

**FACULDADE EDUFOR**

**JÚLIO CESAR SANTOS RIBEIRO**

**REFORÇO ESTRUTURAL DE PILARES DE CONCRETO À BASE DE FIBRA DE  
CARBONO**

**SÃO LUÍS**

**2022**

JÚLIO CESAR SANTOS RIBEIRO

**REFORÇO ESTRUTURAL DE PILARES DE CONCRETO À BASE DE FIBRA DE  
CARBONO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
à disciplina de TCCII, do curso de Engenharia  
Civil da Faculdade EDUFOR.

Orientador: Prof.<sup>o</sup> Me. Franklin Rossevelt  
Rodrigues de Ó.

Coorientador: Prof.<sup>o</sup> Dr. Telmo José Mendes.

SÃO LUÍS  
2022

R484r Ribeiro, Júlio Cesar Santos

Reforço estrutural de pilares de concreto à base de fibra de carbono / Júlio Cesar Santos Ribeiro – São Luis - MA, 2022.

51 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (ENGENHARIA CIVIL) —  
Faculdade Edufor - São Luís, 2022.

Orientador(a) : Franklin Roosevelt Rodrigues do Ó

1. Carbono. 2. Fibra. 3. Pilar. 4. Recuperação de estruturas. I.  
Título.

FACULDADE EDUFOR SÃO LUÍS

CDU 693.55

JÚLIO CESAR SANTOS RIBEIRO

**REFORÇO ESTRUTURAL DE PILARES DE CONCRETO À BASE DE FIBRA DE CARBONO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à disciplina de TCCII, do curso de Engenharia Civil da Faculdade EDUFOR

Aprovado em: \_\_/\_\_/\_\_\_\_

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof.º Me. Franklin Roosevelt Rodrigues de Ó.

---

Prof.º(a) Titulação. Nome do Professor(a).

---

Prof.º(a) Titulação. Nome do Professor(a).

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço em primeiro lugar a Deus por ser à base das minhas conquistas.

Aos meus pais, por me terem gerado, educado, por me mostrar que com educação, conseguimos vencer a qualquer obstáculo, que os valores somos nós que escolhemos e por terem me alfabetizado. Em especial ao meu pai “Benedito da Silva Ribeiro”, homem simples, humilde e que com sua profissão “pedreiro” me serviu de inspiração para cursar Engenharia Civil, com os quais compartilho neste momento a felicidade por mais esta realização em minha vida.

À minha esposa que foi motivadora essencial para eu voltar à estudar e cursar uma nova faculdade, aos meus filhos que sempre tentei e tento servir de exemplo para a vida.

Ao Professor Dr. Telmo José Mendes, cujas aulas específicas serviram de base e incentivo para escolha do tema a ser abordado além da dedicação em suas orientações prestadas e ao Professor Me. Franklin Roosevelt Rodrigues de Ó por suas orientações.

A todos os demais professores e colegas do curso, que nos tornamos amigos e parceiros de trabalhos e sabedoria.

## RESUMO

As técnicas de reforço estrutural de edificações, visam sempre buscar soluções que se permita recuperar e reparar as estruturas. Por conta disso, há a necessidade de se aprofundar no assunto referente às patologias da construção, de forma que fazendo uma análise aprofundada nas possíveis origens e causas das manifestações patológicas e, a partir de análises de todos os pontos apresentados, verificar qual técnica de reforço é a mais recomendável para cada situação. As informações apresentadas nesta pesquisa tiveram como base a apresentação dos elementos estruturais e em especial os pilares, discorrendo sobre seus conceitos, origens e causas dos problemas. Verificou-se que a grande resistência das fibras de carbono, bem como a sua praticidade da execução dos reparos são as melhores opções disponíveis para substituir os métodos tradicionais de reforços. O reforço estrutural de pilares de concreto à base de fibra de carbono, objetiva discorrer acerca da importância do uso das fibras de carbono como forma de recuperar e reforçar os pilares de concreto que apresentem comprometimento de suas vidas úteis, suas durabilidades, por meio do Compósito de Fibra de Carbono (CFC) e seus devidos procedimentos de recuperação das estruturas danificadas. Conclui-se, portanto, que o uso dos compósitos de fibra de carbono se destaca, de forma significativa, como sendo um dos meios mais apropriados para a recuperação e reforços estruturais dos pilares de concreto armado.

**Palavras-chave:** Carbono; Fibra; Pilar; Recuperação de estruturas.

## ABSTRACT

The techniques of structural reinforcement of buildings always aim to seek solutions that allow the recovery and repair of structures. Because of this, there is a need to delve deeper into the subject related to construction pathologies, so that making an in-depth analysis of the possible origins and causes of the pathological manifestations and, from the analysis of all the points presented, verify which reinforcement technique is the most recommended for each situation. The information presented in this research was based on the presentation of the structural elements and especially the pillars, discussing their concepts, origins and causes of the problems. It was found that the great strength of carbon fibers, as well as its practicality in carrying out repairs, are the best options available to replace traditional reinforcement methods. The structural reinforcement of carbon fiber-based concrete pillars aims to discuss the importance of using carbon fibers as a way of recovering and reinforcing concrete pillars that have compromised their useful lives, their durability, through the Composite of Carbon Fiber (CFC) and its proper procedures for the recovery of damaged structures. It is concluded, therefore, that the use of carbon fiber composites stands out, significantly, as being one of the most appropriate means for the recovery and structural reinforcement of reinforced concrete pillars.

**Keywords:** Carbon; Fiber; Cornerstone; Recovery of structures.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Vigas de concreto simples e armado. ....	11
Figura 2 - Representação de uma viga sendo tracionada (bordo inferior) e comprimida (bordo superior). ....	16
Figura 3 - Classificação dos pilares. ....	17
Figura 4 - Hipóteses para solução de estruturas com desempenho insatisfatório. ...	18
Figura 5 - Fissura causada por flexão. ....	22
Figura 6 - Fissura causada por compressão. ....	23
Figura 7 - Fissura causada por cisalhamento. ....	23
Figura 8 - Saturação de pilar. ....	25
Figura 9 - Parcelas de aderência. ....	26
Figura 10 - Posicionamento da armadura. ....	27
Figura 11 - Reforço por encamisamento. ....	30
Figura 12 - Reforço com chapas de aço colada. ....	31
Figura 13 - Figura de viga com pretensão externa. ....	31
Figura 14 - Reforço ao cisalhamento. ....	32
Figura 15 - Reforço em vigas à flexão. ....	33
Figura 16 - Reforço em fibras de carbono. ....	35
Figura 17 - Remoção do concreto degradado. ....	36
Figura 18 - Reforço em fibras de carbono. ....	37
Figura 19 - Formas de fibras de carbono. ....	39
Figura 20 - Pilares reforçados com PRFC. ....	40
Figura 21 - Saturação via úmida da fibra de carbono em bancada. ....	42
Figura 22 - Saturação via seca, diretamente na superfície do concreto. ....	42

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>CONCRETO ARMADO: CARACTERÍSTICAS GERAIS, ESTRUTURA E DURABILIDADE .....</b>	<b>10</b>
2.1	Considerações iniciais.....	10
<b>2.2</b>	<b>Origem, conceito e características gerais do concreto armado .....</b>	<b>11</b>
<b>2.3</b>	<b>Estrutura do concreto armado: vida útil, durabilidade e seus elementos estruturais.....</b>	<b>13</b>
2.3.1	Fundações.....	14
2.3.2	Vigas.....	15
2.3.3	Pilares.....	16
2.3.4	Lajes .....	17
<b>3</b>	<b>PATOLOGIAS DO CONCRETO ARMADO .....</b>	<b>18</b>
<b>3.1</b>	<b>Origens, causas, características gerais e classificações das patologias estruturais.....</b>	<b>19</b>
<b>3.2</b>	<b>Tipos de fissuras.....</b>	<b>21</b>
3.2.1	Fissura causada pela flexão .....	21
3.2.2	Fissura causada por compressão.....	22
3.2.3	Fissura causada por cisalhamento .....	23
<b>4</b>	<b>PROCEDIMENTO DOS CUIDADOS INICIAIS .....</b>	<b>24</b>
<b>4.1</b>	<b>Procedimentos de aderência .....</b>	<b>25</b>
<b>4.2</b>	<b>Procedimentos de anexação de armadura e aplicação do concreto .....</b>	<b>26</b>
<b>5</b>	<b>MÉTODOS DE RECUPERAÇÃO EM ESTRUTURAS DE PILARES .....</b>	<b>27</b>
<b>5.1</b>	<b>Reforços estruturais: conceito, características gerais e classificações</b>	<b>28</b>
5.1.1	Reforço com processo de encaminhamento ou aumento da seção transversal	29

5.1.2	Reforços com chapas de aço coladas .....	30
5.1.3	Reforço por extensão externa .....	31
5.1.4	Reforço ao esforço cortante (Cisalhamento) .....	32
5.1.5	Reforço em vigas submetidas à flexão .....	32
5.1.6	Reforço com compósito de fibras de carbono .....	33
<b>5.2</b>	<b>Fibras de carbono submetidas à ação do fogo .....</b>	<b>38</b>
<b>5.3</b>	<b>Tipos de fibras de carbono e suas características gerais.....</b>	<b>39</b>
<b>6</b>	<b>PROCEDIMENTOS DE EXECUÇÃO DO REFORÇO ESTRUTURAL .....</b>	<b>41</b>
<b>7</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>44</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>46</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O concreto de modo geral é um dos materiais mais utilizados no ramo da construção civil, tendo sua aplicação a mais diversificada possível. O mesmo passou ao longo dos anos por um processo técnico evolutivo, melhorando suas características e em especial sua durabilidade. Durabilidade “consiste na capacidade de a estrutura resistir às influencias ambientais previstas e definidas em conjunto pelo autor do projeto estrutural e pelo contratante no início dos trabalhos de elaboração do projeto. Lembrando que as estruturas de concreto devem ser projetadas e construídas de modo que, sob as condições ambientais previstas na época do projeto e quando utilizadas conforme preconizado em projeto, conservem sua segurança, estabilidade e aptidão em serviço durante o prazo correspondente à sua vida útil” NBR 6118. (ABNT, 2014)

Ainda assim todas as estruturas de concreto armado e em especial os pilares estão sujeitos no decorrer de sua vida útil ao processo de degradação. Essas degradações podem vir a se apresentar das mais variadas formas possíveis, previstas ou não em seu projeto, tais como erros de projeto, erros de execução, agentes biológicos, materiais com incompatibilidades, corrosão das armaduras, alterações de uso, dentre outros.

Diante destas situações destacamos a ação do Polímero reforçado com fibra de carbono – (PRFC) que é um compósito, sendo uma das opções a serem utilizadas como mecanismo de reforço estrutural, acima de tudo em lajes, vigas e principalmente em pilares de concreto armado e protendido. Sua composição é composta por fibras de carbono, que é um elemento estrutural de alta resistência e por uma matriz polimérica. Essa técnica que é usada em pilares tem sua eficiência no aumento da resistência da estrutura pelo efeito do confinamento do concreto, tendo como uma de suas maiores vantagens praticamente não haver aumento da seção transversal da estrutura recuperada. Devido à interação entre a fibra e a matriz na redistribuição das camadas externas, esse sistema consegue suportar tensões mais elevadas do que cada componente trabalhando sozinho. Em complemento destaca-se que, o carbono confere ao polímero rigidez e resistência a todos os tipos de ataques químicos. Além disso, apresenta bom comportamento à fadiga, a cargas cíclicas reológica, e pequeno peso. (NUNES, 2021)

A construção do presente trabalho justifica-se em estudar e avaliar um dos métodos empregados para recuperação e reforço estrutural de pilares de concreto utilizando um dos materiais que merecem atenção devido às suas características, que é o polímero reforçado com fibra de carbono – (PRFC) pois o mesmo apresenta baixa densidade e uma alta resistência mecânica. O que para recuperação em pilares já construídos pode ser de grande relevância em função da possibilidade de não somente aumentar a capacidade de carga do item em questão, mas também da perspectiva de não haver aumento da área da seção da estrutura a ser recuperada.

Em virtude dos aspectos supramencionados, elaborou-se a questão problema que norteia e orienta este trabalho: Quais as vantagens de uso do polímero reforçado com fibra de carbono, na recuperação estrutural de pilares de concreto?

Assim, esta pesquisa tem como objetivo geral: abordar as vantagens da recuperação estrutural de pilares de concreto, utilizando polímero reforçado com fibra de carbono. Por conseguinte, os objetivos específicos deste trabalho são: Apresentar conceitos, características e particularidades de polímeros com fibra de carbono, descrever a durabilidade, vida útil, desempenho das estruturas os principais mecanismos de deterioração do concreto e discorrer sobre as etapas executivas do reforço estrutural de pilares com a fibra de carbono.

## **2 CONCRETO ARMADO: CARACTERÍSTICAS GERAIS, ESTRUTURA E DURABILIDADE**

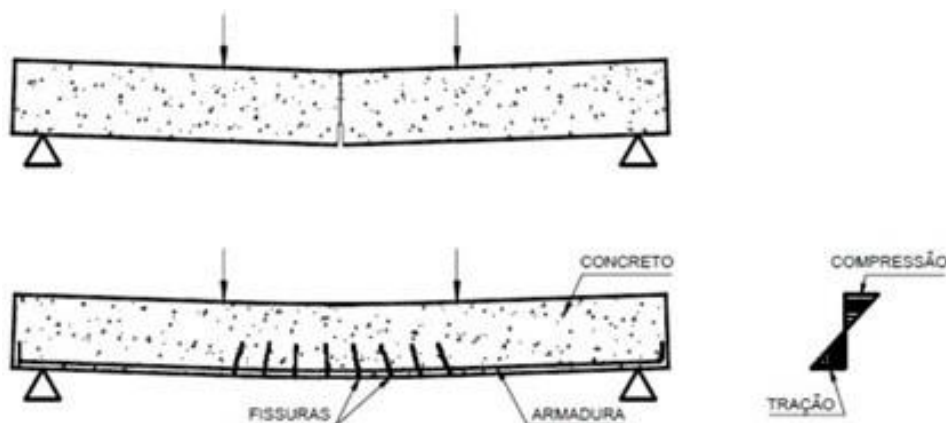
### **2.1 Considerações iniciais**

Segundo Bastos (2019), conceitua-se concreto armado como sendo um material constituído por concreto e armadura, que tem como característica muito peculiar uma alta resistência aos esforços de compressão e baixa resistência à tração, tornando-o um material que reflete positivamente nas construções em que ele é aplicado. O nome concreto armado é dado por conta de as tensões da tração serem absorvidas pelas barras de armaduras e o concreto ser capaz de absorver as tensões de compressão. Isso faz com que o concreto seja capaz de se adequar a quaisquer tipos de elementos estruturais, tornando-o extremamente necessário e indispensável em quaisquer que sejam os projetos de execução.

Bastos (2019), ilustra bem na Figura 1 o comportamento de duas vigas que são

executas de formas diferentes, em que cada uma delas recebe uma carga em específico. São duas estruturas, de concreto simples e de concreto armado. O que pode se observar é que na primeira estrutura, que fica acima da segunda, se rompe bruscamente, por estar desprovida de uma armadura. Já na segunda estrutura, que fica abaixo da primeira, não sofre uma ruptura drástica como na outra, por apresentar a armadura e as fissuras, que ocorreram devido aos esforços atuantes na estrutura.

Figura 1 - Vigas de concreto simples e armado.



Fonte: Bastos (2019)

Bastos (2016) divide a estrutura em duas partes: a subestrutura, representada pela fundação, que é responsável em transmitir ao solo todos os esforços presentes e atuantes na edificação; a superestrutura, que é composta por vigas, pilares e lajes, responsáveis pela transmissão dos esforços à subestrutura. É importante ressaltar que o bom funcionamento dessas estruturas se fundamenta, baseando-se nas normas regulamentadoras. Uma delas, a NBR 6118 (ABNT, 2014) estabelece os pontos mínimos exigidos de um projeto de execução de estruturas, podendo ser concreto simples, armado ou protendido, exceptuando-se estruturas que usam concreto leve ou de outros materiais.

## 2.2 Origem, conceito e características gerais do concreto armado

As construções de estruturas na engenharia que precederam as construções modernas, por meio do concreto armado, faziam uso de materiais bem rudimentares, se comparados aos sistemas construtivos deste século. Quanto a essas estruturas que precederam o concreto armado, que se tem registros no império romano antigo,

Jesus (2013) afirma que eram usadas na época arcos de pedras, de formatos semicirculares, que poderiam alcançar até 30 metros, no qual eram construídos aquedutos, termas romanas, pontes, mercados e anfiteatros. O maior exemplo de construção em arco, que existe bem conservada até os dias de hoje é o Coliseu da Itália. Já Vershchleiser (2008) apresenta as construções de madeira para fins de travessias fluviais, que tinham como reforço pilares de pedra concretada, com argamassa em seu interior, evitando assim possíveis impactos em sua estrutura.

Em todos os períodos que foram se passando, desde a época medieval, por meio das obras rústicas das igrejas e outras obras da construção civil, a rusticidade, a geometria assimétrica e algumas irregularidades em termos de perfis longitudinais eram comuns nesses períodos. Mas com o avanço da tecnologia e surgimento na época renascentista de engenheiros, arquitetos, cientistas e demais intelectuais, essa realidade foi mudando com a chegada da Revolução Industrial. Foi nesse período renascentista que Lima (2012) afirma que se deu início a um período notável de inovações e reformulação dos conhecimentos passados e obsoletos, em que as técnicas e os modos de uso das tecnologias estavam sob o comando da Igreja Católica.

Com o avanço tecnológico ao longo dos anos, passou-se a construir pontes com estruturas metálicas e os demais materiais foram agregando mais elementos construtivos que até então não se cogitavam usar. A maior prova disso foi a primeira construção de ponte em ferro fundido, que foi erguida em 1779, na Inglaterra. Esse avanço tecnológico nas construções foi, segundo Braga (2009) foi um divisor de águas, que deu início ao que chamamos hoje de concreto armado, por meio da fusão do ferro e do aço, que passaram a ser elementos essenciais na construção, por conta de serem materiais resistentes às intempéries, leves e que requerem menos tempo no processo de execução das obras.

Quanto a isso, Costa (2010) ratifica isso ao asseverar que o incremento do concreto armado possibilitou um maior incremento tecnológico nas técnicas até então obsoletas se comparadas com a praticidade que se permite trabalhar o concreto armado. Por meio deste, a geometria passou a ser mais simétrica e com certas regularidades nas formas das construções, que não eram comuns nas obras do Império Romano.

De acordo com Carvalho e Filho (2014), concreto é a incorporação de materiais como cimento, areia (agregado fino), brita (agregado graúdo) e água, podendo ser

incluído a sílica, para dar maior resistência ou retardamento da cura. Eles afirmam ainda que o concreto não pode ser trabalhado de forma isolada, assim como reafirma Costa (2010) que o concreto tem baixa resistência à tração, e por isso precisa ser integrado ao aço. Dessa forma, entende-se o conceito de concreto armado, uma estrutura que fica fortificada e fortalecida, gerando a resistência às tensões de tração. As estruturas de concreto armadas são apresentadas e descritas por Giongo (2007) como partes integradas de lajes, vigas e pilares, gerando, segundo Bastos (2014), diversos tipos de estruturas, tais como pisos industriais, barragens, reservatórios, portos, viadutos, pontes, entre muitas outras.

Ainda sobre esse avanço significativo das construções por meio do concreto armado, Freitas (2019) fez um importante estudo e análise bem contextualizada na importância dessa tecnologia para toda a sociedade pós-Revolução Industrial até os dias de hoje, visto que é bastante usado em obras públicas e privadas, domésticas, comerciais e industriais. Foi observado em seu estudo ainda que a introdução do concreto armado nas obras da construção civil permitiu criar novas espacialidades e criar formas que não poderiam ser possíveis nas construções obsoletas, que tinham formas irregulares e assimétricas.

Em relação às vantagens estruturais do concreto armado, Bastos (2019) elenca uma série de fatores qualitativos que propiciam mais segurança nos elementos construtivos da construção civil. Dentre esses fatores, ele cita os seguintes: baixo custo de operação, durabilidade, resistência à tração e à compressão, maior flexibilidade na confecção de formas e dimensões diversificadas, tudo isso com maior agilidade e facilidade. Mesmo com todas essas vantagens favoráveis ao bom fortalecimento das construções civis, por meio de todo esse incremento tecnológico, ainda assim é possível, segundo Júnior (2013) a estrutura perder sua estabilidade, no caso da ocorrência de erros ligados ao mal dimensionamento do projeto, que pode afetar a durabilidade e vida útil do material.

### **2.3 Estrutura do concreto armado: vida útil, durabilidade e seus elementos estruturais**

De acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2014) a vida útil corresponde ao período de tempo em que as estruturas de concreto permanecem firmes e estáveis, sem quaisquer intervenções significativas, frutos de um projeto de

execução que atendem a todos os requisitos de uso e manutenção prescritos pelos projetistas. Incluído a tudo isso ainda tem alguns reparos que possam surgir no decorrer da construção, o que se pode afirmar que a manutenção da vida útil depende de uma série de fatores e não apenas um fator isolado.

Já Bertolini (2010) descreve a vida útil como sendo um espaço de tempo delimitado, em que a estrutura assegura a sua estabilidade e suas características funcionais pelo qual foram projetadas. Júnior (2013) afirma que os conceitos de vida útil e durabilidade devam ser trabalhados de forma simultânea, visto que eles partem do princípio de que a funcionalidade da estrutura deve estar sempre acima do limite estabelecido. Em relação ao conceito de durabilidade, Cardoso (2013) descreve que ela está intrinsecamente ligada ao nível qualitativo da estrutura e demais parâmetros relacionados com as características gerais do concreto.

Quando se analisa e se faz um estudo mais aprofundado acerca da vida útil e da durabilidade do concreto, há a necessidade de se entender um pouco melhor sobre os elementos das estruturas do concreto que, segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014) são classificados da seguinte forma:

- Elementos de concreto simples estrutural: Como o próprio nome sugere, são elementos estruturais sem muitas complexidades, pois não possuem qualquer tipo de armadura ou não possuem um número suficiente o bastante, para atender ao mínimo exigido para o concreto armado;
- Elementos de concreto armado: São elementos que dependem diretamente da aderência entre o concreto e a armadura, sendo que nestes só se aplicam os alongamentos iniciais, quando essa aderência acontece de fato e;
- Armadura passiva: É todo o tipo de armadura que não é usada para se produzir forças de protensão e não sendo, portanto, previamente alongada.

### 2.3.1 Fundações

Baseando-se em Bastos (2016), define-se por fundação todo conjunto de elementos estruturais que geralmente são formados no nível baixo do terreno e que é responsável por transmitir as ações atuantes da edificação ao solo. Quanto à sua

classificação, Carvalho e Pinheiro (2009) afirmam que as fundações estão divididas em profundas e superficiais (ou diretas), sendo que a escolha de cada uma delas irá depender da análise feita pelo projetista, visto que se deve verificar as características do solo, que serão obtidas por meio da investigação geotécnica e das cargas da edificação que forem fornecidas pelo projeto estrutural dos pilares, das lajes e das vigas.

Já de acordo com a NBR 6122 (ABNT, 2010), os principais tipos de fundações são elencados a seguir:

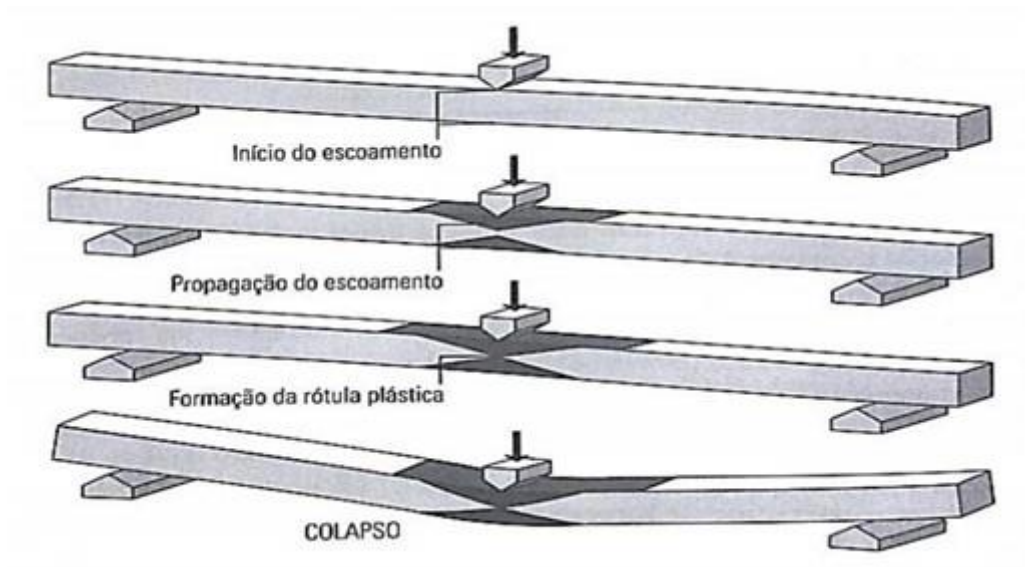
- Superficiais: São aquelas em que são colocadas em profundidades menores que a sua largura, em que a razão entre sua profundidade e a sua largura é menor que a da unidade. Temos como exemplos as sapatas, o radier, as vigas e os blocos. Elas distribuem a carga da superestrutura de forma lateral.
- Profundas: São aquelas em que são colocadas em profundidades maiores que a sua largura em que a razão entre sua profundidade e a sua largura é maior que a da unidade. Temos como exemplos as estacas, os tubulões e os caixões. Diferentemente das superficiais, Elas distribuem a carga da superestrutura de forma vertical.

### 2.3.2 Vigas

A NBR 6118 (ABNT, 2014), define as vigas como sendo elementos lineares em que o seu comprimento longitudinal é três vezes maior que a dimensão da seção transversal. Já Bastos (2019) afirma que as vigas têm a função de fazer a transmissão das cargas das lajes para as estruturas que são apoiadas geralmente por pilares.

Em relação às dimensões das vigas, Barros (2017) assevera que as vigas precisam vencer os vãos e suas larguras, precisam coincidir com a espessura dos tijolos ou quaisquer que sejam os elementos de vedação, de tal forma que se possa garantir um acabamento mais uniforme e sem requadros em sua estrutura. Ainda segundo o autor, a altura da seção precisa ser dimensionada para proporcionar uma maior resistência mecânica e baixa deformação, fazendo assim que influencie na questão de se vencer o vão. A representação da figura 2 abaixo mostra a viga sendo carregada por uma carga pontual, que está concentrada em seu centro.

Figura 2 - Representação de uma viga sendo tracionada (bordo inferior) e comprimida (bordo superior).



Fonte Bastos (2014)

### 2.3.3 Pilares

Conceitua-se pilares, por convenção, segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014) como sendo elementos estruturais lineares, que estão dispostos de forma vertical, em que suas forças normais de compressão são extremamente preponderantes. Já Bastos (2019) apresenta os pilares como os principais elementos que formam as estruturas constituintes de concreto armado.

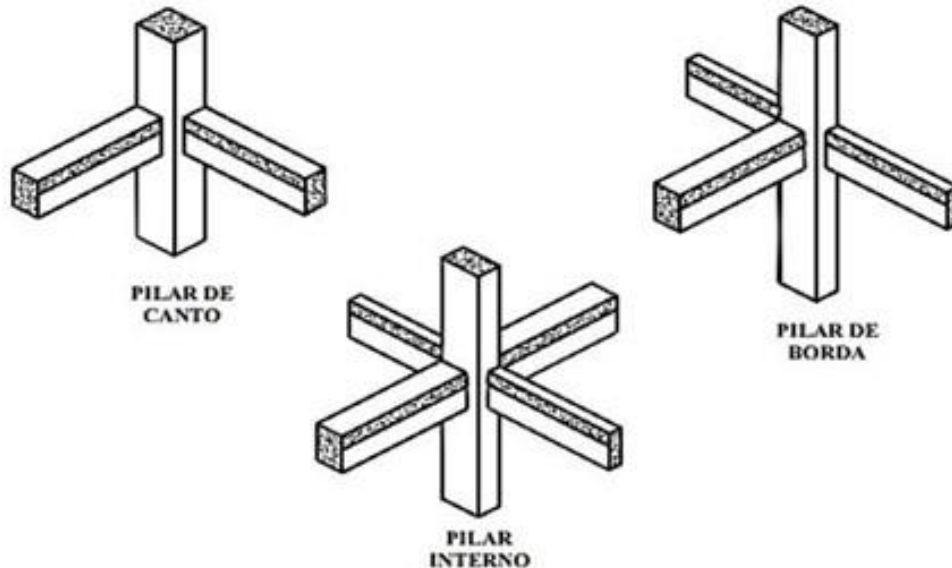
Os pilares, segundo Scadelai (2003), são classificados de acordo com as solicitações, da seguinte forma:

- Pilares internos – São aqueles que são submetidos à compressão simples e que não possuem excentricidades iniciais;
- Pilares de borda – São aqueles em que as suas solicitações iniciais correspondem à flexão composta normal, em que há excentricidade inicial em uma direção. Em relação às seções quadradas ou retangulares, essa excentricidade ocorre de forma perpendicular à borda;
- Pilares de canto – São aqueles que se apresentam submetidos à flexão oblíqua e suas excentricidades iniciais ocorrem em direção às bordas.

De forma semelhante que no caso das vigas, Barros (2019) afirma que a menor

dimensão dos pilares deve ser fixada de acordo com o elemento de vedação a ser usado. Na figura 3 abaixo, observa-se os três tipos de pilares, classificados por Scadelai (2003):

Figura 3 - Classificação dos pilares.



Fonte: Scadelai (2003)

#### 2.3.4 Lajes

Segundo Bastos (2019), lajes são elementos planos e bidimensionais, que tem como função primordial atuar como piso e cobertura para edificações, passando a receber as cargas atuantes presentes nos prédios, tais como paredes, móveis e pisos, transferindo assim para as vigas. O autor afirma ainda que essas cargas são distribuídas ao longo da área do revestimento, contrapiso e gesso e distribui estas cargas de forma linear para as paredes e pilares.

Os tipos de lajes mais utilizadas atualmente, são elencadas por Bastos (2019), da seguinte forma: lajes maciças, em que são armadas para resistir aos esforços, sendo totalmente preenchida pelo concreto, podendo engastar-se por completo em vigas ou ter bordas livres; lajes pré-moldada treliçada com EPS, em que tem a armadura de treliça espacial, sendo preenchida com blocos em EPS. Esse é o tipo de laje mais usado em residências devido ao seu bom comportamento estrutural e de sua facilidade de execução.

### 3 PATOLOGIAS DO CONCRETO ARMADO

As manifestações das patologias nas estruturas geralmente são externas, nas quais se pode determinar a origem, a natureza, bem como os mecanismos dos fenômenos envolvidos. A patologia das construções também recebe os nomes de lesões, danos, defeitos e até manifestações patológicas. De acordo com Souza e Ripper (1998), necessário fazer uma boa análise do tipo de intervenção a ser aplicada, de tal forma que se possa usar o método mais viável e eficaz. De acordo com a figura 4 abaixo, segundo Souza e Ripper (1998), observa-se um padrão de desempenho da estrutura do elemento e que poderá ter diferentes tipos de soluções:

Figura 4 - Hipóteses para solução de estruturas com desempenho insatisfatório.



Fonte: Souza, Ripper (1998)

Como se pode observar na figura acima, é extremamente relevante conhecer a origem do problema patológico, para uma eficaz correção, já que a origem das manifestações geralmente se inicia nas etapas de produção das obras civis. Em relação a isso, Helene (1992) apresenta uma série de conjuntos que indicam os fenômenos que causam as fissuras e que são: fissuras de pega ou falsa pega (causadas por cimento com excesso de gesso anidro), de retração hidráulica (causada pela perda rápida de água da mistura do concreto), de movimentação térmica

(causadas por contração térmica, devido a gradientes de temperatura diários), erros de projeto (causada por movimentação de formas mal fixadas) e fissuras devidas a ações mecânicas (causadas por ações mecânicas que provocam fissuras de tração).

### **3.1 Origens, causas, características gerais e classificações das patologias estruturais**

A patologia do concreto armado é considerada uma área da engenharia em que se processa os estudos analíticos dos sintomas, mecanismos, causas e origens dos defeitos que venham a surgir, para que se possa apresentar as possíveis soluções correccionais destes problemas. De acordo com Verçozza (1991, apud Fortes, 2000), as construções dos dias de hoje apresentam em suas características perfis que favorecem o surgimento de patologias. Quanto a isso, Souza e Ripper (1998) asseveram que a ocorrência do problema patológico nas estruturas indica que há uma ou mais falhas que surgiram durante o processo de execução de uma ou mais etapas da construção. E isso ratifica com o conceito de patologia estrutural, apresentado por Lapa (2008), que apresenta como sendo o estudo das origens, causa e consequências, que ocasionaram a degradação da estrutura.

Quando se faz uma análise minuciosa, munida de precisas averiguações sobre as causas e origens que estão possibilitando o desenvolvimento das patologias, poderão ser avaliadas as possíveis causas de degradação, algumas delas são classificadas por Andrade e Silva (2005), dessa forma: causas mecânicas, físicas, químicas e biológicas, podendo atuar de forma isolada ou com pares ou mais em grupo, dependendo do estágio do avanço das patologias.

As causas mecânicas, como afirmam Andrade e Silva (2005), ocorrem devido às ações das cargas excessivas das estruturas e da erosão, já que são ocorrências que podem acontecer e que não estão previstos de projeto. Com isso, o concreto fica suscetível a possíveis manifestações patológicas, permitindo que ocorra outras formas de deterioração indesejáveis. Com a erosão do concreto, por meio da forte ação da água, o concreto poderá sofrer os efeitos de abrasão e cavitação. Já as causas físicas são caracterizadas, segundo Sousa (2008) como sendo variações ambientais do vento, da água, da insolação e da temperatura. Sua importância reside no fato de elas interferirem na fase de endurecimento do cimento.

Em seu estudo acerca das patologias estruturais, Bronze (2016), aponta as

seguintes patologias mais recorrentes e comuns nas construções: má qualidade dos materiais, erros no processo de execução, falhas na concepção do projeto, uso para fins diferentes dos cálculos previstos no projeto e falta de manutenção de possíveis problemas que surgirem. Quanto a esse cuidado de identificar as patologias e não prejudicar as estruturas, Fortes (2000) ressalta que a identificação dos fatores que estão gerando as patologias é, por vezes, prejudicada devido a alguns fatores, que foi elencada da seguinte forma: Falta de documentos técnicos, que possam dar informações ao projeto; falta de informações climatológicas sobre a localidade, ausência no local de trabalho de profissionais técnicos, que poderiam ajudar a identificar tais problemas e omissão de informações técnicas acerca do uso dos materiais.

Em um estudo bem analítico e técnico acerca das patologias estruturais no Brasil, na obra de Romero (2019) verificou-se que 22% são referentes a manchas superficiais, 21% com fissuras, 20% em corrosão de armaduras e com 20% em nichos de concretagem. Em todas essas patologias, percebeu-se que elas afetam diretamente as estruturas do concreto armado, prejudicando assim a vida útil, a durabilidade e, por conseguinte, a resistência das estruturas. De forma paralela a isso, outro estudo presente na obra de Couto e Couto (2007), percebeu-se que 59% dos erros são resultantes de pequenos detalhes, que não se observam de imediato e com isso causam grandes prejuízos.

Uma das patologias mais comuns nas construções são as fissuras, que podem surgir por todas as causas até aqui apresentadas. Segundo Oliveira (2012), as fissuras, trincas e rachaduras ou termos semelhantes a esses são manifestações patológicas capazes de afetar elementos estruturais como vigas, lajes e pilares, sendo apresentadas por Thomaz (1989) como sendo aberturas que surgem como uma forma de mecanismo de liberação da tensão provocada pela intensa movimentação dos materiais. Já Cunha (2011) apresenta as fissuras como sendo patologias com maior grau de incidência nas edificações, que podem ser causadas por várias origens, em muito dos casos, de forma conjunta ou simultânea. E isso é corroborado de forma complementar por Bauer (2012), quando afirma que a fissura aumenta de forma significativa o risco da corrosão no concreto e da entrada de agentes agressivos externos.

O colapso estrutural é proveniente da abertura excessiva das fissuras que surgem durante o estágio das patologias, possibilitando assim a perda da rigidez,

aumentando as flechas nos elementos fletidos. NBR 9575 (ABNT, 2010) especifica que a formação das fissuras é devido ao rompimento de uma substância ou de um material em específico, classificando-as de acordo com a abertura, sendo fissura, quando a abertura é de 0,5mm; microfissura, quando a abertura é de 0,5mm e trincas, quando a abertura é de 0,5mm a 1mm. Como a NBR 6118 (ABNT, 2014) reconhece a incapacidade do concreto não ser tão resistente à tração, admite-se que é inevitável a abertura de fissuras.

### **3.2 Tipos de fissuras**

Dentre os muitos tipos de fissuras que ocorrem nas estruturas, podemos destacar as seguintes:

#### **3.2.1 Fissura causada pela flexão**

São fissuras perpendiculares que ocorrem rente à linha de tração do elemento estrutural, que segundo Helene (1992), podendo ficar com aberturas ainda maiores e mais profundas, de acordo com a força de tração existentes ou quando a resistência da estrutura é reduzida. Algumas das causas possíveis dessa fissura são apresentadas por Thomaz (1989) da seguinte forma:

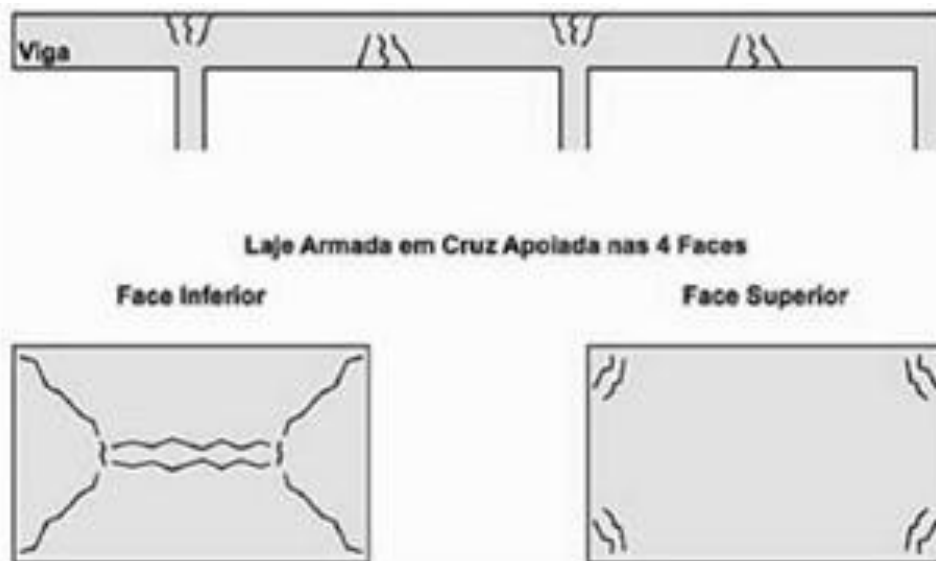
- Uso incorreto dos materiais, no período de execução da obra;
- Aplicação de sobrecarga, que não se adequa ao projeto;
- Erros técnicos de engenheiros responsáveis pela concepção do projeto estrutural.

Já Helene (1992), apresenta também outras causas, em que há certas semelhanças com as causas citadas acima, apresentadas por Thomaz (1989) e que são:

- Deficiência dos materiais usados na execução;
- Subdimensionamento da estrutura;
- Uso incorreto da sobrecarga atuante.

As fissuras que ocorrem em lajes, segundo Dal Molin (1998), não têm uma direção definida assim como ocorre nas vigas, devido elas dependerem da relação existente entre a largura e o comprimento, os tipos de vinculação, de solicitações externas atuantes, como está descrito na figura 5.

Figura 5 - Fissura causada por flexão.



Fonte: Dal Molin (1988)

### 3.2.2 Fissura causada por compressão

As fissuras que ocorrem devido aos esforços de compressão são, segundo Marcelli (2007) aquelas que ficam localizadas na zona comprimida da estrutura, em paralelo ao eixo da viga, resultante do esmagamento do concreto de vigas geralmente super-armadas, e com baixa resistência.

Já na figura 6, pode-se observar que as fissuras por compressão fazem com a peça comprimida não suporte o esforço, gerando assim uma redistribuição das cargas, o que possibilita uma sobrecarga do pilar mais próximo.

Figura 6 - Fissura causada por compressão.

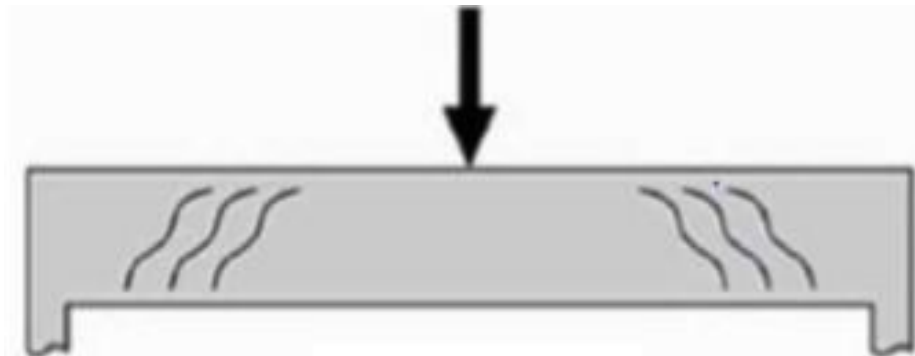


Fonte: Marcelli (2007)

### 3.2.3 Fissura causada por cisalhamento

Quanto a esse tipo de fissura, Souza e Ripper (1998) a descrevem como sendo fissuras diagonais, que ocorrem na região delimitada em que o esforço cortante for maximizado. Suas causas são devido à falta de seção suficiente no concreto, falta de armadura que possibilite resistência ao cisalhamento ou até nas regiões de apoio da viga, no caso de carregamentos pontuais. Já Marcelli (2007) aponta outra causa para essa fissura, que seria o excesso de carga, no uso de uma armadura insuficiente, em que ela aparece nos pontos de corte máximo, assim como está na figura 7 descrita abaixo:

Figura 7 - Fissura causada por cisalhamento.



Fonte: Marcelli (2007)

#### 4 PROCEDIMENTO DOS CUIDADOS INICIAIS

Quando se faz uma análise mais precisa sobre a necessidade de se fazer o reforço estrutural em pilares, deduz-se que faça a execução de um sistema de escoramento, em que as escoras podem ser de madeira ou metálicas. Detalhes técnicos e específicos como os ajustes na altura são extremamente essenciais no uso das escoras e que podem ser até reusadas durante a execução do projeto. Em relação a esses detalhes do escoramento, a NBR 15696 (ABNT, 2009), que trata das formas e escoramentos para estruturas de concreto, apresenta todos os itens a serem considerados, ponderados e inclusos em um projeto de escoramento e que são os seguintes:

- a) Especificação das cargas admissíveis dos equipamentos a serem aplicados;
- b) Apresentar de forma bem clara e exata o posicionamento de todos os elementos do projeto;
- c) Definição de todas as cargas nas bases de apoio e
- d) Detalhamento bem preciso das plantas, cortes, vistas e demais pontos do projeto.

A NBR 15696 (ABNT, 2009) apresenta como cuidados iniciais que as escoras da elevação inferior só poderão ser removidas, caso sejam levadas em consideração os seguintes procedimentos elencados abaixo:

- a) Só se remover um escoramento ou impor uma carga, quando não se tem certeza se os elementos estruturais irão suportar, de forma segura, as ações a que estarão sujeitos;
- b) É extremamente indispensável que o pessoal técnico informe de forma bem precisa e específica acerca dos valores mínimos de resistência à compressão e módulo de elasticidade a serem obedecidos de forma simultânea com a retirada do escoramento. Já em relação do ciclo de remoção (ou remanejamento), o período deve ser de no mínimo 14 dias.

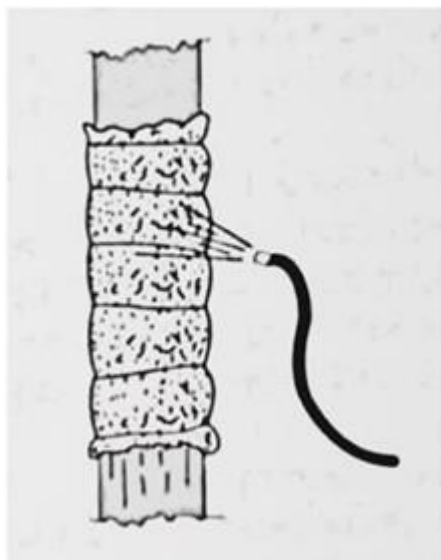
O técnico projetista responsável pela execução do reforço precisa também informar o dimensionamento do escoramento, para que se possa determinar, de forma bem precisa e exata a quantidade de escoras necessárias para suportar as cargas no momento do reforço. Mas para isso, segundo Helene (1992) afirma que é necessário que a estrutura seja escorada, descarregando o pilar. Já em relação às distâncias máximas recomendadas, a NBR 15696 (ABNT,2009), em seu Anexo C, do item C.4

afirma que são 2,0 m x 2,0 m. Já para o reservatório. Para se determinar a quantidade de escoras necessária para suportar as cargas no momento da execução do reforço, é necessário consultar o projetista para desenvolver o dimensionamento do escoramento, com as especificações estabelecidas na NBR 15696. (ABNT,2009)

#### 4.1 Procedimentos de aderência

Após os cuidados iniciais, inicia-se o processo de se melhorar a aderência do pilar, no qual será executado o reforço. Isso irá assegurar a união entre os concretos novo e o antigo. Quanto a esse processo, Helene (1992) afirma que a aplicação do concreto projetado precisa estar com o substrato saturado e com a superfície seca sem quaisquer empoçamentos. Afirma ainda que, nas superfícies verticais, em caso de inviabilidade da submersão, é extremamente necessário a formação de um filme contínuo de água na superfície. E isso se dá com o uso de sacos de aniação e mangueira perfurada, assim como está na figura 8:

Figura 8 - Saturação de pilar.

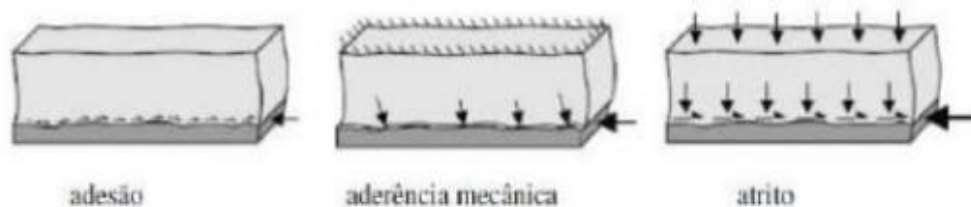


Fonte: Helene (2012)

Castaldello (2016) define a aderência como sendo um conjunto de ações químicas e mecânicas que são capazes de resistir à separação entre dois materiais distintos, sendo responsável pela transferência dos esforços entre esses dois materiais. Ela está dividida em três partes, que são: adesão ou aderência química,

aderência mecânica e atrito, assim como se observa na Figura 9 abaixo.

Figura 9 - Parcelas de aderência.



Fonte: Johansson apud Castaldello (2016)

De acordo com Fernandes (2000), é bem complicado e difícil mensurar e identificar cada uma dessas etapas da aderência, devido à complexidade das forças que atuam nas estruturas.

A aderência química tem-se início nas reações de pega do cimento, assim que estiver ocorrendo as ligações físico-químicas na interface da estrutura. Mas Campos (2006) adverte que uma parcela dessa aderência pode ser desconsiderada, quando se há deslocamentos excessivos. A aderência mecânica se dá por meio da rugosidade da superfície do perfil metálico, que passa a diminuir, quando se tem um deslocamento relativo entre os materiais. Por fim, a parcela da aderência referente ao atrito se dá por meio da influência da força normal à superfície, que é devido ao coeficiente de atrito (CAMPOS, 2006).

#### 4.2 Procedimentos de anexação de armadura e aplicação do concreto

De acordo com Helene (1992), para se aplicar o concreto, é necessário inserir a armadura de reforço, indicando que a viga precisa ser furada e assim ser usada como ancoragem das barras longitudinais, que devem ter uma profundidade maior ou igual a 6 cm.

Com isso, limpa-se os furos a seco, tendo as barras chumbadas com adesivo, com uma base de resina poliéster. A figura 10 mostra a posição da armadura do reforço.

Figura 10 - Posicionamento da armadura.



Fonte: M2P Engenharia (2021)

Para que se possa garantir o cobrimento, é necessário que se use espaçadores, afastando assim as armaduras (longitudinal e transversal) do núcleo. Essa projeção do concreto é iniciada por meio dos cantos e das cavidades, passando assim a revestir as armaduras, fazendo com que se forme camadas sequenciais com espessuras menores do que 5cm, até se atingir a espessura que se deseje atingir. É recomendável o uso de um aditivo acelerador de pega.

## **5 MÉTODOS DE RECUPERAÇÃO EM ESTRUTURAS DE PILARES**

Em meio a tantos acidentes, de casos de ruínas de pilares, implosão de prédios, casos de desabamentos de estruturas, procurou-se trabalhar, de forma mais eficaz o reforço das estruturas, para que incidentes como esse possam ser evitados. Quanto a isso, Canovas (1988) atribui ao reforço a função de se fazer correções nos elementos estruturais que estejam com alguma deficiência, quer seja ela por cura inadequada, pouca dosagem do concreto ou erro cometidos nos projetos de execução.

Canovas (1988) afirma ainda que reforço atua como elemento de intervenção

na capacidade de resistência dos elementos estruturais no projeto inicial de uma estrutura. Já Valle (1983) afirma em sua análise, que há alguns fatores que condicionam a mobilização dos esforços resistentes que há no reforço e que são:

- Deformabilidade da estrutura: Neste caso, são levados em consideração a aplicação das ações instantâneas, bem como seus respectivos valores dos incrementos das deformações causadas por ações de longa duração. Ressalta-se também nesse caso os procedimentos de reabilitação, em que se trabalham as hipóteses de compatibilidade de deformações;
- Características mecânicas dos materiais do elemento a ser reforçado: É extremamente necessário saber as capacidades iniciais e finais (origem e final do reforço) do material, bem como de suas capacidades de deformabilidade imediata ou lenta, presentes na retração, fluência e módulo de elasticidade, reforço;
- Aderência entre os materiais originais e de reforço: Para que se possa garantir uma melhor integração entre as partes da estrutura reforçada, é importante ressaltar que a aderência entre os materiais originais e o de reforço precisa aumentar, elevando de forma significativa o limite de sollicitação tangencial. Para que isso ocorra, é necessário que se use pontes de aderência, tais como epóxi e conectores mecânicos.

### **5.1 Reforços estruturais: conceito, características gerais e classificações**

No andamento das obras na construção civil, há diversas técnicas de reforços estruturais, tais como reforço com processo de encamisamento ou aumento da seção transversal, reforço com chapas de aço coladas, reforços com perfis metálicos e reforço com compósitos de fibras de carbono.

De acordo com Pérez (2016), o reforço da estrutura é o aumento da capacidade portante que é executado quando os elementos estruturais não tenham mais capacidade de suportar os aumentos nos esforços de tração, flexão, cisalhamento, entre outros. Já Thomé (2017) descreve os reforços estruturais como sendo diversos métodos que são usados para reforçar uma viga de concreto, quando esta é sujeita a um reforço de flexão. Seguindo essa linha de desempenho, Santos (2017) afirma que os reforços fazem parte da fase construtiva em que se encontrem

erros na execução das obras, de dimensionamento do projeto, bem como do processo de fabricação do concreto armado. Santos (2017) afirma ainda que o reforço se inicia quando são feitas mudanças significativas na qualidade dos elementos construtivos, podendo ser na ausência ou quantidade insuficiente de alguns deles ou até mesmo exclusão de parte deles, achando-se não ser necessário à obra.

Cada um destes reforços estão descritos abaixo, de acordo com suas específicas definições:

#### 5.1.1 Reforço com processo de encaminhamento ou aumento da seção transversal

É um reforço que consiste no aumento da resistência de um determinado elemento da estrutura do concreto que acontece por meio do acréscimo de novas armaduras e da concretagem destas, já que há um aumento na seção geométrica da estrutura. Como esta técnica usa a mesma mão-de-obra e materiais no processo de execução das estruturas de concreto, ela é a mais usada e a mais acessível. Mariano (2015) apresenta como vantagens desse reforço os seguintes pontos : não precisa de mão de obra especializada, facilidade na aquisição de materiais e permite a execução com a execução em uso, sem ser preciso demolir a estrutura. Em contrapartida, esse processo consome de forma excessiva mão de obra e materiais, tem perda de área livre, devido ao aumento da seção das peças e precisa de grande mobilização de equipamentos, como escoramentos e equipamentos de transportes.

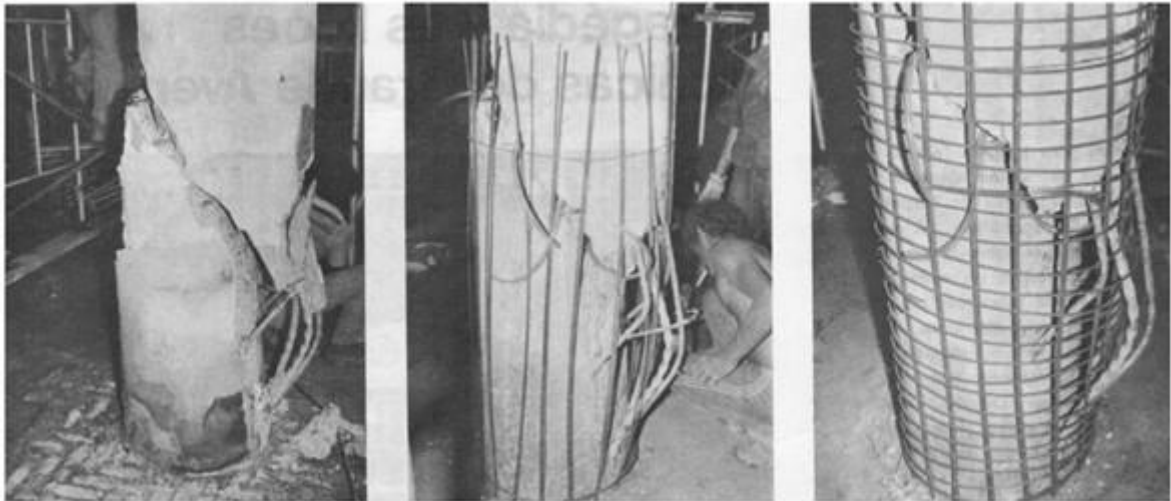
Os procedimentos que se devem levar em consideração nesse tipo de reforço, segundo Barrera et al (2003) são os seguintes:

- Aplicar adesivo como ponte de aderência, que fica entre o concreto novo e o antigo;
- Colocar a forma na viga;
- Perfurar a viga, para que os estribos possam ser passados;
- Esperar a cura do concreto por uma semana;
- Fazer a concretagem, em que se pode usar aditivos, expansor, retardador de pega e plastificante;
- Aliviar os esforços de viga, fazendo também o escoramento.

De acordo com Barrera et. al (2003), os equipamentos e ferramentas que são usados neste tipo de reforço são os pontaletes telescópicos metálicos, escarificador mecânico, furadeira de percussão e lavadora de alta pressão.

A técnica de reforço com aumento de seção ou de encamisamento consiste em envolver a seção com concreto novo e uma armadura suficiente para o seu reparo. É uma técnica muito usada por causa do seu preço bem mais acessível tanto da mão de obra como dos materiais. Segundo Reis (2001), o concreto de alto desempenho pode ser uma ótima sugestão alternativa para esse tipo de reforço, que é apresentado na figura 11 abaixo:

Figura 11 - Reforço por encamisamento.



Fonte: Disponível em: <https://zonaderisco.blogspot.com/2014/04/lembranca-incendio-do-edificio-grande.html>. Acesso em: 12 out. 2022.

#### 5.1.2 Reforços com chapas de aço coladas

É um tipo de reforço que se faz colagem por meio de adesivos de base epoxídica em chapas de aço na parte externa da estrutura de concreto e uso de parafusos auto-fixantes, criando uma armadura bem próxima da peça. Quanto a esse tipo de reforço, Reis (2001), é uma ótima opção com baixo custo de operação e não causa alterações na geometria da seção transversal da estrutura, não interferindo de forma significativa o desenho geométrico. A autora apresenta uma ressalva quanto a esse reforço, pois é necessário que o concreto deva estar íntegro, preenchendo todos os pré-requisitos de serviço, sem nenhum tipo de manifestação patológica, reforço este que está apresentado na figura 12 abaixo:

Figura 12 - Reforço com chapas de aço colada.



Fonte: Aguiar (2014) adaptado por Mariano (2015)

### 5.1.3 Reforço por extensão externa

Esta técnica consiste no uso de uma pós-tensão, que é aplicada na estrutura, para que se possa corrigir e até sanar possíveis falhas de projeto, aumentando assim a capacidade portante da estrutura. Seu diferencial, de acordo com Souza e Ripper (1998), está presente no seu caráter ativo, já que não é necessário que haja a deformação da viga, para seja iniciado o reforço, como está apresentado na figura 13:

Figura 13 - Figura de viga com pretensão externa.

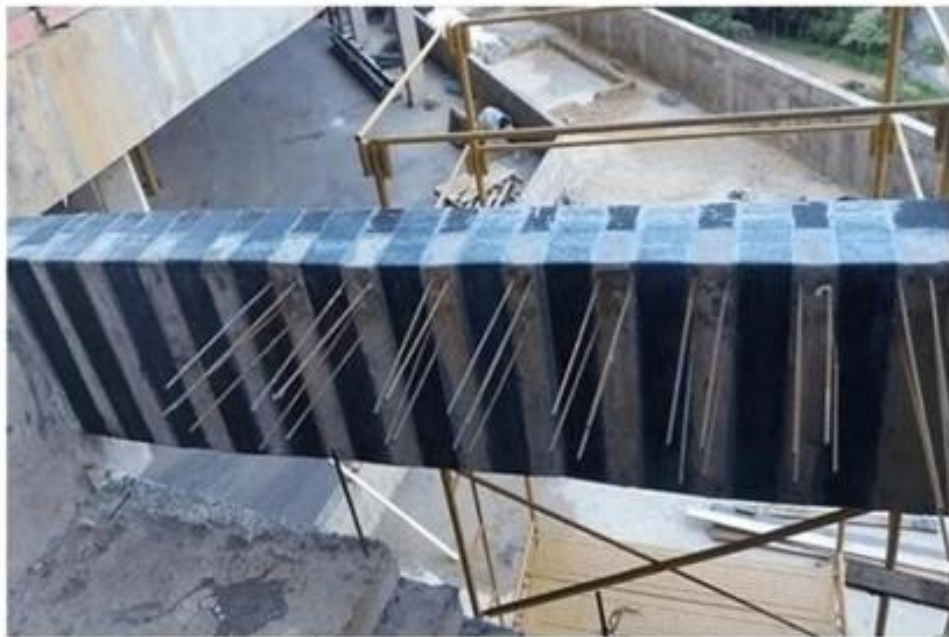


Fonte: Vitório e Barros (2011) adaptado por Mariano (2015)

#### 5.1.4 Reforço ao esforço cortante (Cisalhamento)

Nesta técnica de reforço da estrutura, Thomé (2017) afirma que as fibras ficam dispostas transversalmente ao eixo da viga, que passam a atuar como estribos, aumentando assim a resistência aos esforços cortantes que atuam nas estruturas. Na figura 14, pode-se observar que a parte A tem uma certa dificuldade de execução, sendo necessário o rompimento de parte da laje; na parte B a execução se dará de forma eficiente, não acarretando prejuízos e que é a configuração ideal; já na parte C, só se deve executá-la caso não haja outra configuração possível, por causa da impossibilidade de acesso às faces da viga.

Figura 14 - Reforço ao cisalhamento.



Fonte: Leal e Fagundes (2020)

#### 5.1.5 Reforço em vigas submetidas à flexão

Neste tipo de reforço, são usadas lâminas e tecidos de carbono, e que são usadas, de acordo com Thomé (2017), as seguintes etapas :

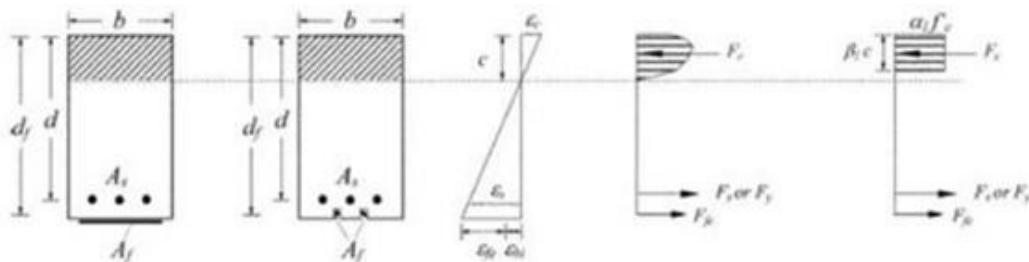
- Atribuição da profundidade da linha neutra, que esteja de acordo com o modo

de ruptura;

- Realização de cálculos das potenciais deformações dos diversos materiais, passando-se a reconhecer a linearidade da variação dessas deformações;
- Cálculos das tensões atuantes nos materiais presentes após a identificação das deformações;
- Verificar o equilíbrio das forças atuantes, assim que elas forem identificadas e Após concluído tudo, deve-se fazer a verificação da ductibilidade do sistema PRF (Polímeros Reforçados com Fibras).

Na figura 15 abaixo, está apresentado o diagrama de Thomé (2017), que trata das estruturas que são sujeitas a esse tipo de esforço.

Figura 15 - Reforço em vigas à flexão.



Fonte: Thomé (2017)

#### 5.1.6 Reforço com compósito de fibras de carbono

São formados de fibras de carbono ou Compósitos de Fibra de Carbono (CFC) e que apresentam, segundo Machado (2011) as seguintes especificações:

- Impossibilidade de sofrerem corrosão, por conta de serem matérias inertes;
- Alta resistência aos ataques químicos;
- Alta resistência mecânica e de rigidez;
- São estáveis termicamente;
- Bom comportamento à fadiga e à atuação de cargas cíclicas.

Essas estruturas, por serem formadas por uma matriz polimérica, de resina geralmente epoxídica, são capazes de manter as estruturas mais coesas,

possibilitando assim a transferência das tensões cisalhantes entre os dois elementos estruturais: o concreto e a fibra de carbono, como está descrito na foto. Estas fibras, segundo afirma Machado (2011) têm a função de absorver quaisquer tensões de tração provenientes dos esforços atuantes.

A fibra de carbono é um material sintético composto por filamentos construídos, basicamente, por carbono. Suas principais qualidades são a leveza, a resistência e a durabilidade, o que a transforma em uma ótima alternativa para o ferro. A fibra de carbono pode ser usada em varios ramos. Entretanto, sua utilização no reforço estrutural de edifícios requer mais atenção. De modo geral é mais utilizada em estruturas de concreto armado já existentes que, devido à ação do tempo, da danificação e de outras influências, necessitam passar por procedimentos de reforço. (SERPOL ENGENHARIA, 2019)

As propriedades das fibras de carbono variam segundo o tipo de fibra, o tamanho, o grau de concentração e a disposição destas fibras na matriz, sendo que o sistema de reforço com fibra de carbono possa se diferenciar, conforme o tipo de estrutura a ser reforçado como lajes, vigas, paredes, pilares. Deste modo, a escolha da fibra a ser utilizada dependerá das condições do ambiente em que a estrutura se encontra, do tipo de estrutura e principalmente do esforço solicitante. (MENACKER, 2021)

O material começou a ser utilizado na construção civil pelos japoneses, devido à exigência de estruturas mais robustas para suportar aos abalos sísmicos que preocupam o país asiático. No Brasil, o material foi usado a primeira vez em 1998, afim de reforçar as estruturas do viaduto Santa Teresa, em Belo Horizonte. A instalação dos compósitos reforçados com fibras de carbono não é um trabalho fácil, por isso precisa normalmente ser realizada por profissionais aptos e de preferência com bastante experiência. O reforço é preso na estrutura com resina à base de epóxi. “Todavia, é indispensável efetuar uma reabilitação e preparo do substrato de concreto para receber o material. Ademais, o modo de aplicação tem poucas distinções de fixação, conforme o tipo de produto que esteja sendo utilizado, se é manta ou lâmina” (MAZER, [2020?]).

Segundo Machado (2002), o uso de fibras de carbono como materiais de reforço estrutural foi introduzido na década de 1980, com o objetivo de se reforçar e recuperar as estruturas das edificações da época, que se encontravam danificadas em meio aos abalos sísmicos muito recorrentes na região, por ser um local com muitas

incidências de placas tectônicas no entorno do país. E eram problemas que precisavam soluções emergenciais, partindo daí a necessidade de um reforço estrutural.

Existem três sistemas de reforços em que usam as fibras de carbono e que são: fios de fibra de carbono, em que são colados na superfície do concreto a seco ou sob tensão; tecidos de fibras de carbono, em que são colados na superfície do concreto com uma resina epóxi, de espessura bem similar à da parede e chapas pultrudadas, em que são colados na superfície do concreto através de um adesivo. As fibras de carbono variam de acordo com o tipo da fibra, o tamanho, o grau de concentração das fibras na matriz e a escolha da fibra dependerá das condições ambientais a que estão sujeitas as estruturas.

Na figura 16 abaixo, Beber (2003) apresenta a primeira aplicação de fibras de carbono como reforço estrutural, que ocorreu no viaduto Santa Tereza, em Belo Horizonte, no ano de 1998.

Figura 16 - Reforço em fibras de carbono.

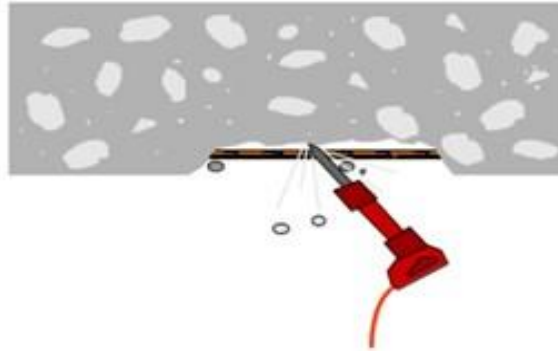


Fonte: Beber (2003)

O American Concrete Institute – ACI (2002) adverte que a aplicação do reforço de polímeros com fibra de carbono, deve ser evitada em casos de suspeita de corrosão da armadura, pois o comportamento de seus elementos de concreto reforçado depende muito de uma boa preparação da superfície do concreto. Para fazer esses reparos de forma eficaz, segundo Machado (2002), é necessário que se faça a remoção do concreto desagregado, que estão nas armaduras corroídas e depois fazer os seguintes procedimentos: regularizar o perímetro do trecho do substrato, que precisa ser recomposto, limpeza das barras da armadura, recompondo

assim o substrato do concreto, como está descrito na Figura 17, com a remoção do concreto degradado.

Figura 17 - Remoção do concreto degradado.



Fonte: Machado (2009)

Machado (2015) afirma ainda que a aplicação da fibra de carbono deve ser feita por profissionais qualificados, bem selecionados, de tal forma que se possa obter resultados bem mais satisfatórios na execução do reforço, seguindo essa sequência de procedimentos: recuperação da superfície, aplicação das resinas de impregnação e de laminação, uso do tecido de fibra de carbono, aplicação de uma segunda camada de resina de laminação e acabamento. Já Santos (2008) afirma que o preparo da superfície do concreto é feito por meio da limpeza da mesma, por meio do uso de abrasivos, jatos de areia ou limalhas metálicas.

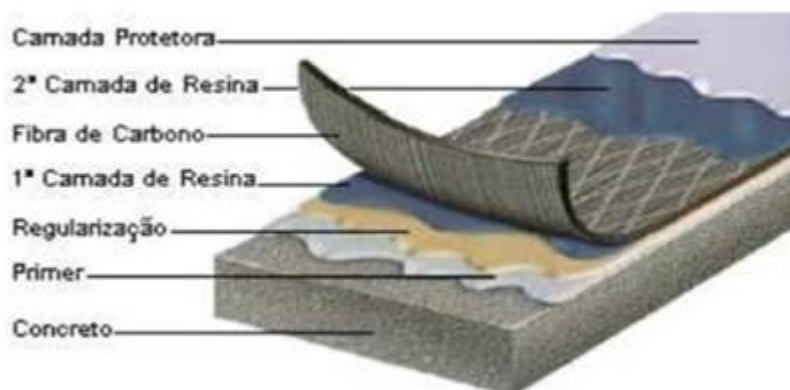
Para que se possa aplicar as fibras de carbono de forma eficaz nas estruturas de pilares, Souza e Ripper (1998) apresentam as seguintes ferramentas a serem aplicadas, elencadas da seguinte forma: tesoura, estilete, rolo de espuma e rolo metálico. Para isso, são necessárias duas etapas, uma de preparação da superfície receptora e outra de aplicação do compósito. Durante o processo dessas duas etapas, é necessário que se faça a limpeza de toda a superfície do concreto e da fina camada que reveste os elementos de concreto. Os autores afirmam ainda que, em caso de imperfeições geométricas do concreto, é necessário fazer reparos com aplicação de argamassa expoxidicas, alisadas com espátulas.

Durante o processo de aplicação da fibra na estrutura, Santos (2008) afirma que o reforço com fibra de carbono é formado por cinco elementos, a seguir apresentados:

- Primer epóxico – Sistema formado de 100% de sólidos, que apresenta baixa viscosidade, característica necessária para uma ancoragem físico-química nos poros da superfície do concreto, dando estabilidade à aplicação da argamassa e do epóxi estruturante;
- Massa epóxi de correção – É um tipo de argamassa formulada especificamente para fazer a correção de superfícies bem antes das aplicações do epóxi estruturante. Sua aplicação é feita com espátula ou com desempenadeira de aço, permitindo assim a correção de protuberâncias, deixando a superfície livre para a aplicação da fibra de carbono.
- Adesivo epóxi estruturante – É um forte adesivo epóxi que é usado como matriz da fibra de carbono, que tem um sistema formado de um compósito de alta resistência à tração, tendo uma qualidade bem superior a todas as formas de reforço estruturais;
- Fibra de carbono – É um sistema composto em dois tipos de fibras: MFC 130 e MFC 530, que promovem uma série de vantagens sobre os sistemas convencionais de reforços, quando estão envolvidos na matriz epóxica estruturante;
- Camada de proteção – É um tipo de camada de proteção aos raios ultravioletas do sol, assim que é terminada a aplicação da fibra de carbono.

Na figura 18, são apresentadas abaixo as partes que formam um elemento de concreto, reforçado com fibras de carbono.

Figura 18 - Reforço em fibras de carbono.



O processo de colocação da fibra, de acordo com Machado (2010) deve ser logo após à sua saturação, devido o tempo de aplicação de resina ser bem curto, menos de meia hora. Com isso, faz-se necessária os reparos da posição das fibras nesse intervalo de tempo. Já Souza e Ripper (1998) explicam que a aplicação das camadas sucessivas pode durar até uma semana, desde que se aplique uma nova camada de resina fresca sobre a resina endurecida.

## **5.2 Fibras de carbono submetidas à ação do fogo**

Machado (2002) afirma que a aplicação das fibras de carbono como material de reforço da estrutura, que ficam aderidas à superfície de concreto na parte externa, precisa ser acompanhada de uma minuciosa verificação em relação à sua resistência ao fogo. Mas para isso, o autor aponta dois fatores que precisam ser considerados, que são: é preciso fazer uma avaliação da resina epoxídea a ser usada de acordo com o seu potencial de geração de fumaça, bem como da propagação da chama. O segundo fator é que também deve ser analisada a resistência da estrutura de concreto ao fogo, após ser reforçada.

Já em relação à produção das fibras de carbono, Souza e Ripper (1998) afirmam que ela é feita por meio do processo de carbonização das fibras de polímeros orgânicos, em que tem suas propriedades mecânicas ligadas diretamente à estrutura molecular, que podem chegar até a uma temperatura de 3000°C, para que suas fibras sejam confeccionadas. Ainda de acordo com os autores, há diversas formas comerciais para a produção das fibras de carbono, perpassando por sua incorporação a uma matriz de resinas poliméricas, adição de metais e até à obtenção de muitas outras formas, tais como perfis de barras, folhas flexíveis unidirecionais, laminados e tecidos direcionais.

A capacidade de alta dureza e resistência aos ataques químicos é apresentada por Carneiro (2004) como sendo uma característica das fibras de carbonos, pois elas são elementos inertes e que também apresentam um bom comportamento à fadiga (cargas cíclicas), variações térmicas e meteorológicas. Já Garcez (2007) assevera que a resistência-peso do CFRP pode chegar até cinco vezes mais leve do que o aço,

com resistência a tração de 8 até 10 vezes mais elevada e quando submetidas a altas temperaturas, conseguem manter estáveis sua capacidade de resistência a tração e o módulo de elasticidade.

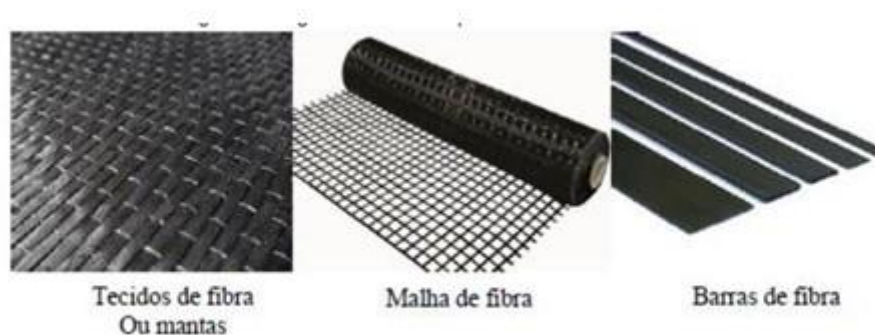
### 5.3 Tipos de fibras de carbono e suas características gerais

Adorno et al. (2015) afirmam que as folhas de CFRP são capazes de dar à peça aplicada, uma melhoria na qualidade da resistência na flexão e na força cortante em vigas e lajes. Os autores ainda afirmam que no processo de colagem é preciso ter muito cuidado na realização do dimensionamento, verificando a resistência da resina a ser aplicada no procedimento.

Santos (2017) apresenta descritos alguns reforços que usam compósitos de fibras de carbono. Já na figura 19 são apresentados os mais usados, que são os laminados. Segundo o autor, os laminados são produzidos com lâminas de até 1,5mm, que tem fibras unidirecionais e prontas para o uso, já que são elementos pré-curados. As mantas são fibras de carbono contínuas unidirecionais ou bidirecionais, que fazem uso de uma matriz polimérica (resina epóxi) e são endurecidas in situ.

Já as barras são materiais usados em processos que atenuam as cargas estáticas, por meio de condução destas para um terminal de descarga e que não requer o contato físico com o material.

Figura 19 - Formas de fibras de carbono.



Fonte: Pérez (2016)

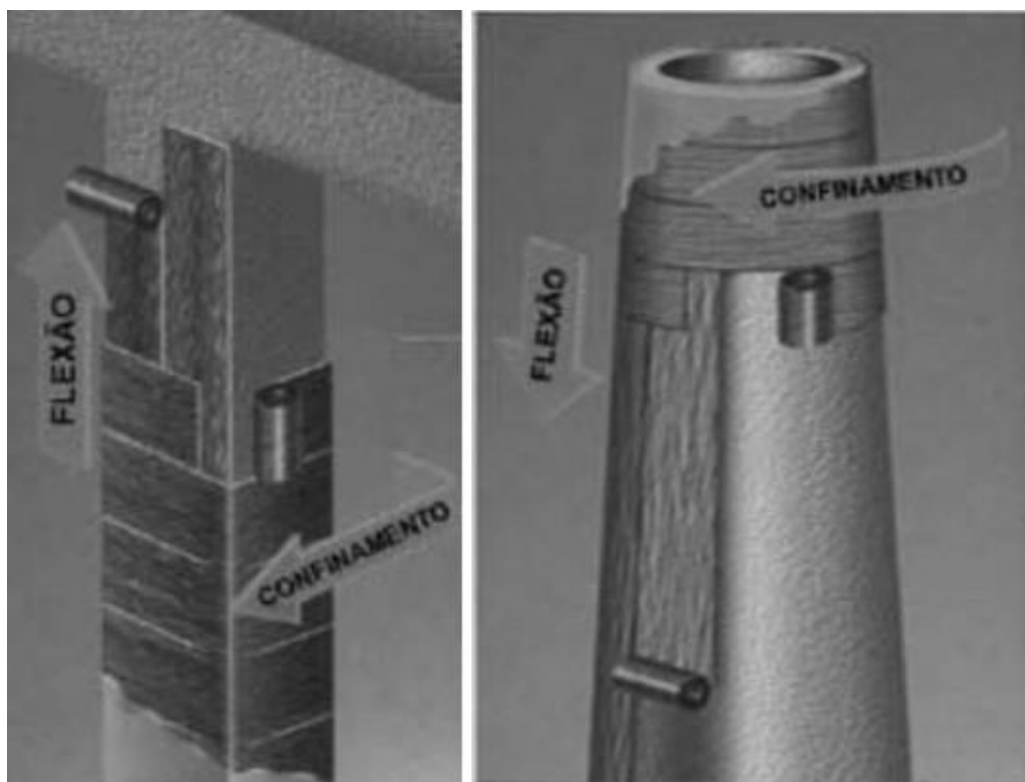
Bronze (2016) apresenta o fator tamanho como sendo a relação entre o

comprimento e o diâmetro médio das fibras curtas, que têm propriedades dependentes dessa relação, sendo que quanto maior for o fator, maior será a resistência mecânica do compósito. Quanto ao tamanho, as fibras podem medir entre 0,07mm e 0,10mm de diâmetro, que podem ser longas, quando forem contínuas ou curtas, quando tiverem fios cortados. A Manta ou tecido de fibra de carbono maleável e flexível, de alta resistência a tração e unidirecional, possui uma medida comercial média de 0,17mm, de forma que é durável, não sofre corrosão, e com resistência à tração de aproximadamente 3900 a 4900mPa.

De acordo com Silva (2006) grande parte dos reforços em PRFC é utilizada em pilares, como forma de trazer melhorias em sua resistência a tração e compressão. Auxiliando principalmente para melhorar suas funções para as quais foram projetadas.

A figura 20 apresenta algumas aplicações em pilares.

Figura 20 - Pilares reforçados com PRFC.



Fonte: Machado (2015)

## 6 PROCEDIMENTOS DE EXECUÇÃO DO REFORÇO ESTRUTURAL

Vemos abaixo o passo a passo e as devidas etapas do confinamento de pilares utilizando PRFC e os devidos modos para instalação de sistemas compostos, serão descritos abaixo, com base em Machado (2012).

- Recuperação do substrato de concreto: afim de que o sistema seja montado da melhor forma possível e de maneira eficiente, é indispensável que todos os elementos da estrutura estejam em perfeito estado, de forma a compor as circunstâncias necessárias para conseguir as tensões de confinamento impostas pelo compósito. Nesta fase é realizada a extração do concreto desagregado, limpeza da corrosão, regularização da superfície, e o conserto de toda a parte do concreto avariado;
- Recuperação de fissuras e trincas: as fissuras e trincas necessitam ser restauradas e tratadas. Quando a trinca for maior que 0,25mm, na mesma deve ser inserida obrigatoriamente injeções de resinas ou seladores afim de evitar corrosão da armadura;
- Preparação da superfície: o confinamento de colunas exige um posicionamento de contato intrínseco, entre a superfície e a o sistema compósito. Para tal circunstância, é necessária a remoção de toda poeira, pó, graxas, substâncias oleosas e partículas sólidas não aderidas, sobras de pintura e argamassas. Nessa etapa o arredondamento das quinas é executado, se necessário. Para que os passos seguintes possam ser aplicados, a superfície deve estar totalmente seca, e sem umidade, visto que a água pode impedir a adição das resinas;
- Aplicação do primer: o primer tem como incumbência de adentrar nas aberturas do concreto, preenchendo-os, para que junto com a resina aderida à superfície do concreto, possa fazer a ligação entre o material a ser aplicado e a base da estrutura;
- Aplicação do regularizador de superfície: existem alguns tipos de massas que são utilizadas para normalização da superfície do concreto onde serão utilizados os sistemas, de modo a garantir uma superfície plana;
- Corte e imprimação das fibras de carbono: nessa etapa, as mantas necessitam

ser cortadas e ajustadas às medidas necessárias, para posteriormente serem coladas ao concreto. Esse método de fixação pode ser feito de duas formas de saturações;

- Saturação via úmida: dessa maneira, a fibra de carbono é saturada com resina epóxi em uma mesa de trabalho (figura 21), e em seguida é transportada até o local de execução para fixação. Estudos indicam que esse processo possui uma execução mais simples, todavia existe um limite no comprimento da manta para levar até o local de execução, que varia entre 3,5 a 4m.

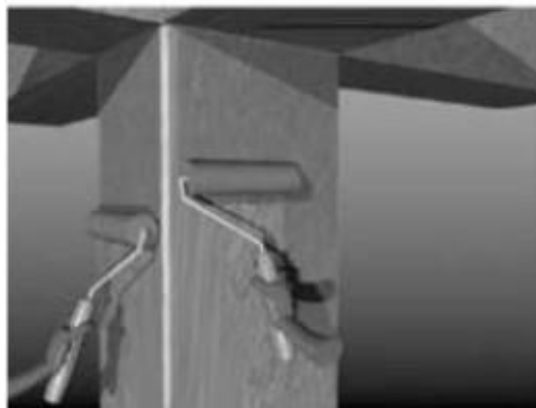
Figura 21 - Saturação via úmida da fibra de carbono em bancada.



Fonte: Machado (2012)

- Saturação via seca: dessa maneira, a saturação é feita direto no local de execução (figura 22), sobre o concreto, para em seguida realizar a fixação da manta.

Figura 22 - Saturação via seca, diretamente na superfície do concreto.



Fonte: Machado (2012)

A fixação do elemento, não depende do método de saturação escolhida, ela deve ser instantânea, haja visto que o tempo de execução da resina gira em média 25 minutos. Esse tempo é usado para realizar acertos no posicionamento e prumo das mantas, caso seja necessário. Conforme Machado (2012), o ACI440. 2r estabelece que ao se realizar a aplicação do material, deve-se considerar o sentido das fibras, de forma que ondulações e desvios não ultrapassem um desvio máximo de 5° (87mm/m) da direção estabelecida.

Para aplicação das mantas de fibra de carbono, são usadas ferramentas comuns, como rolos de espuma para espalhar e regularizar as resinas, e rolos metálicos para alinhar as fibras e se preciso retirar bolhas de ar que venham a ficar presas dentro do material.

- Aplicação da segunda camada de saturação: após o posicionamento da manta de fibra de carbono da forma correta, é realizada uma segunda camada de saturação com resina, para assegurar que a fibra esteja completamente submersa. É usual aguardar um tempo a cerca de 30 minutos para essa segunda aplicação.

Se for preciso adicionar mais camadas da manta, o método se repete para cada nova posição. Não existindo assim limites para o número de camadas, todavia o efeito de ligação diminui com cada acréscimo. De forma global, o acréscimo da quantidade de camadas aumenta a resistência geral do conjunto composto.

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa pretendeu mostrar a importância da reabilitação das estruturas de concreto por meio da colagem das fibras de carbono, formando assim o Compósito de Fibra de Carbono (CFC), que são comercializadas em formas de tecidos, barras, mantas e que possuem, de forma específica, alta resistência, durabilidade, tenacidade, rigidez, dentre outras características favoráveis, que tornam essa fibra uma ótima alternativa de recuperação de estruturas comprometidas.

É bem salutar observar que as estruturas de concreto armado, no decorrer de toda sua vida útil poderá apresentar um desenvolvimento significativo de deterioração da sua estrutura, que é a patologia estrutural, que é muito recorrente surgir em forma de fissuras nas vigas, lajes e pilares, comprometendo assim a durabilidade da estrutura. Por conta disso, há a necessidade de se trabalhar na recuperação dessas estruturas, que foi trabalhada nesta pesquisa por meio do Compósito de Fibra de Carbono (CFC), por ser uma técnica de reforço que garante como vantagens a sua durabilidade, facilidade, simplicidade de aplicação e também um excelente desempenho mecânico, que contribuem, de forma significativa, para reparar o concreto danificado, em suas diversas causas, tais como problemas devido à corrosão ativa, corrigir peças que apresentem ataques químicos, bem como outras patologias que surgirem.

Como foi bem apresentado nesta pesquisa, o reforço com fibras de carbono, para ter sua devida eficiência, precisa passar por uma análise minuciosa no projeto de execução e em todas as suas etapas, principalmente na parte ambiental, já que as fibras de carbono podem perder a sua resistência no caso de exposição ao fogo ou à insolação intensa e até na parte do seu desenho arquitetônico, por causa da sua incompatibilidade em superfícies assimétricas e irregulares.

Por fim, observou-se que a utilização das fibras de carbono é de extrema importância na recuperação das estruturas que sofrem algum tipo de patologia, já que suas inúmeras vantagens sobrepõem e muito de seus pequenos pontos conflitantes, pois com as fibras de carbono, é possível manter a geometria original da seção transversal da peça, ter um prazo de execução e processo de cura em um tempo menor do que das outras tecnologias. Devido a tudo isso, há a necessidade de se trabalhar em investimentos de pesquisas voltadas ao incremento dos compósitos de

fibras de carbono, sempre focando um maior desempenho tecnológico, incluindo até normatizações brasileiras, que possam de fato regulamentar as pesquisas, aumentar oferta no mercado dessas fibras, bem como atualizações tecnológicas que venham a somar com ela.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADORNO, F.V.; DIAS, F.O.; SILVEIRA, J.C.O. **Recuperação e reforço de vigas de concreto armado**. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Goiás, Goiás, 2015. *E-book*. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/395617747/RECUPERACAO-E-REFORCO-DE-VIGAS-pdf>. Acesso em: 20 ago. 2022.
- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **Abstract of: State-of-the-Art Report on Fiber Reinforced Plastic (FRP) Reinforcement for Concrete Structures**. ACI 440R-96, Michigan, 2002.
- ANDRADE, T.; SILVA, A. J. C. Patologia das Estruturas. In: ISAIA, Geraldo Cechella. (Ed) Concreto: In.: Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações. Editor: Geraldo Cechella Isaia. São Paulo: IBRACON, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15696**: Formas e escoramentos para estruturas de concreto — Projeto, dimensionamento e procedimentos executivos. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16747**: Inspeção predial: Diretrizes, conceitos, terminologias e procedimentos. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6122** – Projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro, ABNT, 2010.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9575**: Impermeabilização – Seleção e Projeto. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.
- BARRERA, H.; HELENE, P.; PEREIRA, F.; MORENO, N. **Procedimentos de Reforço**: Manual de Reparo, Proteção e Reforço de Estruturas de Concreto. 1. ed. São Paulo: Multipla, 2003.
- BASTOS, A. B. B. **Caracterização da degradação estrutural baseada no estudo das propriedades dinâmicas de uma estrutura**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Lisboa, 2017.
- BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. **Estruturas de Concreto Armado**. São Paulo, 2014. Disponível em: <https://wwwp.feb.unesp.br/pbastos/>. Acesso em: 13 ago. 2022.
- BASTOS, Paulo Sérgio. **Estruturas de concreto armado**. Universidade Estadual Paulista, Bauru. 2019.

BASTOS, Paulo Sérgio. **Estruturas de concreto armado**: Notas de Aula. Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2014.

BASTOS, Paulo Sérgio. **Estruturas de concreto III**: notas de aula – sapatas de fundação. Bauru, 2016.

BAUER, Falcão F. C. **Materiais de construção**. v. 1, 5. ed. Revisada. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

BEBER, Adriei José. **Comportamento estrutural de vigas de concreto armado reforçadas com compósitos de fibra carbono**. Tese (Doutorado pela Escola de Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003. E-book. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/2974>. Acesso em: 11 set. 2022.

BELGO GRUPO ARCELAR. **Catálogo técnico**: construção civil, indústria, agropecuária. [s. l.], 2012. Disponível em: <https://pt.scribd.com/doc/51383009/catalogo-tecnico-belgo>. Acesso em: 17 out. 2022.

BERTOLINI, Lucas. **Materiais de construção**: patologia, reabilitação, prevenção. Tradução de: Leda Maria Marques Dias Back. São Paulo: Oficina de Textos, 2010. ISBN 978-85-7975-010-6.

BOTELHO, Manoel Henrique Campos; MARCHETTI, Osvaldemar Marchetti. **Concreto Armado, Eu Te Amo**. v. 1, 7. ed. São Paulo: Edgar Blucher, 2013.

BRAGA, Thomaz dos Mares Guia. **Cronologia do Uso dos Metais**. Portal Metálica: Construção Civil. São Paulo, 2009.

BRANDÃO, Maria da Silva. **Qualidade e durabilidade das estruturas de concreto armado**: aspectos relativos ao projeto. Dissertação (Mestrado pela Escola de Engenharia de São Carlos) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998. Disponível em: [https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18134/tde-14122017-145657/publico/Dissert\\_Brandao\\_AnaMS.pdf](https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18134/tde-14122017-145657/publico/Dissert_Brandao_AnaMS.pdf). Disponível em: 02 ago. 2022.

BRONZE, Ricardo Alves. **Estudo comparativo**: uso do sistema de fibras de carbono e sistema convencional para reforço de estruturas de concreto. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016. *E-book*. Disponível em: <http://repositorio.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10017651.pdf>. Acesso em: 20 out. 2022.

CAMPOS, Alessandro. **Estudo sobre os critérios de dimensionamento de pilares mistos de aço e concreto**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, São Paulo, 2006. Disponível em: <http://repositorio.unicamp.br/Acervo/Detalhe/369240>. Acesso em: 22 set. 2022.

CÁNOVAS, Manuel Fernández. **Patologia e Terapia do Concreto Armado**. 1. ed. Tradução de: Marcondes, C; Dos Santos, C. W. F.; Cannabrava, B. São Paulo: Ed. Pini, 1988.

CARDOSO, Rafael do Valle Pereira. **Projeto estrutural em Concreto Armado**. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil, Florianópolis, 2013. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/115444?show=full>. Acesso em: 13 nov. 2022.

CARNEIRO, V. A. L. **Reforço de vigas e pilares de concreto com materiais** CARVALHO, Roberto Chust; FILHO, Jasson Rodrigues de Figueiredo. **Cálculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado**: segundo a NBR 6118:2014. 4. ed. São Carlos: EdUFSCar, 2014. ISBN-10: 8576003562.

CARVALHO, Roberto Chust; PINHEIRO, Libânio Miranda. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado**. 1. ed. São Paulo: Pini, 2009.

CASTALDELLO, Alexandre Xavier. **Análise comparativa de edifícios com pilares de aço e pilares mistos de aço-concreto**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Engenharia Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

CONGRESSO NACIONAL DA CONSTRUÇÃO, 3, 2007, Coimbra, Portugal. Congresso Construção 2007. **Artigo**. Coimbra: Universidade de Coimbra, 2007. Disponível em: <https://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/8754>. Acesso em: 05 set. 2022.

COSTA, Lucio. O arranha-céu e o Rio de Janeiro. [Entrevista concedida a] O País, Rio de Janeiro, p. 20-25, 01 jul. 1928. In: NOBRE, Ana Luiza (org.). Lucio Costa. Rio de Janeiro: Becodo Azougue, 2010.

CUNHA, Ana Clara Quintas da; HELENE, Paulo R. L. **Despassivação das armaduras de concreto por ação da carbonatação**. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/001171093>. Acesso em: 01 nov. 2022.

FERNANDES, Juliana Ferreira. **Pilares mistos**: tubos de aço com seções quadradas e retangulares e núcleo de concreto de alta resistência. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 1997.

FORTES, Adriano Silva. **Vigas de Concreto Armado Reforçadas com Fibras de Carbono**. Dissertação – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.

FREITAS, Maria Luiza Macedo Xavier. **Concreto Armado no Brasil**: Invenção, História, Revisões. 13º Seminário Docomomo Brasil, Salvador, 2019. Disponível em: <https://docomomo.org.br/wp-content/uploads/2020/04/119437.pdf>. Acesso em: 15 ago. 2022.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GIONGO, J. S. **Apostila: Concreto armado**. São Carlos, 2007.

HELENE, P. R. L. **Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto**. 2. ed. São Paulo: Pini, 1992.

JESUS, J. J. C. **Caraterização Geométrico-Estrutural de Pontes em Arco de Alvenaria na Região de Bragança**. São Paulo: Instituto Politécnico de Bragança, 2013.

JÚNIOR, C. M. **Deterioração de elementos de cobertura em concreto armado: diagnostico com enfoque na corrosão de armaduras**. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

LAPA, J. S. **Patologia, recuperação e reparo das estruturas de concreto armado**. Especialização em construção civil – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

LEAL, Lilian Luna de Souza; FAGUNDES, Fabiano. **Reforço estrutural com fibra de carbono**. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. 05, ed. 11, Vol. 09, pp. 31-46. São Paulo, 2020. ISSN: 2448-0959. Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-civil/fibra-de-carbono>. Acesso em: 26 mar. 2022.

LIMA, Felipe de Andrade e. **A ideia de cidade no renascimento**. Tese de Doutorado – Universidade de São Paulo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, São Paulo, 2012. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/16/16133/tde-19022013-151933/pt-br.php>. Acesso em: 28 ago. 2022.

M2P ENGENHARIA. **Execução de Recuperação e Reforço Estrutural de Pilar de Concreto**. Rio de Janeiro, 2021. Disponível em: <https://www.m2pengenharia.com/portfolio/execucao-de-recuperacao-e-reforc-estruturalde-pilar-de-concreto-copacabana-rj/>. Acesso em: 20 set. 2022.

MACHADO, A. de P.; MACHADO, B. A. **Reforço De Estruturas De Concreto Armado com Fibras de Carbono com Sistemas Compostos FRP: Teoria & Prática**. 1. ed. São Paulo: Pini, 2015.

MACHADO, Ari de Paula. **Manual da Viapol: manual de reforço das estruturas de concreto armado com fibras de carbono**. Disponível em: <http://www.viapol.com.br/media/97576/manual-fibra-de-carbono.pdf>. Acesso em: 13 nov. 2022.

MACHADO, Ari de Paula. **Manual de Reforço das Estruturas de Concreto Armado com Fibras de Carbono**. São Paulo: Viapol, [2011]. Disponível em: <https://www.viapol.com.br/media/97576/manual-fibra-de-carbono.pdf>. Acesso em: 11 ago. 2022.

MARCELLI, M. **Sinistros na construção civil: causas e soluções para danos e prejuízos em obras.** São Paulo: Pini, 2007.

MARIANO, José Roberto. **Recuperação Estrutural com ênfase no método da protensão externa.** Monografia (Especialização em Construção Civil) – Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, Belo Horizonte, 2015. *E-book*. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/BUBD-A9MJKE>. Acesso em: 04 abr. 2022.

MAZER, Wellington. **Fibra de Carbono pode reforçar estruturas de concreto.** [Belo Horizonte], [2020?]. Disponível em: <https://www.aecweb.com.br/revista/materias/fibra-de-carbono-e-usada-para-reforçar-estruturas-de-concreto-ja-existent/12079>. Acesso em: 20 mar. 2022.

MENACKER, Eduardo de Faria. **Reforço Estrutural com fibra de carbono em estruturas de concreto armado.** Dissertação (Mestrado Profissional em Engenharia Civil) – Universidade São Judas Tadeu, São Paulo, 2021. Disponível em: [https://repositorio.animaeducacao.com.br/bitstream/ANIMA/17542/1/Dissertac%C3%A7%C3%A3o\\_Eduardo\\_FINAL\\_POS\\_BANCA.pdf%20%2806-10-21%29.pdf](https://repositorio.animaeducacao.com.br/bitstream/ANIMA/17542/1/Dissertac%C3%A7%C3%A3o_Eduardo_FINAL_POS_BANCA.pdf%20%2806-10-21%29.pdf). Acesso em: 25 mar. 2022.

MOLIN, Dal; COITINHO, Denise Carpena. **Fissuras em estruturas de concreto armado: análise das manifestações típicas e levantamento de casos ocorridos no Estado do Rio Grande do Sul.** Rio Grande do Sul, 1988.

NUNES, Savina Lais Silva. **Simulação Numérica de Pilares Danificados e Recuperados com Fibra de Carbono Usando o CDP.** Tese de Doutorado – Universidade Federal do Ceará, Departamento de Engenharia Estrutural e Construção Civil, Fortaleza, 2021. Disponível em: [https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/61757/1/2021\\_dis\\_slsnunes.pdf](https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/61757/1/2021_dis_slsnunes.pdf). Acesso em: 08 abr. 2022.

OLIVEIRA, A. M. D. **Fissuras, trincas e rachaduras causadas por recalque diferencial de fundações.** Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2012.

PÉREZ, A. F. **Reforço de vigas ao cisalhamento com compósito de fibra de carbono.** Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) – Universidade de Brasília, Brasília, 2016.

REIS, L. S. N. **Sobre a recuperação e reforço de estruturas de concreto armado.** Tese (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2001.

RIPPER, T.; SOUZA, V. C. M. De. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto.** 1. ed. São Paulo, 1998.

ROMERO, José Roberto H. **Durabilidade do Concreto**. Apresentação. Universidade Paulista – UNIP, São Paulo, 2019. Disponível em: <https://slideplayer.com.br/slide/13344562/>. Acesso em: 18 ago. 2022.

S&P CLEVER BRASIL. **FRP de fibra de carbono**. São Paulo: sp-reinforcement, 2020. Disponível em: [https://www.spreinforcement.com.br/service/frp/?gclid=CjwKCAiA4KaRBhBdEiwAZi1zzgEHe61\\_GTcpjhZmtV2MF7\\_FPA8Xcj8eKxan4O12Xlycx5G6cXFJsRoCrSIQAvD\\_BwE](https://www.spreinforcement.com.br/service/frp/?gclid=CjwKCAiA4KaRBhBdEiwAZi1zzgEHe61_GTcpjhZmtV2MF7_FPA8Xcj8eKxan4O12Xlycx5G6cXFJsRoCrSIQAvD_BwE). Acesso em: 24 abr. 2022.

SANTOS, C. S. F. **Análise de soluções de reforço de estruturas de betão armado**. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) -- Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias, Lisboa, 2017.

SANTOS, Paulo Mascarenhas. **Comparação de Reforço com Chapas de Aço e Fibras de carbono em vigas de concreto armado submetidas à flexão simples**. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2008.

SCADELAI, Murilo A.; PINHEIRO, Lisbânio M. **Estruturas de Concreto**: Capítulo 16. São Paulo, 2003. Disponível em: <http://site.ufvjm.edu.br/icet/files/2016/08/apostila-pilares-libanio.pdf>. Acesso em: 25 mar. 2022.

SERPOL ENGENHARIA. **Fibra de Carbono para Reforço Estrutural: Quais são os benefícios?** [s. l.], [2022]. Disponível em: <https://serpolengenharia.com.br/2019/09/16/fibra-carbono-reforco-estrutural/> Acesso em: 01 abr. 2022.

SERRA, Marcus Vinícius Cardoso; SILVA, Thiago Henrique Lira. **Fibra de carbono: reforço estrutural em estrutura de concreto armado**. Revista Científica Semana Acadêmica. Fortaleza: Unieducar, 2019. Disponível em: [https://semanaacademica.org.br/system/files/artigos/artigo-\\_fibra\\_de\\_carbono.pdf](https://semanaacademica.org.br/system/files/artigos/artigo-_fibra_de_carbono.pdf) Acesso em: 15 ago. 2022.

SILVA, Erick Almeida da. **Técnicas de recuperação e reforço de estruturas de concreto armado**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Anhembí Morumbi, São Paulo, 2006. Disponível em: <https://www.passeidireto.com/arquivo/24598596/tecnicas-de-recuperacao-e-reforco-de-estruturas-de-concreto-armado>. Acesso em: 13 nov. 2022.

SOUSA, A. F.V. S. **Reparação, reabilitação e reforço de estruturas de betão armado**. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) – Universidade do Porto, Portugal, 2008.

SOUZA, V. C., e RIPPER, T. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. 1. ed. São Paulo: PINI, 1998.

TAGLIANE, Simone. **Pilares de Concreto: Saiba o que estes elementos significam para a Engenharia e Arquitetura**. Rio de Janeiro: Engenharia360,

2021. Disponível em: <https://engenharia360.com/pilares-de-concreto-na-engenharia-e-arquitetura/> Acesso em: 30 mar. 2022.

TAKEUTI, A. R. **Reforço de pilares de concreto armado por meio de encamisamento com concreto de alto desempenho.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 1999.  
THOMAZ, Ercio. **Trincas em edifícios: causas, prevenção e recuperação.** 1. ed. São Paulo: Pini, 1989.

THOMÉ, Gustavo Rintzel. **Reforço Estrutural á flexão com fibras de carbono: automatização do modelo de cálculo de dimensionamento.** Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade do Sul de Santa Catarina, Palhoça, 2017. *E-book*. Disponível em: <https://repositorio.animaeducacao.com.br/bitstream/ANIMA/4766/4/final.pdf>. Acesso em: 03 ago. 2022.

Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004. *E-book*. Disponível em: [https://www.bing.com/ck/a?!&&p=3a678435b1274db4JmltdHM9MTY2OTE2MTYwMCZpZ3VpZD0wMDUzNTA3My02ZDlmLTY5ZDgtMGZiNy00MjJkNmNjZTY4YzEmaW5zaWQ9NTE1Nw&ptn=3&hsh=3&fclid=00535073-6d9f-69d8-0fb7-422d6cce68c1&psq=CARNEIRO%2c+V.+A.+L.+Refor%c3%a7o+de+vigas+e+pilares+de+concreto+com+materiais+comp%c3%b3sites+de+resina+e+fibras.+Tese+\(Doutorado+em+Engenharia+Civil\)+%e2%80%93+Universidade+Federal+do+Rio+de+Janeiro%2c+Rio+de+Janeiro%2c+2004.&u=a1aHR0cDovL3d3dy5jb2MudWZyai5ici9wdC9kb2N1bWVudHMyl2RvdXRvcmlkby8yMDA0LTlvNzYxLWx1aXotYW50b25pby12aWVpcmEtY2FybmVpcm8tZG91dG9yYWRvL2ZpbGU&ntb=1](https://www.bing.com/ck/a?!&&p=3a678435b1274db4JmltdHM9MTY2OTE2MTYwMCZpZ3VpZD0wMDUzNTA3My02ZDlmLTY5ZDgtMGZiNy00MjJkNmNjZTY4YzEmaW5zaWQ9NTE1Nw&ptn=3&hsh=3&fclid=00535073-6d9f-69d8-0fb7-422d6cce68c1&psq=CARNEIRO%2c+V.+A.+L.+Refor%c3%a7o+de+vigas+e+pilares+de+concreto+com+materiais+comp%c3%b3sites+de+resina+e+fibras.+Tese+(Doutorado+em+Engenharia+Civil)+%e2%80%93+Universidade+Federal+do+Rio+de+Janeiro%2c+Rio+de+Janeiro%2c+2004.&u=a1aHR0cDovL3d3dy5jb2MudWZyai5ici9wdC9kb2N1bWVudHMyl2RvdXRvcmlkby8yMDA0LTlvNzYxLWx1aXotYW50b25pby12aWVpcmEtY2FybmVpcm8tZG91dG9yYWRvL2ZpbGU&ntb=1). Acesso em: 13 nov. 2022.

VALLE, Ângela do et. al. **Apostila de Análise Estrutural I** – Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil, Santa Catarina, 2013. *E-book*. Disponível em: <https://www.studocu.com/pt-br/document/escola-superior-de-administracao-marketing-e-comunicacao/teoria-das-estruturas/analise-estrutural-i-ufsc/10225026>. Acesso em: 12 ago. 2022.

VERÇOZA, Ênio José. **Patologia das edificações.** Porto Alegre: Sagra, 1991. *E-book*. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/538887125/Patologia-das-Edificacoes-Enio-Jose-Vercoza-SAGRA-duas-pags>. Acesso em: 10 set. 2022.

VERSCHLEISSER, Roberto. **Aplicação de Estruturas de Bambu no Design de Objetos: como construir objetos leves, resistentes, ecológicos e de baixo custo.** Tese (Doutorado em Design) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: [https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/12258/12258\\_1.PDF](https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/12258/12258_1.PDF). Acesso em: 23 set. 2022.