

## **Análise da fibra de carbono nas obras da construção civil**

### *Analysis of carbon fiber in civil construction*

Aynah Pessoa Valverde (1); Bárbara Domingues de Souza (2); Izabella Galerani Castropil (3);  
Nathália Paulino Thuler da Costa (4); João Felipe F. Coghi

- (1) *Graduando em Engenharia Civil, Universidade Anhembi Morumbi, aynahp.valverde@yahoo.com.br*  
(2) *Graduanda em Engenharia Civil, Universidade Anhembi Morumbi, badomingues@outlook.com*  
(3) *Graduando em Engenharia Civil, Universidade Anhembi Morumbi, izabella.castropil@gmail.com*  
(4) *Graduando em Engenharia Civil, Universidade Anhembi Morumbi, nathypaulino1@gmail.com*  
(5) *Professor Mestre, Departamento de Engenharia, Universidade Anhembi Morumbi, joao.coghi@anhembi.br*

### **RESUMO**

A evolução tecnológica busca melhorar aspectos da vida cotidiana, visando a otimização de recursos e tempo, sem que haja perda de performance e eficiência. Na construção civil não é diferente, baseado nas demandas tanto por novas estruturas como por manutenção de construções pré-existentes, a fibra de carbono se destaca.

O presente artigo buscará discutir a visibilidade para a fibra de carbono no mercado, apresentando suas características que influenciam em sua performance e resistência, sobretudo quando aplicado em diferentes patologias. Serão abordados os requisitos de aplicação, possíveis acabamentos e custo-benefício em decorrência de suas exigências.

Baseado no estudo da ponte localizada sobre o rio Pequeno, outras tecnologias, além da fibra, serão mencionadas a caráter de comparação, promovendo assim uma visão panorâmica dos fatores relevantes para a escolha da fibra de carbono como solução para obras futuras.

*Palavras-Chave: fibra de carbono, patologia, recuperação, reforço.*

### **ABSTRACT**

*Technology evolution seeks to improve day-to-day aspects, prioritizing resources and time optimization without low performance and efficiency loss. This is no different in the construction field, based on new structures and pre-existing buildings maintenance demands, the carbon fiber stand out.*

*The present article will discuss carbon fiber presence in the market, describing performance and resistance related features, especially when applicable to construction pathologies. Application requirements, finishing techniques and cost-effectiveness due to its specification will be approach.*

*Based on the study of the bridge located over the rio Pequeno, other technologies besides fiber will be mentioned for comparison purposes, thus promoting a panoramic view of the relevant factors for choosing carbon fiber as a solution for future works.*

*Keywords: Carbon fiber, pathological, recovery, reinforcement.*

## **1. INTRODUÇÃO**

A inovação dos materiais auxilia a mitigar problemas do dia a dia e colabora com testes das novas tecnologias de construção (SILVA E MACIEL, 2009). Dessa forma, os materiais polímeros e compósitos têm ganhado espaço com intuito de melhorar o comportamento das estruturas por meio dos reforços.

De acordo com Clímaco (2008), foi a partir da década de 1990 que os materiais conhecidos como compósitos foram introduzidos no setor de reparos e reforços das estruturas, especificamente os polímeros reforçados com fibras, sejam elas de carbono, vidro ou aramida. As fibras apresentam inúmeras vantagens construtivas por apresentar leveza, além de elevada resistência sem aumentar a seção das estruturas e fácil aplicação, pontos que prejudicavam o andamento de obras e a criação de novos layouts.

Com a ampliação de pesquisas de novos materiais e com a necessidade de agilidade de execução em obras, sobretudo reforços ou recuperações, por estarem atreladas a ambientes que possuem alto tráfego de pessoas ou uso, as tecnologias selecionadas nessas obras precisam estar em constante evolução, como é o caso da fibra, que apesar de seu alto desempenho, tem seu uso no Brasil vindo com certa timidez.

A fibra de carbono aparece justamente para agregar como item de estudo e uso, pois possui um módulo de elasticidade mais alto que é compatível com as deformações do concreto armado, ultrapassando outras fibras, como as de vidro por exemplo. Ela resiste juntamente com a resina epóxi à deterioração por materiais alcalinos e possui maior aderência e uma cura sem retração aglutinando as fibras (MENON, 2008).

A partir disso, o trabalho busca pesquisar os benefícios da fibra de carbono e trazer uma comparação a partir de um estudo de caso com outros materiais, sendo eles, o concreto armado e protensão, exibindo os prós e os contras entre eles. Também serão utilizadas referências bibliográficas de artigos e pesquisas para corroborar os benefícios e desafios do mercado atual para essa tecnologia.

## **2. JUSTIFICATIVA**

São inúmeras as situações que pode ser aplicada a fibra de carbono como reforço ou recuperação das estruturas, abrangendo todo o escopo de uma construção, ela pode ser

utilizada em pilares e vigas, lajes e superfícies de vedação. Este tipo de material é utilizado para aumentar o reforço ao cisalhamento e principalmente à flexão em vigas e lajes (RIPPER e SOUZA, 1998).

A fibra de carbono possui características que garantem boa performance, entretanto, apresenta alto valor devido à complexidade de fabricação do material, impactando na decisão do planejamento da obra e muitas vezes não chegando a ser considerada.

O objetivo do trabalho é apresentar o sistema CFC como solução para recuperações e reforços dos diferentes tipos de estruturas na construção civil, com potencial de aplicação em diferentes cenários, como por exemplo, pontes, treliças, edificações.

Portanto, através dos dados, o artigo auxiliará em uma melhor disseminação dos conhecimentos sobre a tecnologia da fibra de carbono, em conformidade com suas vantagens e dessa forma, permitindo àqueles que não têm ciência, mais informações para que possam levar em conta durante o planejamento de novas obras, ampliando suas possibilidades e dando maior visibilidade na utilização do material no mercado.

### **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

É possível observar o bom desempenho durante a utilização da fibra de carbono em obras de reforço como um elemento na recuperação de estruturas para obtenção de maior resistência (JUNIOR, 2019). O componente vem sendo utilizado há décadas, nas mais variadas indústrias, desde automobilística, aeroespacial até sua recente introdução na engenharia civil (LEAL E FAGUNDES, 2020).

Segundo Leal e Fagundes (2020), a fibra de carbono é um compósito e apresenta suas moléculas dispostas de forma alinhada, garantindo as propriedades que caracterizam o aumento de resistência apesar de suas pequenas dimensões.

Sua aplicação se estende de estruturas de concreto armado a estruturas de madeira, que apresentaram resultados satisfatórios através da abordagem do comportamento mecânico de peças em madeira reforçadas com a fibra de carbono (JUNIOR, 2004). E pode ser usada tanto para reforço estrutural já existente, como parte do projeto inicial.

Para a aplicação na construção civil existem disponíveis vários formatos do composto, sendo eles: fita de fibra de carbono, fios de fibra de carbono, tecido de fibra de carbono e barras de fibra de carbono (REIS, 2001). A escolha de cada modelo é empregada dependendo da situação, sendo necessário avaliar o tipo de estrutura, grau de solicitação e condições ambientais (FILHO, 2007).

Por se tratar de um componente extremamente resistente e de fácil aplicação (MONTANARI, 2019), a fibra de carbono vem ganhando mais notoriedade, apesar do lento avanço, devido ao alto custo e suas dimensões, que por ser leve e não impactar a seção de estruturas, causa desconfiança.

Em maior parte da literatura é possível encontrar grande protagonismo da utilização da fibra como reforço em concreto armado, mas também é possível verificar cenários da utilização da fibra em cabos na construção de pontes estaiadas (MEIER, 2011).

#### **4. METODOLOGIA**

Partindo dos artigos analisados, foram utilizados para definir os principais pontos a serem discutidos, levando em consideração as suas vantagens, desvantagens, custos, composição, propriedades, usabilidade e processo de aplicação.

Como parâmetro qualitativo, o estudo de caso apresenta a compilação de diferentes soluções de reforço que serão analisados para cruzar os levantamentos obtidos e apresentar os dados que levam a crer que a fibra de carbono é a melhor solução como reforço estrutural.

Por fim, a análise da fibra de carbono in loco, seu método de aplicação, avaliação do impacto orçamentário, performance do material após sua instalação e seus possíveis cenários serão utilizados para comprovação das informações sobre a fibra.

Este estudo terá caráter essencialmente qualitativo, com ênfase na observação e estudo documental, ao mesmo tempo que será necessário o cruzamento dos dados levantados com toda a pesquisa bibliográfica. A base para a criação da metodologia está desenvolvida no fluxograma da figura 1.



Figura 1 – Fluxograma (Elaboração própria, 2022)

#### 4.1. Especificação da fibra de carbono

Machado (2009) explica que as fibras de carbono resultam do tratamento térmico (carbonização) de fibras orgânicas como o poliacrilonitril (PAN), a partir do alcatrão derivado do petróleo ou do carvão (PITCH) em um ambiente inerte.

De acordo Garcez (2007), a produção consiste na oxidação dessas fibras seguido do processamento a elevadas temperaturas (variando de 1.000°C a 1.500°C) fazendo com que os átomos de carbono estejam perfeitamente alinhados ao longo da fibra, proporcionando alta resistência mecânica e impactando no módulo de elasticidade do material que varia desde 100GPa a 300GPa dependendo da temperatura no processo, aumentando o custo do material.

Segundo Machado (2009), os sistemas compostos estruturados que utilizam as fibras de carbono como elemento resistente, apresentam alta resistência mecânica; Alta rijeza; Bom comportamento à fadiga e à atuação de cargas cíclicas; Elevada resistência a ataques químicos diversos; Não são afetados pela corrosão por se tratar de um produto inerte; Estabilidade térmica e reológica; Extrema leveza, devido ao baixo peso específico do sistema (da ordem de 1,6g/cm<sup>3</sup> a 1,9g/cm<sup>3</sup>, cerca de 5 vezes menor do que o do aço estrutural), ao ponto de não se considerar o seu peso próprio nos reforços. Garcez (2007)

##### 4.1.1. Características genéricas da Fibra de Carbono

O coeficiente de dilatação térmica dos compostos unidirecionais de carbono varia segundo suas direções longitudinal e transversal, do tipo da fibra e volume e da resina no composto, conforme a tabela abaixo.

Escola de Engenharia e Tecnologia  
**Trabalho de Conclusão de Curso II (TCC II)**

Direção	Coefficiente de Dilatação Térmica (por °C)
Longitudinal ( $\alpha_L$ )	$-10^{-6}$ a 0
Transversal ( $\alpha_T$ )	$22 \cdot 10^{-6}$ a $23 \cdot 10^{-6}$

Tabela 2 – Tabela de coeficientes (VIAPOL, 2011)

A temperatura a partir da qual o polímero começa a “amolecer” é conhecida como temperatura de transição vítrea ( $T_G$ ). Acima dessa temperatura, o módulo de elasticidade é significativamente reduzido devido a mudanças em sua estrutura molecular. O valor de  $T_G$  depende fundamentalmente do tipo da resina, variando entre 80°C a 100°C.

Em um material composto, as fibras de carbono, que possuem melhores propriedades térmicas do que as resinas, podem continuar suportando alguma carga na sua direção longitudinal até que a sua temperatura limite seja alcançada (entorno de 1.500°C). Entretanto, devido à redução da força de transferência por meio da aderência entre as fibras, as propriedades de tração do composto como um todo são reduzidas quando as temperaturas ultrapassam a transição vítrea. O ACI 440 indica, genericamente, para os sistemas compostos estruturados com fibras de carbono, CFC, as seguintes propriedades:

Tipo da Fibra de Carbono	Módulo de Elasticidade (GPa)	Resistência Máxima de Tração (MPa)	Deformação de Ruptura (%)
De uso geral	220 – 235	< 3.790	> 1,2
Alta resistência	220 – 235	3.790 – 4.825	> 1,4
Ultra Alta Resistência	220 – 235	4.825 – 6200	> 1,5
Alto módulo	345 – 515	> 3.100	> 0,5
Ultra alto módulo	515 – 690	> 2.410	> 0,2

Figura 3 – Tabela de dados (VIAPOL, 2009)

Os sistemas CFC são construídos com dois elementos distintos e fundamentais: o elemento estrutural, constituído pelas fibras de carbono, e a matriz polimérica, cuja função é manter as fibras que as estruturam coesas, propiciando a transferência das tensões de cisalhamento entre os dois elementos estruturais, a superfície e a fibra a ser aplicada; quando dispostas unidirecionalmente dentro das matrizes poliméricas, absorvem as tensões de tração decorrentes dos esforços solicitantes atuantes.

Este tipo de material é utilizado para aumentar o reforço ao cisalhamento e à flexão em vigas, pilares e muros, ou seja, ele aumenta a resistência à flexão e ao corte em vigas de concreto quando aplicada em 90° (vertical), e também pode ser utilizado para aumentar a resistência à flexão em lajes, de acordo com Oliveira *et al.* (2014), nesse caso quando instalada em 180° (horizontal). Outra aplicação seria no reforço para aberturas de vãos em concreto, aplicando-a próximo ao local de abertura para obter a resistência aos impactos causados pelo corte. Além disso, em pilares também é possível utilizá-la para reforço à compressão, neste caso, é necessário envolvê-lo, aumentando sua resistência por meio de confinamento. E por fim, ao aplicar nas superfícies de alvenaria para vedação ou muros de arrimo proporciona resistência a impactos e explosões (MACHADO, 2015 *apud* THOMÉ, 2017).

#### **4.1.2. Princípios de aplicação em sistemas de reforços**

As verificações de tensões de tração atuantes nas armaduras existentes e no reforço estrutural, tensões de compressão atuantes no concreto e na armadura de compressão, se houver, são informações imprescindíveis na especificação para aplicação.

Para sistemas de reforços externos aderidos, é fundamental a recuperação do substrato de concreto armado para que o sistema possa ser aderido com segurança. Sendo eles a regularização e correção das imperfeições superficiais da estrutura a ser reforçada, de modo a estabelecer um plano nivelado.

Em subsequência, para a liga se estabelecer entre os materiais, pede-se a imprimação da superfície com o epoxídico (primer), que irá criar uma película de interface altamente eficiente para a transmissão de esforços. Após a aplicação do primer vem a primeira camada de resina saturante com alto teor de sólidos que servirá para impregnar (saturar) a lâmina de fibra de carbono e aderí-la à superfície do concreto. Em seguida, a CFC é instalada. E por fim aplica-se a segunda camada de resina saturante para completar a impregnação da lâmina de fibra de carbono, conformando assim a matriz epoxídica que envelopa o sistema.

Alguns casos optam-se por adicionar mais uma aplicação de película de acabamento, com elevado teor de sólidos, alto brilho e resistência à corrosão, com o objetivo de proteção e/ou acabamento estético.

#### **4.1.3. Cenário alternativo como método construtivo**

A ponte estaiada Stork Bridge, situada em Winterthur, na Suíça, foi construída em 1996 e utilizaram cabos de fibra de carbono para manter a ponte estabilizada. Contendo dois vãos de 61m e 63m respectivamente, a ponte conta com duas vigas longitudinais, que possuem 8 metros de distância entre si, suportando uma laje de concreto (a via), e vigas transversais situadas nos pontos de ancoragem dos cabos.

Os fios de carbono são unidos formando os cabos, sendo protegidos por tubo de polietileno para aumentar a resistência à corrosão e proteção à ventos e raios ultravioleta.

O uso da fibra neste caso é limitado devido às propriedades do material quando exposto a tensões cisalhantes. Os cabos comportam-se bem para esforços longitudinais, mas a sua resistência no aspecto laminar é baixa e dificulta o processo de ancoragem.

#### **4.1.4. Comportamento do sistema composto ante a ação do fogo**

Informações sobre o comportamento da fibra de carbono e seus componentes quando submetidos a altas temperaturas ou diretamente ao fogo são escassas, principalmente por se tratar de um material novo e ainda pouco utilizado na construção civil.

Ao analisar o comportamento da fibra de carbono, consideram-se dois fatores relevantes, as resinas epoxídicas utilizadas nos materiais dos sistemas CFC aderidos externamente ao concreto são combustíveis, sendo assim é fundamental avaliar o seu potencial de geração de fumaça e propagação da chama. E como se utiliza os sistemas compostos como elementos estruturais, deverá ser avaliada a resistência ao fogo da estrutura de concreto reforçada com o mesmo.

#### **4.1.5. Resistência ao fogo**

A resistência ao fogo dos materiais dos sistemas compostos é determinada pela qualidade da resina utilizada no composto. Essas resinas são tipicamente classificadas como termoplásticas ou termoestáveis (ou termofixas).

As resinas termoplásticas podem se fundir e novamente se solidificar repetidas vezes ao serem aquecidas e resfriadas, já as resinas termoestáveis experimentam uma reação química para serem curadas, mas não podem regressar ao estado inicial após sofrerem aquecimento. (MACHADO, 2009)

Quando expostas a altas temperaturas, passam para um estágio vitrificado. A integridade estrutural de um sistema composto de fibras de carbono começa a se degradar a temperaturas superiores a  $T_G$ , pois a resina não mais consegue manter inalterada a adesão das fibras individuais no composto.

Para a fibra de carbono recomenda-se avaliar a resistência ao fogo da estrutura existente segundo os procedimentos normativos correntes. Uma vez que suporte as solicitações das demandas de serviço antecipadas, a condição fica atendida.

A metodologia usual estabelece que um aumento de carga corresponda à diminuição da resistência ao fogo, neste caso, um sistema de CFC poderá compensar os aumentos das cargas, uma vez que o peso específico da fibra pode ser desconsiderado do cálculo. Quando necessário aumentar as cargas, a proteção contra incêndios será eficaz.

## **5. ESTUDO DE CASO**

Como projeto referencial foi utilizada a obra de recuperação estrutural da ponte localizada no Km 34+800m da Rodovia SP-148 Vila Jurubatuba, São Bernardo do Campo – SP, conhecida popularmente como Estrada velha de Santos, que faz a ligação do litoral de São Paulo com o planalto paulista.



Figura 4 – Vista aérea do estudo de caso (Acervo da obra, 2021)

Escola de Engenharia e Tecnologia  
**Trabalho de Conclusão de Curso II (TCC II)**

Construída na década de 1930, trata-se de uma OAE (Obra de arte especial) que possibilita o cruzamento do Rio Pequeno. Com geometria ortogonal e reta, possui uma superestrutura em concreto armado com comprimento total de 68m e largura de 8,30m. Os vão externos são biapoiados e os três vãos internos são hiperestáticos.

Pela idade da obra, pode-se supor que se trata de estrutura originalmente dimensionada para trem-tipo similar ou inferior ao da Classe I da NB6 de 1943. Logo, conclui-se que a estrada previa um fluxo muito inferior ao que recebe hoje, caracterizando assim a instalação de reforços estruturais.

De acordo com o engenheiro responsável pela obra, devido às necessidades apresentadas pela ponte, apenas a aplicação da fibra de carbono não seria capaz de suprir as cargas recebidas. Assim, o projetista optou por combinar outros tipos de reforços, como a protensão de tirantes, disponibilizada nas laterais longitudinais da ponte e transversalmente no comprimento das vigas. Para os pilares, houve o bloco de reforço com o concreto armado e estacas raiz, conforme figura 5. E por sua vez a manta em fibra de carbono foi utilizada no perímetro da face inferior das vigas transversais e lajes.



Figura 5 – Bloco de reforço da base do pilar e estaca raiz (Acervo da obra, 2022)

Foi constatado in loco que a combinação das tecnologias se dá principalmente por dois fatores: o alto custo do material em manta de fibra de carbono e a capacidade em suportar compressão nos pilares. Além disso, nos locais de difícil acesso como a laje nas proximidades das cabeceiras da ponte seria difícil a resolução por meio de protensão ou aumento de seção, e portanto, a manta foi a escolhida. Já o bloco de reforço dos pilares

submersos se dá pela facilidade da execução de estacas em meio a água em comparação com a aplicação da manta, por exemplo.

### **5.1. Análise do projeto**

Para iniciar a análise do projeto, foi preciso compreender a memória de cálculo como base para a execução, identificando o porquê da utilização do reforço. Nesse caso, uma sobrelaje e aumento da altura útil exigiria a retirada dos pavimentos flexível e rígido, causando um tempo de interdição extenso. Por conta do DER – Departamento de Estradas e Rodagem ter solicitado que a obra em questão fosse com o menor tempo de interdição possível, a melhor abordagem seria a fibra de carbono.

O cálculo para obter-se a quantidade utilizada de manta se inicia pelos momentos fletores da situação existente e depois da situação projetada para compará-los e optar pela solução do reforço. As solicitações e armaduras estimadas nas subseções tiveram resultados bastante similares, sendo utilizado a maior solicitação com a área de armadura passiva existente. Utilizou-se os dados obtidos para fazer o dimensionamento da fibra na superfície a ser suportada, também podendo ser passados para programa próprio.

#### **5.1.1. Aplicação em Viga**

Conforme explicado anteriormente, o sistema CFC pode ser aplicado em uma ou mais camadas, na figura 6 a seguir, é apresentado um trecho do projeto em planta, onde estão localizadas as vigas das cabeceiras da ponte. É possível observar que em uma das extremidades o projetista determinou utilizar de forma laminada, ou seja, em camada tripla unidirecional, visto que a estrutura apresentou maior deterioração deste lado.

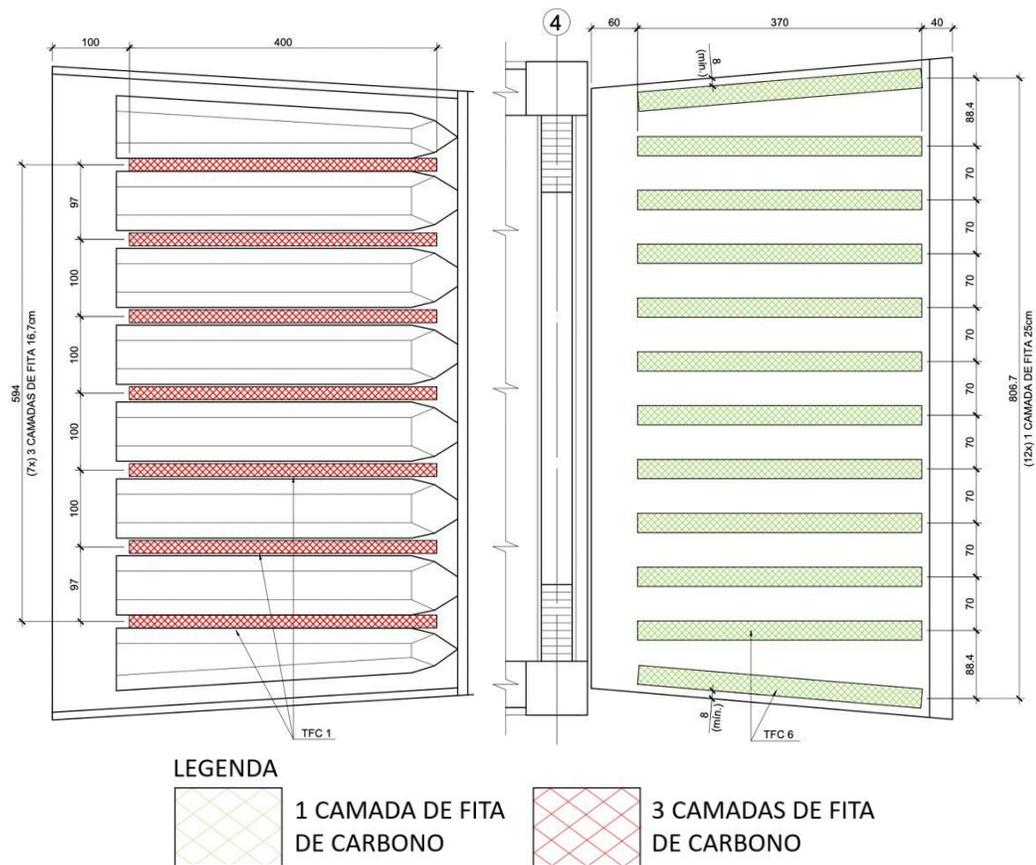


Figura 6 – Exemplo de aplicação da fibra de carbono nas cabeceiras da ponte (Acervo da obra, 2021)

### 5.1.2. Aplicação em Laje

Na figura 7 apresentada a seguir, observa-se outro cenário de instalação da fibra de carbono, em que será exibido o trecho em laje, com aplicação laminada bidirecional, ou seja, cruzada. Esta aplicação foi definida pelo projetista por apresentar melhor ganho em resistência às tensões admissíveis vindas de ambos os eixos.

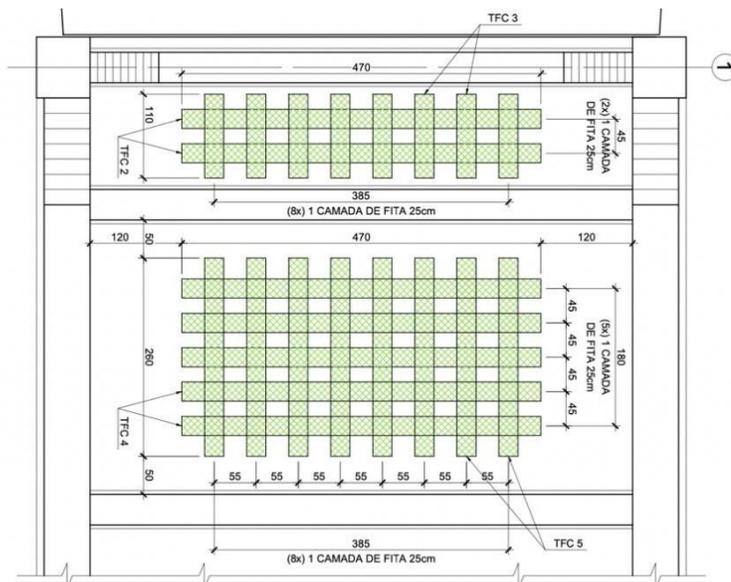


Figura 7 – Exemplo de aplicação da fibra de carbono com entrelaçamento (Acervo da obra, 2021)

### 5.1.3. Execução da aplicação da fibra

Para a aplicação tem-se necessidade do preparo da superfície, que deve estar com o concreto totalmente curado e isento de partículas soltas, e além disso, a estrutura deve ser reforçada com argamassa ou graute para tratamento e, no caso de fissuras existentes acima de 0,3mm, deverão ser injetadas. Após a regularização é feito o lixamento obtendo a abertura dos poros do concreto para que ele possa receber o primer epóxi.

Feito isso, após a primeira camada da resina epóxi inicia-se a saturação das fibras. Dando sequência, aplica-se as mantas de fibra de carbono, previamente cortadas conforme projeto, na resina ainda fresca, de acordo com a figura 8. Aguarda-se então trinta minutos para aplicar a próxima camada de resina, conforme especificação.

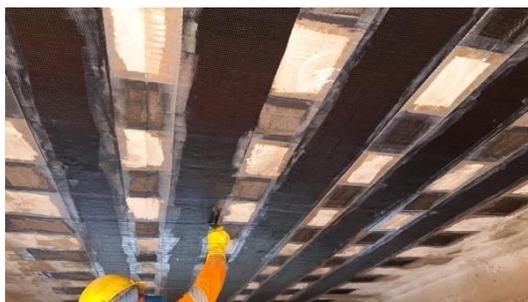


Figura 8 – Manta de fibra de carbono aplicada (Acervo da obra, 2022)

### 5.1.2. Orçamento

Esta obra foi dividida em duas etapas de serviços: o reforço das lajes e vigas longitudinais pela fibra de carbono e o reforço dos pilares e vigas longitudinais e transversais pelo concreto armado e protensão. O orçamento avaliado da obra foi de R\$4.876.589,51, sendo desse valor a quantidade estipulada para o reforço em fibra de carbono de R\$1.464.208,22 para a recuperação de 559,42m<sup>2</sup> de lajes e vigas, em comparativo, para a execução de reforço com os sistemas de protensão e blocos de reforços dos pilares com adicional de estacas raiz em solo e submersas, teve-se o orçamento de R\$1.173.777,65 para o bloco de reforço e consecutivamente R\$1.189.615,32 para a recuperação por protensão de 473,10m<sup>2</sup>. Neste formato, considerando o valor do metro quadrado para cada sistema feito, tem-se um preço final de R\$2.617,37 por m<sup>2</sup> da aplicação da fibra de carbono contra R\$2.481,03 por m<sup>2</sup> para bloco de reforço dos pilares e R\$2.514,51 por m<sup>2</sup> para protensão da estrutura de concreto armado.

Os gráficos abaixo demonstram a comparação entre a metragem quadrada suportada por cada método e seu custo comparado ao valor total da obra.

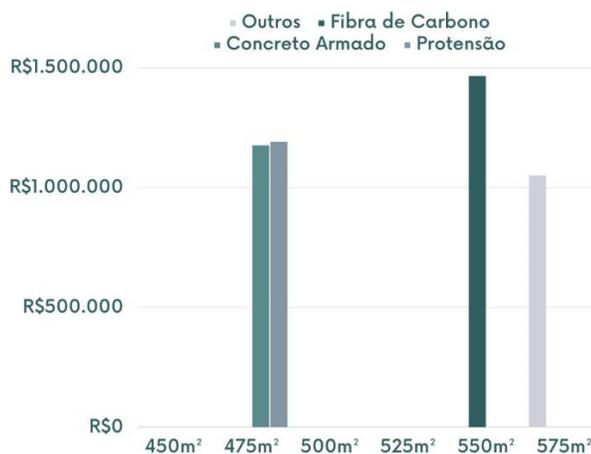


Figura 9 – Gráfico comparativo do m<sup>2</sup> de aplicação dos métodos (Elaboração própria, 2022)

Escola de Engenharia e Tecnologia  
Trabalho de Conclusão de Curso II (TCC II)

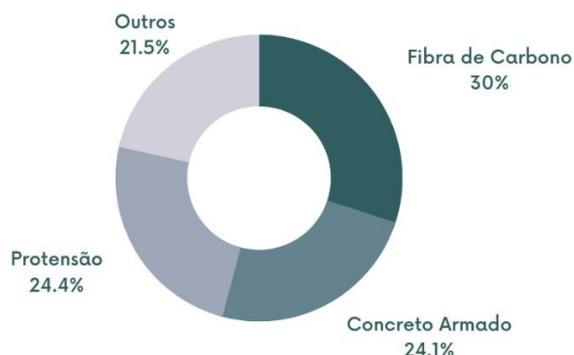


Figura 10 – Gráfico do percentual orçamentário dos métodos e demais custos de obra (Elaboração própria, 2022)

#### 5.1.2.1 Custo-benefício

Vide as informações apresentadas, é possível identificar que a diferença econômica avaliada da fibra de carbono em relação a outros métodos de recuperação é 25% maior, contudo, quando elencada suas vantagens, esse valor pode ser facilmente explicado. Conforme os gráficos apresentados, podemos notar que o trecho em m<sup>2</sup> da estrutura que a fibra suporta é 15,3% maior que os demais métodos, comparado a 6% em diferença orçamentária.

Além dos quais já citados noutro, foi verificado também que a fibra supera o aço em uma série de aspectos, dentre eles, módulo de elasticidade, resistência a corrosão, peso específico, capacidade de atender a geometrias alternativas, capacidade portante de 7,5 a 8 vezes mais que o aço (GAZETA MERCANTIL, 2003), exige pouca manutenção, mesmo quando instalada em ambientes mais agressivos.

Levando em consideração todas as informações exibidas, acrescenta-se ainda o tempo de execução. Para esta obra em questão cabe lembrar que houve a utilização de outros métodos de reforços, pois cada região da OAE apresentou solicitações e situações que necessitavam de uma intervenção específica para seu caso. Logo o processo total para instalação da fibra, desde a mobilização, entrega do material, instalação, tempo de cura, e finalização levou cerca de 20 dias para ser concluída, enquanto as etapas de

protensão, bloco de reforços dos pilares e estacas raiz submersas, levaram cerca de 6 meses para serem concluídas. Esta obra por exemplo, teve a vantagem de estar localizada sobre um rio, porém quando situado em um cenário urbano, é evidente que as vias adjacentes seriam profundamente afetadas por meses.

## **6. CONCLUSÃO**

Este trabalho examinou o sistema CFC como método para solução de recuperações e/ou reforços estruturais na construção, além de propor possíveis cenários alternativos como método construtivo. Dadas as informações apresentadas, é indiscutível que a fibra quando comparada aos demais métodos apresenta alta discrepância no custo-benefício.

Do ponto de vista econômico foi possível verificar através do estudo de caso que o seu metro quadrado tem valor similar ao de outros métodos habitualmente utilizados, quando comparado ao valor total da obra. Percebeu-se que pouco se analisa suas demais conveniências. Quando se contrapõe o valor da metragem quadrada do material, é comum não levar em consideração as demais atividades dependentes, como transporte, armazenagem, tempo de instalação, menor impacto residual e ambiental, agilidade no processo, impacto no prazo de obra, paralisação ou interferências em vias públicas. Deste modo, a fibra de carbono mostrou-se superior em grande parte dos aspectos.

Não obstante a ampla gama de benefícios, ainda existe um pré-conceito no ramo da construção civil para a utilização do método, em virtude da fina espessura e flexibilidade, tende a ser visto como um material frágil.

Conclui-se que os obstáculos que impedem o aumento de utilização ainda são devidos a falta de informações e mão-de-obra qualificada. A carência de conhecimento geral mitiga seu potencial uso e em consequência seu crescimento na construção civil.

## REFERÊNCIAS

CLÍMACO, João Carlos Teatini de Souza. **Estruturas de concreto armado: Fundamentos de projeto, dimensionamento e verificação**. 2 ed. revisada. Brasília. Editora Universidade de Brasília: Finatec, 2008.

FILHO, Júlio Jerônimo Holtz Silva. **Reforço À Torção de Vigas de Concreto Armado com Compósitos de Fibras de Carbono**. Doutorado. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro – RJ. 2007.

GARCEZ, Mônica Regina. **Alternativas para a melhoria do desempenho de estruturas de concreto armado reforçadas pela colagem de polímeros reforçados com fibras**. Porto Alegre, 2007. p. 68. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10183/10593>>. Acesso em: 11 jun. 2022.

JUNIOR, Dogmar Antonio de Souza. **Avaliação estrutural de peças de madeira reforçadas por fibras de carbono**. Universidade federal de Uberlândia. 2004. Disponível em: <http://www.civil.uminho.pt/revista/artigos/Num20/Pag%2071-81.pdf>. Acesso em: 06 de abril de 2022.

JUNIOR, Pedro Roberto de Andrade. **Reforço de estruturas de concreto armado com aplicação de compósito polimérico com fibra de carbono. Vantagens e desvantagens**. Centro Universitário Antônio Eufrásio de Toledo. 2019. Disponível em: <http://intertemas.toledoprudente.edu.br/index.php/ETIC/article/view/7824/67648497>. Acesso em: 03 de abril de 2022.

LEAL, Lilian Luna De Souza. FAGUNDES, Fabiano. **Reforço estrutural com fibra de carbono. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**. Ano 05, Ed. 11, Vol. 09, pp. 31-46. novembro de 2020. ISSN: 2448-0959, Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-civil/fibra-de-carbono>.

MEIER, U. **Carbon Fiber Reinforced Polymer Cables: Why? Why not? What if?** Dubendorf, Switzerland. 2011. Disponível em: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s13369-012-0185-6.pdf>.

MENON, Nara Villanova. **Estudo experimental de sistemas de reforço ao cisalhamento em vigas de concreto armado utilizando-se polímero reforçado com fibras de carbono (PRFC)**. 2008. 332 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

MONTANARI, Nicolas. **FIBRAS DE CARBONO NA CONSTRUÇÃO CIVIL**. Universidade do Vale do Paraíba. 2016. Disponível em: [http://www.inicepg.univap.br/cd/INIC\\_2016/anais/arquivos/0470\\_0728\\_01.pdf](http://www.inicepg.univap.br/cd/INIC_2016/anais/arquivos/0470_0728_01.pdf). Acesso em: 01 de abril de 2022.

OLIVEIRA, Clayton Mendes; MONTESSANTI JUNIOR, Eustenio; NASCIMENTO, Ramon Costa; TEODORO, Roberto Leal. **Compósitos de Fibra de carbono para reforço estrutural em pilares, vigas e lajes**. Monografia. UMC – Universidade Mogi das Cruzes. Mogi das Cruzes – SP. 2014.

SILVA, Antonio Bertoldo da; MACIEL, Jussara Cury Socorro. **Viabilidade técnica da utilização de concretos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição**. IGAPÓ, Amazonas, v. 1, p.109-114, 2009.

REIS, Lília Silveira Nogueira. **Sobre a recuperação e reforço de estruturas de concreto armado**. Mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte – MG. 2001.

SOUZA, Vicente Custódio Moreira de; RIPPER, Thomaz. Patologia, **Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto**. São Paulo. Editora Pini, 1998. 255 p.

THOMÉ, Gustavo Rintzel. **Reforço Estrutural á flexão com fibras de carbono: automatização do modelo de cálculo de dimensionamento**. Monografia. Universidade do Sul de Santa Catarina. Palhoça – SC. 2017.

MACHADO, Ari De Paula. **Manual de Reforço das Estruturas de Concreto Armado com Fibras de Carbono**. VIAPOL. 2009.