

**UNIEVANGÉLICA**

**CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**AKEMI SAKAMOTO CARDOSO**

**MATHEUS BARBOSA DA MATA**

**REFORÇO ESTRUTURAL COM MANTA DE FIBRA DE  
CARBONO**

**ANÁPOLIS / GO**

**2020**

**AKEMI SAKAMOTO CARDOSO  
MATHEUS BARBOSA DA MATA**

**REFORÇO ESTRUTURAL COM MANTA DE FIBRA DE  
CARBONO**

**ANÁPOLIS / GO**

**2020**

**AKEMI SAKAMOTO CARDOSO  
MATHEUS BARBOSA DA MATA**

**REFORÇO ESTRUTURAL COM MANTA DE FIBRA DE  
CARBONO**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA**

**ORIENTADORA: WANESSA MESQUITA G. QUARESMA**

**ANÁPOLIS / GO: 2020**

# FICHA CATALOGRÁFICA

CARDOSO, AKEMI SAKAMOTO; MATA, MATHEUS BARBOSA DA

REFORÇO ESTRUTURAL COM MANTA DE FIBRA DE CARBONO

XXP, 297 mm (ENC/UNI, Bacharel, Engenharia Civil, 2020).

TCC - UniEvangélica  
Curso de Engenharia Civil.

- |                       |                    |
|-----------------------|--------------------|
| 1. Fibra de Carbono   | 2. Resistência     |
| 3. Reforço Estrutural | 4. Patologias      |
| I. ENC/UNI            | II. Título (Série) |

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

CARDOSO, AKEMI SAKAMOTO; MATA, MATHEUS BARBOSA. REFORÇO ESTRUTURAL COM MANTA DE FIBRA DE CARBONO. TCC, Curso de Engenharia Civil, UniEvangélica, Anápolis, GO, p. 2020.

## CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Akemi Sakamoto Cardoso

Matheus Barbosa da Mata

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO: Reforço Estrutural com Manta de Fibra de Carbono

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil

ANO: 2020

É concedida à UniEvangélica a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

---

Akemi Sakamoto Cardoso

E-mail: akemicardoso98@gmail.com

---

Matheus Barbosa da Mata

E-mail: matheusbarbosadamata@hotmail.com

**AKEMI SAKAMOTO CARDOSO  
MATHEUS BARBOSA DA MATA**

**REFORÇO ESTRUTURAL COM MANTA DE FIBRA DE  
CARBONO**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE  
ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA COMO PARTE DOS REQUISITOS  
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL**

**APROVADO POR:**

---

**WANESSA MESQUITA G. QUARESMA, Mestra (UniEVANGÉLICA)  
(ORIENTADORA)**

---

**VANESSA HONORATO DOMINGOS, Mestra (UniEVANGÉLICA)  
(EXAMINADOR INTERNO)**

---

**CARLOS EDUARDO FERNANDES, Mestre (UniEVANGÉLICA)  
(EXAMINADOR INTERNO)**

**DATA: ANÁPOLIS/GO, 11 de dezembro de 2020.**

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus por ter me dado forças e discernimento para conseguir chegar até aqui.

Agradeço imensamente aos meus pais, Letícia Martins e Wladimir Cardoso, por me incentivar e nunca desistirem dos meus sonhos, estando sempre ao meu lado e sendo a minha maior inspiração de vida. Agradeço também, aos meus irmãos Yukari Sakamoto, Wladimir Filho e Manuella Cardoso, por serem os meus ``Anjos da Guarda``, sem a força que eles me transmitem com certeza não teria chegado até onde cheguei.

Agradeço a meu marido Matheus Oliveira, que teve tanta paciência e que enfrentou comigo todos os desafios desses longos cinco anos, sempre me apoiando e tirando forças, de onde não tinha, para me ajudar. Todo o meu sucesso, com certeza, tem a ver com a existência dele em minha vida.

Agradeço à meus avós, que sempre acreditaram em mim, apostaram sempre em minha vitória.

Agradeço à professora Wanessa Mesquita G. Quaresma, por ter aceitado ser nossa orientadora nesse TCC, dividindo com a gente um pouco de seu enorme conhecimento. Sendo sempre essa pessoa iluminada e com um carisma gigante, sempre nos deu a direção certa para a conclusão de mais essa etapa.

Por fim, deixo aqui o meu eterno agradecimento a meu parceiro Matheus Barbosa da Mata, que esteve comigo durante todos esses anos, acompanhou todas minhas lutas diárias, sempre com uma paciência e tranquilidade inconfundível. O seu apoio e compreensão, tornou minhas noites mais leves e divertidas.

Akemi Sakamoto Cardoso

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus por me dar o desejo de adquirir conhecimento e a força de vontade para ir em busca dos meus sonhos, por ter me conduzido até aqui com saúde, por não me deixar duvidar nem fraquejar, ou recuar diante das dificuldades, assim concluindo mais essa etapa.

Agradeço aos meus familiares por todo o apoio que me concederão em especial aos meus pais que sempre me incentivaram a estudar e a crescer intelectualmente sempre buscando ser um ser humano melhor, a eles que batalharam por mim e ao meu lado e tornaram possível essa caminhada.

Agradeço ao Centro Universitário de Anápolis Uni Evangélica por fornecer toda a estrutura e ambiente necessário e estimulante para minha jornada, ao corpo administrativo, e a todos os demais funcionários, e em especial aos queridos professores por todo o conhecimento transmitido ao longo dos anos.

Agradeço à professora Wanessa Mesquita G. Quaresma por aceitar ser nossa orientadora, por dedicar do seu tempo escasso e do seu conhecimento abundante à causa, sem eles este trabalho não seria concluído.

Por fim agradeço à minha parceira de trabalho Akemi Sakamoto Cardoso que me acompanhou todos esses anos acadêmicos, incentivando e apoiando um ao outro, que apesar das dificuldades tornou o processo muito mais divertido, juntos demos esse passo em direção ao futuro.

Matheus Barbosa Da Mata

## RESUMO

Considerando a busca contínua por novas tecnologias e a manutenção dos elementos estruturais, observa-se o crescente número de obras que são necessárias reforços e interferências, oriundos de diversos motivos, sejam eles de falha de construção ou por falta de manutenção. Se fez necessário um estudo mais aprofundado sobre essas patologias que foram se desenvolvendo no decorrer dos tempos. O presente trabalho faz uma análise experimental do uso da fibra de carbono em reforços estruturais, para o aumento de resistência. O reforço estrutural com fibra de carbono, é uma alternativa inovadora onde o objetivo principal de uso é sanar problemas e patologias relacionados a baixa resistência. Por ser um método, de alto custo esse tipo de reforço ainda tem sido pouco usado nas construções atuais, porém vem ganhando, pouco a pouco, espaço devido à suas respostas ao ganho de resistência da peça sem grandes alterações estéticas do ambiente.

Alcançando-se resultados satisfatórios no ensaio laboratorial, uma vez que a manta reforçada com polímeros de fibra de carbono contribuiu com o aumento da resistência à compressão axial em 25,6% nos corpos de prova do Grupo II, um aumento da resistência à compressão axial em 52,28% nos corpos de prova do Grupo III e ainda um aumento da resistência à compressão axial em 77,5% nos corpos de prova do Grupo IV.

Concluindo-se então que o uso da manta de polímeros reforçados com fibra de carbono para o aumento da resistência à compressão axial do concreto armado é sim um método eficaz e vantajoso a ser utilizado na construção civil, seja como tratamento para patologias ou como adequação do uso da estrutura.

### **PALAVRAS-CHAVE:**

Fibra de Carbono. Resistência. Reforço Estrutural. Patologias.



## **ABSTRACT**

Calls for the continuous search for new technologies and the maintenance of the elements adapts, it is observed the growing number of works that are necessary reinforcements and interferences, coming from several reasons, they are due to construction failure or lack of maintenance. A more in-depth study was needed on these pathologies that have developed over time. The present work makes an experimental analysis of the use of carbon fiber in reinforcements, for the increase of resistance. Structural reinforcement with carbon fiber is an innovative alternative where the main purpose of use is to solve problems and pathologies related to low resistance. As it is a method, the high custom of this type of reinforcement has still been little used in current constructions, but it has been gaining space, little by little, due to its responses to the resistance gain of the piece without major aesthetic changes in the environment.

Achieving satisfactory results in the laboratory test, since the blanket reinforced with carbon fiber polymers contributed to the 25.6% increase in axial compression resistance in Group II specimens, an increase in axial compression resistance. 52.28% in Group III specimens and an increase in resistance to axial compression in 77.5% in Group IV specimens.

In conclusion, then, the use of the carbon fiber reinforced polymer blanket to increase the axial compression strength of reinforced concrete is an effective and advantageous method to be used in civil construction, either as a treatment for pathologies or as an adaptation of the use of the structure.

### **KEYWORDS:**

Carbon fiber. Resistance. Structural reinforcement. Pathologies.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 01 - Fissuração típica (real) nos cantos das aberturas, sob atuação de sobrecargas. ....	27
Figura 02 - Trincas em parede de vedação: deformação do suporte maior que a deformação da viga superior.....	28
Figura 03 - Modelo do processo de carbonatação pela difusão do CO <sub>2</sub> através dos poros do concreto. 30	
Figura 04 - Corrosão da armadura .....	32
Figura 05 – Corte sendo executado.....	38
Figura 06 - Detalhe da forma tipo “cachimbo”.....	41
Figura 07 - Detalhe da forma tipo “pressão”.....	41
Figura 08 – Execução de concreto projetado com mangote. ....	42
Figura 09 - -Preparo de superfície para argamassa. ....	43
Figura 10 - Passo a passo do jateamento de argamassa com adesivo acelerador. ....	44
Figura 11-Exemplos de reforço com chapa colada e com buchas expansivas.....	45
Figura 12-Reforço utilizando cantoneiras metálicas.....	46
Figura 13 - Sistema de aplicação das folhas flexíveis de CFRP.....	54
Figura 14 – Colocação do concreto no molde. ....	62
Figura 15 – Adensamento do concreto.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figura 16 – Arrasamento do concreto.....	62
Figura 17 – Lixamento do corpo de prova .....	63
Figura 18 – Passagem de epóxi na manta.....	64
Figura 19 – Passagem de epóxi no substrato.....	64
Figura 20 – Aplicação da manta. ....	65
Figura 21 - Resultado do Rompimento dos Corpos de Provas (média) .....	66

## LISTA DE TABELA

Tabela 01 - Classificação das fissuras e trincas de acordo com a abertura. ....	28
Tabela 02 – Limite da distribuição granulométrica do agregado miúdo .....	57
Tabela 03 - Limites granulométricos de agregado graúdo. ....	58
Tabela 04 – Ensaio de Compressão axial. ....	66

## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 1 – Procedimentos para preparo do substrato.....	34
Quadro 2 – Procedimentos para limpeza da superfície de concreto .....	34

## **LISTA DE ABREVIATURA E SIGLA**

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
NBR	Norma Brasileira
ABCPA	Associação Brasileira de Cimento Portland
PRFC	Polímeros Reforçados com Fibra de Carbono
PAN	Poliacrilonitrila
NCDTC	Núcleo de Competência para Desenvolvimento de Tecnologia de Carbono
CTEx	Centro de Tecnologia do Exército
CUB	Custo Unitário Básico

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>22</b>
<b>1.1 JUSTIFICATIVA.....</b>	<b>23</b>
<b>1.2 OBJETIVOS .....</b>	<b>23</b>
1.2.1 OBJETIVO GERAL .....	23
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	23
<b>1.3 METODOLOGIA .....</b>	<b>24</b>
<b>1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO .....</b>	<b>24</b>
<b>2 ASPECTOS TEORICOS INERENTES À PATOLOGIA .....</b>	<b>25</b>
<b>2.1 CONCEITO DE PATOLOGIAS.....</b>	<b>25</b>
<b>2.2 PATOLOGIAS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO .....</b>	<b>26</b>
2.2.1 FISSURAÇÃO E TRINCAS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO.....	27
2.2.2 CARBONATAÇÃO E EFLORESCÊNCIA EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO.....	29
2.2.3 DESAGREGAÇÃO E A PERDA DE ADERÊNCIA DO CONCRETO.....	30
2.2.4 CORROSÃO DA ARMADURA DE AÇO NO CONCRETO.....	31
<b>2.3 METODOS USUAIS DE REPARO e reforço DE ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO</b>	<b>32</b>
<b>2.3.1 RECUPERAÇÃO SUPERFICIAL DO CONCRETO EM ESTRUTURAS DE</b>	
<b>CONCRETO ARMADO .....</b>	<b>33</b>
2.3.1.1 POLIMENTO SUPERFICIAL DE CONCRETO .....	35
2.3.1.2 LAVAGEM NO CONCRETO .....	35
2.3.1.3 SATURAÇÃO.....	37
2.3.1.4 CORTE.....	37
<b>2.3.2 RECUPERAÇÃO DE DANOS PROFUNDOS NO CONCRETO .....</b>	<b>39</b>
2.3.2.1 REPARO COM GRAUTE.....	39
2.3.2.2 REPARO COM CONCRETO CONVENCIONAL .....	40
2.3.2.3 REPARO COM CONCRETO PROJETADO.....	42
2.3.2.4 REPARO COM ARGAMASSA.....	43
<b>2.3.3 ADIÇÃO DE CHAPAS E PERFIS METALICOS .....</b>	<b>44</b>
<b>2.3.4 REFORÇO DE PILARES COM ENCAMISAMENTO.....</b>	<b>46</b>
<b>3 MANTA DE POLÍMEROS REFORÇADOS COM FIBRA DE CARBONO (PRFC).....</b>	<b>47</b>
<b>3.1 CONCEITO DA MANTA DE PRFC .....</b>	<b>48</b>
<b>3.2 SURGIMENTO NO BRASIL .....</b>	<b>49</b>
<b>3.3 USO DA MANTA DE PRFC NA CONSTRUÇÃO CIVIL.....</b>	<b>50</b>
3.3.1 VANTAGENS E DESVANTAGENS DO USO DA FIBRA DE CARBONO .....	51
<b>3.4 REFORÇO DE PILARES COM POLÍMEROS REFORÇADOS COM FIBRA DE</b>	
<b>CARBONO (PRFC).....</b>	<b>52</b>
3.4.1 SISTEMA DE APLICAÇÃO DA MANTA DE PRFC.....	53
3.4.2 AUMENTO DA CAPACIDADE RESISTENTE EM PEÇAS DE CONCRETO ARMADO .....	55

<b>4 PROGRAMA EXPERIMENTAL .....</b>	<b>56</b>
<b>4.1 EQUIPAMENTOS UTILIZADOS.....</b>	<b>56</b>
<b>4.2 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAS.....</b>	<b>57</b>
4.2.1 DETERMINAÇÃO DA COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA SEGUNDO A NBR NM 248:2003 .....	57
4.2.2 DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA DOS AGREGADOS SEGUNDO A NBR NM 52:2009 E NBR NM 53:2009	58
4.2.3 DETERMINAÇÃO DA MASSA UNITÁRIA DOS AGREGADOS SEGUNDO A NBR NM 45:2006 .....	59
<b>4.3 MÉTODO DE DOSAGEM.....</b>	<b>60</b>
4.3.1 DEFINIÇÃO DO TRAÇO DO CONCRETO.....	60
4.3.2 CONFECÇÃO DOS CORPOS DE PROVA .....	61
4.3.3 CURA DO CONCRETO.....	62
<b>4.4 PROCESSO DE REFORÇO DO CORPO DE PROVA CILINDRICO COM FIBRA DE CARBONO.....</b>	<b>63</b>
<b>5 RESULTADOS .....</b>	<b>660</b>
<b>6 CONCLUSÃO.....</b>	<b>693</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>704</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A deterioração estrutural, pode-se dar ao envelhecimento natural da estrutura ou pela irresponsabilidade de profissionais que optam por economizar na compra de matérias que fogem das especificações de projeto. O estudo de como corrigir (ou realizar manutenção) as possíveis patologias, é essencial para a garantia da vida útil do concreto e conseqüentemente a segurança da estrutura. Com isso surgiu diversos métodos de reforço estrutural, sendo alguns dos mais usuais, as chapas metálicas, o aumento de seção e a tela metálica, usados para o aumento da resistência em pilares de concreto armado.

Todavia, percebe-se que há necessidade de estudar diferentes técnicas, pois na construção civil há inúmeras situações e nem sempre técnicas tradicionais são melhor recomendadas para certas situações.

Um método que vem se destacando no mercado por sua eficácia no reforço da peça, e fácil execução e manejo é a aplicação da manta de fibra de carbono que por ser leve, em comparação com os outros métodos, não altera significativamente o peso da estrutura.

Outro uso presente na construção para a manta está ligado não a patologias, mas sim no reforço voltado para a adequação de uso, diverso daquele proposto originalmente em projeto executado. Ou ainda como aliada à arquitetura há o uso com a finalidade de alcançar pilares cada vez mais esbeltos, podendo assim utilizar a manta para equiparar a resistência de um pilar com dimensão superior seguindo assim a modernização e mantendo a segurança requerida pela engenharia.

Apesar de já ser utilizada na construção civil não é algo que esteja presente de forma efetiva por alguns fatores, dentre eles o preço e a falta de informação acerca do custo benefício comparado com outros métodos semelhantes de ganho de resistência.

Tendo em vista tais pontos, é imprescindível que o estudo do uso da manta de fibra de carbono para reforço estrutural em pilar, siga adiante alcançando lacunas que ainda possam existir sobre o assunto. Foi levando essa abordagem em consideração que decidimos por realizar tais estudos e experiências na busca de resultados que atestem ou não o uso benéfico da manta na construção, seja na correção de patologias ou no uso da arquitetura.



## **1.1 JUSTIFICATIVA**

No Brasil, as pesquisas sobre materiais compósitos de fibras de carbono são bem recentes, e existe uma carência de bibliografias que tratem do assunto, além de não existir nenhuma norma que regulamente o uso desse material.

No entanto, estudos mais aprofundados sobre este método de reforço já foram feitos em outros países. Atualmente, existem algumas normas internacionais que são utilizadas para se projetar o reforço com fibras de carbono, como a ACI 440 2R:02 (2008).

Devido a elevada rigidez e resistência à tração, baixo peso específico, bom comportamento a fadiga, excelente resistência a fatores ambientais e facilidade no manuseio, transporte e aplicação a fibra de carbono vem ganhando espaço na construção civil. Justificando assim, a necessidade em desenvolver estudos que apresentem o comportamento físico e mecânico desse material como reforço estrutural.

Para isso será realizado experimentos laboratoriais visando colher dados que indiquem a proporção do ganho de resistência em peças de concreto com aplicação de manta de fibra de carbono, atestando sua eficácia.

Baseado nos trabalhos de PLÁCIDO (2014), BRONZE (2016), FERREIRA E CUNHA (2013) e SOUZA E VARGAS (2016).

## **1.2 OBJETIVOS**

Os objetivos gerais e específicos serão apresentados abaixo.

### **1.2.1 OBJETIVO GERAL**

O objetivo desta pesquisa é o de analisar a eficiência do reforço estrutural com fibra de carbono em pilares curtos de concreto armado.

### **1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Avaliar a influência do número de camadas de reforço com fibras de carbono na resistência à compressão axial centrada;
- Analisar a eficiência do reforço com fibras de carbono para uma seção transversal quadrada;

- Comparar os resultados obtidos com os resultados gerados pelas equações teóricas para o confinamento de pilares com fibra de carbono.

### **1.3 METODOLOGIA**

Baseado em uma pesquisa bibliográfica de PLÁCIDO (2014), BRONZE (2016), FERREIRA E CUNHA (2013) e SOUZA E VARGAS (2016). será desenvolvido um programa experimental que contribuirá para o entendimento da técnica de reforço com manta de fibra de carbono, para cumprimento dos objetivos propostos. O melhor detalhamento desse tópico estará disponível no capítulo de procedimento experimental.

### **1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO**

No primeiro capítulo é apresentada uma sucinta introdução sobre o tema abordado de um modo geral, mostra os objetivos gerais e específicos, a justificativa pela qual o tema foi escolhido, a metodologia a ser utilizada e toda a estrutura do trabalho a seguir.

O segundo capítulo contém um referencial teórico sobre o concreto, onde estão descritos um breve histórico, a sua aplicação, características e o comportamento diante o esforço mecânico de compressão axial e sobre o seu desempenho diante a elevadas temperaturas.

No terceiro capítulo se encontra a razão pela qual é necessária a utilização de reforços estruturais, demonstrando tipos de patologias em estruturas de concreto e seus respectivos tratamentos, também é abordado com maior profundidade a reabilitação de uma estrutura com a utilização da fibra de vidro.

O quarto capítulo descreve toda a metodologia experimental, onde será explicado todo o procedimento, expondo os materiais e técnicas utilizadas.

No quinto capítulo será possível validar todos os resultados obtidos através do experimento, através de equações e observações feitas durante o procedimento

E por fim no sexto capítulo estará disposto as considerações finais, onde será feita uma avaliação dos fatos relacionado a toda a pesquisa realizada.

## 2 ASPECTOS TEORICOS INERENTES À PATOLOGIA

Todo esse conhecimento sobre o comportamento das estruturas levou à dimensionamentos mais precisos e reais, gerando construções mais econômicas. Entretanto, qualquer erro em alguma fase da construção poderá trazer situações de riscos. Ou seja, como considerado por Beber (2003, p.3) “as estruturas de concreto armado de hoje, são, portanto, mais suscetíveis a apresentar um quadro patológico do que as mais antigas [...]”.

Assim esse capítulo visa abordar sobre os aspectos inerentes à patologia em Concreto Armado.

### 2.1 CONCEITO DE PATOLOGIAS

O termo patologia tem a origem grega e é formada pela junção de *páthos* = doença, e *logos* = estudo. Sendo assim, patologia é o estudo da doença. Muito utilizado nas diversas áreas da ciência migrou para a construção civil quando se notou um crescente aumento de problemas significativos que se tornavam recorrentes em canteiro ou até no pós obra, problemas estes que tiveram de serem estudados e de alguma forma solucionados. Dando assim origem à ciência das patologias em construção civil (FRANÇA et al., 2011).

O surgimento das “doenças” na construção civil ocorreu devido a diversos fatores. Dentre eles podemos destacar o avanço da tecnologia empregada na construção, bem como o descobrimento de novos materiais utilizados na obra e novas exigências por parte do mercado imobiliário. De tal forma que a qualificação profissional da mão de obra não conseguiu acompanhar os demais avanços ou suprir a demanda solicitada gerando um atraso nesse aspecto e assim um descompasso (ZUCHETTI, 2015).

Com a evolução e aumento do número de edifício e obras de grande porte, atrelada às exigências da arquitetura por pilares cada vez mais esbeltos e vãos maiores. Assim como a pressão econômica implícita por construções mais rápidas e mais baratas visando lucros maiores. Acarretaram o aumento da demanda de mão de obra em um curto espaço de tempo, não proporcionando tempo hábil para a devida qualificação (BORSATO, 2009).

Tais fatores reduziram o rigor empregado, a exigência construtiva solicitada, o necessário acompanhamento profissional por parte de engenheiros e o estreitamento entre qualidade e economia, ocasionaram a perda da qualidade na construção dando origem às até então não previstas, patologias (RIBEIRO, 2006)

Outros fatores que podem gerar problemas patológicos estão presentes no momento da concepção do projeto devido a um mau planejamento, negligência ou imperícia por parte do engenheiro, que uma vez levado à fase construtiva ocasiona inúmeros defeitos sendo necessário o estudo patológico do problema afim de reverter a situação (GRANATO, 2013).

E ainda os vícios construtivos gerados no momento da execução do projeto que mesmo correto pode gerar patologias. Quando não há um planejamento no canteiro de obra, ou com o uso de mão de obra não qualificada, assim como a falta de fiscalização, execução de forma incorreta e não programada, péssimas condições de trabalho para os colaboradores, materiais de segunda linha visando economia ou a irresponsabilidade técnica. São estes alguns dos fatores que geram patologias na execução do projeto (SANTOS e BECKHAUSER, 2018).

Há que se falar ainda do mau uso da estrutura por parte dos ocupantes, seja por desleixo ou ignorância. O uso incorreto da construção pode acarretar patologias de vários níveis, seja do tipo superficial até problemas estruturais que acarretem sua completa inutilização da construção. Isso devido à falta de manutenção exigida ou até em uso diferente daquele programado na concepção do projeto.

Assim, a patologia, passou a estudar a causa e origem dos problemas construtivos encontrados no canteiro de obra e no pós obra. Engenheiros passaram a se especializar e estudar os sintomas e manifestações patológicas. Capacitando-se a diagnosticar as consequências de tais efeitos e o mais importante, os mecanismos de correção deles.

Tal ciência, se ramificou por todas as áreas da construção civil e se fez de grande valia em todas elas, no entanto, pertinente ao objetivo do trabalho, cabe enfatizar a cerca de um ramo específico àquele que trata de patologias em estruturas de concreto armado, restringindo ainda mais devido às circunstâncias do trabalho, quando se tratando de pilares de concreto armado.

## **2.2 PATOLOGIAS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO**

As principais manifestações patológicas encontradas em estruturas de concreto armado são a fissuração, a carbonatação, a desagregação do concreto e o desgaste do concreto. Sendo que boa parte destes defeitos se originaram no momento da concepção do projeto ou na execução e uma pequena porcentagem se originam do uso do edifício de maneira impropria (ANDRADE, 1997).

Os erros originários da concepção do projeto se devem principalmente a inobservância da norma técnica relacionada a projeto de concreto armado a NBR 6118/2014 que traz as

prerrogativas, normas de segurança e métodos para se projetar uma estrutura de concreto armado. Podendo tal fator ocorrer por negligência do engenheiro responsável ou por imperícia.

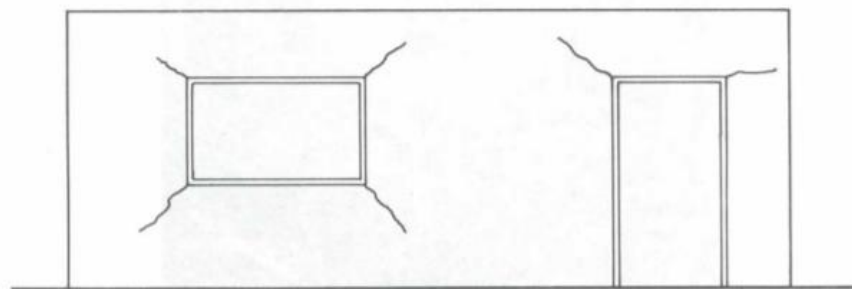
Já os erros cometidos na execução são ocasionados por um mal planejamento no canteiro de obra, falta de fiscalização no decorrer da execução, mão de obra desqualificada ou não ambientada a uma nova tecnologia e inexistência de um controle de qualidade.

### 2.2.1 FISSURAÇÃO E TRINCAS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

A fissuração é uma manifestação patológica recorrente das estruturas de concreto armada. Tendo como as principais causas os erros de projeto, deficiências na execução, na cura do concreto, falta de controle da variação de temperatura, reações expansivas não previstas, carregamentos excessivos das estruturas, ataques químicos e recalques diferenciais (QUADROS, 2015).

Ainda há as causas, segundo Souza e Ripper (1998), provenientes a partir da deficiência de projeto, de contração plástica, do assentamento do concreto, perda de aderência, movimentação de escoramentos ou formas no momento do lançamento, da retração, corrosão das armaduras. Tais fissuras e trincas podem ainda serem provocadas mediante à dilatação e contração do concreto, movimentação da estrutura, atuação de sobre cargas. Como mostrado na Figura 01.

**Figura 01 - Fissuração típica (real) nos cantos das aberturas, sob atuação de sobrecargas.**

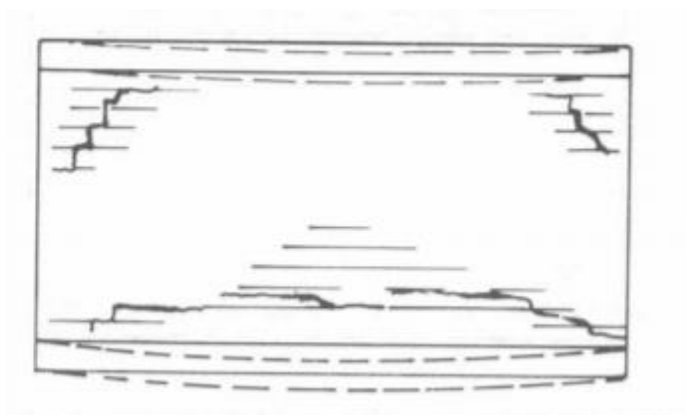


**Fonte: THOMAS, (1989).**

Em se tratando de vigas esse tipo de manifestação patológica se deve a um subdimensionamento, erros de armação, falhas na concretagem, desaprumos excessivos, reações expansivas no elemento estrutural e movimentação acentuadas do vigaento. As

alvenarias são os componentes mais suscetíveis à deformação de vigas e lajes. Pode-se ver na Figura 02.

**Figura 02 - Trincas em parede de vedação: deformação do suporte maior que a deformação da viga superior.**



**Fonte: THOMAS, (1989)**

Deve-se levar em conta a origem da fissuração e a intensidade e magnitude para que ela se enquadre como uma patologia, pois microfissuras podem ocorrer devido as características físico-químicas do concreto não apresentando riscos para a estrutura. Assim a norma técnica NBR 6118/2014 traz um quadro elencando a dimensão aceitáveis de fissuras:

Estados de fissuração aceitáveis contidos na NBR 6118 (ABNT, 2003):

- Peças não protegidas em meios agressivos- abertura < 0.1 mm;
- Peças não protegidas em meios não agressivos- abertura < 0.2 mm;
- Peças protegidas- abertura < 0.3 mm.

De acordo com a espessura podemos classificar as anomalias como fissura, trinca, rachadura, fenda ou brecha. Veja na tabela a seguir:

**Tabela 01 - Classificação das fissuras e trincas de acordo com a abertura.**

<b>ANOMALIAS</b>	<b>ABERTURAS (mm)</b>
Fissura	Até 0,5
Trinca	De 0,5 a 1,5
Rachadura	De 1,5 a 5,0
Fenda	De 5,0 a 10,0
Brecha	Acima de 10,0

**Fonte: Zanzarini (2016, p.25)**

Quando se fala em tratamento de fissuras causadas por flexão, há dois procedimentos a seguir. Fazendo a redução da sobrecarga e posterior tratamento da patologia, preenchendo as fissuras ou quando não for possível reduzir a sobre carga ou esta tenha que ser manter, parte-se para o reforço estrutural (BRAGA, 2010).

O método de tratamento no caso de preenchimento de fissuras, em ambientes não agressivos, aberturas com diâmetro menores que 0,3 mm dispensa tratamento e para aberturas maiores, em caso de fissuras ativas, tratar com selante, e fissuras passivas tratar com resina epóxi (GONÇALVES, 2015).

Já em ambientes agressivos e úmido o método de tratamento para aberturas menores que 0,1 mm não é necessário e para aberturas maiores o tratamento é o mesmo que o para ambientes não agressivo.

Quando o reforço estrutural se fizer necessário, deve-se envolver profissionais altamente especializados, desde a análise previa da situação, na elaboração de projetos específicos, definição de melhores materiais e equipamentos a serem utilizados e por fim o acompanhamento da execução por mão de obra qualificada.

Quando se tratando de fissuras por cisalhamento, pode-se fazer o reforço estrutural para que a estrutura suporte a carga atuante inalterada. Ou pode-se reduzir a sobrecarga e manter as condições originais da estrutura, no entanto isso irá depender do uso e das recomendações da norma brasileira (VELOSO, 2018).

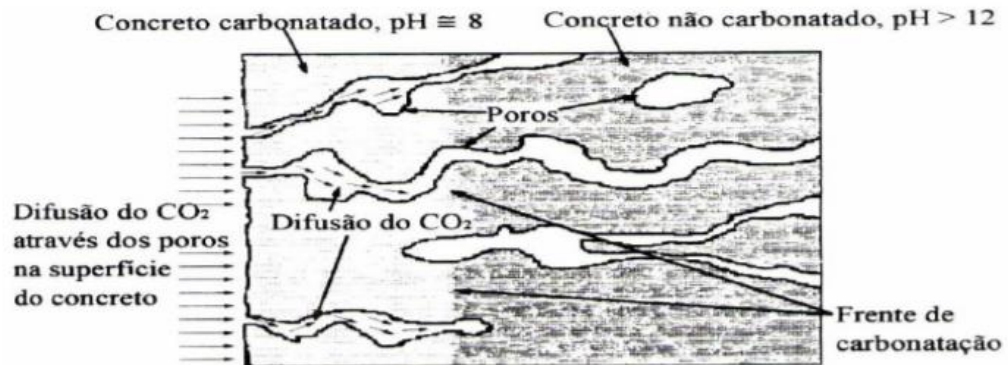
Quando ocorre a fissuração por compressão o método usual para corrigir tal patologia é o reforço estrutural, podendo este ser feito de várias maneiras, utilizando-se da colagem de chapas de aço, ou a colocação de armadura suplementar e posterior enchimento com graute ou microconcreto (SILVA e GASSENFERTH, 2019).

Quando a fissuração se dá pela tensão de punção, o reforço para corrigir tal patologia pode ser feito com concreto normal, microconcreto, graute, chapas metálicas, ou perfiz metálicos.

## **2.2.2 CARBONATAÇÃO E EFLORESCÊNCIA EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO**

A carbonatação pode ocorrer em qualquer superfície de concreto quando há a reação de dióxido de carbono presente no ar ou na água, com as substâncias da pasta de cimento endurecido formando carbonatos. Essa irregularidade, se dá pela redução do pH do concreto, causada pela ação do anidrido carbônico (CO<sub>2</sub>), sobre o cimento hidratado, formando assim uma camada de concreto carbonatado, como mostra a Figura 03 (KULAKOWSKI, 2002).

**Figura 03 - Modelo do processo de carbonatação pela difusão do CO<sub>2</sub> através dos poros do concreto.**



**Fonte: GUIMARÃES, 1997.**

Essa manifestação patológica é gerada diretamente no concreto, mas seu maior perigo é quanto à corrosão das armaduras. A carbonatação diminui a alcalinidade, que é inerente ao concreto, responsável por proteger as ferragens da corrosão formando um filme de óxido protetor em volta da armadura da peça. Com a diminuição do pH e o contato direto com a umidade e oxigênio o concreto armado pode ficar completamente comprometido ( BRONZE, 2016).

Deve-se salientar que essa irregularidade se dá, na maioria das vezes, pela má qualidade dos produtos usados no concreto. Porém, pode-se notar que a concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera, a porosidade e permeabilidade do concreto e o aparecimento de fissuras podem aumentar o risco de incidência da carbonatação. Sendo assim, a qualidade dos produtos utilizados deve garantir o perfeito cobrimento das peças, não deixando que a camada de concreto carbonatado interrompa a vida útil da estrutura (BORGES, 2008).

### **2.2.3 DESAGREGAÇÃO E A PERDA DE ADERÊNCIA DO CONCRETO**

Desagregação é a separação física de placas de concreto, ocorrendo em muitos casos em conjunto com a fissuração. Seja por perda da capacidade de acomodação dos agregados ou da perda da função de ligante do cimento. A desagregação ou perda de aderência do concreto pode ocorrer por muitos fatores, sendo eles, ataques químicos, fissuração, movimentação das formas, corrosão do concreto por agentes químicos, biológicos ou físicos, ou ainda a calcinação.

Segundo Piancastelli (1997) a desagregação inicia-se, geralmente, com a alteração da coloração do concreto. A seguir surgem fissuras cruzadas em todas as direções, que aumentam rapidamente de abertura, devido à expansão da pasta de cimento.



Concretos com resistência inadequadas e aderência comprometida podem também gerar patologias do tipo, cargas dinâmicas desconsideradas, má execução, manutenção insuficiente ou imprópria e falta de proteção quando necessária são outras causas comuns.

A perda de aderência é um efeito que causa graves consequências para a estrutura, ocorrendo entre dois concretos de idades diferentes, ou entre as interfaces concretadas ou entre as barras de aço da armadura. É um dos principais contribuintes para esta patologia é a superfície suja no momento da segunda concretagem, para que isso seja evitado a superfície deve ser preparada corretamente (ANDRADE, 1997).

Já entre o concreto e o aço da armadura a perda de aderência se dá pelo processo de corrosão do aço por agentes químicos, dilatação, assentamento plástico, ou retração excessiva das armaduras.

#### **2.2.4 CORROSÃO DA ARMADURA DE AÇO NO CONCRETO**

O processo de corrosão das armaduras, podem ser classificadas como de natureza química e eletroquímica. No primeiro caso, a de corrosão química, se promove de maneira lenta não causando uma deterioração relevante, caracterizada por uma reação gás metal que gera uma película de óxido, causada pela interação direta entre o metal e o meio corrosivo. Pode ocorrer à temperatura ambiente, em meio gasoso e em alguns meios líquidos isentos de água (SANTOS, 2014).

A corrosão eletroquímica ocorre em meio aquoso, em que o concreto apresenta características de resistência elétrica mais alta que a dos eletrólitos. Tal resistência influencia no processo de corrosão e ocorre quando se forma uma película de eletrólito sobre a superfície das barras de aço, causada pela umidade presente no concreto, só ocorrendo se houver uma diferença de potencial e oxigênio (BRONZE, 2016).

A diferença de potencial acarreta o surgimento de corrente elétrica que com a presença de oxigênio causa a corrosão. Essa ddp é devido a concentração de umidade, oxigênio e de outros agentes deterioradores presentes no aço, formando assim a ferrugem e à medida que a corrosão vai aumentando a ferrugem vai se acumulando sobre o aço em grande volume criando crostas e aumentando a dimensão do aço causam tensões internas produzindo esforços sobre o concreto causando fissuração no mesmo. Assim podemos ver na Figura 4, onde mostra o que foi explicado acima (BRONZE, 2016).

**Figura 04 - Corrosão da armadura**



**Fonte: Asope Engenharia, 2018.**

As fissuras aparecem paralelamente à barra corroída devido à ação dos agentes agressivos internos e são progressivas, ou seja, aumentam conforme o processo corrosivo avança. As fissuras causadas por essa patologia evoluem até haver o lascamento e deslocamento do concreto deixando a armadura exposta. Para que tal manifestação seja prevenida deve haver na fase de execução a locação das armaduras de forma correta, a vibração do concreto para eliminação de oxigênio presente, e a escolha e teores de matérias de forma adequada (LOTTERMANN, 2013).

### **2.3 METODOS USUAIS DE REPARO E REFORÇO DE ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO**

Como foi dito a deterioração estrutural, pode-se dar ao envelhecimento natural da estrutura ocorrendo assim a perda de sua resistência inicial ou pelas manifestações patológicas consequências de inúmeros fatores como já abordado anteriormente (VELOSO, 2018).

Sendo assim é preciso elencar as várias formas de tratar tais patologias ou melhorar estruturas comprometidas pelo tempo dando a elas nova vida útil. Fazendo uso de meios e matérias para a reposição, manutenção, conservação, ou rejuvenescimento de uma estrutura.

Bem como traz a NBR 6118 em seu item 6.2. Entende-se por vida útil o período durante o qual se mantem as características das estruturas de concreto, desde que atendidos os requisitos de uso e manutenção prescrita pelo projetista e ainda que seja executado os reparos necessários causados por danos acidentais.

Sendo assim, enquanto uma estrutura mantiver suas propriedades acima das condições exigíveis para a manutenção da segurança global e da economicidade deve-se preservar a mesma, realizando os reparos e reforços necessários para que se mantenha funcional.

Assim, deve-se efetuar uma completa vistoria seguida de uma análise minuciosa das causas que geraram a deficiência em questão, bem como os efeitos decorrente. Gerando assim um completo diagnostico capaz de determinar o melhor tratamento adequado ao tipo de patologia presente ou ao reforço que se deseja (MARCELLI, 2007).

O próximo passo seria a escolha de materiais, equipamentos e técnicas mais eficientes a serem empregados no reparo ou reforço da estrutura, cabendo ainda pautar a importante necessidade do uso de mão de obra qualificada e experiente na execução do serviço, a fim de evitar novos erros e novas patologias.

Segundo Souza e Ripper (1998), o custo final de obras de recuperação ou reforço de estruturas de concreto é função direta da solução adotada para a execução, seja de recuperação ou reforço. Incluindo os cálculos, as metodologias, os materiais escolhidos, e trabalhos complementares como escoramentos e andaimes muitas vezes necessários e determinantes na viabilidade econômica da obra.

Assim sendo, é dever do engenheiro responsável pela recuperação ou reforço esclarecer ao contratante os custos de execução, a qualidade final, previsão dos gastos futuros com manutenção tendo como base a nova vida útil da estrutura, cabendo assim ao contratante optar pela realização da intervenção ou não, ou ainda pela demolição e reconstrução, total ou parcial da estrutura (BRONZE, 2016).

Havendo vários métodos construtivos de recuperação e/ou reforço disponíveis, com a utilização de diversos materiais disponíveis para esse fim, este capítulo focará em apresentar os métodos e materiais mais usuais no tratamento de patologias de estrutura de concreto armado.

### **2.3.1 RECUPERAÇÃO SUPEFICIAL DO CONCRETO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO**

As recuperações das superfícies de croncreto armado devem passar por uma preparação e limpeza do substrato, procedimentos estes preliminares e obrigatorios antes de qualquer execução seja de reforço ou de recuperação. Tal preparação do substrato pode ser feita de varias maneiras a depender das condições locais e da natureza e dimensão do serviço a ser realizado. O quadro 01 mostra os principais procedimentos de preparo (GONÇALVES, 2015).

**Quadro 1 – Procedimentos para preparo do substrato.**

Item	Procedimento	Preparo do Substrato	
		Concreto Com Superfície	
		Seca	Úmida
1	Escarificação Manual	Adequado	Adequado
2	Disco de Desbaste	Aceitável	Adequado
3	Escarificação Mecânica	Adequado	Adequado
4	Demolição	Adequado	Adequado
5	Lixamento Manual	Inadequado	Aceitável
6	Lixamento Elétrico	Adequado	Aceitável
7	Escovamento Manual	Adequado	Aceitável
8	Pistola de Agulha	Inadequado	Inadequado
9	Jato de Areia Seca/Úmida	Adequado	Adequado
10	Disco de Corte	Aceitável	Adequado
11	Queima Controlada	Adequado	Inadequado
12	Remoção de Óleo/Graxa	Inadequado	Adequado
13	Máquina de Desgaste	Aceitável	Adequado

Fonte: MARCELLI (2007)

Já a limpeza da superfície deverá ser executado após o preparo do substrato e instantes antes da aplicação do produto de reforço ou recuperação. Podendo ser feito com base nos procedimentos previstos no quadro 02.

**Quadro 2 – Procedimentos para limpeza da superfície de concreto**

Item	Procedimento	Limpeza	
		Concreto Com Superfície	
		Seca	Úmida
1	Jato de água fria	Inadequado	Adequado
2	Jato de água quente	Inadequado	Adequado
3	Vapor	Inadequado	Adequado
4	Soluções ácidas	Inadequado	Aceitável
5	Soluções alcalinas	Inadequado	Adequado
6	Remoção de óleos/graxas	Inadequado	Inadequado
7	Jato de ar comprimido	Adequado	Aceitável
8	Solventes voláteis (acetona)	Adequado	Adequado
9	Saturação de água	Inadequado	Inadequado
10	Aspiração a Vácuo	Adequado	Inadequado

Fonte: MARCELLI (2007)

### 2.3.1.1 POLIMENTO SUPERFICIAL DE CONCRETO

Polimento é uma técnica utilizada quando a superfície do concreto se apresenta muito áspera, devido à má execução da estrutura, ao desgaste natural com o decorrer do tempo, dosagens incorretas do concreto, utilização de formas ásperas, ou falta de vibração adequada. É utilizada para diminuir a aspereza da superfície do concreto tornando-as lisas e livres de partículas soltas, fazendo uso de equipamentos mecânicos, como lixadeiras ou máquinas de polir para áreas muito extensas (GONÇALVES, 2015).

### 2.3.1.2 LAVAGEM NO CONCRETO

#### a) Uso de soluções ácidas

É utilizado para remover tintas, ferrugens, graxas, carbonatos, resíduos e manchas de cimento. Não deve ser utilizada quando se tem um revestimento de armadura pequeno ou quando o local está próximo a uma junta de dilatação pois o aço pode penetrar na junta e não será possível uma remoção total (GONÇALVES, 2015).

Com essa técnica usa-se ácido muriático (ácido clorídrico) diluído em água na proporção de 1:6, pode-se usar outras soluções como misturas de ácido fosfórico, plasma de nitrato de sódio, glicerina ou água quente, mas a mistura de ácido clorídrico ainda é a melhor opção.

#### b) Uso de soluções alcalinas

Deve-se tomar um cuidado adicional quando utilizadas soluções alcalinas em lavagem de concreto, uma vez que em contato com concreto com agregados reativos, o mesmo pode provocar uma reação chamada álcalis-agregado, em que ocorre uma reação expansiva pela formação de sólidos em meio confinado (GONÇALVES, 2015).

Utilizada também para remover, tintas, ferrugens, graxas etc., o uso de soluções alcalinas não tem a preocupação com o tamanho do revestimento das armaduras como deve ter se tratando de soluções ácidas

#### c) Jatos d'água e de areia

O uso de jatos d'água fria e potável normalmente em conjunto com jatos de areia é usado quando se deseja remover camadas deterioradas de concreto. Para o uso de jatos de areia é preciso que ela esteja limpa e isenta de matéria orgânica e uma vez utilizada deve ser descartada.

Após a aplicação da técnica é necessário o uso de jatos de ar comprimido e de água fria, antes da aplicação do material de recuperação. Tal método serve como alternativa ao apicoamento do concreto, método que será exposto mais adiante, promovendo a remoção da camada mais externa do concreto (GONÇALVES, 2015).

**d) Jatos de ar comprimido**

É usado como complemento para a limpeza quando o jato de água ou de área não ferem suficientes, tendo como função remover partículas de cavidades ou ainda para a secagem de superfícies e fissuras. Deve-se tomar cuidado com o olho do motor de compressão para que não haja refluxo do óleo e possível contaminação da superfície em que está trabalhando (GONÇALVES, 2015).

**e) Jatos de limalha de aço**

O jato de limalha de aço é mais abrasivo e funciona como uma alternativa ao jato de areia, seguindo os mesmos princípios porém com algumas distinções além de ser menos poluente. Não é recomendado seu uso em armaduras expostas, já corroídas ou de pequenos diâmetros, pode ser utilizado com grande eficiência em grandes áreas e sem o uso de água. Elimina a camada mais fraca do concreto mais facilmente e proporciona abertura imediata dos poros facilitando e aumentando a aderência do material de recuperação a ser utilizado (GONÇALVES, 2015).

**f) Queima a maçarico**

Por se tratar de uma fonte de calor de alta densidade e constante deve se tomar cuidado redobrado ao ser executado este tipo de método, além de ser restrito o uso em áreas com armaduras expostas ou em áreas com cobrimento de armadura menor que 3,5 cm, a queima a maçarico não deve ser aplicada na mesma área por muito tempo pois pode danificar também o concreto em bom estado. Após o término, deve-se limpar a área com jatos de ar comprimido (GONÇALVES, 2015).

**g) Escovação manual**

Utilizando-se uma escova com cerdas de aço e as vezes uma lixa de ferro para aço e d'água para concreto, é feito a limpeza da área desejada a ser realizada a recuperação. É indicada para pequenas áreas, para limpeza de barras com início de corrosão ou para aumento

de aderência. Após o término do método deve-se limpar a superfície com jatos de ar comprimido (GONÇALVES, 2015).

#### **h) Apicoamento**

Utilizado para remover a camada externa do concreto que será aplicado material de recuperação, sendo a camada removida não superior a 10 mm. Podendo ser realizada com equipamento mecânico, martelos pneumáticos de até 5kg ou apicoamento manual a depender da extensão em que será realizado o apicoamento. O método exige cuidados e é executado artesanalmente pois não se deve golpear para que a região e a integridade da estrutura sejam preservadas (GONÇALVES, 2015).

#### **2.3.1.3 SATURAÇÃO**

A saturação da superfície de concreto é um processo que serve para aumentar a aderência do material de recuperação que será utilizado, seja ele, concreto ou argamassa cimentícia.

Segundo Souza e Ripper (1998), o tempo médio de saturação é de aproximadamente 12horas, podendo a aplicação da água ser por derramamento contínuo ou por molhagem de elementos intermediários com o auxílio de sacos de estopas aplicadas sobre a superfície, muito utilizado não só em superfícies horizontais, mas também em vigas e pilares (SOUZA e RIPPER, 1998).

Já em paredes verticais, é comum o uso de mangueiras furadas para que mesma seja molhada de forma contínua. Cabe a observação de que a superfície que receberá o material de recuperação deve estar apenas húmida, livre de poças d'água.

#### **2.3.1.4 CORTE**

O corte é um método utilizado quando se deseja retirar porções profundas de concreto degradado, usando de martelo demolidor de 6 a 10kg de massa e ponteiro de ponta vida retira-se todo e qualquer material nocivo às armaduras em um corte de pelo menos 2 cm ou o diâmetro da barra de profundidade além das mesmas garantindo que toda a armadura a ser tratada esteja em meio alcalino (BRONZE, 2016), como mostra a Figura 05.

**Figura 05 – Corte sendo executado.**



**Fonte: Pini, Web.**

Pois a falta do corte além das armaduras pode acarretar a uma nova corrosão eletroquímica por diferença de material. Uma vez que a parte não retirada atuará como anodo e a parte recuperada (material novo) atuará como cátodo, desencadeando um novo processo ainda mais rápido que o anterior de corrosão (GONÇALVES, 2015).

De acordo com Souza e Ripper (1998), terminado o corte do concreto, a superfície deve ser limpa pelos métodos com jatos de areia, seguido de jatos de ar comprimido e terminando com jatos de água. Os agentes nocivos à estrutura devem ser retirados completamente pois o menor resquício de uma película oxidada promove a uma nova corrosão comprometendo a recuperação realizada.

Porém não há uma forma ou procedimento que dite qual a extensão que deva ser retirada, o processo é feito com uso de bom senso e experiência além de uma análise minuciosa da área, observando que não se deve realizar a retirada em demasia do concreto pois vai contra a segurança da estrutura além de poder ser desnecessário e remover camadas de concreto em perfeito estado diminuindo a economicidade. E sempre que necessário deve-se fazer uso de escoramento da estrutura onde o corte for efetuado para segurança tanto da execução e do operário quando da estrutura parcialmente e temporariamente fragilizada (GONÇALVES, 2015).



## **2.3.2 RECUPERAÇÃO DE DANOS PROFUNDOS NO CONCRETO**

Quando se trata de concreto em sua complexa e abrangente utilização no ramo da construção civil aliada ao assunto patologias deve-se ter em mente que os danos a ele podem ser classificados em três tipos, os superficiais, os danos semi profundos, e os danos profundos (ROÇA, 2014).

Os estudos das patologias da construção civil como Vicente C. M. de Sousa e Thomas Ripper classificam os danos em superficiais como aqueles com até 2,0 cm de profundidade, danos semi profundos aqueles com até 5,0 cm de profundidade e a partir desse valor seriam considerados os danos profundos (GRANATO, 2002).

No entanto graças a evolução da tecnologia, dos materiais e das técnicas desenvolvidas na engenharia, existem materiais e métodos para atender cada situação patológica. Assim como os grautes que pode ser utilizado na obra formando excelentes argamassas de restauro. Há ainda outros aditivos químicos que incorporados à argamassa conferem plasticidade e boa aderência (CARDOSO, 2018).

Afinal o importante em argamassas de restauração é que possuam alta resistência e boa aderência, e mais importante que não retraia, preenchendo assim todo o vazio e sanando de vez o problema patológico.

### **2.3.2.1 REPARO COM GRAUTE**

O graute é um produto bastante utilizado na construção civil em reparo por possuir uma boa fluidez, compacidade, uniformidade, não apresentar retração e ser auto adensável. Por atingir alta resistência muito rápido em cerca de 24 horas é muito utilizado quando necessário realizar a desforma rapidamente do local reparado para utilização da estrutura. Já a cura deve ser úmida e por três dias. Sendo classificado em dois grupos principais (FERREIRA, 2013):

#### **a) Grautes Minerais**

Os grautes minerais, à base de cimento são reclassificados com base no tamanho do agregado utilizado:

- Grautes injetáveis: Aqueles com agregados muito finos, com partículas menores que 75 microns;

- Grautes de argamassa: Aqueles com agregados miúdos, com máxima característica menor ou igual a 4,8 mm;
- Grautes de microconcreto: Aqueles com pedrisco ou brita 0, ou seja, com dimensão máxima característica menor ou igual a 9,5 mm.
- Grautes de concreto: Aqueles com adição de até 30% de brita 1, com dimensão máxima característica menor ou igual a 19 mm.

#### b) Grautes Orgânicos

Os grautes orgânicos são recomendados para usos especiais, quando se exige alta resistência a cargas cíclicas e dinâmicas, uma vez que tais grautes não sofrem o efeito de fadiga comum aos grautes de origem mineral, à base de cimento.

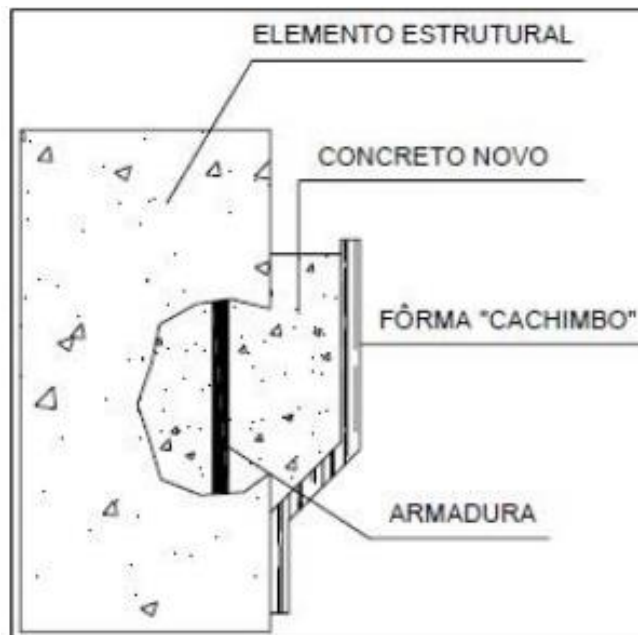
Por ser uma resina a base de petróleo o seu preço ultrapassa em muito o valor de outros grautes à base cimentícia. Sendo assim, mesmo atendendo com folga todas as solicitações de desempenho exigidas não é convencionalmente adotado para não elevar em muito o orçamento. Ficando restringido aos casos especiais, quando há a necessidade de alta resistência mecânica, a ataques químicos e de óleos, e necessário possuir a capacidade de absorver vibrações.

#### 2.3.2.2 REPARO COM CONCRETO CONVENCIONAL

É a solução usada quando o orçamento está apertado, por ser a de menor custo comparada aos reparos com utilização de grautes e quando o uso do concreto projetado não é recomendável. No entanto este método necessita de formas e alto conhecimento em se tratando de concreto na hora de realizar a dosagem adequada, garantindo baixo fator água/cimento (SARAIVA, 2015)

Nesta técnica o local a ser reparado deve ser totalmente preenchido e para isso se tratando de pilares a concretagem deve ser feita a um nível acima do reparo por uma abertura chamada cachimbo por onde o concreto passará vide figura 06 (SOUZA E RIPPER, 1998)

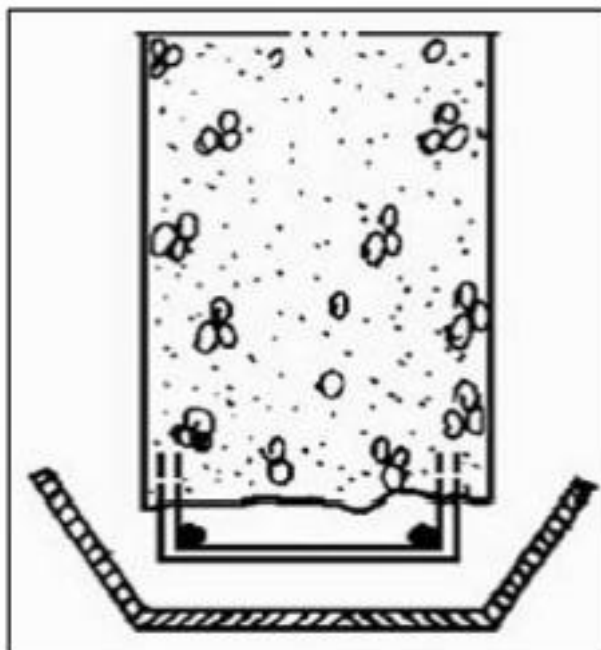
**Figura 06 - Detalhe da forma tipo “cachimbo”.**



Fonte: SOUZA e RIPPER, (1998).

Em caso de vigas deve-se usar um dispositivo do tipo pressão como detalhado na figura 07.

**Figura 07 - Detalhe da forma tipo “pressão”.**



Fonte: SOUZA e RIPPER (1998)

Após a retirada das formas a regularização da superfície deve ser feita com ponteiras e talhadeiras. Lembrando que a cura do concreto é um fator de extrema importância para garantir

que o concreto reparador exerça sua função, devendo-se manter a superfície sempre úmida durante 7 dias e após isso.

### 2.3.2.3 REPARO COM CONCRETO PROJETADO

Para que o concreto possa ser classificado como concreto projetado, este deve ter a dimensão máxima característica do agregado maior ou igual a 9,5 mm e transportado por uma tubulação deve ser projetado sob pressão sobre a superfície que se queira reparar fazendo uso simultaneamente de uma compactação.

O método é uma alternativa ao uso do concreto convencional e consiste em conduzir o concreto sob pressão contínua através de uma mangueira ou magote, projetando em alta velocidade sobre a superfície a ser reparada estando ela em qualquer posição. A força do jato comprime o concreto sobre a superfície dispensando o uso de vibradores. Outro benefício do concreto projetado é a não necessidade do preparo de formas e a seu alto custo torna inviável para uso em pequenas áreas (NASCIMENTO, 2012).

Veja na Figura 08, como é executado a aplicação do concreto.

**Figura 08 – Execução de concreto projetado com mangote.**



**Fonte: NTC Brasil, 2015**

Existem dois métodos de emprego do concreto projetado, o por via seca e o por via úmida, independente de qual método seja escolhido, é fundamental que seja realizada a limpeza da superfície eliminando qualquer irregularidade que possa comprometer a aderência do concreto projetado. Feito isso ele terá excelente aderência a outro concreto, aço ou alvenaria.

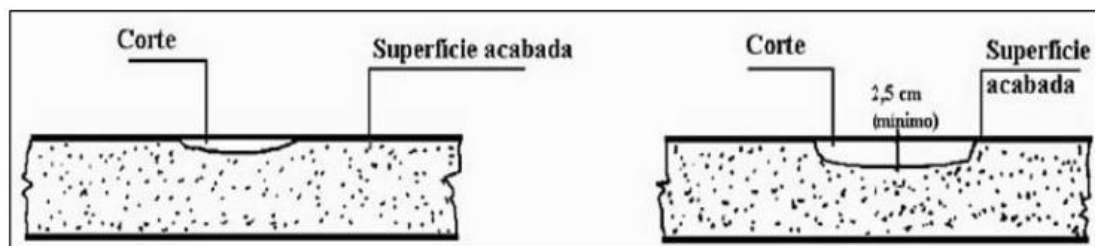
#### 2.3.2.4 REPARO COM ARGAMASSA

Utilizada em pequenas áreas e em profundidade de até 5,0 mm a argamassa é voltado para quando apenas a camada de cobrimento das armaduras necessita de reparo. Sendo assim caso haja danificações no interior do elemento estrutural, estas já devem ter sido recuperadas antes da aplicação desta técnica. (WEBER, 2014)

A argamassa é geralmente usada para recobrimento de lajes, regularização de pequenas falhas no concreto ou reconstituição de quinas quebradas dos elementos estruturais. Para cada tipo de reparo exige-se um preparo de argamassa diferente para que atinja seu objetivo de forma mais eficiente, e elas são (GONÇALVES, 2015)

- a) Argamassa de cimento e areia: Tendo um traço de 1:3 e fator a/c de 0,45, essa argamassa pode ser aplicada sobre adesivo epoxídica. A superfície a ser aplicada, deve ter no mínimo 2,5 mm de profundidade. E a cura leva de 1 a 3 dias dependendo das condições climáticas. Veja o exemplo na Figura 09.

Figura 09 - -Preparo de superfície para argamassa.

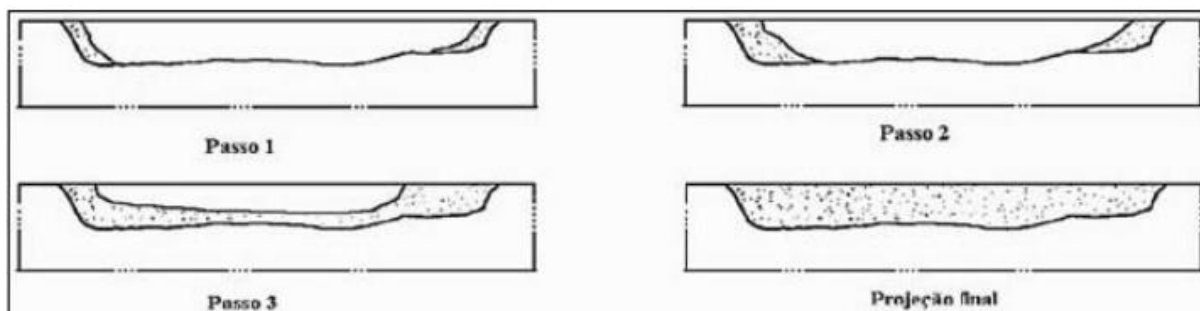


Fonte: SOUZA e RIPPER (1998)

- b) Argamassa tipo farofa: Mistura de cimento Portland e areia fina, na proporção de 1:2,5 a 1:3 e fator a/c de 0,33 a 0,4. É uma argamassa muito utilizada para preencher cavidades acima de 25 cm, atentando ao preenchimento com camadas de no máximo 1 cm por vez para que não haja retração, sendo que cada camada deve ser compactada com soquete de madeira.
- c) Argamassa com Polímeros: Com a adição de polímeros, há a redução da quantidade de água necessária na mistura, assim, reduzindo a permeabilidade do concreto e aumentando o grau de aderência. A argamassa polimérica é comercializada pronta e na forma de pasta, sem necessitar da adição de água.

- d) Argamassa epoxídica: Quando a argamassa possui resina do tipo epoxídica. Tem como característica elevada resistência mecânica e química, apresenta excelente aderência ao aço e ao concreto e são recomendadas para recuperar superfícies de vertedouro, canais, bordas de juntas de dilatação de estruturas de concreto e elementos estruturais expostos a agentes agressivos.
- e) Argamassa projetada com adesivo acelerador: Tem o traço de 1:3 a 1:4,5 e o fator a/c entre 0,35 e 0,50 adicionando aditivo acelerador na proporção de 2% a 6% do peso do cimento. A aplicação é semelhante à do concreto projetado e por isso possui um alto custo sendo recomendado apenas para grandes áreas. Veja na Figura 10.

**Figura 10 - Passo a passo do jateamento de argamassa com adesivo acelerador.**



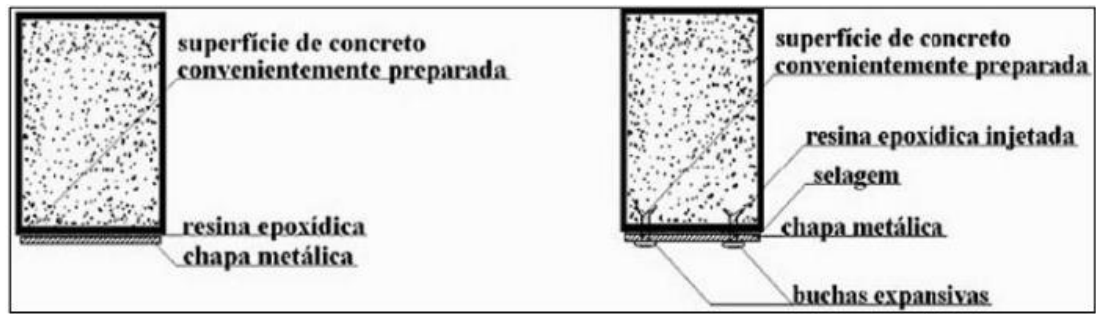
Fonte: SOUZA e RIPPER (1998)

### 2.3.3 ADIÇÃO DE CHAPAS E PERFIS METÁLICOS

O uso da Colagem de placas metálicas como reforço estrutural, tem como objetivo suportar os esforços de flexão, cortante e torção. Ainda que colocada por resina epoxi, ou unidas por chumbadores, deve o método promover a união perfeita entre chapa e peça de concreto da estrutura (TRINDADE, 2015).

A colagem pode ser realizada tanto por adesivo epoxi quanto de poliésteres, e para ambas a espessura da cola deve ser em milímetros, enquanto que as ferragens que não estiverem em contato com a resina colante, devem receber tratamento anticorrosivo. Apesar da fácil execução e baixo custo, a técnica deve ser usada como caráter emergencial, quando se necessitada aumentar a capacidade de carga sem alterar a sua geométrica. Observe a Figura 11.

Figura 11-Exemplos de reforço com chapa colada e com buchas expansivas.



Fonte: SOUZA e RIPPER (1998).

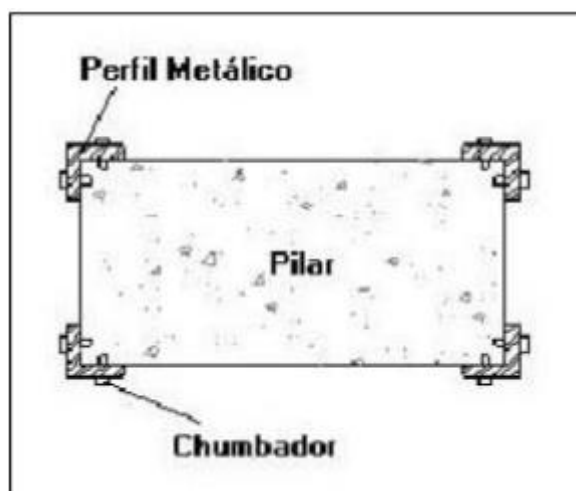
A aplicação do método de colagem pode apresentar algumas falhas como na aderência ocasionadas pelo efeito cortante entre a união aço/adesivo e por tensão de tração entre o adesivo e o concreto. Para evitar tal falha o adesivo deve possuir módulo de elasticidade transversal menor nos apoios de vigas para combater o efeito de esforço cortante e resistência à tração (REIS, 1998)

Quando o reforço for em casos de cisalhamento, deve-se utilizar os chumbadores ao menos nas extremidades das chapas pois pode haver deslocamento nestas regiões devido a concentração de tensões. E em casos de reforço à flexão, recomenda-se que a largura da chapa seja milímetros menor que a largura da viga e que as extremidades sejam cobertas por adesivo afim de evitar a penetração de água (SOTO, 2013)

As desvantagens com o uso de chapas metálicas são a impossibilidade de detectar na face coberta pela chapa corrosão e fissuras, e baixa resistência da chapa a fogo, necessitando o revestimento com algum tipo de isolante.

Em se tratando de pilares, usa-se perfis no formato “U”, ou do tipo cantoneiras. Estes devem ser colocados nos cantos do pilar e unidos lateralmente entre si por meio de presilhas ou soldas, tendo a parte superior deste pilar terminada em um capitel metálico e a base inferior com base metálica.

**Figura 12-Reforço utilizando cantoneiras metálicas.**



Fonte: RIGAZZO (2003)

#### **2.3.4 REFORÇO DE PILARES COM ENCAMISAMENTO**

O reforço de pilares com encamisamento se faz com o uso de concreto de alto desempenho (CAD). No Brasil não há normatização quanto ao uso de CAD. No entanto ele é definido como o concreto que possui resistência à compressão maior que 50 Mpa (TAKEUTI E HANAI, 2003)

O método é muito usado devido à sua economicidade e rapidez de execução e tem como desvantagem o aumento da dimensão do pilar muito superior à inicial previstas em projeto e a demora em liberar o uso da estrutura na parte reforçada devido ao tempo de espera necessário para que o reforço atinja a resistência esperada.

Quando ao método, primeiramente deve-se a carga do pilar a ser reforçado, e em seguida toda sua superfície deve ser apicoada eliminando a camada superficial do concreto afim de facilitar a aderência com o material de reforço. A seguir é colocada uma armadura de reforço e antes que seja colocada as formas e iniciada a concretagem, recomenda-se a lavagem da superfície com jatos de água para limpeza da peça e saturação (ZUCCHI, 2015).

Quando existir o efeito de punção, é necessário a execução de um pincel em torno do pilar e/ou o alargamento do pilar sob ou sobre a laje. Por fim o concreto deve ser lançado com o auxílio de um tubo de PVC de aproximadamente 100 mm de diâmetro em camadas de 0,50 m acompanhada de adensamento por vibração. Só então retirada as formas e a depois cura completa do concreto é que se pode aliviar os macacos para uso do pilar reforçado (GONÇALVES, 2015).



### 3 MANTA DE POLÍMEROS REFORÇADOS COM FIBRA DE CARBONO (PRFC)

Estudos e relatos de pesquisadores afirmam ser Thomas Edison, o criador da fibra de carbono lá em 1978. O inventor teria criado o material após conduzir estudos na busca de desenvolver filamentos mais resistentes para suas lâmpadas incandescentes. E a partir da decomposição térmica do algodão teria criado as primeiras fibras de carbono (BRONZE, 2016).

A exploração comercial da fibra de carbono iniciou-se no ano de 1950, quando se utilizou primeiramente “*rayon*”, porém concluiu-se que este material produzia pouco carbono, estendendo assim o campo de pesquisa ao redor de materiais, chegando ao poliacrilonitrila e piche de petróleo, sendo atualmente utilizados como material primordial na obtenção dos filamentos, em função de sua alta taxa de carbono (BRONZE, 2016).

Então um século depois de sua descoberta, durante a Guerra Fria, na década de 60 surgiu outro interesse para uso das fibras de carbono de Thomas Edison. Alavancada pelos avanços das indústrias aeronáutica e bélica, por ser um material com propriedades mecânicas semelhantes às do aço e tão leve quanto plástico foi amplamente aceito.

Na construção civil, a fibra de carbono teve seu uso pela primeira vez no Japão, devido a uma ameaça de um violento sismo no distrito Kanto, incluindo a cidade de Tóquio. Fez com que o governo japonês, em 1995, tomasse a decisão de preparar as construções existentes para o que estava por vir, em particular as estruturas do sistema viário (LIMA, 2001).

A fibra de carbono já era amplamente usada nas indústrias aeronáutica, aeroespacial, naval e automobilística do país, como uma solução de reforço de alto desempenho e foi a partir de uma união de esforços entre entidades públicas e privadas na busca por uma tecnologia capaz de solucionar o problema que surgiu a ideia de adotar o uso de polímeros reforçados com fibra de carbono (PRFC) para a construção civil.

A nova tecnologia para reforço de estruturas de concreto armado com o polímero de fibra de carbono ganhou ajustes e ganhou particular desenvolvimento após a sua aplicação nas construções do distrito de Kanto em 1995, graças às suas características de resistência e leveza, sua fácil aplicação e que não traz às estruturas de concreto problemas de durabilidade como os que hoje são associados à corrosão das armaduras (ARQUEZ, 2010).

Segundo Souza e Ripper (1998), esta tecnologia é mais um passo evolutivo da Construção Civil, em sua busca por novos materiais que sejam cada vez mais simples, resistentes e duráveis, para a reabilitação de estruturas de concreto. Dando sequência a metodologias distintas como o aumento da seção pela aplicação de concreto projetado e/ou argamassas modificadas e pelo reforço através da adição de chapas de aço coladas ou chumbadas ao concreto.

### 3.1 CONCEITO DA MANTA DE PRFC

Hoje a fibra de carbono, um composto filamentosos de finos filamentos de 5 a 10 micrômetros de diâmetro composto de carbono, sintética pois é fabricada principalmente a partir de poliacrilonitrila (PAN), um polímero sintético obtido a partir da polimerização de nitrila de acrílico (acrilonitrila). Possui propriedades mecânicas semelhantes ao aço e leve como plástico, usado na construção civil por sua dureza ter maior resistência ao impacto que o aço (GARCIA E PARDINI, 2009).

Fibras de carbono são resultado de um processo de carbonização de fibras de polímeros orgânicos ou sintéticos, sendo que suas características mecânicas irão depender da estrutura molecular obtida no processo. A produção das fibras, processadas a temperaturas da ordem de 3.000°C em que a maioria das fibras derretem ou se evaporam, não acontece com certas fibras como as de acrílico que se mantêm mesmo após a carbonização (NASCIMENTO E ESTEVES, 2010).

No processo os átomos de carbono se alinham ao longo das fibras, e quando um agrupamento de um conjunto de dezenas de milhares de filamentos se unem adquirindo uma espessura de um cabelo apresenta excepcionais características mecânicas, que a depender do arranjo microestrutural pode ter um elevado módulo de elasticidade quanto uma excelente resistência à tração (VIDAL, 2016).

A produção de fibra de carbono comercialmente pode ser desenvolvida de diversas formas. Normalmente com a eventual adição de metais em sua matriz de resinas poliméricas em sua incorporação, a fim de obter formas diferentes como perfis, barras, laminados, tecidos bidirecionais e folhas flexíveis unidirecionais.

Diversos cientistas têm concluído que a estrutura de uma fibra de carbono depende do material utilizado para a carbonização. Surgindo então duas teorias, sendo que uma diz a respeito de fibras formada pelo empilhamento de fitas carbonizadas. E outra que diz a respeito de fibras formadas por microfibras que são a união de diversos conjuntos de fitas de carbono. Esta segunda é a teoria mais aceita e adequada para explicar as fibras em função de sua resistência mecânica, térmica e à tensão.

A forma mais produzida e comercializada para uso da construção civil em reforço de estruturas de concreto armado, com a finalidade de aumento da ductilidade e/ou resistência das estruturas, são as folhas flexíveis pré-impregnadas. Sistema do qual os feixes de filamento de fibras de carbono são agrupados de forma contínua aderidos a uma manta ou folha de suporte

impregnada de resina epoxídica, assumindo espessura da ordem de décimos de milímetro, criando uma matriz altamente resistente (SLEIFER, 2017).

A manta então, tem resistência e dureza proporcionais para a transferência do esforço de corte entre ela e o concreto, devendo ainda ser suficientemente elástica para prevenir a ruptura frágil na interface.

Segundo Souza e Ripper (1998), os compostos de fibras de carbono em matrizes de resina epoxídica apresentam, em comparação com o aço de construção, para uma mesma espessura, um quarto do peso e resistência à tração de oito a dez vezes maior, para o mesmo módulo de elasticidade. E ainda, “A curva comportamental destes compósitos até a ruptura é linear, característica de um comportamento frágil na ruptura, sendo as tensões últimas da ordem dos 3.500 MPa, para correspondentes alongamentos de 1,5%.”

### **3.2 SURGIMENTO NO BRASIL**

No Brasil, a fibra de carbono só começou a ser usada em 1998, onde foi utilizado como reforço de estrutura de concreto armado pela primeira vez no viaduto de Santa Teresa em Belo Horizonte. No entanto o país desenvolveu uma tecnologia inédita com a fibra de carbono, tornando-a mais barata e ainda assim com a mesma resistência da mesma fibra comercializada no mercado internacional (SERRA E SILVA).

Em parceria com a Petrobras, o Exército Brasileiro, desenvolveu uma fibra de carbono, a partir do uso de piche de petróleo, o que possibilitou uma maior aceitação do material no mercado e conseqüentemente seu maior uso na construção civil, tornando-se um ganho para a engenharia e para a modernidade.

A mesma fibra de carbono produzida a partir de piche, já é comercializada no Japão e nos EUA, porém com um piche de alcatrão ou sintético, ambas substâncias químicas puras. No entanto o alto preço do material, que substitui sobretudo o aço e o alumínio, faz com o que o mesmo fique com seu uso restrito ao setor automobilístico como em carros de Fórmula 1, veículos de luxo e ainda na indústria aeronáutica na fabricação de aviões e foguetes.

Já no Brasil, de acordo com o Major Alexandre Taschetto, gerente do projeto de carbono do NCDTC (Núcleo de Competência para o Desenvolvimento de Tecnologia de Carbono) do Centro Tecnológico do Exército (CTEx). A vantagem da invenção brasileira, é que o preço da matéria prima, o piche de petróleo, não tem valor de mercado significativo, o que ajuda a abaixar os preços da fibra de carbono brasileira viabilizando o seu uso em larga escala.

A fibra de carbono brasileira a partir do piche de petróleo, teria um valor na ordem de 5 vezes menor que o produto internacional, em torno de U\$ 10 a U\$ 15 o quilo, o que segundo a indústria automobilística já avalia como favorável uma maior substituição do aço pela fibra de carbono em maiores quantidades. Carros com mais peças de fibra de carbono têm mais eficiência energética e emitem menos poluentes que os carros convencionais. Já os ganhos para a construção civil, estaria em reforços mais leves e propensos a gerarem menos custos para a obra.

Assim, mesmo estando consolidada nos canteiros de obra europeus e norte-americanos, no Brasil, a fibra de carbono é ainda timidamente utilizada, principalmente por falta de norma técnica brasileira que trate sobre o assunto, o que evidencia a necessidade de que uma seja feita o quanto antes, pois trata benefícios consideráveis para o setor da construção civil.

Com a falta da norma brasileira, quando a tecnologia é utilizada, as referências são as normas norte-americanas (ACI 440 2R:02 (2008)). No entanto a tendência é de que em breve o país tenha sua própria norma técnica.

### **3.3 USO DA MANTA DE PRFC NA CONSTRUÇÃO CIVIL**

O uso da fibra de carbono na construção civil em reforços de estruturas de concreto é muitas vezes considerado caro e descartado até mesmo antes de se fazer um orçamento adequado e comparativo entre os métodos disponíveis (BRONZE, 2016).

Isso se justifica por de fato o material ser caro comparado ao aço, a quem ele substitui, porém ao compor um orçamento detalhado o material não é o único fator que deve ser considerado. Além dos custos de equipamentos, fretes, retirados de entulho e mão de obra qualificada e necessária são exemplos de outros fatores que compõem um orçamento

Fazendo com que levar apenas o preço do material em consideração se torne um grande e grave erro orçamentário. Podemos chegar a essa conclusão ao analisar os dados da Câmara Brasileira da Indústria da Construção Civil, que informa a participação média da mão de obra no Custo Unitário Básico (CUB) na construção, foi de 54,1% no ano de 2015. E levando em conta que em países em desenvolvimento, como é o caso do Brasil, esse custo tende a aumentar cada vez mais, sendo assim por consequência, o custo do material será cada vez menos significativo.

Utilizar a manta de fibra de carbono em reforço estrutura, envolve muita simplicidade, mão de obra qualificada, no entanto necessitando de menos cooperadores e prazos curtos o que acaba compensando muitas vezes o valor do material no custo da mão de obra. Além de ser um

material leve e de fácil transporte, não gera entulho em sua aplicação reduzindo ainda mais para a redução de custos complementares (ZUCCHI, 2015).

Na construção civil, a leveza do material aliada a fácil execução e rapidez comparada às outras técnicas, tornou a fibra de carbono atrativo, principalmente em obras emergências, como no caso do distrito de Kanto no Japão em 1995, como dito no tópico 4.1.

Com as novas exigências na construção civil, por obras cada vez mais rápidas e levando em consideração que reforços são imprevistos, a necessidade da rapidez de sua execução é comum contribuindo para que a manta de fibra de carbono seja cada vez mais utilizada. Seja em obras de edifícios, pontes, represas, ou em qualquer outra estrutura de concreto em que sua utilização seja compatível (MONTARI E GONÇALVEZ, 2015).

### **3.3.1 VANTAGENS E DESVANTAGENS DO USO DA FIBRA DE CARBONO**

Como foi discutido anteriormente, os reforços estruturais são necessários quando há falhas de projeto, de execução, mudança no uso da estrutura, deterioração da construção devido a vida útil dela, ou algum acidente. Assim, quando o reforço é executado em uma construção já em uso, um dos fatores mais atrativos para um reforço é a rápida, fácil e eficaz execução, o que a utilização da manta de fibra de carbono se encaixa perfeitamente.

Outro atrativo é o fato da fibra, não acarretar incremento nas dimensões das estruturas tanto em obras em andamento quanto já em uso. De acordo com a BEBER (2002), 2 Kg do material, geram o mesmo ganho de resistência em uma estrutura que 47 Kg de aço, ou seja, reforços com fibra de carbono conseguem gerar o mesmo ganho de resistência que outras técnicas mais usuais, eliminando em torno de 40 vezes o peso necessário para isso.

Com isso, a técnica simplifica não só a execução da mesma como não retira a caracterização original da estrutura além de simplificar na hora de realizar a concepção do projeto estrutural de reforço que em uma outra técnica teria que ser toda revista pôr o reforço ser em si uma sobre carga para a estrutura.

Os tecidos ou manta, de fibra de carbono, devido a sua maleabilidade, permite a sua utilização em locais mais complexos, onde a utilização de chapas é inviável, como por exemplo em locais com grande densidade de instalações elétricas, hidráulicas, de gás ou esgoto. Outra importante vantagem deste material é a alta resistência a corrosão além de eliminar uma seria de cuidados necessários à reforços com chapas metálicas, ligado a este fator (ORTENZI, 2007).

Contudo a técnica tem suas desvantagens também. As principais são a incompatibilidade desse material com uma superfície irregular, a sua baixa resistência ao fogo e à exposição aos

raios ultravioletas e o elevado custo do material. A deficiência quanto ao fogo e à exposição a raios ultravioletas podem ser sanadas com as devidas proteções, os preços como foram ditos são um fator solucionável quando se olha o todo e por últimas superfícies irregulares podem ser facilmente recuperadas previamente por diversos materiais (BRONZE, 2016).

### **3.4 REFORÇO DE PILARES COM POLÍMEROS REFORÇADOS COM FIBRA DE CARBONO (PRFC)**

Os reforços estruturais necessitam sempre de previa elaboração de calculo estrutural, sejam para alteração de funcionalidade da estrutura ou como consequencia de patologias sofridas pela estrutura, caso em que o reforço será inserido nos trabalhos de recuperação.

Recuperação esta que segundou Souza e Ripper (1998), tem o seu custo final diretamente ligado à solução adotada para a execução da mesma, se tratando de recuperação ou reforço da estrutura para outras finalidades. Considerando-se ainda aos custos, calculos, as metodologias em si, os materiais utilizados, e trabalhos complementares levando em conta que em alguns metodos são mais necessarios do que em outros, o que pode trazer grande diferença para o custo e influenciar diretamente na viabilidade economica da obra.

Sendo assim é deverdo projetista, nestes casos, esclarecer ao proprietario seja do edificio ou do projeto, sobre as diversas hipoteses que por ventura existam, comparando custos de execução e qualidade final, seguranças a serem atingidas em cada caso e a previsão dos gastos futuros com manutenção, ou seja, estipulados combase neses elementos, a nova vida util da estrutura.

É por isso e outros motivos que este capitulo tras uma outra forma de se fazer reparos e reforços em estruturas de concreto armado, visando esclarecer e dar ao interessados um outro metodo, uma outra alternativa viavel ou não a depender do projeto e analise do engenheiro, para cada caso por ele contemplado.

Sendo assim, a adição de compositos de polímeros reforçados com fibra de carbono é uma moderna alternativa para os reforços estruturais com chapa de aço. Como já dito, a tecnica com o uso da fibra vem sendo largamente utilizada pelas industrias, navais, aeronautica, aeroespaciais e automobilistica, por ser um sistema muito resistente, mais leve que o aço e até mais que o aluminio, ser de facil utilização e não trazer os problemas e prejuizos da corrosão (GAMA E COSTA, 2019).

O metodo é largamente utilizado no reforço de pilares, pois as folhas flexiveis de fibra de carbono se moldam perfeitamente no seu entorno, proporcionando não só o aumento da

resistencia do elemento estrutural como a sua ductilidade como foi comprovado em ensaios. Além de não gerar, praticamente, aumento de carga permanente na estrutura após o reforço.

A tecnica tambem pode ser utilizada em vigas e lajes, no entanto em se tratando delas, deve se tomar um cuidado adicional no que diz respeito ao desenvolvimento dos detalhes no sistema de amarração da fibra, assim como na analise detalhada das tensões de deslizamento na interface entre o composito e o concreto (DIAS E SILVEIRA, 2015).

De acordo com Zippere Scherer (1999), as fibras de carbono se destacam perante as demais fibras, pois possui:

- a) Grande resistência à corrosão e outros tipos de ataques químicos;
- b) Ótimo comportamento quanto à fadiga sob atuação de cargas cíclicas;
- c) Leveza e alta rigidez;
- d) Estabilidade térmica e reológica.

### **3.4.1 SISTEMA DE APLICAÇÃO DA MANTA DE PRFC**

A aplicação do compósito de fibra de carbono divide-se em dois processos, a da preparação da superfície receptora e a de aplicação do compósito propriamente dito. Sendo que o desempenho futuro do reforço realizado com a manta está diretamente ligado à qualidade da aplicação e desses dois processos (MAZUR, 2010).

No primeiro processo, a superfície do concreto onde será aplicada o compósito, precisa ser preparada e cuidadosamente trabalhada, através de esmerilagem, devendo-se retirar uma camada de cobrimento, conhecida como a nata do concreto e depois uma limpeza minuciosa retirando todo o pó, garantindo a aderência do adesivo à superfície a ser aplicado e consequentemente uma melhoria das propriedades aderentes (REIS, 2001).

Segundo Souza e Ripper (1998), caso haja defeitos geométricos ou de execução ao longo da superfície a ser revestida estes deverão ser reparados pela aplicação de argamassas epoxídicas alisadas a espátula. As arestas vivas deverão ser arredondadas, de forma a apresentarem um raio mínimo de curvatura da ordem dos 30 mm.

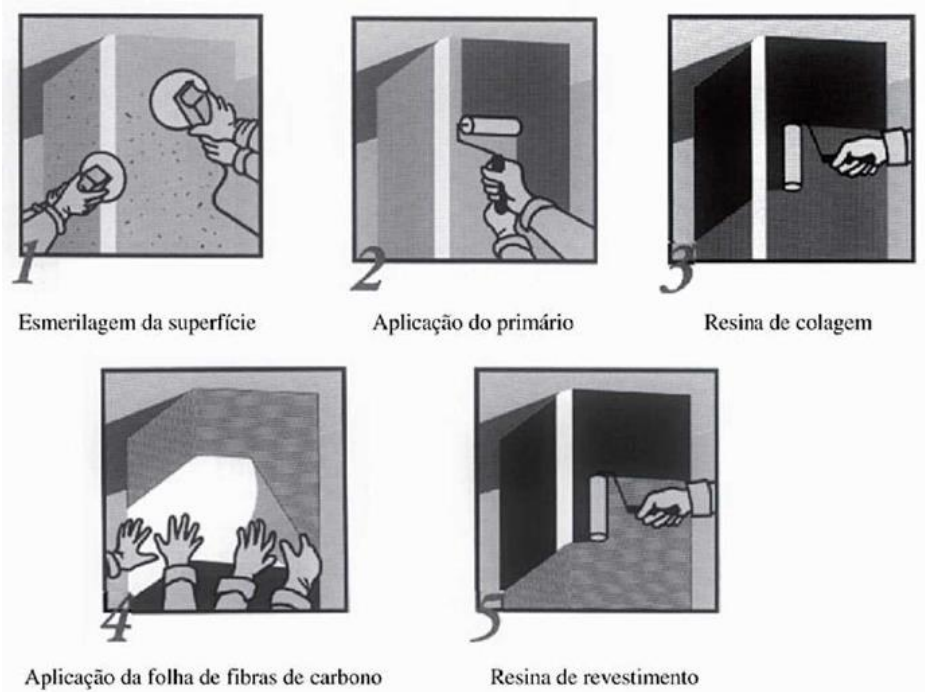
Uma vez a superfície estando pronta e limpa, poderá ser aplicado o primer, cuja função será além de melhorar as características da superfície do concreto quanto a aderência como garantir a plena adesão da fibra. Feita a aplicação do primer colante, deve-se esperar cerca de uma hora, decorrido este intervalo deverá ser aplicada a resina de colagem, esta deve ter resistência e dureza adequadas para a transferência do esforço de corte entre a manta e o concreto e ser suficientemente elástica para prevenir a ruptura frágil na interface.

É ainda fundamental que a resina colante, seja estritamente utilizada na quantidade necessária para a colagem e a adequada comunicação entre a manta e o concreto, para que não haja alteração na característica do compósito. Após a aplicação do adesivo colante será a vez de aplicar a manta de fibra de carbono, previamente desenrolada e cortada com tesoura na medida do reforço a ser executado. Por fim, é aplicada a camada final, de resina de recobrimento das fibras (SALLABERRY, 2005).

Caso queira realizar a aplicação de uma outra camada, esta deve ser imediata, servindo a camada anterior como base para as seguintes. É recomendável que sempre que o número de camadas passe de seis faça-se ensaios específicos de desempenho, pretendendo garantir a distribuição transversal do reforço. As diferentes camadas podem ser postas ortogonalmente entre si.

Por fim, o acabamento das superfícies pode ser feito com revestimentos de alto desempenho, que simultaneamente, confirmam ao sistema melhor comportamento na resistência à ação do fogo. Veja na Figura 13.

**Figura 13 - Sistema de aplicação das folhas flexíveis de CFRP**





### 3.4.2 AUMENTO DA CAPACIDADE RESISTENTE EM PEÇAS DE CONCRETO ARMADO

Antes da ocorrência do sismo de Kobe no distrito de Kanto em 1995, o sistema usual para a modificação e melhoria do comportamento das construções existentes pelo reforço com a fibra de carbono era no sentido do aumento da capacidade resistente das peças, quer quanto a flexão, se tratando principalmente de lajes e vigas, quer quanto ao reforço transversal, se tratando principalmente de pilares (LIMA, 2001).

Depois da ocorrência no Japão e após a análise do comportamento das estruturas afetadas a orientação passou a ser no sentido do aumento da ductilidade. Os ensaios disponíveis, mostram que as deformações nas fibras de carbono, quando um pilar de concreto armado reforçado é levado à ruptura, assumem um comportamento linear, mesmo quando o concreto deixa a fase plástica.

Segundo Souza e Ripper (1998), O principal cuidado a ser tomado, em termos do dimensionamento dos reforços com folhas flexíveis de fibras de carbono, está no detalhamento da amarração destas ao concreto, justamente porque, neste aspecto, a eficiência do sistema dependerá não apenas do compósito, mas principalmente da capacidade da camada de concreto (entre as barras da armadura e a superfície) em responder à mobilização das forças de corte para a efetivação da transferência de tensões e consequente acionamento da contribuição do reforço.

Apesar da amarração simples ter bons resultados em ensaios, a prática da execução em reforços de estruturas de concreto armado em sua grande maioria optou-se por garantir a eficiência da amarração envolvendo a totalidade da seção tracionada das peças, resultando no aumento da capacidade resistente ao esforço transversal (FORTES, 2000).

## **4 PROGRAMA EXPERIMENTAL**

Neste capítulo será demonstrado todo o procedimento do ensaio, que tem como finalidade, demonstrar e comparar estatisticamente a resistência de dez corpos de prova com diferentes tratamentos, eles serão divididos pelos seguintes grupos:

I – Controle do corpo de prova cilíndrico (4 corpos de provas);

II – Corpo de prova cilíndrico de concreto reforçado com 1 volta de manta de fibra de carbono na lateral (2 corpos de provas);

III – Corpo de prova cilíndrico de concreto reforçado com 2 voltas de manta de fibra de carbono na lateral (2 corpos de provas);

IV – Corpo de prova cilíndrico de concreto reforçado com 2 voltas de manta de fibra de carbono na lateral e 1 faixa no topo (2 corpos de provas).

### **4.1 EQUIPAMENTOS UTILIZADOS**

- Betoneira;
- Balança;
- Pá;
- Corpo de prova cilíndrico;
- Haste metálica;
- Concha em U;
- Colher de pedreiro;
- Lixa nº 100;
- Pincel.

## 4.2 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAS

O tópico em questão irá demonstrar todo o procedimento ocorrido para a caracterização dos materiais necessários, para a determinação do traço do concreto.

### 4.2.1 DETERMINAÇÃO DA COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA

Para a determinação da granulometria dos agregados foram seguidas todas as regras e normas da NB NM 248. Para isso, de início, foi retirada uma amostra dos agregados, em seguida colocado em estufa (se estiver com alguma umidade). A amostra passa por um peneiramento, com várias peneiras encaixadas umas nas outras, para cada amostra retida é calculado uma porcentagem, a soma das porcentagens acumuladas é dividida por 100 o que nos resulta no módulo de finura. Com os valores das massas retidas no peneiramento pode-se classificar os agregados como miúdos (Tabela 02) ou graúdos (Tabela 03).

**Tabela 02 – Limite da distribuição granulométrica do agregado miúdo**

Peneira com abertura de malha (ABNT NBR NM ISSO 3310-1)	Porcentagem, em massa, retida acumulada			
	Limites inferiores		Limites superiores	
	Zona utilizável	Zona ótima	Zona ótima	Zona utilizável
9,5 mm	0	0	0	0
6,3 mm	0	0	0	7
4,75 mm	0	0	5	10
2,36 mm	0	10	20	25
1,18 mm	5	20	30	50
600 µm	15	35	55	70
300 µm	50	65	85	95
150 µm	85	90	95	100

#### NOTAS

1. O módulo de finura da zona ótima varia de 2,20 a 2,90
2. O módulo de finura da zona utilizável inferior varia de 1,55 a 2,20
3. O módulo de finura da zona utilizável superior varia de 2,90 a 3,50

**Tabela 03 - Limites granulométricos de agregado graúdo.**

Graduação	Porcentagem retida acumulada, em peso, nas peneiras de abertura nominal, em mm.												
	152	76	64	50	38	32	25	19	12,5	9,5	6,3	4,8	2,4
0	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0-10	-	80-100	95-100
1	-	-	-	-	-	-	0	0-10	-	80-100	92-100	95-100	-
2	-	-	-	-	-	0	0-25	75-100	90-100	95-100	-	-	-
3	-	-	-	0	0-30	75-100	87-100	95-100	-	-	-	-	-
4	-	0	0-30	75-100	90-100	95-100	-	-	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Seguindo esses princípios, obtivemos os seguintes resultados:

- Agregado miúdo: MF (Módulo de finura) = 2,89kg/m<sup>3</sup>
- Agregado graúdo: MF (Módulo de finura) = 6,11kg/m<sup>3</sup> e DMC (.....) = 12,5mm

#### 4.2.2 DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA DOS AGREGADOS

A massa específica é a relação entre a massa do agregado seco e seu volume real, excluindo seus poros NBR NM 52 (ABNT, 2009).

Para se realizar a determinação da massa específica do agregado miúdo foi necessário pesar (500,0 ± 0,1) g de amostra (ms), colocar no frasco e registrar a massa do conjunto (m1). Encher o frasco com água até próxima da marca de 500 ml. Movê-lo de forma a eliminar as bolhas de are depois colocá-lo em um banho mantido a temperatura constante de (21 ± 2) °C. Após 1 h, aproximadamente, completar com água até a marca de 500 cm<sup>3</sup> e determinar a massa total com precisão. Retirar o agregado miúdo do frasco e secá-lo a (105 ± 5) °C até massa constante (± 0,1 g). Esfriar à temperatura ambiente em dessecador e pesar com precisão (NBR NM 52:2009).

A equação usada para encontra a massa especifica foi:

(Eq. 1)

$$d = \frac{m}{V - Va}$$

Onde:

$d$ , é a massa específica do agregado;

$m$ , é a massa da amostra seca em estufa;

$V$ , é o volume total do frasco;

$V_a$ , é o volume de água adicionada ao frasco, de acordo com a seguinte formula:

(Eq. 2)

$$V_a = \frac{m_2 - m_1}{\rho_a}$$

Onde:

$m_1$ , é a massa do frasco com o agregado;

$m_2$ , é a massa do total do frasco com o agregado e água;

$\rho_a$ , é a massa específica da água, em gramas por centímetro cúbico.

Sendo assim obtivemos um resultado de  $m_e = 2472 \text{ kg/m}^3$ , para o agregado miúdo.

Para se calcular a massa específica do agregado graúdo, usou-se a mesma equação.

Porem a massa a ser usada na amostra tem que ser maior e deve obedecer a norma NBR NM 53 (ABNT, 2009).

Seguindo todos esses parâmetros chegamos ao resultado de  $m_e = 2663 \text{ kg/m}^3$ , para o agregado graúdo.

### 4.2.3 DETERMINAÇÃO DA MASSA UNITÁRIA DOS AGREGADOS

O termo massa unitário é utilizado quando um volume é ocupado tanto pelos agregados como pelos espaços vazios, visto que não é possível compactar as partículas de modo a não deixar espaços vazios entre elas (METHA e MONTEIRO, 2008).

De início foi necessário estabelecer a massa mínima por amostra conforme a NBR NM 45 (ABNT, 2006). Logo em seguida despejou-se o agregado no recipiente de uma altura aproximada de 10 a 12 cm, conforme previsto em norma. Foi necessário nivelar a superfície do recipiente para que não haja excesso de material, depois o recipiente foi pesado novamente. Esse processo foi repetido por 3 vezes e com os resultados foi feito uma média aritmética e usado para encontrar a massa unitária, através da fórmula:

(Eq. 3)

$$d = \frac{(mt - mr)}{v}$$

Onde:

d, é a massa unitária;

mt, é a massa total do recipiente com o agregado;

mr, é a massa do recipiente;

v, é o volume do recipiente.

Feito isso chegamos aos seguintes resultados:

mu (areia)= 1655kg/m<sup>3</sup>

mu (brita)= 1560kg/m<sup>3</sup>.

### 4.3 MÉTODO DE DOSAGEM

O tópico em questão irá demonstrar todo o processo de dosagem dos concretos seguindo método ABCP.

#### 4.3.1 DEFINIÇÃO DO TRAÇO DO CONCRETO

A definição do traço é de extrema importância para a correta execução do ensaio de resistência dos corpos de prova à compressão axial, uma vez que é correta proporção entre os materiais que garantirão as características fundamentais e necessárias ao concreto, como resistência, durabilidade e trabalhabilidade e justamente por isso que se seguiu as exigências da norma NBR 6118 (ABNT, 2003).

1º- Definição do Fck

fck = 25Mpa

$$fcj = 25 + (1,65 * 4)$$

$$fcj = 31,6 \text{ Mpa}$$

2º- Consumo de água:

80 à 100 = 222L

3º- Consumo de cimento:

$$cc = \frac{222}{0,49}$$

$$cc = 453 \frac{kg}{m^3}$$

4º- Consumo de agregado graúdo:

$$cb = 0,584 * 1,560$$

$$cb = 911,67$$

5º- Consumo de areia:

$$va = 1 * \left( \frac{453}{3100} + \frac{911,67}{2663} + \frac{222}{1000} \right)$$

$$va = 0,29$$

$$ca = 0,29 * 2472$$

$$ca = 716,88$$

Sendo assim, obtivemos um traço de:

$$453 : 716,88 : 911,67 : 222$$

$$1 : 1,58 : 2 : 0,49 \text{ (Traço unitário)}$$

#### 4.3.2 CONFECÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

As execuções dos dez corpos de provas foram realizadas segundo a norma regulamentadora NBR 5738 (ABNT, 2015).

Após a realização do traço foi feito o concreto seguindo todas as medidas e orientações dirigidas pela norma NBR 12655 (ABNT, 2015).

De início os moldes cilíndricos foram cobertos por desmoldante, para garantir uma perfeita desforma, em seguida com uma concha de formato em U colocou-se o concreto em duas camadas, Figura 14. A cada camada, com uma haste metálica, foi feito o adensamento com 12 golpes por toda superfície da forma, Figura 15. E por fim, com uma colher de pedreiro, foi feito o arrasamento do concreto nos dez moldes, Figura 16.



**Figura 14 – Colocação do concreto no molde.**



**Figura 15 – Adensamento do concreto**

**Figura 16 – Arrasamento do concreto**



### **4.3.3 CURA DO CONCRETO**

A cura do concreto se iniciou logo após que as amostras ficaram prontas. Por 28 dias, os corpos ficaram na estufa úmida onde é realizado um controle de umidade e de temperatura,



o que garante a cura total e uniforme de todos os corpos de provas. Dentro dessa estufa a temperatura varia entre 21 e 23 °C, e a umidade é entre 95 e 97%.

#### **4.4 PROCESSO DE REFORÇO DO CORPO DE PROVA CILINDRICO COM FIBRA DE CARBONO**

Para realizar o reforço com a manta de fibra carbono, o substrato deve estar limpo e livre de sujeiras ou qualquer outra partícula que possa prejudicar a aderência do reforço. Para isso, antes da aplicação com uma lixa, foi retirada toda aquela nata que é formada por cima do concreto que se desprende facilmente e com ela todas as partículas que ali estavam soltas, Figura 17.

**Figura 17 – Lixamento do corpo de prova**



Logo após o processo de limpeza dos corpos, foi realizado o corte da manta conforme necessário. Para a fixação da Manta com Polímeros Reforçados com Fibra de Carbono PRFC usamos 200ml de resina epóxi transparente e 100ml de endurecedor, sendo que essa mistura foi feita em quatro tempos distintos (a cada um foi usado 50ml de resina e 25ml de endurecedor) para garantir e assegurar a eficácia da resina epóxi durante o seu tempo de aplicação, como informa o fabricante e segundo a norma internacional ACI 440 2R:02 (2008). O composto foi misturado com uma espátula e imediatamente aplicado na manta e no corpo de prova, Figuras 18 e 19. Em seguida fixou-se a MFC no substrato, Figura 20.

**Figura 18 – Passagem de epóxi na manta.**



**Figura 19 – Passagem de epóxi no substrato.**



**Figura 20 – Aplicação da manta.**



Para a realização da segunda camada, foi necessário aguardar 30 minutos (tempo de secagem da resina), para que o processo de reforço fosse repetido.

E por fim, nos corpos que iriam receber uma camada no topo, após a última camada na lateral, aguardou-se o tempo necessário para a secagem e foi feito a aplicação da resina na manta e no topo a receber a mesma.

Os corpos de provas ficaram em temperatura ambiente durante 06 dias para garantir a cura total da resina epóxi, não prejudicando assim os resultados.

## 5 RESULTADOS

Tendo como o objetivo de a pesquisa analisar a eficiência do reforço estrutural com fibra de carbono em pilares curtos de concreto armado. Um ensaio em laboratório foi realizado a fim de alcançar informações e colher dados que indiquem a proporção do ganho de resistência em peças de concreto com aplicação de manta de fibra de carbono. Os dados a seguir são os encontrados em ensaio de compressão axial em corpos de provas cilíndricos, conforme Tabela 04.

**Tabela 04 – Ensaio de Compressão axial.**

<b>Resultado do rompimento dos corpos de provas (média)</b>		
	<b>Tensão de Ruptura</b>	<b>Carga de Ruptura</b>
<b>GRUPO I</b>	26,43	21,17
<b>GRUPO II</b>	33,20	26,58
<b>GRUPO III</b>	40,25	32,23
<b>GRUPO IV</b>	46,90	37,57

**NOTA**

GRUPO I - Corpo de prova cilíndrico

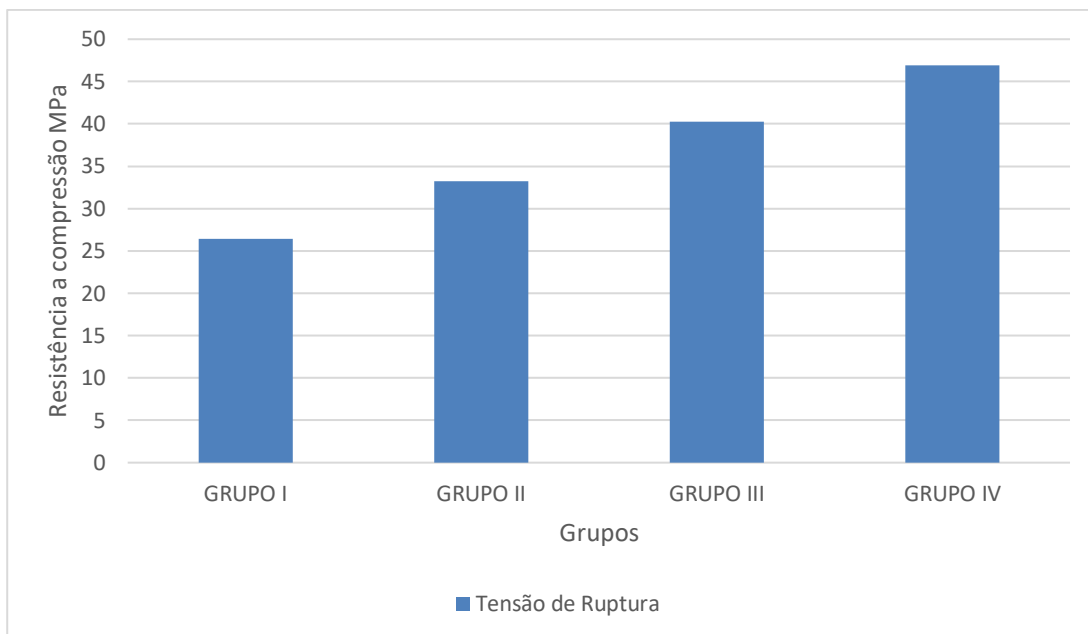
GRUPO II - Corpo de prova cilíndrico de concreto reforçado com 1 volta de manta de fibra de carbono na lateral.

GRUPO III - Corpo de prova cilíndrico de concreto reforçado com 2 voltas de manta de fibra de carbono na lateral.

GRUPO IV - Corpo de prova cilíndrico de concreto reforçado com 2 voltas de manta de fibra de carbono na lateral e 1 faixa no topo.

**Fonte: Próprios autores, 2020.**

**Figura 21 - Resultado do Rompimento dos Corpos de Provas (média)**



**Fonte: Próprios autores, 2020.**

Para o ensaio foi escolhido quatro corpos de prova como referencial sendo que cada um atingiu a resistência à ruptura respectivamente nos valores de 25,8 MPa; 26,2 MPa; 26,6 MPa e 27,1 MPa, com média de 26,42 MPa, ou seja, atingindo a resistência mínima de 25 MPa solicitada. Este grupo é denominado controle e apresenta os resultados do traço utilizado sem aplicação de nenhuma fibra.

Em seguida foram submetidas ao ensaio dois corpos de provas do grupo I, onde foram aplicadas apenas uma camada da manta de fibra de carbono, obtendo como resultados do menor para o maior respectivamente 32,6 MPa e 33,8 MPa, com média de 33,2 MPa assim, mostrando em relação ao grupo controle um aumento médio de resistência a compressão axial de 25,6%.

Posteriormente o ensaio foi realizado com o grupo II em que a manta de fibra de carbono foi aplicada em duas camadas sobre a superfície do corpo de prova, tendo esta amostra atingindo a resistência à ruptura os valores do menor para o maior respectivamente de 38,7 MPa e 41,8 MPa, com média de 40,25 MPa, ou seja, em comparação com o grupo controle um aumento de 52,28%. E um aumento de 21,23% em comparação aos corpos de prova do grupo I.

Por fim, foram realizados o ensaio de compressão axial aos corpos de prova que tiveram além das duas camadas de manta de fibra de carbono em sua superfície transversal, foi acrescentada uma única camada em sua seção transversal. Os resultados alcançados foram do menor para o maior respectivamente 45,3 MPa e 48,5 MPa. Um aumento médio de 77,5% em comparação ao controle, 41,26% em comparação ao grupo II; e um aumento de 16,5% em comparação com o grupo III.

Entende-se com esse estudo que a aplicação da manta de carbono apresenta um considerável ganho de resistência no concreto, com o trabalho o trabalho não foi possível diagnosticar o limite adequado para uso de camadas, mas vale ressaltar o alto custo para aplicação do reforço.

Uma vez que o valor médio do metro quadrado da manta já com a resina epóxi para aplicação é de R\$ 364,00 reais. Como parâmetro, para a aplicação da manta em um pilar com dimensão 14x19cm e altura de 3,00m seria de R\$ 720,70 reais tendo apenas uma camada da manta.

## 6 CONCLUSÃO

Com base nos objetivos apresentados, chegou-se à conclusão de que o uso da manta de fibra de carbono como reforço estrutural à pilares curtos de concreto armado contra à compressão axial é eficiente como mostra os resultados alcançados em laboratório. Assim, a influência de números de camadas de reforço com fibras de carbono na resistência à compressão axial centrada e conforme mostrado nos resultados o ganho de resistência é proporcional e significativo.

Enquanto o aumento de resistência à compressão axial nos corpos de prova com a aplicação de apenas uma camada de manta, Grupo I, foi de 25,6%, ou seja, de uma resistência média de 33,2MPa. Os corpos de prova que tiveram a aplicação de duas camadas da mesma manta de fibra de carbono, Grupo II, adquiriram uma resistência média de 40,25MPa, um aumento de 52,35%, ou seja, a dobro de ganho, sendo assim pode presumir que até a quantidade de duas camadas o aumento é proporcional.

Foi ainda realizado um terceiro teste à compressão axial colocando-se uma única camada no topo, tendo em vista que em outros testes à compressão axial os corpos de prova não suportavam a carga e rompiam em suas extremidades mais facilmente. Assim visando ter uma análise mais completa do aumento da resistência com a aplicação da manta foram rompidos dois corpos de prova com duas camadas da manta em sua superfície longitudinal e uma única no topo.

Os resultados foram satisfatórios, tendo em vista que a resistência média aumentou para 46,9MPa, um aumento de 16,5% em comparação com a os corpos de prova com duas camadas em sua superfície longitudinal e uma única no topo, porem um ganho de 77,5% em comparação com os corpos de prova referenciais.

Sendo assim, chega-se à conclusão de que o uso da manta de fibra de carbono para aumento de resistência é sim um método eficaz e vantajoso para ser utilizado na construção civil como reforço estrutural seja como tratamento para patologias ou como simples adequação de uso da estrutura.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118 – **Projeto de estruturas de concreto** – Procedimento. ABNT, Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16239: **projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edificações com perfis tubulares**. Rio de Janeiro, 2013. [Acesso em 22 de maio de 2020]. Disponível em: <[https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_nlinks&pid=S1983-4195201800010020300003&lng=en](https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_nlinks&pid=S1983-4195201800010020300003&lng=en)>

RIBEIRO, P. K. P. **Gerenciamento do Ciclo de Aquisição de Materiais na Produção de Edifícios**. São Carlos, 2006. [Acesso em março de 2020]. Disponível em: <<https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/4604/DissPKPR.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>

GRANATO, A. P. M. B. **Procedimentos para Antecipação dos Problemas Comuns, com Soluções e Dicas para Manutenção e Recuperação do Edifício**. São Paulo, 2013. [Acesso em março de 2020]. Disponível em: <<http://dspace.mackenzie.br/bitstream/handle/10899/325/Ana%20Paula%20Medeiros%20Branco%20Granato1.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>

SANTOS, L. S.; BECKHAUSER, P. H. **Investigação Dos Problemas Patológicos Construtivos Da Unidade Sanitária De Rio Fortuna**. Tubarão, 2018. [Acesso em maio de 2020]. Disponível em: <<https://riuni.unisul.br/bitstream/handle/12345/4963/Tcc%20Postar.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>

ANDRADE, J. J. O. **Durabilidade Das Estruturas De Concretoarmado: Análise Das Manifestações Patológicas Nas Estruturas No Estado De Pernambuco**. Porto Alegre, 1997. [Acesso em maio de 2020]. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/122441/000215709.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>

QUADROS, L. Z. **Fissuras Em Edifícios Novos com Estrutura De concreto Armado: Levantamento Das Principais Causas na Cidade De Porto Alegre**. Porto Alegre, 2015. [Acesso em maio de 2020]. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/127716/000970948.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>

GONÇALVES, E. A. B. **Estudo De Patologias E Suas Causas Nas Estruturas De Concreto Armado De Obras De Edificações**. Rio de Janeiro, 2015. [Acesso em abril]. Disponível em: <<http://www.monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10014879.pdf>>

BRONZE, R. A. **Estudo Comparativo: Uso Do Sistema De Fibras De Carbono E Sistema Convencional Para Reforço De Estruturas De Concreto**. Rio de Janeiro, 2016. [Acesso em março]. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10017651.pdf>>



KULAKOWSKI, M. P. **Contribuição Ao Estudo Da Carbonatação em concretos e Argamassas Compostos com Adição Desilica Ativa.** Porto Alegre, 2002. [Acesso em março]. Disponível em:<<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/3594/000390188.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>

MARCELLI, Mauricio. São Paulo, 2007. **Sinistros Na Construção Civil: Causas e Soluções para Danos e Prejuizos em Obras.** Disponível em:<<https://vivendoseguranca.files.wordpress.com/2017/07/sinistros-na-construc3a7c3a3o-civil.pdf>>

FORTE, A. S. **Vigas De Concreto Armado Reforçadas Com Fibras De Carbono.** Florianópolis, 2000. Disponível em:< <https://core.ac.uk/download/pdf/30359285.pdf>>

LIMA, R. C. A. **Investigação dos Efeitos de Temperaturas Elevadas em Reforços Estruturais com Tecido de Fibra de Carbono.** Porto Alegre, 2001. Disponível em:<<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/1677/000305836.pdf?sequence=1>>

SALLABERRY, R. D. **Limite de Deformação das Fibras de Carbono usadas no Reforço à Flexão de Vigas de Concreto Armado.** Rio de Janeiro, 2005. Disponível em:<<file:///E:/c/Downloads/Roberta%20Dutra%20Salaberry.pdf>>

REIS, L. S. N. **Sobre a Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto Armado.** Belo Horizonte, 2001. Disponível em:< <http://pos.dees.ufmg.br/defesas/82M.PDF>>

DIAS, F. O.; SILVEIRA, J. C. O. **Recuperação e Reforço de Vigas de Concreto Armado.** Goiânia, 2015. Disponível em:<[https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/140/o/RECUPERA%C3%87%C3%83O\\_E\\_REFOR%C3%87O\\_DE\\_VIGAS.pdf](https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/140/o/RECUPERA%C3%87%C3%83O_E_REFOR%C3%87O_DE_VIGAS.pdf)>

COSTA, T. S.; GAMA, K. N. C.; JUNIOR, L. A. S. **Análise Comparativa entre Fibras de Carbono, vidro e aramida para Reforço Estrutural em Elementos de Concreto Armado.** Minas Gerais, 2019. Disponível em:<<http://izabelahendrix.edu.br/pesquisa/anais/arquivos2019/engenharias/analise-comparativa-entre-fibras-de-carbono-vidro-e-aramida-para-reforco-estrutural-em-elementos-de-concreto-armado-pag-718-738.pdf>>

MONTANARI, N.; GONÇALCES, E. P. **Fibras de Carbono na Construção Civil.** São Paulo, 2016. Disponível em:<[http://www.inicepg.univap.br/cd/INIC\\_2016/anais/arquivos/0470\\_0728\\_01.pdf](http://www.inicepg.univap.br/cd/INIC_2016/anais/arquivos/0470_0728_01.pdf)>

SERRA, M. V. C.; SILVA, T. H. L. **Fibra de Carbono: Reforço em Estrutura de Concreto Armado.** 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)>

SLEIFER, M. **Avaliação da Degradação da Fibra de Carbono Aplicada como Reforço sob o Efeito de Elevadas Temperaturas.** Lajeado, 2017. Disponível em:<<https://www.univates.br/bdu/bitstream/10737/1930/1/2017MorganaSleifer.pdf>>

VIDAL, S. D. **Caracterização Mecânica de Adesivo de Resina Epóxi com Nanotubo de Carbono.** Fluminense, 2016. Disponível em:<<http://www.mec.uff.br/pdfeses/SilviaDaouVidal2016.pdf>>

JUNIOR, C. A. R. B.; ALVES, N. P.; GARCIA, E.; PARDINI, L. C. **Poliacrilitrila Termoplástica Plástica em Extrusora: Considerações Iniciais Sobre as Propriedades Mecânicas.** São Paulo. Disponível em:<<https://www.ipen.br/biblioteca/cd/cbpol/2009/PDF/551.pdf>>

ARQUEZ, A. P. **Aplicação de Laminado de Polímero Reforçado com Fibras de Carbono inserido em substrato de Microconcreto com Fibras de aço para Reforço à Flexão de vigas de Concreto Armado.** São Carlos, 2010. Disponível em:<[https://teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18134/tde-29062010-114146/publico/2010ME\\_AnaPaulaArquez.pdf](https://teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18134/tde-29062010-114146/publico/2010ME_AnaPaulaArquez.pdf)>

ZUCCHI, F. L. **Técnicas para Reforços de Elementos Estruturais.** Santa Maria, 2015. Disponível em:<[http://www.ct.ufsm.br/engcivil/images/PDF/2\\_2015/TCC\\_FERNANDO%20LUIZ%20ZUCCHI.pdf](http://www.ct.ufsm.br/engcivil/images/PDF/2_2015/TCC_FERNANDO%20LUIZ%20ZUCCHI.pdf)>

BEBER, A. J. **Comportamento Estrutural de Vigas de Concreto Armado Reforçadas com Compósito de Fibra de Carbono.** 2003. 289 f. Tese (Doutorado em Engenharia)

PIANCASTELLI, E. M. **Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto Armado.** Estruturas da Escola de Engenharia da UFRG, Belo Horizonte, 1997.

MACHADO, A. P. **Manual de Reforço das Estruturas de Concreto Armado com Fibras de Carbono.** São Paulo, 2010.

SOUZA, V.; RIPPER, T. **Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto.** São Paulo, 1998.

REIS, A. P. A. **Reforços de Vigas de Concreto Armado por meio de Barras de Aço Adicionais ou Chapas de Aço e Argamassa de Alto Desempenho.** São Carlos, 1998. Disponível em:<[https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18134/tde-22022018-151319/publico/Dissert\\_Reis\\_AndreaPA.pdf](https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18134/tde-22022018-151319/publico/Dissert_Reis_AndreaPA.pdf)>

TRINDADE, D. S. **Patologia em Estruturas de Concreto Armado.** Santa Maria, 2015. Disponível em:<[http://coral.ufsm.br/engcivil/images/PDF/2\\_2015/TCC\\_DIEGO%20DOS%20SANTOS%20DA%20TRINDADE.pdf](http://coral.ufsm.br/engcivil/images/PDF/2_2015/TCC_DIEGO%20DOS%20SANTOS%20DA%20TRINDADE.pdf)>

NASCIMENTO, P. L. S. **A Importância do Controle Tecnológico do Concreto.** Juiz de Fora, 2012. Disponível em:<<https://www.ufjf.br/engenhariacivil/files/2012/10/TCC-PHELLIPE-LOPES-OFICIAL-REV00.pdf>>

SARAIVA, V. A. H. S. **Sistema de Recuperação e Reforço Estrutural de Concreto Armado.** Rio de Janeiro, 2015. Disponível em:< [https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUBD-AGVPNV/1/victor\\_saraiva.pdf](https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUBD-AGVPNV/1/victor_saraiva.pdf)>

FERREIRA, L. V. **Concreto e Graute Estruturais Produzidos com Agregados de Resíduos de Construção e Demolição.** Brasília, 2013. Disponível em:< <https://core.ac.uk/reader/187131110>>

CARDOSO, F. M. N. **Contribuição ao Estudo de Patologias e Reforço Estrutural em Estruturas de Concreto Armado.** São Luís, 2018. Disponível em:< <https://monografias.ufma.br/jspui/bitstream/123456789/3013/1/FELIPE-CARDOSO.pdf>>

ROÇA, G. B. **Análise das Manifestações Patológicas de uma Edificação Residencial.** Curitiba, 2014. Disponível em:< <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/3852/1/CT CEPAC V 2014 04.pdf>>

PORTAL SÃO FRANCISCO. **Fibra de Carbono.** Disponível em:< <https://www.portalsaofrancisco.com.br/quimica/fibra-de-carbono>>

MASSA CINZENTA. **Fibra de Carbono Aguarda Norma Técnica Brasileira.** 2015. Disponível em:< <https://www.cimentoitambe.com.br/fibra-de-carbono-aguarda-norma-tecnica-brasileira/>>

TECMUNDO. **Fibra de Carbono.** 2017. Disponível em:< <https://www.tecmundo.com.br/quimica/76017-fibra-carbono-feito-funciona-material-incrivel.htm>>

MATERIAIS COMPÓSITOS UTILIZADOS EM REFORÇO ESTRUTURAL. Disponível em:< [https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/13063/13063\\_3.PDF](https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/13063/13063_3.PDF)>

BATISTA, J. T. M.; SILVA, V. A.; REZENDE, E. C. L.; MONTEIRO, E. C. B. **Reforço com Compósito de Fibra de Carbono.** 2017. Disponível em:< [file:///E:/c/Downloads/593-Texto%20do%20artigo-1524-1-10-20170815%20\(1\).pdf](file:///E:/c/Downloads/593-Texto%20do%20artigo-1524-1-10-20170815%20(1).pdf)>

MUNDOTRI. Disponível em:< <https://www.mundotri.com.br/2016/02/a-fibra-de-carbono-e-assim-mesmo-tao-cara/>>



#### NBR 5739 - Ensaio de compressão de cp cilíndricos

##### Dados Cadastrais da Amostra

Amostra: concreto  
Tipo de ensaio: Compressão Axial  
Cliente:  
Responsável:  
Data de Moldagem: 07/09/2020

##### Dados Complementares

Tensão ruptura prevista:  
Distância fixação extensômetros:

##### Dados dos Corpos de Prova

Id. CP	Idade	Tensão Ruptura	Carga Ruptura	Tipo
ref	28	26,6 (MPa)	21.290 (kgf)	
ref	28	25,8 (MPa)	20.670 (kgf)	
ref	28	26,2 (MPa)	20.990 (kgf)	
ref	28	27,1 (MPa)	21.730 (kgf)	
c/ reforço	28	48,5 (MPa)	38.860 (kgf)	
c/ reforço	28	38,7 (MPa)	30.960 (kgf)	
c/ reforço	28	33,8 (MPa)	27.040 (kgf)	
c/ reforço	28	32,6 (MPa)	26.110 (kgf)	
c/ reforço	28	41,8 (MPa)	33.490 (kgf)	
c/ reforço	28	45,3 (MPa)	36.280 (kgf)	

Gráfico dos Ensaios

