

## USO DE POLÍMEROS REFORÇADOS COM FIBRAS COMO ALTERNATIVA PARA O DIMENSIONAMENTO E REFORÇO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

**CORDEIRO, Alana C. L.<sup>1</sup>;**

**CAIRES, Diana M. P.<sup>2</sup>;**

<sup>1</sup> Graduanda, UFAL, Maceió-AL (alana.cordeiro@ctec.ufal.br).

<sup>2</sup> Graduanda, UFAL, Maceió-AL (dianampcaires@gmail.com).

**Resumo.** *O concreto armado é um dos materiais mais importantes da engenharia estrutural, entretanto, essas estruturas quando expostas a certos ambientes, são afetadas por agentes agressivos, podendo levar ao deslocamento do revestimento que protege a armação, expondo a armadura às condições de agressividade ambiental e provocando a corrosão da mesma. Além disso, as estruturas de concreto armado podem estar sujeitas a diversos fatores que demandem a necessidade de algum tipo de reforço estrutural, como o processo natural de envelhecimento das construções ou a modificação de utilização da edificação. Nesse sentido, os polímeros reforçados com fibras (PRF) são compósitos que têm se destacado por apresentarem propriedades como: Alta resistência à tração, não são magnéticos nem corrosivos e, além disso, são leves. Dessa forma, os PRF começaram a ser estudados e utilizados como materiais alternativos para o dimensionamento e reforço de estruturas de concreto armado. Apesar disso, no cenário brasileiro, esse recurso ainda é pouco explorado em razão da falta de maiores estudos e de documentos regulamentadores. Sendo assim, o estudo da temática tem a finalidade de potencializar a aplicação dos PRF em território nacional, tornando-se uma alternativa promissora uma vez que apresentam diversas vantagens, principalmente relacionadas a durabilidade e facilidade de aplicação.*

**Palavras-chave:** *Concreto armado, Reforço estrutural com PRF, Armaduras de PRF.*

## **1 INTRODUÇÃO**

No âmbito da engenharia estrutural, os polímeros reforçados com fibras (PRF) são compósitos que têm se destacado cada vez mais. Pois, apresentam em geral, propriedades como: Alta resistência à tração, não são magnéticos nem corrosivos e, além disso, são leves, o que viabiliza a utilização dos mesmos como armaduras ou reforços de elementos estruturais de concreto armado, em substituição aos materiais metálicos convencionais.

Os PRF começaram a ser estudados como materiais alternativos para o dimensionamento de estruturas de concreto armado pois, segundo Tavares (2006), as barras de armaduras constituídas por esses materiais possuem propriedades que favorecem a sua utilização em estruturas expostas a intempéries. Além disso, considerando que o Brasil possui muitas regiões litorâneas, as armaduras metálicas são sujeitas a maiores possibilidades de serem afetadas por agentes agressivos, que podem levar ao deslocamento do revestimento que protege a armação e expor a armadura às condições de agressividade ambiental que podem provocar a corrosão e prejudicar o desempenho da armadura em estruturas de concreto armado.

Ademais, as estruturas de concreto podem estar sujeitas a diversos fatores que demandem a necessidade de algum tipo de reforço estrutural que restabeleça os desempenhos destas. Pode-se citar tanto o processo natural de envelhecimento das construções, quanto a baixa qualidade dos materiais empregados, erros executivos ou de projeto, a modificação da finalidade da utilização da construção, dentre outros. Sendo assim, para além do dimensionamento, os polímeros reforçados com fibras surgem também como opção para o reforço de elementos estruturais, substituindo os materiais que são mais comumente utilizados para esse fim.

## **2 COMPÓSITOS**

De acordo com Beber (2003) e Melo (2019), os polímeros reforçados com fibras têm a sua estrutura formada pela combinação física de dois ou mais materiais não solúveis entre si. Um deles é designado como reforço (fibras), cuja função é absorver as tensões de tração provenientes dos esforços solicitantes, atuando como uma espinha dorsal do material e determinando a rigidez e resistência mecânica. Enquanto isso, o outro material trata-se da matriz polimérica, que busca envolver as fibras e as manter coesas, permitindo a transferência das tensões de tração entre o concreto e as fibras (ACI 440.9R, 2015).

No que diz respeito a engenharia civil, segundo Beber (2003), as principais fibras utilizadas são as de vidro (PRFV), aramida (PRFA), carbono (PRFC) e basalto (PRFB), enquanto as matrizes poliméricas mais empregadas são as resinas poliéster, epóxi, fenólica e éster vinílica. E ademais, são as características e propriedades das fibras e das matrizes poliméricas que ditam as propriedades e características dos PRF.

### **2.1 Matriz**

A matriz polimérica garante que as fibras funcionem em conjunto, fornecendo proteção a ambientes agressivos, além de danos mecânicos. Entretanto, de acordo com Machado (2002), além de satisfazer as propriedades mecânicas demandadas, as matrizes precisam ser

compatíveis e aderentes ao substrato de concreto e ao próprio compósito, bem como ter uma vida útil que se adapte a da fibra.

Em polímeros reforçados, segundo Melo (2019), as matrizes utilizadas são resinas termoplásticas ou termofixas, sendo estas últimas as mais utilizadas na fabricação de barras de PRF, bem como no reforço de estruturas com esse mesmo material, devido à facilidade de impregnação das fibras e boa propriedade de adesão. Exemplos de resinas termofixas são as resinas de poliéster, éster-vinílico, uretano metacrilato, fenol e epóxi. No que tange ao reforço estrutural, em razão de algumas propriedades pertinentes, as resinas epóxi são as empregadas mais amplamente (SILVA FILHO, 2007).

## **2.2 Fibras**

As principais fibras utilizadas no âmbito da construção civil são: vidro, carbono, aramida e recentemente a de basalto. Segundo Morgan (2021) a escolha do tipo de fibra é fundamental, pois a depender da fibra algumas propriedades variam o que influencia diretamente em seu desempenho.

### **2.2.1 Fibras de aramida**

As fibras de aramida consistem em compostos orgânicos e são caracterizadas por possuírem baixa densidade, alta resistência à tração, alta sensibilidade à exposição ultravioleta e a ataques de álcalis, alta estabilidade dimensional e permitem a criação de estruturas com alta resistência ao impacto. Além disso, sua produção é obtida por extrusão de soluções líquidas de polímeros com orientação parcial e as fibras se dividem em dois tipos: de alto e baixo módulo de elasticidade (MORGAN, 2021; CORDEIRO, 2022).

### **2.2.2 Fibras de vidro**

As fibras de vidro são as mais utilizadas na fabricação de barras não metálicas. Seu processo de produção é a pultrusão, em que os filamentos de fibra são levados a um banho com resina e esticados, formando as barras. Existem diferentes tipos de fibra de vidro, as quais as mais comercializadas na construção civil são: *E-Glass*, *S-Glass* e *AR-Glass*.

As fibras de vidro apresentam as seguintes vantagens: baixo custo, boa resistência ao impacto, alta resistência à tração, alta resistência mecânica, baixa absorção de água, alta resistência térmica, boa moldagem das peças, ótimas propriedades magnéticas, resistência química a microrganismos (MAZZÚ, 2020).

### **2.2.3 Fibras de basalto**

As fibras de basalto são constituídas por um material inorgânico proveniente da fusão de resíduos de lavas vulcânicas após a solidificação do magma. As rochas de basalto se destacam por serem uma das rochas mais abundantes na crosta terrestre e são constituídas majoritariamente por SiO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO e CaO.

As fibras de basalto apresentam propriedades mecânicas semelhantes às fibras de vidro, com elevada resistência, estabilidade em elevadas temperaturas e com rigidez ligeiramente superior à fibra de vidro (MAZZÚ, 2020, MORGAN, 2021).

## 2.2.4 Fibras de carbono

Segundo Machado (2002), as fibras de carbono são resultado da carbonização, um tratamento térmico que oxida fibras precursoras orgânicas e alinha perfeitamente os átomos de carbono ao longo destas. Como resultado, as fibras resultantes apresentam uma excelente resistência mecânica. Além disso, quanto maior a temperatura durante o tratamento térmico, maior será o módulo de elasticidade do material resultante, variando de 100GPa a 300GPa para as fibras de carbono.

A Tabela 1 apresenta um comparativo das principais propriedades mecânicas de cada fibra. O que é possível perceber que as fibras de carbono, em comparação com as fibras de vidro, aramida e basalto, apresentam uma maior resistência à tração, além de possuírem um maior módulo de elasticidade que, segundo Araújo (2014), acaba por proporcionar uma boa rigidez ao sistema de reforço estrutural e um bom comportamento à fadiga.

Tabela 1. Propriedades dos PRF. Fonte: Adaptado de FIB Bulletin 90 (2019).

	Material	Módulo de Elasticidade (GPa)	Resistência à tração (MPa)	Deformação última (%)
<b>Carbono</b>	Alta resistência	215 – 235	3500 – 4800	1,4 – 2,0
	Ultra alta resistência	215 – 235	4800 – 6000	12,0 – 2,3
	Alto módulo	350 – 500	2500 – 3100	0,5 – 0,9
	Ultra alto módulo	500 – 700	2100– 2400	0, – 0,4
<b>Vidro</b>	E	70	1900– 3000	3,0 – 4,5
	S	85 – 90	3500 – 4800	4,5 – 5,5
<b>Aramida</b>	Baixo módulo	70 – 80	3500 – 4100	4,3 – 5,0
	Alto módulo	115 – 130	3500 – 4000	2,5 – 3,5
	<b>Basalto</b>	80 – 90	2500 – 3200	3,0 – 3,5

## 3 ARMADURAS COM PRF

Ao se tratar do dimensionamento de elementos armados com as armaduras de polímeros reforçados com fibras, diferentemente do dimensionamento de estruturas armadas com aço, não se pode levar em consideração o escoamento das armaduras, visto que, as barras de PRF apresentam um comportamento elástico linear e frágil e, portanto, não exibem patamar de escoamento como ocorre com as armaduras de aço.

Sendo assim, no que se diz respeito a substituição das armaduras metálicas por armaduras de PRF o estudo é embasado em conceitos e princípios relacionados com a mecânica do concreto armado, no entanto, são necessárias algumas adaptações dos procedimentos de dimensionamento devido ao comportamento mecânico e às propriedades das armaduras não metálicas, como aponta Mazzú (2020).

Considerando que ainda não existe uma norma brasileira sobre o projeto de estruturas de concreto com armaduras de PRF, os procedimentos de cálculo são norteados com base em prescrições e códigos internacionais, como por exemplo a norma norte-americana ACI

440.1R (2015), a qual se baseia no código americano para estruturas de concreto armado convencional (ACI 318).

#### 4 REFORÇO ESTRUTURAL COM PRF

De acordo com Machado (2002), os compósitos podem ser empregados em diversos elementos de uma estrutura a ser reforçada. Entretanto, seu uso se destaca em elementos estruturais submetidos a momentos fletores, esforços cortantes e momentos torçores, como em lajes, pilares, muros de arrimo, vigas-paredes, alvenarias, vigas, dentre outros.

Para Wierzbicki (2021), é preciso que se analise muito cuidadosamente cada caso em particular e se faça ponderações do custo-benefício de cada alternativa, uma vez que existem diversas técnicas de reforço de estruturas. Todavia, segundo Chastre (2014), o que motiva a utilização dos PRFC, dentre as demais opções existentes, são a facilidade e a rapidez de sua aplicação, a elevada resistência mecânica, elevada rigidez, baixo peso específico e alta resistência. Além disso, praticamente não modificam as dimensões dos elementos estruturais a serem reforçados, uma vez que são aplicados em lâminas com espessuras bem pequenas.

Para mais, existem algumas técnicas para aplicação dos compósitos como reforços de estruturas, sendo duas delas mais discutidas nesse cenário. A técnica EBR, do inglês *External Bonded Reinforcement*, mais conhecida e comumente aplicada, consiste na aplicação de lâminas ou mantas de PRFC na parte externa das estruturas de concreto armado. Enquanto isso, a técnica NSM, do inglês *Near Surface Mounted*, as lâminas ou barras de FRPC são inseridas no cobrimento do concreto, ao invés de serem aderidas externamente.

Atualmente, muitos estudos que comparam a eficiência, sob alguns aspectos, entre as duas técnicas estão sendo realizados e explorados e, nesse sentido, a técnica NSM vem apresentando melhores resultados, em virtude da maior área de aderência em relação à técnica EBR e do compósito está protegido contra agentes externos, dentre outros fatores (WIERZBICKI, 2021).

#### 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os polímeros reforçados com fibras vêm se destacando por apresentarem excelentes propriedades mecânicas, como resistência, rigidez e baixo peso próprio. Considerando este fato e estudos realizados com base na temática apresentada, os PRF são opções bastante interessantes para serem utilizadas como armaduras e reforço de estruturas de concreto, uma vez que apresentam alto desempenho mecânico proporcionado pelas fibras e modificam de forma sutil as estruturas reforçadas, em virtude de sua pequena espessura.

#### REFERÊNCIAS

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. ACI 318 - **Building code requirements for reinforced concrete**. Detroit, USA. 2019.

\_\_\_\_\_. ACI 440.1R. **Guide for the Design and Construction of Structural Concrete Reinforced with Fiber-Reinforced Polymer (FRP) Bars**. Farmington Hills, Michigan, 2015.

\_\_\_\_\_. **ACI 440.9R. Guide to Accelerated Conditioning Protocols for Durability Assessment of Internal and External Fiber-Reinforced Polymer (FRP) Reinforcement.** Michigan, 2015.

Araújo, I. N. **Dimensionamento de reforço de elementos estruturais de concreto armado usando polímeros reforçados com fibras de carbono.** Monografia. Universidade Federal de Alagoas. Maceió, 2014.

Beber, A. J. **Comportamento estrutural de vigas de concreto armado reforçadas com compósitos de fibra de carbono.** 2003. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

Chastre, C. **Materiais e tecnologias de reforço de estruturas de betão-potencialidade e limitações.** REHABEND 2014-Congresso Latinoamericano Patología de la construcción, Tecnología de la rehabilitación y gestión del patrimonio. Santander. 10p. 2014.

Cordeiro, A. C. L. **Dimensionamento de vigas de concreto armado com Polímeros Reforçados com Fibras (PRF).** Trabalho de conclusão de curso de graduação – Engenharia Civil – Universidade Federal de Alagoas, Maceió. 2022.

FÉDÉRATION INTERNATIONALE DU BÉTON. FIB BULLETIN 90. **Externally applied FRP reinforcement for concrete structures – Technical report.** Alemanha, 2019.

Machado, A. P. **Reforço de Estruturas de Concreto Armado com Fibras de Carbono.** 1. ed. São Paulo: PINI, 2002.

Mazzú, A. D. E. **Estudo sobre a substituição de armadura metálica por barras de GFRP em vigas de concreto armadas à flexão.** 190p. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 2020.

Melo, L. M. A. **Avaliação de deslocamentos em vigas de concreto com armaduras de aço e de polímeros reforçados por fibras.** 168p. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Alagoas. Maceió, 2019.

Morgan, G. H. **Vigas em concreto armado reforçadas com EBR-CFRP submetidas a degradação por temperatura e umidade em condição acelerada.** 129p. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP, 2021.

Silva Filho, J. J. H. **Reforço à torção de vigas de concreto armado com compósitos de fibra de carbono.** Tese de Doutorado. PUC-Rio. Rio de Janeiro, 2007.

Tavares, D. H. **Análise teórica e experimental de vigas de concreto armadas com barras não metálicas de GFRP.** 128p. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo. São Carlos, 2006.

Wierzbicki, L. R. **Análise do desempenho da técnica de reforço NSM (Near Surface Mounted) com fibras de carbono em vigas submetidas à flexão.** MS thesis. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2021.