soluções em Engenharia

4.2 TÉCNICAS DE APLICAÇÃO DOS CFRP NOS REFORÇOS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO

Os procedimentos utilizados para aplicação do reforço a estrutura de concreto podem ser simples, mas que devem ser seguidas corretamente. Segundo Ari de Paula Machado e Bruno A. Machado (2015, p. 481), o concreto deve estar nivelado, limpo e, em casos nos quais a superfície do concreto esteja degradada, deve-se ser efetuada a remoção do concreto desagregado, o tratamento da estrutura e a recuperação da superfície.

De acordo com EY Sayed-Ahmed (2009, p. 02), grande parte do sucesso em estruturas reforçadas com CFRP está na integridade da ligação entre o compósito e o concreto. As principais considerações incluem preparação da superfície, qualidade do

epóxi e aplicação do laminado. Uma ligação bem-sucedida depende muito da qualidade do acabamento e menos da confiabilidade do material.

Conforme Machado (2002, p. 21) especifica, a preparação da estrutura de concreto deve ser seguido os seguintes procedimentos:

- **Aplicação da primeira camada de resina de impregnação:** tem a função de tampar a porosidade do concreto, promover uma melhor aderência no substrato e prepará-lo para receber as próximas etapas.
- **Aplicação do adesivo estrutural:** saturação da estrutura de concreto utiliza adesivos com base de epóxi, fornecidas em componentes A e B que devem ser homogeneizados. A aplicação pode ser via úmida no qual é feito em bancada ou em por via seca no qual a aplicação é feita na estrutura de concreto que recebera posteriormente o compósito de fibra de carbono.
- **Aplicação do CFRP:** Imediatamente após a imprimação o compósito de fibra de carbono deve ser aplicado na estrutura de concreto. Muito importante que após a aplicação da manta seja feito o procedimento de retirada de bolhas de ar, que é feito com a utilização de pequenos rolos de aço denteados que eliminam estas bolhas.
- **Aplicação da segunda camada de resina de impregnação:** após cerca de 30 minutos da aplicação da manta, deve-se efetuar uma segunda camada da resina de impregnação para garantir que a manta esteja totalmente imersa.

Figura 7 – Procedimento de aplicação: (a) aplicação da primeira camada de resina de impregnação; (b) aplicação do adesivo estrutural; (c) aplicação da manta de fibra de carbono; (d) retirada de bolhas de ar; (e) aplicação da segunda camada de resina de impregnação



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

Fonte: Arquivo pessoal (2023)

4.3 VANTAGENS E LIMITAÇÕES DO USO DOS CFRP EM REFORÇOS

A aplicação de compósitos de fibra de carbono (CFRP) como reforço em

estruturas de concreto armado tem se mostrada uma abordagem inovadora e extremamente eficaz. Contudo, mesmo com suas inúmeras vantagens, é crucial que sua aplicação seja analisada meticulosamente, considerando as especificidades de cada projeto e estrutura.

As vantagens do uso dos compósitos de fibra de carbono (CFRP) no reforço de estruturas de concreto armado, conforme BEBER (2003, p. 35), são diversas e podem trazer benefícios significativos para os projetos. Uma das principais vantagens é sua extrema leveza, o que facilita tanto a logística de transporte quanto a aplicação do material, tornando o processo de reforço muito mais rápido e simples. Além disso, segundo BEBER (2003, p. 75) as fibras de carbono possuem uma resistência mecânica aproximadamente 3,4 vezes superior à do aço, permitindo reforçar elementos estruturais sem aumentar a espessura das seções, preservando assim as dimensões originais da estrutura.

Outro fator importante é a alta resistência do CFRP, pois este material não é afetado por danos causados por agentes agressivos, sejam eles químicos, físicos ou biológicos. Isso garante uma longa vida útil do reforço utilizado. A necessidade de manutenção frequente também é reduzida porque o CFRP requer pouca ou nenhuma manutenção ao longo do tempo, reduzindo os custos de manutenção. A flexibilidade das mantas de fibra de carbono é outra vantagem, pois permite que sejam utilizadas em superfícies curvas, adaptando-se a diferentes formatos estruturais sem a necessidade de ajustes complexos. Além disso, o uso do CFRP encurta o tempo de implementação em comparação com métodos convencionais como aditivos de aço, reduz falhas operacionais e permite rápida recuperação do desempenho estrutural.

No entanto, apesar das vantagens, o uso de CFRP também apresenta algumas desvantagens que devem ser consideradas. De acordo com Arquez (2010 p. 74), um dos principais desafios é a sensibilidade do material a superfícies irregulares, inadequadamente preparadas ou excessivamente úmidas. Nesses casos, a adesão do compósito pode ser prejudicada, levando a falhas precoces no reforço. Isso exige uma maior atenção no planejamento e na preparação das estruturas que serão reforçadas, o que pode aumentar tanto o tempo quanto os custos de implementação. Outra limitação do CFRP é a sua baixa resistência à exposição prolongada a raios ultravioletas (UV), o que pode levar à deterioração da matriz polimérica que envolve as fibras de carbono. Por fim, o custo inicial do CFRP pode ser mais elevado em comparação com outros

métodos tradicionais de reforço, como a adição de aço ou concreto extra, o que pode representar uma barreira para a adoção dessa tecnologia em projetos com orçamento mais restrito. No entanto, a longo prazo, os custos com manutenção e durabilidade do CFRP podem compensar esse investimento inicial mais alto.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo destacou o potencial dos compósitos de fibra de carbono (CFRP) como solução de alta eficiência para o reforço de estruturas de concreto armado. Os CFRP foram caracterizados detalhadamente, considerando sua composição, propriedades físicas, químicas e mecânicas, com destaque para sua leveza, resistência à corrosão e elevada capacidade de suportar tensões, características que os tornam superiores a métodos tradicionais, como o reforço com aço.

A análise dos métodos de aplicação demonstrou que o sucesso do reforço com CFRP está intimamente ligado à preparação adequada da superfície de concreto. A pesquisa também evidenciou que os critérios normativos internacionais, como os definidos nas normas ACI 440.2R (2017) e ACI 318 (2019), são os mais frequentemente utilizados. Outro aspecto importante identificado durante o estudo é a ausência de uma norma técnica brasileira específica para o uso de compósitos de fibra de carbono (CFRP) em reforços estruturais. Embora a ABNT NBR 6118:2023 forneça diretrizes gerais para o projeto de estruturas de concreto armado, a inexistência de uma regulamentação direcionada às aplicações e procedimentos com CFRP representa uma lacuna que pode dificultar a padronização e disseminação dessa tecnologia no Brasil.

A partir das pesquisas feitas, verificou-se que os CFRP são altamente eficazes em elementos estruturais como vigas, pilares e lajes, apresentando ganhos significativos em termos de capacidade de carga, redução de deformações e aumento de durabilidade. Em comparação aos métodos tradicionais de reforço estrutural, os CFRP mostraram-se superiores, oferecendo maior eficiência estrutural, menor impacto ambiental e menor tempo de execução, o que é especialmente relevante em cenários onde a rapidez de execução é um fator determinante. Embora as vantagens do uso de CFRP sejam amplamente reconhecidas, foram identificadas algumas limitações, como a necessidade de preparação rigorosa das superfícies e o custo inicial elevado. No entanto, os benefícios de longo prazo, como a durabilidade e a redução de custos com manutenção,

demonstram que os CFRP representam uma solução viável e vantajosa para reforços estruturais em concreto armado.

Portanto, conclui-se que o uso de compósitos de fibra de carbono é uma alternativa promissora para atender às crescentes demandas de reparo e reforço em estruturas de concreto armado, sendo uma abordagem moderna que alia inovação tecnológica, sustentabilidade e eficiência. Porém, o desenvolvimento de uma norma brasileira específica seria altamente benéfico, permitindo maior segurança, confiabilidade e uniformidade nas práticas de reforço estrutural. Este estudo contribuiu para o aprofundamento do conhecimento técnico sobre os CFRP e oferece uma base sólida para futuras pesquisas e aplicações práticas no campo da engenharia civil.

REFERÊNCIAS

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE (ACI). ACI Committee 440.2R: Guide for the design and construction of externally bonded FRP systems for strengthening concrete structures. Farmington Hills, Michigan, USA, 2017.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE (ACI). ACI Committee 318. Building Code Requirements for Structural Concrete: (ACI 318-19); and Commentary (ACI 318R19). Farmington Hills, Michigan, USA, 2019

ARQUEZ, A. P. Aplicação do Laminado de polímero reforçado com fibras de Carbono (PRFC) inserido em substrato de microconcreto com fibras de aço para reforço à flexão de vigas de concreto armado. São Paulo, 2001. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 6118. Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro. 2023.

BEBER, Andriei José. Comportamento Estrutural de Vigas de Concreto Armado Reforçadas com Compósitos de Fibra de Carbono. 2003. Tese (Doutor em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Univerdade Federal do Rio Grande do Sul

CARVALHO, Tiago Silva. Reforço à Flexão de Vigas de Betão Armado com Compósitos de CFRP. 2010. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil – Estruturas e Geotecnia) – Programa de Licenciado em Ciências de Engenharia Civil, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa

HELENE, Paulo. Manual Para Reforço e Proteção de Estruturas de Concreto. 2º ed.. São Paulo: Pini, 2003. 218 p.

MACHADO, Ari de Paula. Reforço de Estruturas de Concreto Armado com Fibras de Carbono. São Paulo: PINI, 2002. 120 p.

MACHADO, A. P.; MACHADO B. A. Reforço de Estruturas de Concreto Armado com Sistemas Compostos FRP, Editora Pini, 2015. 554 p.

MOURA, Michel. Reforço Estrutural em Estruturas de Concreto Armado. 2013. Dissertação (Graduação em Engenharia Civil) - Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Pampa.

PÉREZ, Gustavo Gabriel. Reforço de Estruturas de Betão Armado com Compósitos de Fibra de Carbono. 2014. Relatório de Estágio (Mestre em Engenharia Civil – Ramo Construções) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Instituto Superior de Engenharia de Porto.

SAYED-AHMED, Ezzeldin Yazeed. Bond Strength of FRP Laminates to Concrete: State-of-the-Art Review. Electronic Journal of Structural Engineering, Universidade Ain Shams, Cairo, 18 pp, 2009.

SOUZA, V.C.M., RIPPER, T. Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto. 1ed. São Paulo: Pini, 1998. 257 p.

UNICOM ENGENHARIA. Reforço estrutural em fibra de carbono. Disponível em: <<https://www.unicomengenharia.com.br/reforco-estrutural-em-fibra-de-carbono/>>. Acesso em: 20 dez. 2024.

VIAPOL. Reforço estrutural com fibra de carbono. Disponível em: <<https://viapolmais.com.br/reforco-estrutural-com-fibra-de-carbono/>>. Acesso em: 20 dez. 2024.