

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL**  
**ESCOLA DE ENGENHARIA**  
**COMISSÃO DE GRADUAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**Carolina Sanches Mallmann**

**DIRETRIZES PARA A ELABORAÇÃO DE PROJETO DE REFORÇO  
EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO COM A UTILIZAÇÃO  
DE POLÍMEROS REFORÇADOS COM FIBRA DE CARBONO**

Porto Alegre  
Outubro de 2022

**CAROLINA SANCHES MALLMANN**

**DIRETRIZES PARA A ELABORAÇÃO DE PROJETO DE  
REFORÇO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO  
COM A UTILIZAÇÃO DE POLÍMEROS REFORÇADOS COM  
FIBRA DE CARBONO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Comissão de  
Graduação do Curso de Engenharia Civil da Escola de Engenharia  
da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos  
requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil

**Orientadora: Ângela Gaio Graeff**

Porto Alegre  
Outubro de 2022

**CAROLINA SANCHES MALLMANN**

**DIRETRIZES PARA A ELABORAÇÃO DE PROJETO DE  
REFORÇO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO  
COM A UTILIZAÇÃO DE POLÍMEROS REFORÇADOS COM  
FIBRA DE CARBONO**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pela Banca Examinadora, pela Professora Orientadora e pela Comissão de Graduação do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, outubro de 2022

**BANCA EXAMINADORA**

**Profa. Ângela Gaio Graeff (UFRGS)**  
PhD pela Universidade de Sheffield  
Orientadora

**Profa. Vanessa Fátima Pasa Dutra (UFRGS)**  
Dra. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

**Prof. João Ricardo Masuero (UFRGS)**  
Dr. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Dedico este trabalho aos meus pais, Andrea e Sergio, por  
todo apoio e amor nesta minha trajetória.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a minha mãe, Andrea Bandeira Sanches, por todo amor, carinho, apoio e momentos que passamos juntas. Agradeço por ter me ensinado tudo o que sei, por ser a minha inspiração de vida, por ter sido a melhor mãe do mundo e para sempre será minha melhor amiga. Sou porque tu és. Te levo no meu coração.

Ao Ben-hur, meu cachorro, por ter sido meu companheiro durante toda a minha vida, e por ter sido minha força em vários momentos. Hoje é minha estrela.

Também, agradeço a todos que me ajudaram de alguma forma nesta trajetória, em especial:

A Deus, por me proporcionar condições para que eu mantivesse a persistência no momento mais difícil da minha vida.

Ao meu pai, Sergio Luiz Mallmann, por todo amor, carinho e apoio, e por me proporcionar educação e condições para alcançar esta conquista e me tornar a pessoa que sou hoje.

A minha psicóloga, Alice Abadi, pela paciência, carinho e comprometimento comigo, e por ter me acolhido em um momento tão difícil e me ajudado a chegar até aqui.

Ao Rômulo, por ter me acompanhado e me ajudado em todos os momentos difíceis, por me ouvir e me acalmar sempre que foi preciso, e por ter me mantido firme para conseguir alcançar meus objetivos.

Ao Theo, meu cachorro, por ter sido meu fiel companheiro em todos os momentos.

Aos meus amigos e colegas de curso, especialmente, à Renata, Gabi, Fê, Luiza, Felipe, Klaus e Gustavo por toda a parceria e amizade durante os longos anos de graduação.

A minha orientadora, Ângela Graeff, pela experiência e ajuda prestada durante a realização deste trabalho.

Ao prof. João Masuero, pela experiência e ajuda prestada durante a realização deste trabalho. Agradeço também a todos outros professores que tive na graduação.

Aos meus colegas de trabalho, por todo aprendizado que me proporcionaram, por fazerem os dias serem mais leves, e pela compreensão durante a minha jornada na graduação.

Who can say where the road goes,  
Where the day flows?  
Only time...

*Enya*

## RESUMO

Este trabalho apresenta as diretrizes para a elaboração e apresentação de um projeto de reforço estrutural com a utilização de polímeros reforçados com fibras de carbono (PRFC), com o objetivo de definir e padronizar as informações que devem estar contidas em um projeto desta natureza. Primeiramente são apresentados os componentes que fazem parte do sistema de reforço, detalhando as suas características e apresentando os dois sistemas na qual este tipo de reforço é comercializado: pré-fabricados e curados *in situ*. Depois, são descritas as melhores práticas de execução, detalhando a sequência executiva e o respectivo controle de qualidade que deve ser seguido para garantir o sucesso do reforço. Posteriormente, são elencados os itens que devem estar presentes nas plantas do projeto de reforço, e finaliza-se sintetizando o que foi apresentado em um projeto exemplo com a aplicação do sistema de reforço curado *in situ*.

Palavras-chave: Reforço estrutural. Fibras de carbono. Concreto armado. Projeto de engenharia.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Sistemas laminados pré-fabricados de PRFC .....	4
Figura 2 – Manta de fibra de carbono .....	4
Figura 3 – Configurações possíveis de reforço ao cisalhamento .....	15
Figura 4 – Elementos estruturais a serem reforçados .....	21
Figura 5 – Lista de pranchas do projeto .....	22

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Caracterização das mantas e tecidos empregados nos sistemas PRFC curados <i>in situ</i> .....	5
Quadro 2 – Principais características e aspectos de instalação de sistemas de reforços com PRFC .....	6

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Propriedades mecânicas das principais resinas .....	8
Tabela 2 – Propriedades mecânicas das fibras de carbono à tração .....	9
Tabela 3 – Valores aceitáveis de irregularidades da superfície de concreto .....	12

## **LISTA DE SIGLAS**

PRFC – Polímeros Reforçados com Fibras de Carbono

EBR – Externally Bonded Reinforcement

fib - Fédération Internationale Du Béton

ACI - American Concrete Institute

ICRI - International Concrete Repair Institute

# SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2 METODOLOGIA .....</b>	<b>2</b>
<b>3 COMPONENTES DO SISTEMA PRFC .....</b>	<b>2</b>
3.1 Compósitos de polímeros reforçados com fibras de carbono .....	3
3.1.1 Sistemas pré-fabricados .....	3
3.1.2 Sistemas curados <i>in situ</i> .....	4
3.1.3 Características dos sistemas .....	5
3.2 Resinas .....	7
3.2.1 <i>Primer</i> .....	7
3.2.2 Regularizador de superfície .....	7
3.2.3 Resina de saturação .....	7
3.2.4 Adesivos .....	8
3.3 Fibras .....	8
3.4 Revestimentos .....	9
<b>4 TÉCNICAS DE EXECUÇÃO .....</b>	<b>10</b>
4.1 Condições de instalação .....	10
4.2 Equipamentos e armazenamento .....	10
4.3 Descarregamento da estrutura e escoramento .....	11
4.4 Preparação da superfície .....	11
4.4.1 Remoção dos revestimentos .....	11
4.4.2 Reparos no substrato .....	11
4.4.2.1 Corrosão .....	11
4.4.2.2 Fissuras .....	11
4.4.3 Preparação da superfície .....	12
4.5 Fibras .....	12
4.6 Mistura das resinas .....	13
4.7 Aplicação do sistema de PRFC .....	13
4.7.1 <i>Primer</i> .....	13
4.7.2 Regularizador de superfície .....	13
4.7.3 Sistemas curados <i>in situ</i> .....	14
4.7.4 Sistemas pré-fabricados .....	14
4.7.5 Características dos sistemas .....	14

4.8 Revestimentos de proteção .....	15
4.9 Proteção temporária .....	16
4.10 Controle de qualidade e manutenção .....	16
4.10.1 Inspeção e manutenção .....	17
<b>5 ELABORAÇÃO E MONTAGEM DO PROJETO .....</b>	<b>17</b>
5.1 Levantamento de informações .....	17
5.2 Dimensionamento do reforço .....	18
5.3 Pranchas .....	19
5.3.1 Planta de situação .....	19
5.3.2 Planta baixa com reforços .....	19
5.3.3 Plantas de detalhamento do reforço .....	19
5.3.4 Instruções de execução .....	20
5.3.5 Equipamentos .....	20
5.3.6 Memorial descritivo .....	20
<b>6 PROJETO EXEMPLO .....</b>	<b>20</b>
<b>7 CONCLUSÕES .....</b>	<b>23</b>
<b>8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>23</b>
<b>APÊNDICE A .....</b>	<b>25</b>

# **DIRETRIZES PARA A ELABORAÇÃO DE PROJETO DE REFORÇO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO COM A UTILIZAÇÃO DE POLÍMEROS REFORÇADOS COM FIBRA DE CARBONO**

## **DESIGN GUIDELINES FOR REINFORCED CONCRETE STRUCTURES STRENGTHENED WITH CARBON FIBER REINFORCED POLYMER**

### **RESUMO**

Este trabalho apresenta as diretrizes para a elaboração e apresentação de um projeto de reforço estrutural com a utilização de polímeros reforçados com fibras de carbono (PRFC), com o objetivo de definir e padronizar as informações que devem estar contidas em um projeto desta natureza. Primeiramente são apresentados os componentes que fazem parte do sistema de reforço, detalhando as suas características e apresentando os dois sistemas na qual este tipo de reforço é comercializado: pré-fabricados e curados *in situ*. Depois, são descritas as melhores práticas de execução, detalhando a sequência executiva e o respectivo controle de qualidade que deve ser seguido para garantir o sucesso do reforço. Posteriormente, são elencados os itens que devem estar presentes nas plantas do projeto de reforço, e finaliza-se sintetizando o que foi apresentado em um projeto exemplo com a aplicação do sistema de reforço curado *in situ*.

Palavras-chave: Reforço estrutural. Fibras de carbono. Concreto armado. Projeto de engenharia.

### **ABSTRACT**

This paper provides the guidelines for the development and presentation of a structural strengthening project with Carbon Fiber Reinforced Polymers (CFRP), in order to define and standardize the information that should be in this kind of project. First, the strengthening system components are detailed, and the two forms of CFRP are presented: precured and wet layup systems. Then, the best installation practices are described, and the installation sequence and quality control are detailed and must be followed to guarantee the reinforcement success. Finally, information on the content that must be in the design drawings are mentioned, and all these steps are synthesized in an example project with the application of the wet layup system.

Keywords: Structural Reinforcement. Carbon Fiber. Reinforced Concrete. Engineering Project.

## 1 INTRODUÇÃO

As estruturas de concreto armado são projetadas para atender determinadas características referentes à resistência, rigidez e durabilidade, porém podem apresentar falhas em qualquer um desses aspectos em determinado momento, tornando-se, desta forma, insuficientes na função para a qual foram projetadas [1]. Por este motivo, uma grande vertente em estudo na construção civil refere-se aos reforços estruturais, que podem ser de diversos tipos: encamisamento das estruturas de concreto armado, colagem de chapas de aço, protensão externa, utilização de compósitos poliméricos reforçados com fibras, entre outros.

O estudo sobre a utilização de compósitos poliméricos com fibras de carbono na construção civil iniciou-se no Japão com a intenção de reforçar suas estruturas para suportarem catástrofes naturais (sismos) e foram direcionados para obras de infraestrutura. Hoje, as fibras de carbono são utilizadas por motivos como facilidade de instalação e fácil adaptação a diferentes geometrias, e também em locais onde o aumento da seção transversal não é possível ou em locais onde há a presença de cloretos. Os reforços com fibras de carbono conferem à peça aplicada um aumento na capacidade resistente à flexão e ao esforço cortante em vigas e lajes, além de poder ser utilizada para o encamisamento de pilares [2].

O reforço estrutural é uma intervenção essencial para aumentar a capacidade resistente da estrutura, garantindo a segurança do empreendimento e permitindo que a estrutura continue sendo utilizada, de acordo com as necessidades e demandas a ela aplicadas. Para que o reforço cumpra com o seu objetivo de garantir a integridade estrutural, é de extrema importância que seja executado de acordo com o projeto. Portanto, o projeto deve prever um sistema de reforço adequado, com o correto dimensionamento, e apresentando todas as informações necessárias para a execução, como os materiais que devem ser aplicados, as técnicas de execução que devem ser adotadas, e a forma que deve ser feito o controle de qualidade durante a execução e a inspeção para a posterior manutenção.

As diretrizes para a execução e controle de qualidade apresentam-se, em quase sua totalidade, baseados em fichas técnicas dos produtos, ou sob a tutela de profissionais associados às empresas que comercializam os sistemas de reforço com compósitos. No que se refere à elaboração de projetos de reforço utilizando compósitos de polímeros reforçados com fibras, quase não existem informações sobre a forma que os projetos devem ser apresentados e quais informações devem estar contidas neles. Ainda, a falta de regulamentação brasileira e a consequente falta de informações técnicas introduzem dificuldades em todo o processo.

Este trabalho tem como objetivo guiar o processo de elaboração e montagem de projetos de reforço em vigas e lajes de concreto armado com a utilização de polímeros reforçados com fibras pela técnica de colagem externa, visando contribuir para a difusão de informações relacionadas aos projetos de reforço estrutural, apresentando o que se considera fundamental em um projeto desta natureza para uma execução de qualidade que garanta o sucesso do reforço.

## **2 METODOLOGIA**

Este trabalho tem como objetivo fornecer diretrizes para a elaboração e apresentação de projetos de reforço estrutural com a utilização de compósitos poliméricos com fibras, tanto pré-fabricados, quanto curados *in situ*, a partir do detalhamento de cada etapa do processo. Pode servir como guia para qualquer tipo de fibra, mas o enfoque dado no presente trabalho será nas fibras de carbono. O desenvolvimento deste trabalho seguirá as seguintes etapas:

A primeira etapa envolverá a especificação e caracterização das propriedades dos componentes do sistema de polímeros reforçados com fibras de carbono (PRFC), que é composto pelas resinas (*primers*, regularizadores de superfície, resinas de saturação, adesivos), fibras de carbono e revestimentos de proteção.

A segunda etapa contemplará a descrição das técnicas executivas, que envolvem reparos no substrato de concreto, preparação da superfície em que será aplicado o reforço, mistura das resinas, e efetiva aplicação do sistema compósito na estrutura de concreto armado existente. A qualidade da execução interfere diretamente no comportamento do reforço, sendo de extrema importância seguir as orientações para garantir a segurança da estrutura.

A terceira etapa estará baseada na proposição de diretrizes para a elaboração de um projeto de reforço estrutural com polímeros reforçados com fibras, definindo os itens necessários na apresentação do mesmo.

A quarta e última etapa do trabalho consistirá na apresentação de um projeto exemplo com a aplicação do sistema de reforço curado *in situ*, tendo como objetivo a aplicação das outras etapas. O projeto elaborado apresentará o reforço de duas vigas à flexão e duas vigas à flexão e ao esforço cortante, além do reforço à flexão de uma laje, seguindo as diretrizes propostas na etapa anterior.

## **3 COMPONENTES DO SISTEMA PRFC**

Os polímeros reforçados com fibras de carbono (PRFC) são materiais compósitos formados por uma matriz polimérica, geralmente resinas poliméricas, e por fibras de carbono, que atuam

como o elemento estrutural do reforço. O sistema PRFC é formado pelas fibras e resinas utilizadas para criar o compósito, e todas as resinas necessárias para a efetiva ligação do mesmo ao substrato de concreto, além dos revestimentos utilizados para proteger o reforço e aumentar a sua durabilidade.

Os sistemas de reforço PRFC podem ser de duas formas: os sistemas curados *in situ* e os pré-fabricados [3]. As características deste tipo de reforço são determinadas a partir de uma série de fatores, tais como o tipo de fibra, a quantidade de fibra, o tipo de resina, a orientação e dimensões das fibras, além da qualidade da execução.

O tipo de sistema e os materiais a serem utilizados devem ser analisados e definidos pelo projetista, com base nas necessidades específicas do caso em estudo, que contemplam o tipo de elemento estrutural a ser reforçado (vigas ou lajes), o tipo de esforço (flexão e/ou cisalhamento), as cargas e deformações as quais o compósito será submetido, além de disponibilidade de materiais, facilidade de aplicação do reforço e o custo.

### **3.1 Compósitos de polímeros reforçados com fibras de carbono**

A partir da união da resina de saturação com as fibras de carbono forma-se o compósito de polímeros reforçados com fibras de carbono. Para a execução de reforços estruturais em estruturas de concreto armado, este compósito é disponibilizado na forma de dois sistemas: os sistemas pré-fabricados e os sistemas curados *in situ*.

#### **3.1.1 Sistemas pré-fabricados**

Os pré-fabricados são sistemas laminados semirrígidos de PRFC do tipo unidirecional produzidos em fábricas (Figura 1). Estes sistemas são resultado da impregnação de um conjunto de feixes ou camadas contínuas de fibras por uma resina termorrígida, consolidadas por um processo de pultrusão com controle da espessura e largura do compósito [4]. No caso destes sistemas, o agente adesivo é um material distinto do compósito de PRFC [5].



**Figura 1:** Sistemas laminados pré-fabricados de PRFC.

(Fonte: S&P Clever)

### 3.1.2 Sistemas curados *in situ*

Os sistemas curados *in situ* são constituídos por fios, mantas ou tecidos, em estado seco ou pré-impregnado (*prepreg*), aplicados sobre um adesivo epóxi previamente espalhado sobre a superfície do elemento de concreto a ser reforçado [4]. No caso do sistema ser pré-impregnado, as fibras são impregnadas na fábrica, onde é colocado um filme destacável de papel de silicone ou similar, aplicado à superfície com o objetivo de preservar o sistema de contaminações externas. No momento da utilização, deve-se retirar o papel e aplicar mais uma camada resina de saturação [6].

Nestes sistemas, o agente adesivo é a própria resina de saturação, responsável por impregnar e polimerizar o compósito. Segundo o conceito de compósito, este sistema só será considerado um após a execução do reforço, quando a matriz polimérica e as fibras entrarem em contato. A Figura 2 mostra uma manta de fibra de carbono, representando o sistema curado *in situ*.



**Figura 2:** Manta de fibra de carbono.

(Fonte: S&P Clever)

As fibras de carbono dos sistemas curados *in situ* podem ser divididas quanto ao critério de agrupamento das fibras, apresentado no Quadro 1 [4].

**Quadro 1:** Caracterização das mantas e tecidos empregados nos sistemas PRFC curados *in situ*.

DESIGNAÇÃO		DESCRIÇÃO	ORIENTAÇÃO DAS FIBRAS	ESTADO
MANTAS		Disposição de faixas contínuas e paralelas de fibras sobre uma rede de proteção. (200 - 300 g/m <sup>2</sup> )	unidirecionais	secas
				pré-impregnadas
TECIDOS	"Woven roving" [i]	Entrelaçamento direcionado de dois fios ou faixa de fibras.  (600 - 800 g/m <sup>2</sup> )	bidirecionais: 0/90° 0/+45° 0/-45°	secos
	"Mat" [i]	Espalhamento aleatório das fibras num tapete rolante que, depois, é pulverizado com resina para adquirir consistência.	multidirecional	
	"Cloth" [i]	Fios contínuos tecidos por um processo têxtil convencional.  (150 - 400 g/m <sup>2</sup> )	unidirecional ou bidirecional ou multidirecional	pré-impregnados

[i] - designação internacional para o arranjo das fibras no plano.

### 3.1.3 Características dos sistemas

As principais características e aspectos típicos de instalação dos sistemas pré-fabricados e dos sistemas curados *in situ* são apresentados no Quadro 2 [7]:

**Quadro 2:** Principais características e aspectos de instalação de sistemas de reforços com PRFC.

<b>Característica</b>	<b>Sistemas Pré-fabricados</b>	<b>Sistemas curados <i>in situ</i></b>
<b>Forma</b>	tiras ou laminados	mantas ou tecidos
<b>Espessura</b>	1,0 a 1,5 mm	0,1 a 0,5 mm
<b>Utilização</b>	colagem dos elementos pré-fabricados com adesivo	colagem e impregnação das mantas e tecidos com resina (moldado e curado <i>in situ</i> )
<b>Aspectos típicos da instalação</b>	salvo condições especiais, aplicável somente em superfícies planas	independente da forma da superfície, necessidade de arredondamento dos cantos
	adesivo tixotrópico para colagem  geralmente uma única camada  rigidez do compósito e tixotropia do adesivo permitem a tolerância de algumas imperfeições na superfície reforçada  aplicação simplificada, maior garantia de qualidade (sistema pré-fabricado)	resina de baixa viscosidade para colagem e impregnação  frequentemente várias camadas  aplicação do <i>putty</i> é necessária para prevenir o deslocamento por imperfeição da superfície  versatilidade de aplicação, necessita de rigoroso controle de qualidade
	controle de qualidade (má aplicação e mão de obra de baixa qualidade = perda de ação compósita entre o reforço e a estrutura, problemas na integridade do reforço a longo prazo)	

As vantagens da técnica dos sistemas pré-fabricados estão associadas à melhor qualidade do laminado, que é produzido em fábrica em condições higrométricas ideais, com controle de qualidade preciso, e ao reduzido tempo de execução, pois consiste apenas na colagem do laminado ao concreto [6]. Por outro lado, o sistema curado *in situ* se adapta melhor a diversos elementos e geometrias, por ser mais flexível, e são comercializados, no geral, em larguras maiores.

Os reforços estruturais com PRFC são comercializados na forma de sistemas, ou seja, o sistema inclui todos os materiais necessários (fibras e resinas), além de suporte técnico, manuais de aplicação e treinamento, não sendo recomendado, em hipótese alguma, misturar componentes de fabricantes diferentes. Desta forma, a escolha do tipo de sistema a ser utilizado vai depender das propriedades mecânicas requeridas pelo projeto, como resistência e módulo de elasticidade, e das condições de aplicação específicas.

Abaixo são caracterizados os itens a serem verificados na escolha dos materiais de forma genérica, sendo necessário sempre consultar as recomendações do fabricante.

## 3.2 Resinas

As resinas poliméricas usadas para os reforços têm diversas características e funções, sendo que as mais utilizadas são os *primers*, regularizadores de superfície, resinas de saturação e adesivos.

Os fabricantes dos sistemas PRFC devem utilizar resinas com as seguintes características [3]:

- Compatibilidade e adesão ao substrato de concreto e ao sistema compósito de PRFC;
- Resistência aos agentes externos;
- Trabalhabilidade;
- *Pot life* (tempo de utilização) compatível com a forma de aplicação;
- Desenvolvimento de propriedades mecânicas adequadas ao sistema PRFC;
- Viscosidade compatível com a forma de aplicação.

### 3.2.1 Primer

O *primer* é usado após a limpeza mecânica do substrato e apresenta a característica de penetrar no concreto por capilaridade, de modo a melhorar a propriedade adesiva desta superfície, para, então, receber a resina de saturação ou o adesivo [5].

### 3.2.2 Regularizador de superfície

O regularizador de superfície, ou *putty filler*, é um produto utilizado para o preenchimento de vazios ou correção de imperfeições superficiais, visando propiciar uma superfície lisa, com o intuito de evitar a formação de bolhas de ar e garantir uma superfície uniforme para a aplicação do PRFC [6].

### 3.2.3 Resina de saturação

A resina de saturação envolve completamente as fibras, tendo como objetivo a impregnação, a união e a fixação das mesmas na posição correta, além de proteger as fibras contra a abrasão, a umidade, a oxidação, e agentes agressivos [5]. A resina de saturação, que exerce a função de matriz polimérica do compósito, atua como o meio através do qual as solicitações externas são transmitidas e distribuídas para as fibras [8]. A resina de saturação também serve como adesivo para os sistemas curados *in situ* [3].

As matrizes poliméricas podem ser originadas a partir de resinas termorrígidas ou termoplásticas. No âmbito dos reforços estruturais, as resinas termorrígidas representam a matriz ideal para a confecção de compósitos PRF, porque proporcionam, dentre outras propriedades, boa estabilidade térmica, boa resistência química e baixa fluência [9]. Dentre as

resinas termorrígidas mais utilizadas em compósitos para o reforço estrutural, estão o poliéster, o éster-vinílico e o epóxi.

Algumas propriedades mecânicas importantes na caracterização de matrizes poliméricas dos compósitos são mostradas na Tabela 1 [5]:

**Tabela 1:** Propriedades mecânicas das principais resinas.

Propriedade	Resinas		
	Poliéster	Éster-vinílico	Epóxi
Resistência à tração [MPa]	20 - 100	79 - 90	55 - 130
Módulo de elasticidade [GPa]	2,1 - 4,1	3,0 - 3,3	2,5 - 4,1
Deformação na ruptura [%]	1 - 6	3,9 - 5,2	1 - 9
Resistência à flexão [MPa]	125	110 - 149	131
Peso específico [kN/m <sup>3</sup> ]	9,8 - 14,2	10,9 - 12,9	10,8 - 12,7

As resinas epóxi são as mais utilizadas para reforços estruturais, por apresentarem excelente aderência a diversos tipos de fibras e substratos, serem resistentes a ações químicas e apresentarem baixa retração durante o processo de cura [9]. As resinas epóxi empregadas na aplicação de reforços estruturais geralmente são do tipo bi-componente, ou seja, compostas por um agente principal (a própria resina) e um catalisador (endurecedor) [10].

### 3.2.4 Adesivos

Os adesivos são utilizados para colar os sistemas pré-fabricados de PRFC no substrato de concreto, e também as múltiplas camadas de lâminas, caso o projeto solicite. Servem de meio através do qual as solicitações externas são transmitidas e distribuídas para as fibras [3].

## 3.3 Fibras

As fibras definem a resistência e a rigidez do sistema de reforço, podendo ser classificadas de diferentes formas:

- Orientação das fibras:

Podem ser orientadas em qualquer direção, podendo ser divididas em três grandes grupos [5]:

- Unidirecional: todas as fibras alinhadas em uma única direção;
- Bidirecional: as fibras são alinhadas em duas direções;
- Aleatória: as fibras são distribuídas aleatoriamente nas várias direções em um mesmo plano.

- Propriedades mecânicas:

As fibras de carbono comercialmente disponibilizadas variam de 220 a 690 GPa quanto ao módulo de elasticidade, e de 1380 a 6200 MPa de resistência à tração. Podem ser classificadas segundo a Tabela 2 [3]:

**Tabela 2:** Propriedades mecânicas das fibras de carbono à tração.

<b>Tipo da fibra de carbono</b>	<b>Módulo de elasticidade (GPa)</b>	<b>Resistência máxima de tração (MPa)</b>	<b>Deformação de ruptura (%)</b>
De uso geral	220 - 240	2050 - 3790	1,2
Alta Resistência	220 - 240	3890 - 4820	1,4
Ultra Alta Resistência	220 - 240	4820 - 6200	1,5
Alto Módulo	340 - 520	1720 - 3100	0,5
Ultra Alto Módulo	520 - 690	1380 - 2400	0,2

- Fabricação:

As fibras de carbono são disponibilizadas comercialmente na forma de laminados, fios, mantas e tecidos.

### 3.4 Revestimentos

Os revestimentos servem para proteger o sistema de reforço de potenciais danos. São aplicados na superfície do reforço após a resina de saturação ou o adesivo já estarem curados, e podem ser feitos de diversos materiais [3]:

- Revestimentos poliméricos (em geral, epóxi ou poliuretano)
- Revestimentos acrílicos
- Revestimentos cimentícios (requerem uma superfície áspera para a aderência do material. Pode-se aplicar areia na resina ainda úmida)
- Revestimentos intumescentes

Estes sistemas de proteção têm diversas finalidades e a escolha depende da necessidade específica do projeto, sendo necessário aplicar técnicas adequadas de dimensionamento.

Abaixo citam-se alguns exemplos [3]:

- Proteção contra raios ultravioletas
- Proteção contra o fogo
- Proteção ao vandalismo
- Proteção contra impacto e abrasão

- Resistência química
- Barreira química (PRFCs submersos podem contaminar a água)

## 4 TÉCNICAS DE EXECUÇÃO

É de extrema importância que o projeto apresente as informações necessárias para a correta aplicação do sistema, pois o comportamento do reforço está diretamente ligado à execução, uma vez que erros podem levar ao descolamento ou delaminação do sistema de PRFC antes de atingir a carga de ruptura de projeto. Além disso, a mão de obra deve ser especializada e demonstrar competência para fazer a preparação da superfície e a aplicação do sistema compósito [3].

As instruções de aplicação descritas neste capítulo referem-se ao método de reforço por colagem externa (*Externally Bonded Reinforcement - EBR*), que consiste em uma ou mais camadas de PRF coladas externamente na zona tracionada do elemento a ser reforçado. As instruções fornecidas pelo fabricante devem ser prioritariamente seguidas e os materiais indicados pelo mesmo não devem ser substituídos.

### 4.1 Condições de instalação

Algumas condições devem ser observadas antes do início da instalação do reforço, seguindo os limites fornecidos pelo fabricante:

- Temperatura do ar;
- Temperatura da superfície de concreto onde será instalado o reforço;
- Umidade relativa do ar;
- Umidade da superfície de concreto onde será instalado o reforço (observar o ponto de orvalho).

### 4.2 Equipamentos e armazenamento

Os equipamentos a serem utilizados dependem do tipo de sistema de PRFC a ser instalado e das recomendações de cada fabricante, podendo contemplar impregnadores de resina, pulverizadores, dispositivos de posicionamento, esmerilhadeira, entre outros [3]. Todos os equipamentos devem estar limpos e em boas condições de operação. Além disso, o uso de equipamentos de proteção individual, como luvas, máscaras e óculos de proteção é muito importante [3].

Para detalhes relativos ao armazenamento dos produtos, deve-se sempre consultar a ficha técnica e a Ficha de Informação de Segurança de Produtos Químicos (FISPQ) dos mesmos.

### **4.3 Descarregamento da estrutura e escoramento**

Para a execução do reforço é imprescindível retirar toda a carga possível e escorar a estrutura para aliviar as tensões e, conseqüentemente, as deformações nos elementos estruturais que receberão o reforço, assim aumentando a eficiência do reforço. Quando o elemento a ser reforçado é uma viga, deve-se retirar as cargas conforme o projeto indicar e escorar as lajes que estão apoiadas nelas. Já no caso de reforço de laje, deve-se retirar as cargas conforme o projeto indicar e escorar o próprio elemento estrutural.

O projeto de escoramento deve ser feito por profissional habilitado, atentando-se para que não ocorra a inversão dos esforços de tração em compressão no momento do escoramento.

### **4.4 Preparação da superfície**

#### **4.4.1 Remoção dos revestimentos**

As superfícies de concreto que ficarão em contato com a fibra de carbono deverão ter todos revestimentos removidos, tais como pintura, reboco e chapisco.

#### **4.4.2 Reparos no substrato**

Antes de iniciar a preparação, é necessário fazer uma inspeção rigorosa no substrato para identificar e remover possíveis problemas que podem comprometer a integridade do reforço [3], tais como partes danificadas do concreto, pedaços de fôrma ou pedaços de arame.

##### **4.4.2.1 Corrosão**

Os sistemas de PRFC nunca devem ser aplicados em substratos de elementos de concreto com suspeita de corrosão na armadura. As forças expansivas associadas à corrosão são difíceis de determinar e podem comprometer a integridade do sistema de PRFC. As causas da corrosão devem ser identificadas e tratadas antes da aplicação do reforço [3].

##### **4.4.2.2 Fissuras**

As fissuras com espessura de 0,3 mm ou mais podem afetar a performance do reforço por colagem externa através da delaminação ou ruptura da fibra. Desta forma, essas fissuras devem ser preenchidas com resina epóxi antes da instalação do sistema de PRFC. Fissuras com

espessura menor do que 0,3 mm expostas a ambientes agressivos devem ser preenchidas também para prevenir a corrosão da armadura [3].

#### 4.4.3 Preparação da superfície

A preparação deve garantir que a superfície fique o mais regular possível. De acordo com as recomendações do FIB [7], os valores aceitáveis de irregularidade da superfície são apresentados na Tabela 3 [5]:

**Tabela 3:** Valores aceitáveis de irregularidades da superfície de concreto.

SISTEMA DE REFORÇO		
	Irregularidade aceitável em um comprimento de 2 m	Irregularidade aceitável em um comprimento de 0,3 m
Laminado pré-fabricado (espessura > 1 mm)	10 mm	4 mm
Laminado pré-fabricado (espessura < 1 mm)	6 mm	2 mm
Curado <i>in situ</i>	4 mm	2 mm

A preparação da superfície deve seguir os procedimentos citados abaixo [3]:

- A camada de nata de cimento deve ser removida, e os agregados expostos, mantendo a superfície o mais regular possível, com a utilização de uma esmerilhadeira com disco diamantado ou através de lixação ou jateamento abrasivo.
- A superfície de concreto deve ser preparada para um grau 3 de CSP<sup>1</sup> (*concrete surface profile*);
- Deve-se fazer o arredondamento dos cantos vivos que serão envolvidos pelas fibras com um raio mínimo de 1,3 cm para evitar concentração de tensões no sistema de PRFC e evitar vazios entre o sistema compósito e o concreto;
- Toda a nata, poeira, sujeira, óleo, revestimentos existentes ou qualquer outro componente que possa afetar a ligação do compósito ao substrato deve ser removido.

#### 4.5 Fibras

As fibras de carbono devem ser cortadas nas dimensões recomendadas no projeto, utilizando-se tesouras reforçadas ou estiletes. É possível armazenar temporariamente os pedaços já

<sup>1</sup> Concrete Surface Profile (CSP) é uma medida padronizada referente à rugosidade da superfície de concreto, definida pelo ICRI (International Concrete Repair Institute).

cortados, tomando o cuidado de nunca dobrar ou vincar as lâminas ou tecidos/mantas. As fibras devem ficar isentas de poeira, óleos, umidade e outros contaminantes.

#### 4.6 Mistura das resinas

A mistura das resinas deve ser feita de acordo com as recomendações do fabricante. Os itens abaixo devem ser observados [3]:

- Temperaturas mínima e máxima adequadas para trabalhar com a resina;
- Proporção correta entre os dois componentes da mistura;
- Tempo de mistura;
- *Pot life* (tempo de utilização): é o intervalo de tempo, após a mistura da resina e do catalisador, durante o qual o material líquido é utilizável sem dificuldade. Após esse tempo, a mistura perde suas características de aderência e não deve ser usada;
- Tempo de cura.

A resina deve ser misturada até que seus componentes formem uma pasta uniforme e homogênea. Geralmente, os componentes têm colorações diferentes, ou seja, a mistura deve ser feita até que fique de uma cor apenas. Pode ser feita com um equipamento de mistura elétrico ou manualmente.

#### 4.7 Aplicação do sistema de PRFC

##### 4.7.1 *Primer*

Quando indicado pelo fabricante, o *primer* deve ser aplicado uniformemente em todas as áreas de concreto onde o sistema compósito será instalado, na espessura recomendada [3]. Após aplicado, deve ser protegido da poeira, umidade e outros contaminantes. O *primer* deve estar curado antes da aplicação da resina de saturação [3].

##### 4.7.2 Regularizador de superfície

O regularizador de superfície deve ser utilizado somente para preencher buracos e vazios, e regularizar alguma descontinuidade ou superfície áspera que possa existir [3]. Os cantos arredondados que ficarem ásperos devem ser regularizados e alisados com esta resina. Arestas ou linhas deixadas pela espátula durante a aplicação devem ser polidas antes da aplicação de outros materiais. O regularizador de superfície deve estar curado antes da aplicação da resina de saturação [3].

#### 4.7.3 Sistemas curados *in situ*

Estes sistemas são compostos por mantas ou tecidos de fibra de carbono e uma resina de saturação. A resina de saturação deve ser aplicada uniformemente e na espessura definida pelo fabricante, em todas as superfícies já preparadas onde haverá a aplicação do reforço. As fibras também podem ser impregnadas anteriormente em um processo conhecido como *prepreg* ou pré-impregnação [3].

As fibras devem ser levemente pressionadas sobre a resina de saturação não curada, e as bolhas de ar que ficarem presas devem ser liberadas com a ajuda de um rolo antes de a resina secar. O rolo só deve ser utilizado na direção das fibras. Mais uma camada de resina deve ser aplicada para completar a total impregnação das fibras [3].

No caso de sucessivas camadas de fibras, a camada seguinte sempre deve ser posicionada antes que a resina esteja curada. Se as camadas anteriores já estiverem secas, pode ser necessário fazer lixamento ou aplicar algum solvente, conforme recomendação do fabricante [3]. Todas as camadas devem estar totalmente impregnadas pela resina de saturação.

#### 4.7.4 Sistemas pré-fabricados

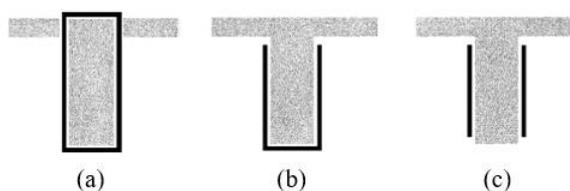
Para a aplicação dos sistemas pré-fabricados, deve-se aplicar um adesivo na superfície de concreto preparada previamente, na espessura recomendada pelo fabricante. As lâminas de fibras devem estar secas e limpas e devem ser aplicadas sobre o adesivo ainda molhado. As bolhas de ar que ficarem presas devem ser liberadas com a ajuda de um rolo antes de o adesivo secar [3].

#### 4.7.5 Características dos sistemas

Os processos de aplicação dos sistemas curados *in situ* e dos pré-fabricados são muito semelhantes, entretanto, ressalta-se que a preparação da superfície para a utilização dos tecidos é menos rigorosa, em função da sua maior flexibilidade [6].

Tanto nos sistemas curados *in situ* quanto nos sistemas pré-fabricados, o reforço com fibras para aumento da capacidade resistente à flexão deve ser aplicado na face tracionada do elemento de concreto, orientado segundo o comprimento axial do mesmo. Adicionar sistemas de ancoragem nas extremidades dos elementos de reforço pode ser útil para evitar a falha do elemento estrutural por destacamento, contribuindo para o aumento da ductilidade da viga reforçada.

Já os reforços para aumento da resistência ao esforço cortante podem ser aplicados segundo três esquemas distintos de envolvimento, conforme mostra a Figura 3 [3].



**Figura 3:** Configurações possíveis de reforço ao cisalhamento.

A configuração indicada na Figura 3.(a) corresponde ao envolvimento total da seção transversal com as lâminas de fibra de carbono, sendo a mais indicada em casos de vigas que não possuem lajes em sua parte inferior ou superior. No caso de existir a laje, essa solução não é indicada, devido à necessidade de demolições e recomposições localizadas na laje em que está incorporada a viga, para permitir a criação de “rasgos” para a passagem da fibra pela laje para se completar o envolvimento [6].

A disposição indicada na Figura 3.(b) refere-se ao envolvimento denominado de “U” e que abrange apenas três lados do elemento (duas laterais e o fundo). Essa configuração geralmente é imposta pela existência de laje na parte superior da viga. Esta é uma solução de fácil execução e que permite um razoável incremento na resistência nominal de corte da peça [6].

Já a configuração da Figura 3.(c) é a menos eficiente, devido à falta de ancoragem, mas ocorrerá sempre que não se puder envolver totalmente a seção transversal, limitando a aplicação das fibras às duas laterais da viga [6].

No caso de o reforço com envolvimento em “U” descolar durante a execução, deve-se colocar uma estrutura de suporte para impedir. Para garantir que a estrutura de suporte não fique colada na resina de saturação, deve-se colocar plástico na interface entre estes elementos.

#### **4.8 Revestimentos de proteção**

Os revestimentos aplicados no sistema de reforço devem ser compatíveis e aplicados segundo as recomendações do fabricante. O uso de solventes geralmente não é recomendado para a limpeza do sistema antes da aplicação do revestimento, pois podem degradar as resinas [3]. Os revestimentos de proteção devem ser periodicamente inspecionados e, se necessário, deve ser providenciada a devida manutenção para garantir a efetividade do sistema [3].

#### 4.9 Proteção temporária

Proteções temporárias, como barracas ou telas de plástico, podem ser necessárias para proteger o reforço da ação de agentes externos, como temperaturas extremas, contato com a água da chuva, poeira, sujeiras, excessivo contato com os raios ultravioletas, alta umidade, vandalismo, entre outros [3].

Nos casos em que a estrutura de concreto precisou ser temporariamente escorada para a execução do reforço, é necessário esperar o sistema de PRFC estar completamente curado antes da retirada do escoramento, para garantir que o elemento estrutural tenha capacidade de resistir às cargas de projeto.

#### 4.10 Controle de qualidade e manutenção

Os sistemas de PRFC aplicados devem ser avaliados e aceitos ou rejeitados baseados na conformidade ou desconformidade com o projeto e suas respectivas especificações [6]. Diversos aspectos devem ser incluídos na avaliação, como as propriedades dos materiais utilizados, as condições ambientais e do substrato no momento da instalação, a orientação e tamanho das fibras, a presença de delaminações, a adesão do sistema ao substrato de concreto, entre outros [3]. Abaixo citam-se alguns:

- Avaliação dos materiais: todos os materiais utilizados para o sistema de PRFC devem apresentar certificação de qualidade. Testes adicionais de materiais podem ser providenciados ou exigidos com base na complexidade do projeto [3].
- Orientação das fibras: a orientação e tamanho das fibras de carbono ou dos laminados pré-curados devem ser avaliados através de inspeção visual. Ondulações nas fibras ou fibras que se desviaram localmente da linha geral de alinhamento também devem ser avaliadas para os sistemas curados *in situ*. Desvios de alinhamento das fibras com mais de 5° do ângulo especificado em projeto devem ser comunicados ao projetista para avaliação e aceitação [3].
- Testes de verificação: ao finalizar a aplicação, deve ser realizada uma verificação das condições de aplicação do sistema. Este teste inclui inspeção visual, teste de sonoridade e teste mecânico de arrancamento. O teste de sonoridade consiste em bater com um martelo de aço em toda a extensão do sistema aplicado e, através da resposta sonora, identificar possíveis pontos onde a colagem não esteja adequada [3]. Já o teste de

arrancamento mecânico consiste em colar uma chapa de aço quadrada com lado igual a 5 cm sobre o sistema composto aplicado e, através de um dispositivo adequado promover o arrancamento da chapa. De acordo com o modo de ruptura ocorrido, avalia-se a eficiência da aplicação [3].

Caso algum dos testes indique uma deficiência na aplicação do sistema, deverá ser feita uma recuperação localizada ou, dependendo da extensão do problema, ser totalmente removido e refeito.

O controle de qualidade deve ser compreensível e cobrir todos os aspectos do projeto de reforço, devendo ser detalhado nas especificações do projeto [3].

#### 4.10.1 Inspeção e manutenção

O sistema de reforço deve ser periodicamente inspecionado, e qualquer aspecto diferente deve ser identificado antes de realizar reparos ou manutenção. Pode ser feita inspeção visual, avaliando mudanças de cor, descolamento, bolhas, fissuras, indícios de corrosão de aço, e outras anomalias. Além disso, ultrassom, batidas de martelo ou testes termográficos podem indicar sinais de delaminação progressiva [3].

Ademais, os revestimentos de proteção também devem ser observados e trocados no tempo e da forma indicada pelo fornecedor. Neste momento da substituição, o sistema de PRFC deve ser inspecionado, avaliando danos e possíveis deteriorações no compósito e no concreto [3].

## 5 ELABORAÇÃO E MONTAGEM DO PROJETO

O projeto de reforço estrutural de uma estrutura existente requer uma abordagem diferente do projeto de uma estrutura nova, uma vez que cada projeto apresenta especificidades e condicionantes próprias, sobretudo quanto às etapas a seguir para a elaboração do projeto [11]. Embora seja difícil propor uma sequência de etapas aplicável a todos os casos de projetos de reforço, abaixo é sugerida uma metodologia.

### 5.1 Levantamento de informações

Antes de dar início ao projeto, é de suma importância que se faça um levantamento, tanto documental quanto no local, das informações a respeito da estrutura de concreto armado existente, tais como:

- Projetos e memoriais descritivos;
- Fichas de conferência da estrutura;

- Registros de alterações de uso da estrutura;
- Registros de intervenções anteriores;
- Levantamento da dimensão real dos elementos estruturais;
- Quantidade e posição das armaduras existentes nos elementos a serem reforçados;
- Verificação da conformidade entre projeto e obra;
- Pesquisa de sonoridade do concreto, principalmente no cobrimento do mesmo, em todas as áreas onde serão aplicados os sistemas de PRFC [6];
- Determinação da resistência à tração do substrato de concreto por meio de testes de arrancamento (*pull off adhesion test*) [6].

Caso não seja possível ter acesso aos projetos ou perceba-se alguma inconformidade entre o projeto e a execução, pode-se fazer uma investigação da estrutura utilizando ensaios não destrutivos, como pacometria, ultrassom e esclerometria, ou ainda semi-destrutivos, como extração de corpos de prova para ensaios mecânicos e de durabilidade.

Além disso, deve-se fazer uma inspeção visual da estrutura para verificar se é apropriado fazer o reforço com fibra de carbono, e quais as melhores práticas e tipos de sistemas a serem utilizados para o caso em estudo. Deve-se fazer um levantamento dos defeitos visíveis, como fissuras, buracos, deterioração do concreto, indícios de corrosão e/ou carbonatação, entre outros.

## 5.2 Dimensionamento do reforço

Após o levantamento de informações referentes à estrutura existente, procede-se ao dimensionamento do reforço a partir das normativas e procedimentos existentes, que atualmente são todos internacionais, e documentos técnicos dos fabricantes. Abaixo citam-se alguns:

- EUA: ACI 440.2R-08, “*Guide for the Design and construction of Externally Bonded FRP Systems for strengthening concrete structures*”, Julho 2008.
- FIB (Fédération Internationale du Béton): Boletim de informação nº 14 - “*Externally bonded FRP reinforcement for RC structures*”, Technical report, Julho 2001 (Internacional).
- Canadá: ISIS Design Manual nº 4 - “*Strengthening Reinforced Concrete Structures with Externally-Bonded Fibre Reinforced Polymers (F.R.P.s)*”.
- Japão: “*Design Guidelines of F.R.P. reinforced concrete building structures*”, Agosto 1997 - Emitido pelo BRI (Building Research Institute).

- Fichas técnicas dos fabricantes de PRFC, tais como: S&P Clever, Sika, MasterBrace, etc.

Em geral, os valores de características mecânicas fornecidos pelos fabricantes dos sistemas pré-fabricados são relativos à seção transversal do mesmo, o que inclui as fibras e a resina de impregnação. No caso dos sistemas curados *in situ*, tanto nos sistemas pré-impregnados quanto nos sistemas no estado seco, a espessura final do compósito de PRFC não pode ser estimada de uma maneira determinística. Por este motivo, é recomendado que sejam referidas as características geométricas e mecânicas do tecido seco de acordo com os dados técnicos fornecidos pelos fabricantes [6]. Desta forma, o dimensionamento utilizando-se os laminados e os tecidos de fibra carbono são iguais, o que muda são as características mecânicas relativas à seção transversal.

### **5.3 Pranchas**

Após o levantamento de informações da estrutura e o dimensionamento do reforço, inicia-se a etapa de elaboração das pranchas, que devem conter os desenhos e textos necessários para o correto entendimento e execução do projeto. Os seguintes itens devem estar contemplados no projeto a ser entregue ao cliente e à mão de obra contratada para a execução do reforço:

#### **5.3.1 Planta de situação**

Deve conter a localização do reforço a ser executado na estrutura de concreto armado existente, identificando vigas e lajes a serem reforçadas e o pavimento em que estas situam-se.

#### **5.3.2 Planta baixa com reforços**

A planta baixa tem o objetivo de representar os reforços nos seus respectivos elementos estruturais.

#### **5.3.3 Plantas de detalhamento do reforço**

Deve ser feita uma planta para cada elemento estrutural a ser reforçado, contendo vista lateral, transversal e, opcionalmente, vista isométrica para melhor entendimento. Nestas vistas deve estar especificado, essencialmente, os seguintes itens:

- Largura das lâminas ou tecidos de fibra de carbono;
- Comprimento das lâminas ou tecidos de fibra de carbono;
- Número de camadas de lâminas ou tecidos de fibra de carbono;

- Espaçamento entre lâminas ou tecidos de fibra de carbono.

Além disso, devem apresentar as especificações do sistema de PRFC a ser utilizado, com as seguintes informações:

- Tipo de sistema a ser utilizado: curado *in situ* x pré-fabricado;
- Resistência à ruptura do sistema de PRFC;
- Módulo de elasticidade do sistema de PRFC;
- Espessura da lâmina ou tecido de fibra de carbono.

#### 5.3.4 Instruções de execução

Deve conter todas as informações necessárias para a correta execução do reforço, conforme o item 4 desta diretriz.

#### 5.3.5 Equipamentos

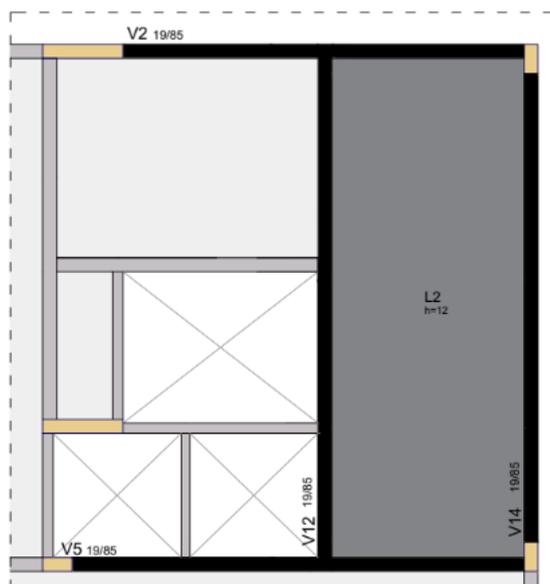
Os equipamentos e ferramentas a serem utilizados devem ser especificados no projeto, conforme o item 4.2 desta diretriz e conforme recomendações do fabricante.

#### 5.3.6 Memorial descritivo

No memorial descritivo devem estar detalhados todos os materiais, equipamentos e técnicas executivas necessários para a execução do reforço, além das normas utilizadas para o dimensionamento do mesmo. Além disso, é muito importante que estejam descritos os procedimentos necessários para assegurar a vida útil do reforço, o que envolve a verificação da qualidade da execução do reforço, bem como a inspeção e manutenção periódicas ao longo do tempo.

## 6 PROJETO EXEMPLO

No apêndice A, é mostrado um projeto de reforço que serve como exemplo de aplicação das diretrizes citadas no item anterior. O projeto refere-se à laje do reservatório superior de uma edificação, onde foi necessário reforçar duas vigas somente à flexão (vigas 12 e 14) e duas vigas à flexão e ao esforço cortante (vigas 2 e 5), além de uma laje à flexão (laje 2), conforme a Figura 4. Pilares e fundações não fizeram parte das verificações.



**Figura 4:** Elementos estruturais a serem reforçados.

O reforço foi necessário devido a uma mudança de uso na edificação, gerando a necessidade de aumento de volume dos três reservatórios superiores para 15.000 litros cada, anteriormente de 10.000 litros cada. O incremento de carga foi aplicado na laje 2. O processo de dimensionamento iniciou com o cálculo das novas cargas atuantes na estrutura, passando para a verificação dos elementos estruturais para definir quais necessitariam de reforço, através da comparação da resistência dos elementos originais com as novas cargas solicitantes da estrutura. O dimensionamento foi baseado no ACI 440.2R-08 [3] e no método desenvolvido no trabalho de Biehl [12].

As quatro vigas reforçadas são biapoiadas e obtiveram um momento solicitante maior que o resistente, ou seja, as armaduras longitudinais não são suficientes para suportar a nova situação de carregamento, sendo necessário aplicar algumas camadas de fibra de carbono na parte inferior das vigas e no sentido longitudinal para aumentar a capacidade resistente destas.

Em relação ao esforço cortante, mesmo com a sobrecarga na laje 2, as vigas 12 e 14 possuem armaduras transversais suficientes para resistir ao aumento de carga. Já as vigas 2 e 5 necessitam de reforço para atender o aumento de volume dos reservatórios. Como ambas as vigas possuem laje na sua parte superior, a configuração de reforço mais adequada é a de envolvimento em “U”.

O tipo de sistema escolhido para este caso foi o curado *in situ*, devido à maior flexibilidade dos tecidos em relação aos laminados, possibilitando uma melhor conformidade do reforço ao elemento de concreto nos locais com curvas, como no caso do envolvimento em “U” para o

esforço cortante. Além disso, os fabricantes disponibilizam laminados com larguras até 15 cm, enquanto o projeto requer largura de 19 cm de fibra para o reforço à flexão de vigas.

As pranchas desenvolvidas para este projeto são as mostradas na Figura 5, seguindo as recomendações do item 5.3.

PRANCHA 00	LISTA DE PRANCHAS
PRANCHA 01	PLANTA DE SITUAÇÃO
PRANCHA 02	PLANTA BAIXA COM REFORÇOS
PRANCHA 03	PLANTA DE DETALHAMENTO - L2
PRANCHA 04	PLANTA DE DETALHAMENTO - V2
PRANCHA 05	PLANTA DE DETALHAMENTO - V5
PRANCHA 06	PLANTA DE DETALHAMENTO - V12
PRANCHA 07	PLANTA DE DETALHAMENTO - V14

**Figura 5:** Lista de pranchas do projeto.

A prancha 01 refere-se à planta de situação, que mostra a localização e identificação específica das lajes e vigas reforçadas e o pavimento em que estas se situam, conforme indica o item 5.3.1

A prancha 02 é a planta baixa com reforços, a qual apresenta os reforços nos seus respectivos elementos estruturais, mostrando a configuração final de reforço, conforme o item 5.3.2.

As pranchas 03 a 07 são referentes aos detalhamentos da laje 2 e das vigas 2, 5, 12 e 14, respectivamente. Conforme o item 5.3.3, estas plantas detalham o reforço de cada elemento estrutural, a partir das vistas lateral, transversal e isométrica, definindo espaçamento, largura, comprimento e número de camadas que devem ser executadas. Além disso, apresentam os componentes do sistema de PRFC e suas características, equipamentos a serem utilizados, além das técnicas de execução que devem ser adotadas.

Por último, conforme o item 5.3.6, foi desenvolvido um memorial descritivo contendo os componentes do sistema de PRFC, as técnicas executivas e os equipamentos que devem ser utilizados em cada etapa, além de especificações a respeito do controle de qualidade da execução, bem como informações sobre inspeção e manutenção do reforço ao longo da sua vida útil. O memorial disponibiliza uma ficha de controle de qualidade para ser utilizada antes, durante e depois da execução do reforço, e uma ficha que deve ser utilizada para fazer a inspeção da estrutura periodicamente.

## 7 CONCLUSÕES

O reforço estrutural com a utilização de polímeros reforçados com fibras de carbono consiste na aplicação de fibras de carbono, na forma de lâminas pultrudadas coladas com adesivos ou tecidos impregnados *in situ* com resina de saturação, em um substrato de concreto previamente preparado. A correta execução é muito importante para o sucesso do reforço, mas para isso é necessário que o projeto forneça informações de forma clara e detalhada, tornando possível a reprodução *in loco*. Para isso, é essencial que sejam especificadas de forma correta as características físicas e mecânicas do sistema de reforço e o respectivo fabricante que atende a estas necessidades, além de detalhar corretamente a sequência executiva que deve ser seguida e o controle de qualidade que deve ser aplicado.

Todas essas informações devem estar contidas nas plantas e memoriais do projeto, sendo necessário possuir nos documentos do projeto a localização do reforço por meio de uma planta de situação, vistas dos elementos a serem reforçados com as respectivas dimensões e posição das fibras que devem estar nas plantas de detalhamento dos elementos estruturais a serem reforçados, e um memorial descritivo com as etapas de instalação do reforço, componentes do sistema, equipamentos e ferramentas, além de especificar o controle de qualidade a ser seguido e informações de manutenção e inspeção da estrutura ao longo do tempo.

Conclui-se que há muito a fazer ainda relativamente ao tema de reforço de estruturas, mais especificamente a produção de normas orientadoras de projeto. Este trabalho cumpriu com o objetivo de criar um documento orientativo que apresente de forma objetiva, integrada e detalhada as diretrizes para a elaboração e apresentação de um projeto de reforço estrutural com polímeros reforçados com fibras, demonstrando a aplicação por meio de um projeto exemplo com a utilização de fibras de carbono curadas *in situ*.

## 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] PIVATTO, A.B. **Reforço estrutural à flexão para viga biapoiada de concreto armado por chapas metálicas e compósito reforçado com fibras de carbono**. Monografia (curso de Engenharia Civil). Universidade Federal do Paraná, Paraná, 2014.
- [2] ADORNO, F.V.; DIAS, F.O.; SILVEIRA, J.C.O. **Recuperação e reforço de vigas de concreto armado**. Monografia (curso de Engenharia Civil). Universidade Federal de Goiás, Goiás, 2015.
- [3] ACI (American Concrete Institute). **Guide for the design and construction of externally bonded FRP systems for strengthening concrete structures**. ACI Committee 440.2R, 2008.

- [4] JUVANDES, L. F. P. **Reforço e reabilitação de estruturas de betão usando materiais compósitos de “CFRP”**. 1999. Tese (Doutorado em Engenharia) - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 1999.
- [5] BEBER, A. J. **Comportamento estrutural de vigas de concreto armado reforçadas com compósitos de fibra de carbono**. 2003. Tese (Doutorado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.
- [6] MACHADO, A. P.; MACHADO, B. A. **Reforço de estruturas de concreto armado com sistemas compostos FRP: Teoria e prática**. 1. ed. São Paulo, Brasil: Pini, 2015.
- [7] FIB (FÉDÉRATION INTERNATIONALE DU BÉTON). **Externally bonded FRP reinforcement for RC Structures - Technical report**. Bulletin n° 14, 2001.
- [8] HOLLAWAY, L. **Polymer composites for civil and structural engineering**. 2. ed. Surrey, Inglaterra: Springer Science & Business Media, 2012.
- [9] ACI (American Concrete Institute). **State-of-the-art report on fiber reinforced plastic reinforcement for concrete structures**. ACI Committee 440R-96, 1996.
- [10] FIB (FÉDÉRATION INTERNATIONALE DU BÉTON). **Bond of reinforcement in concrete - State-of-the-art report**. Bulletin n° 10, 2000.
- [11] SOUSA, A. F. V. **Reparação, reabilitação e reforço de estruturas de betão armado**. 2008. Tese (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2008.
- [12] BIEHL, A. K. D. **Principais técnicas de execução e dimensionamento de reforço à flexão simples normal em lajes e vigas de concreto armado**. 2015. Monografia (curso de Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

**PROJETO DE REFORÇO ESTRUTURAL COM FIBRAS DE CARBONO**

**RESIDENCIAL ESPLANADA**

**LOCALIZAÇÃO: RUA A, Nº 100**

PRANCHA 00	LISTA DE PRANCHAS
PRANCHA 01	PLANTA DE SITUAÇÃO
PRANCHA 02	PLANTA BAIXA COM REFORÇOS
PRANCHA 03	PLANTA DE DETALHAMENTO - L2
PRANCHA 04	PLANTA DE DETALHAMENTO - V2
PRANCHA 05	PLANTA DE DETALHAMENTO - V5
PRANCHA 06	PLANTA DE DETALHAMENTO - V12
PRANCHA 07	PLANTA DE DETALHAMENTO - V14

Obra:

**RESIDENCIAL ESPLANADA**

Assunto:

**LISTA DE PRANCHAS**

Cliente:

ABS ENGENHARIA

Data: 03/09/2022

Fase:

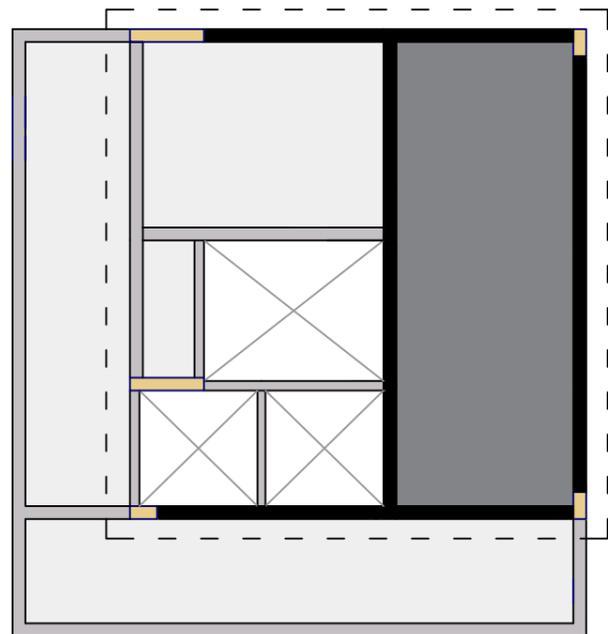
EXECUTIVO

Prancha:

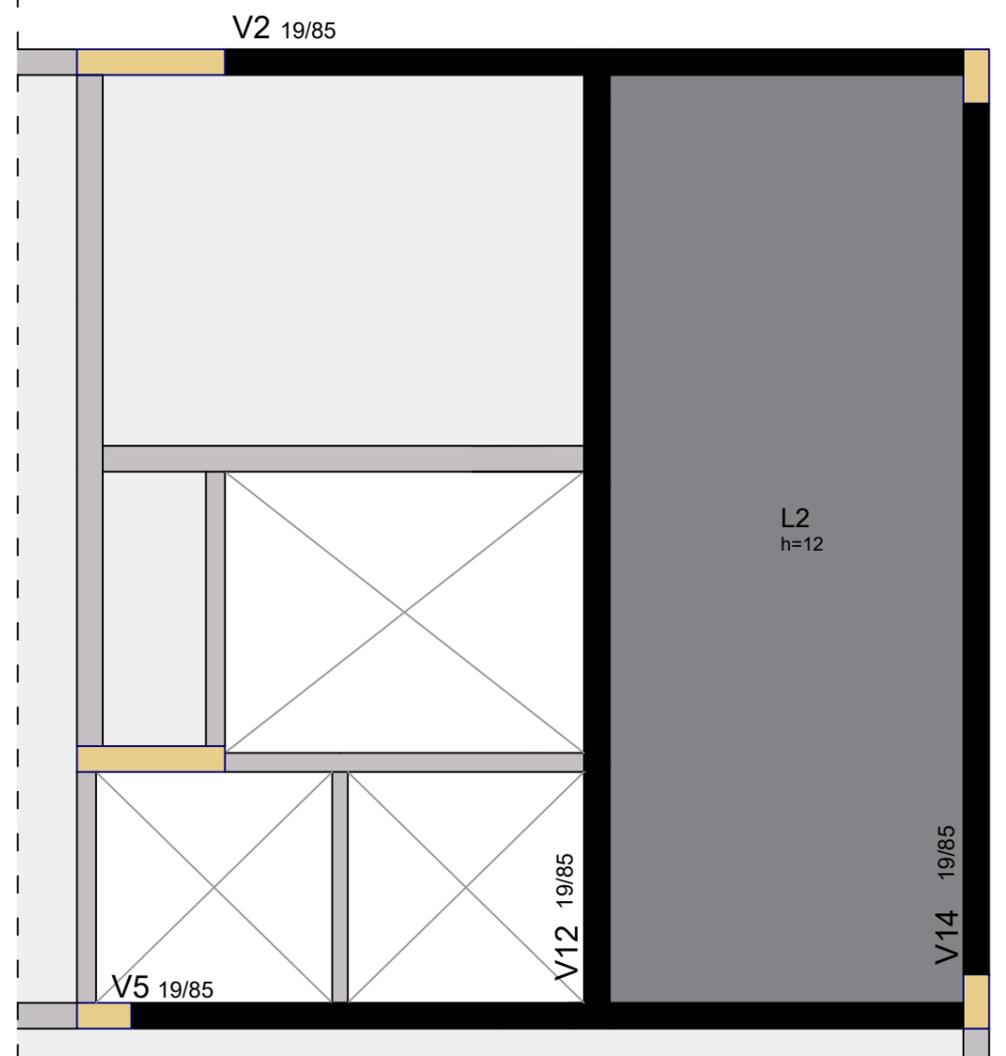
Responsável Técnico:

CAROLINA SANCHES MALLMANN

**00 / R00**

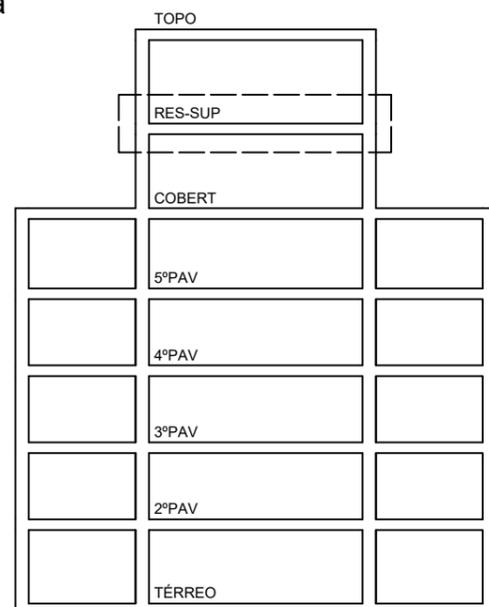


1. LAJE DE PISO RESERVATÓRIO SUPERIOR  
sem escala



2. PLANTA BAIXA AMPLIADA - RESERVATÓRIO SUPERIOR  
sem escala

FACHADA FRONTAL  
sem escala



**OBSERVAÇÕES REFERENTES AO PROJETO DE REFORÇO ESTRUTURAL**

- 1) ESTE PROJETO PREVÊ O AUMENTO DE CARGA APENAS NA LAJE 2 DO RESERVATÓRIO SUPERIOR.
- 2) CARGA TOTAL SUPOSTADA PELA LAJE 2 APÓS A EXECUÇÃO DO REFORÇO: 2900 kg/m<sup>2</sup>.
- 3) A PLANTA BAIXA INDICANDO OS ELEMENTOS A SEREM REFORÇADOS ENCONTRA-SE NA PRANCHA 02.
- 4) EXECUTAR REFORÇO DA LAJE 2 CONFORME PRANCHA 03.
- 5) EXECUTAR REFORÇO DA VIGA 2 CONFORME PRANCHA 04.
- 6) EXECUTAR REFORÇO DA VIGA 5 CONFORME PRANCHA 05.
- 7) EXECUTAR REFORÇO DA VIGA 12 CONFORME PRANCHA 06.
- 8) EXECUTAR REFORÇO DA VIGA 14 CONFORME PRANCHA 07.
- 9) AS INSTRUÇÕES DE EXECUÇÃO ESTÃO DESCRITAS NAS PRANCHAS DE DETALHAMENTO (PRANCHAS 03 A 07).
- 10) O MEMORIAL DESCRITIVO DEVE SER LIDO ANTES DA EXECUÇÃO DO REFORÇO.
- 11) QUALQUER ALTERAÇÃO CONTATAR O PROJETISTA.

**PROJETO DE REFORÇO ESTRUTURAL**

Obra: RESIDENCIAL ESPLANADA

Assunto:  
REFORÇO ESTRUTURAL COM FIBRA DE CARBONO  
PLANTA DE SITUAÇÃO

Ciente:  
ABS ENGENHARIA

Fase: EXECUTIVO      Escala: Indicada      Data: 03/09/2022

Autora do projeto:  
CAROLINA SANCHES MALLMANN

Prancha:

**01/R00**

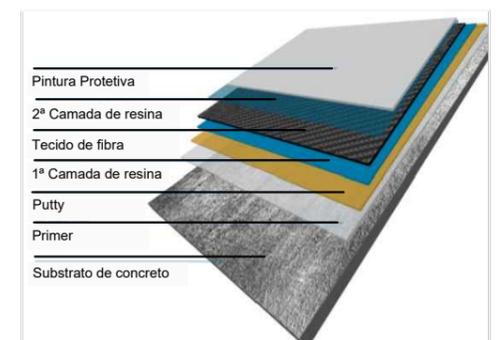
**OBSERVAÇÕES REFERENTES AO PROJETO DE REFORÇO ESTRUTURAL**

- 1) ESTE PROJETO PREVÊ O AUMENTO DE CARGA APENAS NA LAJE 2 DO RESERVATÓRIO SUPERIOR.
- 2) CARGA TOTAL SUPOSTADA PELA LAJE 2 APÓS A EXECUÇÃO DO REFORÇO: 2900 kgf/m<sup>2</sup>.
- 3) A PLANTA BAIXA INDICANDO OS ELEMENTOS A SEREM REFORÇADOS ENCONTRA-SE NA PRANCHA 02.
- 4) EXECUTAR REFORÇO DA LAJE 2 CONFORME PRANCHA 03.
- 5) EXECUTAR REFORÇO DA VIGA 2 CONFORME PRANCHA 04.
- 6) EXECUTAR REFORÇO DA VIGA 5 CONFORME PRANCHA 05.
- 7) EXECUTAR REFORÇO DA VIGA 12 CONFORME PRANCHA 06.
- 8) EXECUTAR REFORÇO DA VIGA 14 CONFORME PRANCHA 07.
- 9) AS INSTRUÇÕES DE EXECUÇÃO ESTÃO DESCRITAS NAS PRANCHAS DE DETALHAMENTO (PRANCHAS 03 A 07).
- 10) O MEMORIAL DESCRITIVO DEVE SER LIDO ANTES DA EXECUÇÃO DO REFORÇO.
- 11) QUALQUER ALTERAÇÃO CONTATAR O PROJETISTA.

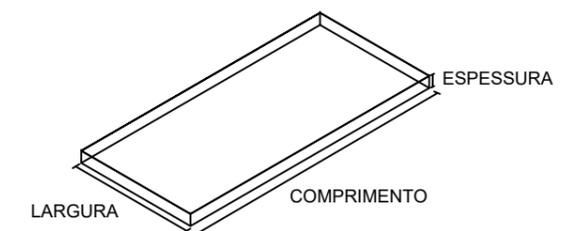
**Legenda:**

- █ Vigas reforçadas
- █ Laje reforçada

**DETALHE DE FIXAÇÃO DA FIBRA PARA UMA CAMADA**



**DETALHE DAS DIMENSÕES DA FIBRA**



**PROJETO DE REFORÇO ESTRUTURAL**

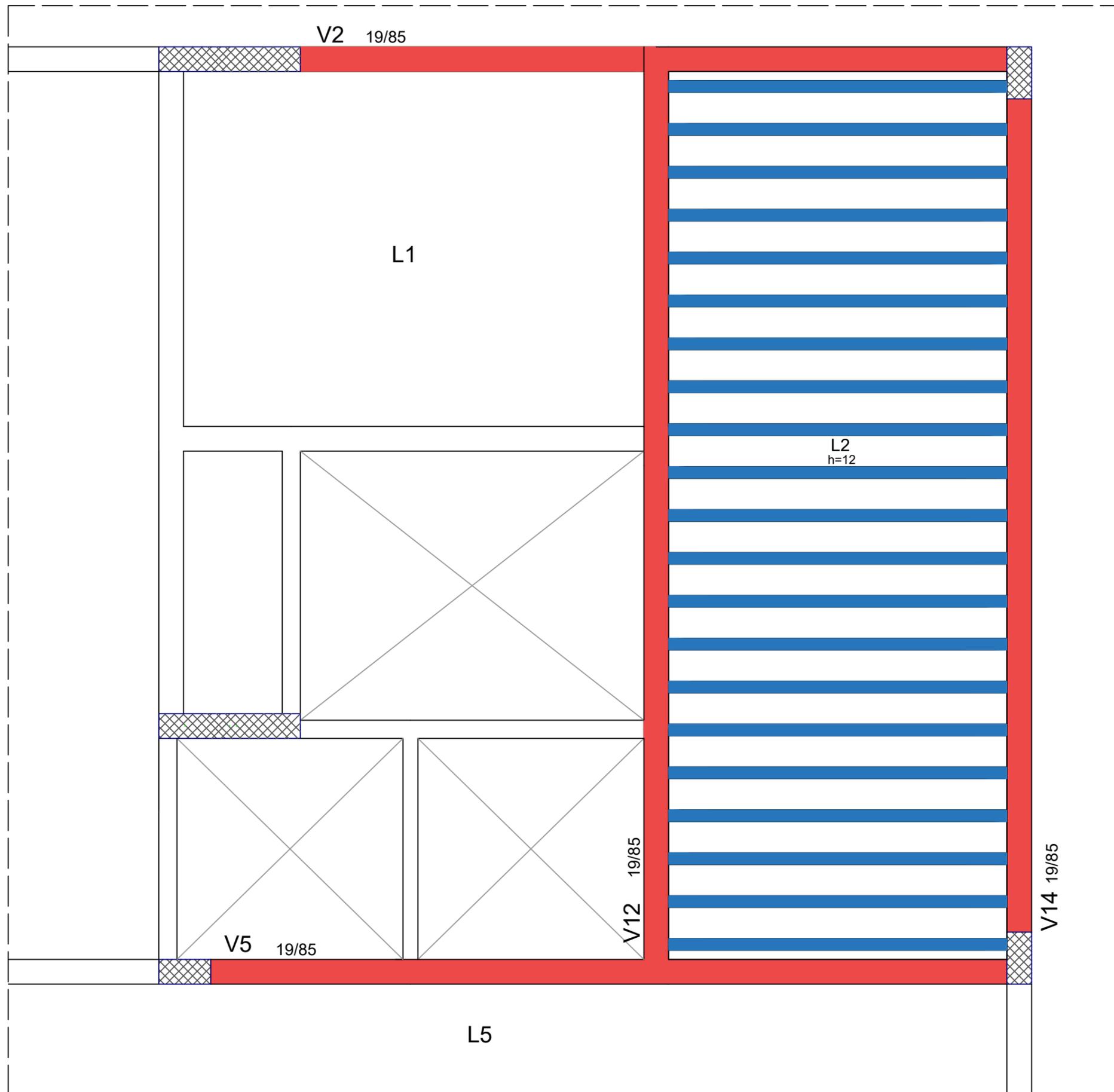
Obra: RESIDENCIAL ESPLANADA

Assunto: REFORÇO ESTRUTURAL COM FIBRA DE CARBONO  
PLANTA BAIXA COM REFORÇOS (L2, V2, V5, V12, V14)

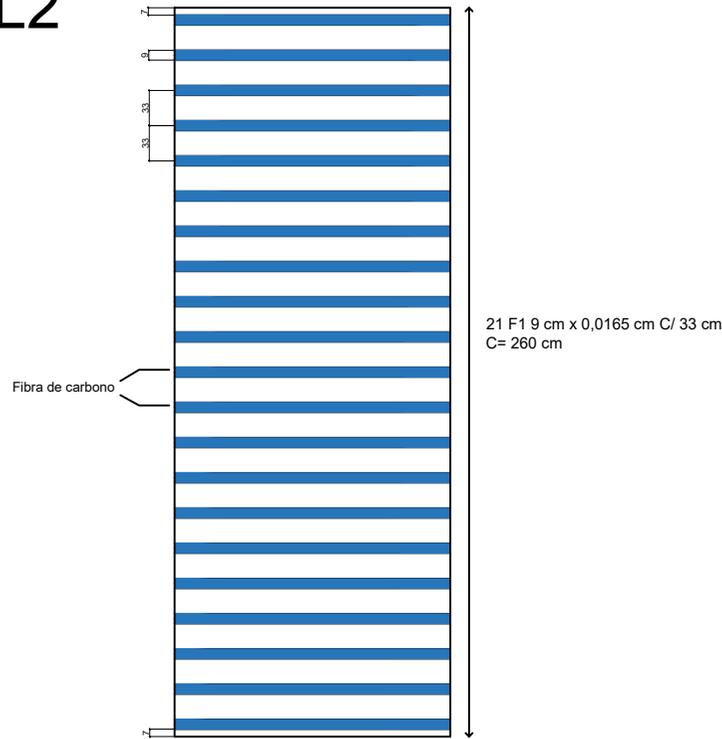
Cliente: ABS ENGENHARIA  
Fase: EXECUTIVO Escala: Indicada Data: 03/09/2022  
Autora do projeto: CAROLINA SANCHES MALLMANN

Prancha:

**02/R00**

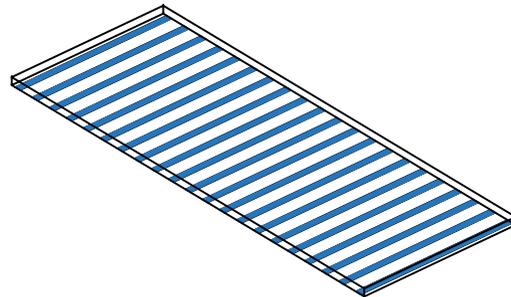


# L2



### 1. VISTA INFERIOR

1:50



### 3. VISTA ISOMÉTRICA

sem escala

### 2. VISTA TRANSVERSAL

1:75



Propriedades Físicas da Fibra	
Material da fibra	Carbono de alta resistência
Tipo	Tecido
Orientação	Unidirecional
Gramatura	300 g/m <sup>2</sup>
Largura mínima do tecido	10 cm
Espessura nominal	0,165 mm/lâmina
Propriedades de tração a 0°	
Sistema curado in situ	
Limite de resistência à tração	3800 MPa
Módulo de elasticidade	227 GPa
Deformação de ruptura	1,67%

QUANTITATIVO DE FIBRA DE CARBONO					
L2	POSICÃO	LARGURA (cm)	QUANTIDADE	COMPRIMENTO	
				UNITÁRIO (cm)	TOTAL (cm)
	F1	9	21	260	5460

### ETAPAS DE EXECUÇÃO DO REFORÇO ESTRUTURAL

- DESCARREGAMENTO DA ESTRUTURA E ESCORAMENTO**
  - RETIRAR OS RESERVATÓRIOS DE ÁGUA APOIADOS NA LAJE 2 PARA A EXECUÇÃO DO REFORÇO. VER PRANCHA 02.
  - ESCORAR AS LAJES 1 E 5 ANTES DO INÍCIO DA EXECUÇÃO DO REFORÇO SEGUNDO O PROJETO DE ESCORAMENTO CONTRATADO. VER PRANCHA 02.
  - ESCORAR A LAJE 2 SEGUNDO O PROJETO DE ESCORAMENTO CONTRATADO EM PONTOS ESTRATÉGICOS QUE NÃO ATRAPALHEM A EXECUÇÃO DO REFORÇO NESTE ELEMENTO. VER PRANCHA 03.
- PREPARAÇÃO DA SUPERFÍCIE**
  - REMOVER TODOS OS REVESTIMENTOS (PINTURA, REBOCO, CHAPISCO) DAS SUPERFÍCIES QUE FICARÃO EM CONTATO COM O REFORÇO.
  - REMOVER PEDAÇOS DE FÓRMA E DE ARAME, E REPARAR PARTES DANIFICADAS DO CONCRETO.
  - EM CASO DE SUSPEITA DE CORROÇÃO NA ARMADURA, DEVE-SE IDENTIFICAR AS CAUSAS E TRATAR ANTES DA APLICAÇÃO DO REFORÇO.
  - AS FISSURAS COM ESPESSURA IGUAL OU SUPERIOR A 0,3 mm DEVEM SER PREENCHIDAS COM RESINA EPOXI ANTES DA INSTALAÇÃO DO REFORÇO.
  - A CAMADA DE NATA DE CIMENTO DEVE SER REMOVIDA, E OS AGREGADOS EXPOSTOS, MANTENDO A SUPERFÍCIE O MAIS REGULAR POSSÍVEL (VERIFICAR VALORES DE IRREGULARIDADE ACEITÁVEIS NO MEMORIAL DESCRITIVO DESTES PROJETO) COM A UTILIZAÇÃO DE UMA ESMERILHADERA COM DISCO DIAMANTADO OU ATRAVÉS DE LIXAÇÃO OU JATEAMENTO ABRASIVO.
  - A SUPERFÍCIE DE CONCRETO DEVE SER PREPARADA PARA UM GRAU 3 DE CSP (CONCRETE SURFACE PROFILE), CONFORME DETALHADO NO MEMORIAL DESCRITIVO DESTES PROJETO.
  - DEVE-SE FAZER O ARREDONDAMENTO DOS CANTOS VIVOS QUE SERÃO ENVOLVIDOS PELAS FIBRAS COM UM RÁIO MÍNIMO DE 1,3 cm.
  - TODA A NATA, POEIRA, SUJEIRA, ÓLEO, REVESTIMENTOS EXISTENTES OU QUALQUER OUTRO COMPONENTE QUE POSSA AFETAR A LIGAÇÃO DO COMPOSITO AO SUBSTRATO DEVE SER REMOVIDO.
- MISTURA DAS RESINAS**

A RESINA DEVE SER MISTURADA SEGUNDO AS ORIENTAÇÕES DO FABRICANTE, ATÉ QUE SEUS COMPONENTES FORMEM UMA PASTA UNIFORME E HOMOGÊNEA, PODENDO SER FEITA COM UM EQUIPAMENTO DE MISTURA ELÉTRICO OU MANUALMENTE.

OBS.: A RESINA NUNCA DEVE SER UTILIZADA APÓS O POT LIFE (TEMPO EM ABERTO), POIS AS CARACTERÍSTICAS DE ADERÊNCIA SÃO PERDIDAS.
- APLICAÇÃO DO SISTEMA DE REFORÇO COM FIBRAS DE CARBONO**

AS MANTAS DE FIBRA DE CARBONO DEVEM SER CORTADAS NAS DIMENSÕES INDICADAS, UTILIZANDO-SE TESOURAS REFORÇADAS OU ESTILETES. NÃO DEVEM SER FEITAS EMENDAS.

  - PRIMER**

O PRIMER DEVE SER APLICADO UNIFORMEMENTE EM TODAS AS ÁREAS DE CONCRETO ONDE O SISTEMA COMPOSITO SERÁ INSTALADO, NA ESPESSURA RECOMENDADA PELO FABRICANTE. O PRIMER DEVE ESTAR CURADO ANTES DA APLICAÇÃO DA RESINA DE SATURAÇÃO.
  - REGULARIZADOR DE SUPERFÍCIE (PUTTY)**

O REGULARIZADOR DE SUPERFÍCIE DEVE SER UTILIZADO SOMENTE PARA PREENCHER BURACOS E VAZIOS, E REGULARIZAR ALGUMA DESCONTINUIDADE OU SUPERFÍCIE ÁSpera QUE POSSA EXISTIR. O PUTTY DEVE ESTAR CURADO ANTES DA APLICAÇÃO DA RESINA DE SATURAÇÃO.
  - RESINA DE SATURAÇÃO E TECIDO DE FIBRA DE CARBONO**

A RESINA DE SATURAÇÃO DEVE SER APLICADA UNIFORMEMENTE E NA ESPESSURA DEFINIDA PELO FABRICANTE, EM TODAS AS SUPERFÍCIES JÁ PREPARADAS ONDE HAVERÁ A APLICAÇÃO DO REFORÇO. AS FIBRAS DEVEM SER LEVEMENTE PRESSIONADAS SOBRE A RESINA DE SATURAÇÃO NÃO CURADA, E AS BOLHAS DE AR QUE FIGUREM PRESAS DEVEM SER LIBERADAS COM A AJUDA DE UM ROLO ANTES DE A RESINA SECAR. O ROLO SÓ DEVE SER UTILIZADO NA DIREÇÃO DAS FIBRAS. MAIS UMA CAMADA DE RESINA DEVE SER APLICADA PARA COMPLETAR A TOTAL IMPREGNAÇÃO DAS FIBRAS. NO CASO DE SUCESSIVAS CAMADAS DE FIBRAS, A CAMADA SEGUINTE SEMPRE DEVE SER POSICIONADA ANTES QUE A RESINA ESTEJA CURADA. TODAS AS CAMADAS DEVEM ESTAR TOTALMENTE IMPREGNADAS PELA RESINA DE SATURAÇÃO.
  - REVESTIMENTOS DE PROTEÇÃO**

OS REVESTIMENTOS APLICADOS NO SISTEMA DE REFORÇO DEVEM SER COMPATÍVEIS E APLICADOS SEGUNDO AS RECOMENDAÇÕES DO FABRICANTE.
  - PROTEÇÃO TEMPORÁRIA**

UTILIZAR PROTEÇÕES TEMPORÁRIAS, COMO BARRACAS OU TELAS DE PLÁSTICO, PARA PROTEGER O REFORÇO DA AÇÃO DE AGENTES EXTERNOS, COMO TEMPERATURAS EXTREMAS, CONTATO COM A ÁGUA DA CHUVA, POEIRA, SUJEIRAS, EXCESSIVO CONTATO COM OS RAIOS ULTRAVIOLETAS, ALTA UMIDADE, VANDALISMO, ENTRE OUTROS.
  - LIBERAÇÃO DA ESTRUTURA**

É NECESSÁRIO ESPERAR O SISTEMA DE REFORÇO ESTAR COMPLETAMENTE CURADO, SEGUNDO O TEMPO INDICADO PELO FABRICANTE, ANTES DA RETIRADA DO ESCORAMENTO E GARRAMENTO DA ESTRUTURA.
  - CONTROLE DE QUALIDADE DA EXECUÇÃO**

A EXECUÇÃO DO REFORÇO DETALHADO NESTE PROJETO DEVE SER ACOMPANHADA DAS INSTRUÇÕES DE VERIFICAÇÃO DE SERVIÇO PRESENTES NA FICHA ANEXADA AO MEMORIAL DESCRITIVO.

## PROJETO DE REFORÇO ESTRUTURAL

Obra: RESIDENCIAL ESPLANADA

Assunto: REFORÇO ESTRUTURAL COM FIBRA DE CARBONO LAJE 2

Cliente: ABS ENGENHARIA  
 Fase: EXECUTIVO Escala: Indicada Data: 03/09/2022  
 Autora do projeto: CAROLINA SANCHES MALLMANN

Prancha:

03/R00

ETAPAS DE EXECUÇÃO DO REFORÇO ESTRUTURAL

- 1) **DESCARREGAMENTO DA ESTRUTURA E ESCORAMENTO**
  - a. RETIRAR OS RESERVATÓRIOS DE ÁGUA APOIADOS NA LAJE 2 PARA A EXECUÇÃO DO REFORÇO. VER PRANCHA 02.
  - b. ESCORAR AS LAJES 1 E 5 ANTES DO INÍCIO DA EXECUÇÃO DO REFORÇO SEGUNDO O PROJETO DE ESCORAMENTO CONTRATADO. VER PRANCHA 02.
  - c. ESCORAR A LAJE 2 SEGUNDO O PROJETO DE ESCORAMENTO CONTRATADO EM PONTOS ESTRATÉGICOS QUE NÃO ATRAPALHEM A EXECUÇÃO DO REFORÇO NESTE ELEMENTO. VER PRANCHA 03.
- 2) **PREPARAÇÃO DA SUPERFÍCIE**
  - a. REMOVER TODOS OS REVESTIMENTOS (PINTURA, REBOCO, CHAPISCO) DAS SUPERFÍCIES QUE FICARÃO EM CONTATO COM O REFORÇO.
  - b. REMOVER PEDAÇOS DE FÓRMA E DE ARAME, E REPARAR PARTES DANIFICADAS DO CONCRETO.
  - c. EM CASO DE SUSPEITA DE CORROÇÃO NA ARMADURA, DEVE-SE IDENTIFICAR AS CAUSAS E TRATAR ANTES DA APLICAÇÃO DO REFORÇO.
  - d. AS FISSURAS COM ESPESURA IGUAL OU SUPERIOR A 0,3 mm DEVEM SER PREENCHIDAS COM RESINA EPOXI ANTES DA INSTALAÇÃO DO REFORÇO.
  - e. A CAMADA DE NATA DE CIMENTO DEVE SER REMOVIDA, E OS AGREGADOS EXPOSTOS, MANTENDO A SUPERFÍCIE O MAIS REGULAR POSSÍVEL (VERIFICAR VALORES DE IRREGULARIDADE ACEITÁVEIS NO MEMORIAL DESCRITIVO DESTES PROJETO) COM A UTILIZAÇÃO DE UMA ESMERILHADERA COM DISCO DIAMANTADO OU ATRAVÉS DE LIXAÇÃO OU JATEAMENTO ABRASIVO.
  - f. A SUPERFÍCIE DE CONCRETO DEVE SER PREPARADA PARA UM GRAU 3 DE CSP (CONCRETE SURFACE PROFILE), CONFORME DETALHADO NO MEMORIAL DESCRITIVO DESTES PROJETO.
  - g. DEVE-SE FAZER O ARREDONDAMENTO DOS CANTOS VIVOS QUE SERÃO ENVOLVIDOS PELAS FIBRAS COM UM RAIO MÍNIMO DE 1,3 cm.
  - h. TODA A NATA, POEIRA, SUJEIRA, ÓLEO, REVESTIMENTOS EXISTENTES OU QUALQUER OUTRO COMPONENTE QUE POSSA AFETAR A LIGAÇÃO DO COMPOSTO AO SUBSTRATO DEVE SER REMOVIDO.
- 3) **MISTURA DAS RESINAS**

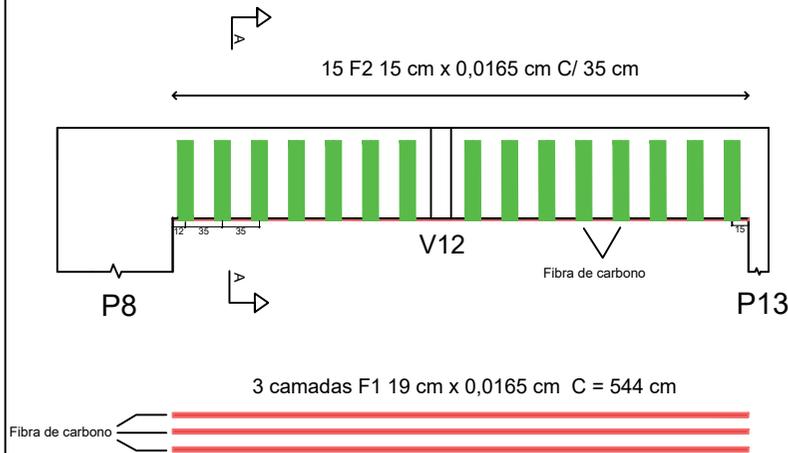
A RESINA DEVE SER MISTURADA SEGUNDO AS ORIENTAÇÕES DO FABRICANTE, ATÉ QUE SEUS COMPONENTES FORMEM UMA PASTA UNIFORME E HOMOGÊNEA, PODENDO SER FEITA COM UM EQUIPAMENTO DE MISTURA ELÉTRICO OU MANUALMENTE.

OBS.: A RESINA NUNCA DEVE SER UTILIZADA APÓS O POT LIFE (TEMPO EM ABERTO), POIS AS CARACTERÍSTICAS DE ADERÊNCIA SÃO PERDIDAS.
- 4) **APLICAÇÃO DO SISTEMA DE REFORÇO COM FIBRAS DE CARBONO**

AS MANTAS DE FIBRA DE CARBONO DEVEM SER CORTADAS NAS DIMENSÕES INDICADAS, UTILIZANDO-SE TESOURAS REFORÇADAS OU ESTILETES. NÃO DEVEM SER FEITAS EMENDAS.

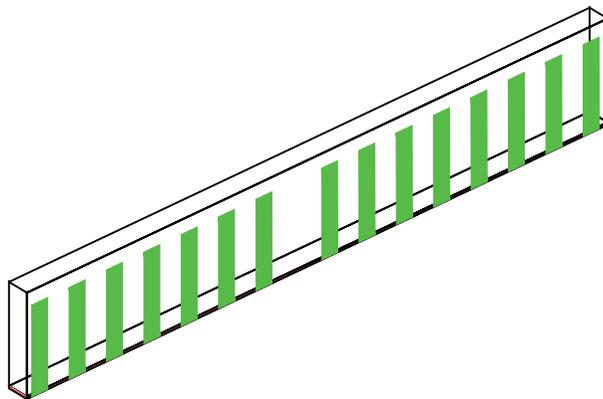
  1. **PRIMER**  
O PRIMER DEVE SER APLICADO UNIFORMEMENTE EM TODAS AS ÁREAS DE CONCRETO ONDE O SISTEMA COMPOSTO SERÁ INSTALADO, NA ESPESURA RECOMENDADA PELO FABRICANTE. O PRIMER DEVE ESTAR CURADO ANTES DA APLICAÇÃO DA RESINA DE SATURAÇÃO.
  2. **REGULARIZADOR DE SUPERFÍCIE (PUTTY)**  
O REGULARIZADOR DE SUPERFÍCIE DEVE SER UTILIZADO SOMENTE PARA PREENCHER BURACOS E VAZIOS, E REGULARIZAR ALGUMA DESCONTINUIDADE OU SUPERFÍCIE ÁSPERA QUE POSSA EXISTIR. O PUTTY DEVE ESTAR CURADO ANTES DA APLICAÇÃO DA RESINA DE SATURAÇÃO.
  3. **RESINA DE SATURAÇÃO E TECIDO DE FIBRA DE CARBONO**  
A RESINA DE SATURAÇÃO DEVE SER APLICADA UNIFORMEMENTE E NA ESPESURA DEFINIDA PELO FABRICANTE, EM TODAS AS SUPERFÍCIES JÁ PREPARADAS ONDE HAVERÁ A APLICAÇÃO DO REFORÇO. AS FIBRAS DEVEM SER LEVEMENTE PRESSIONADAS SOBRE A RESINA DE SATURAÇÃO NÃO CURADA, E AS BOLHAS DE AR QUE FICAREM PRESAS DEVEM SER LIBERADAS COM A AJUDA DE UM ROLO ANTES DE A RESINA SECAR. O ROLO SÓ DEVE SER UTILIZADO NA DIREÇÃO DAS FIBRAS. MAIS UMA CAMADA DE RESINA DEVE SER APLICADA PARA COMPLETAR A TOTAL IMPREGNAÇÃO DAS FIBRAS.  
NO CASO DE SUCESSIVAS CAMADAS DE FIBRAS, A CAMADA SEGUINTE SEMPRE DEVE SER POSICIONADA ANTES QUE A RESINA ESTEJA CURADA. TODAS AS CAMADAS DEVEM ESTAR TOTALMENTE IMPREGNADAS PELA RESINA DE SATURAÇÃO.
  8. **REVESTIMENTOS DE PROTEÇÃO**  
OS REVESTIMENTOS APLICADOS NO SISTEMA DE REFORÇO DEVEM SER COMPATÍVEIS E APLICADOS SEGUNDO AS RECOMENDAÇÕES DO FABRICANTE.
  9. **PROTEÇÃO TEMPORÁRIA**  
UTILIZAR PROTEÇÕES TEMPORÁRIAS, COMO BARRACAS OU TELAS DE PLÁSTICO, PARA PROTEGER O REFORÇO DA AÇÃO DE AGENTES EXTERNOS, COMO TEMPERATURAS EXTREMAS, CONTATO COM A ÁGUA DA CHUVA, POEIRA, SUJEIRAS, EXCESSIVO CONTATO COM OS RAIOS ULTRAVIOLETAS, ALTA UMIDADE, VANDALISMO, ENTRE OUTROS.
  10. **LIBERAÇÃO DA ESTRUTURA**  
É NECESSÁRIO ESPERAR O SISTEMA DE REFORÇO ESTAR COMPLETAMENTE CURADO, SEGUNDO O TEMPO INDICADO PELO FABRICANTE, ANTES DA RETIRADA DO ESCORAMENTO E GARRAMENTO DA ESTRUTURA.
  11. **CONTROLE DE QUALIDADE DA EXECUÇÃO**  
A EXECUÇÃO DO REFORÇO DETALHADO NESTE PROJETO DEVE SER ACOMPANHADA DAS INSTRUÇÕES DE VERIFICAÇÃO DE SERVIÇO PRESENTES NA FICHA ANEXADA AO MEMORIAL DESCRITIVO.

V2



1. VISTA LATERAL

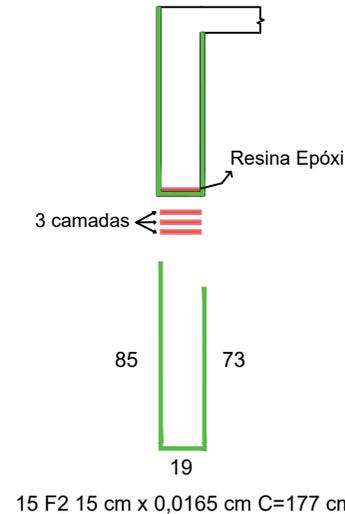
1:50



3. VISTA ISOMÉTRICA

sem escala

Corte A



2. VISTA TRANSVERSAL

1:25

Propriedades Físicas da Fibra	
Material da fibra	Carbono de alta resistência
Tipo	Tecido
Orientação	Unidirecional
Gramatura	300 g/m <sup>2</sup>
Largura mínima do tecido	20 cm
Espessura nominal	0,165 mm/lâmina
Propriedades de tração a 0°	
Sistema curado in situ	
Limite de resistência à tração	3800 MPa
Módulo de elasticidade	227 GPa
Deformação de ruptura	1,67%

QUANTITATIVO DE FIBRA DE CARBONO					
V2	POSIÇÃO	LARGURA (cm)	QUANTIDADE	COMPRIMENTO	
				UNITÁRIO (cm)	TOTAL (cm)
	F1	19	3	544	1632
	F2	15	15	177	2655

PROJETO DE REFORÇO ESTRUTURAL

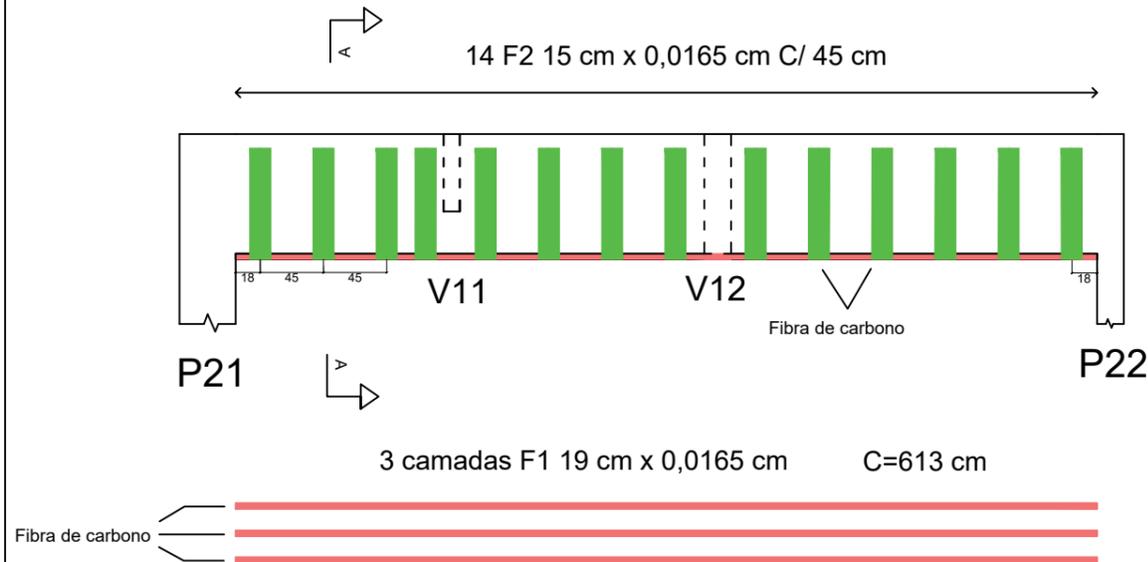
Obra: RESIDENCIAL ESPLANADA

Assunto: REFORÇO ESTRUTURAL COM FIBRA DE CARBONO  
PLANTA DE DETALHAMENTO - VIGA 2

Cliente: ABS ENGENHARIA  
Fase: EXECUTIVO  
Autora do projeto: CAROLINA SANCHES MALLMANN

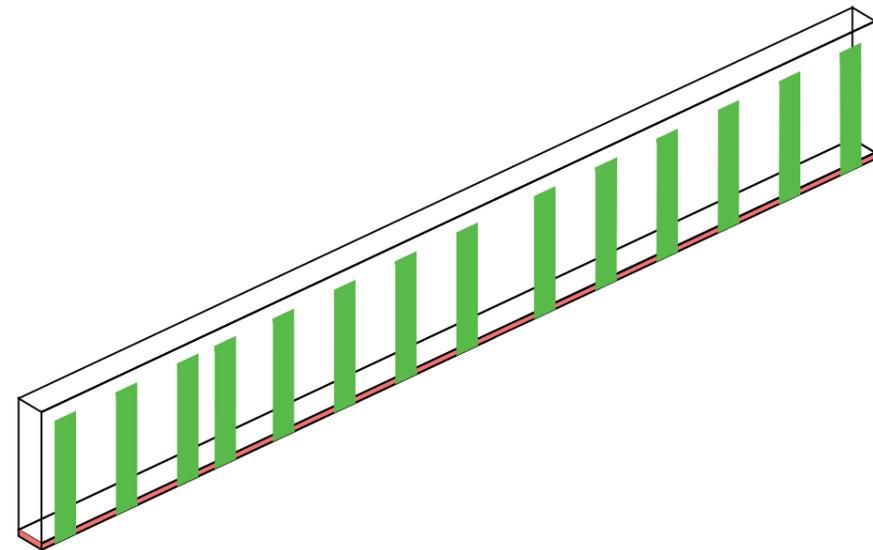
Prancha: 04/R00

# V5



## 1. VISTA LATERAL

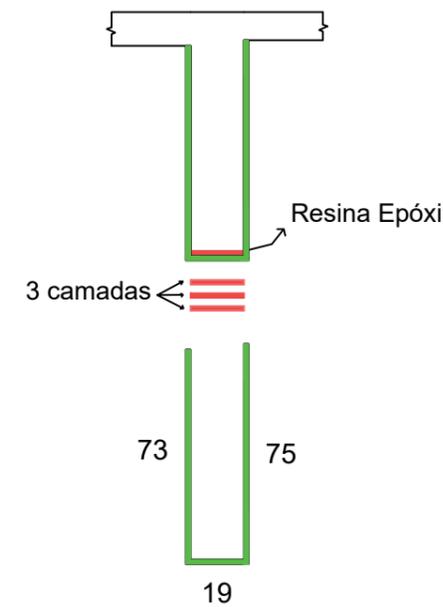
1:50



## 3. VISTA ISOMÉTRICA

sem escala

## Corte A



14 F2 15 cm x 0,0165 cm C=167 cm

## 2. VISTA TRANSVERSAL

1:25

Propriedades Físicas da Fibra	
Material da fibra	Carbono de alta resistência
Tipo	Tecido
Orientação	Unidirecional
Gramatura	300 g/m <sup>2</sup>
Largura mínima do tecido	20 cm
Espessura nominal	0,165 mm/lâmina
Propriedades de tração a 0°	
Sistema curado in situ	
Limite de resistência à tração	3800 MPa
Módulo de elasticidade	227 GPa
Deformação de ruptura	1,67%

QUANTITATIVO DE FIBRA DE CARBONO					
V5	POSICÃO	LARGURA (cm)	QUANTIDADE	COMPRIMENTO	
				UNITÁRIO (cm)	TOTAL (cm)
	F1	19	3	613	1839
	F2	15	14	167	2338

## ETAPAS DE EXECUÇÃO DO REFORÇO ESTRUTURAL

- DESCARREGAMENTO DA ESTRUTURA E ESCORAMENTO**
  - RETIRAR OS RESERVATÓRIOS DE ÁGUA APOIADOS NA LAJE 2 PARA A EXECUÇÃO DO REFORÇO. VER PRANCHA 02.
  - ESCORAR AS LAJES 1 E 5 ANTES DO INÍCIO DA EXECUÇÃO DO REFORÇO SEGUNDO O PROJETO DE ESCORAMENTO CONTRATADO. VER PRANCHA 02.
  - ESCORAR A LAJE 2 SEGUNDO O PROJETO DE ESCORAMENTO CONTRATADO EM PONTOS ESTRATÉGICOS QUE NÃO ATRAPALHEM A EXECUÇÃO DO REFORÇO NESTE ELEMENTO. VER PRANCHA 03.
- PREPARAÇÃO DA SUPERFÍCIE**
  - REMOVER TODOS OS REVESTIMENTOS (PINTURA, REBOCO, CHAPISCO) DAS SUPERFÍCIES QUE FICARÃO EM CONTATO COM O REFORÇO.
  - REMOVER PEDAÇOS DE FÔRMA E DE ARAME, E REPARAR PARTES DANIFICADAS DO CONCRETO.
  - EM CASO DE SUSPEITA DE CORROSÃO NA ARMADURA, DEVE-SE IDENTIFICAR AS CAUSAS E TRATAR ANTES DA APLICAÇÃO DO REFORÇO.
  - AS FISSURAS COM ESPESSURA IGUAL OU SUPERIOR A 0,3 mm DEVEM SER PREENCHIDAS COM RESINA EPOXI ANTES DA INSTALAÇÃO DO REFORÇO.
  - A CAMADA DE NATA DE CIMENTO DEVE SER REMOVIDA, E OS AGREGADOS EXPOSTOS, MANTENDO A SUPERFÍCIE O MAIS REGULAR POSSÍVEL (VERIFICAR VALORES DE IRREGULARIDADE ACEITÁVEIS NO MEMORIAL DESCRITIVO DESTE PROJETO) COM A UTILIZAÇÃO DE UMA ESMERILHADEIRA COM DISCO DIAMANTADO OU ATRAVÉS DE LIXAÇÃO OU JATEAMENTO ABRASIVO.
  - A SUPERFÍCIE DE CONCRETO DEVE SER PREPARADA PARA UM GRAU 3 DE CSP (CONCRETE SURFACE PROFILE), CONFORME DETALHADO NO MEMORIAL DESCRITIVO DESTE PROJETO;
  - DEVE-SE FAZER O ARREDONDAMENTO DOS CANTOS VIVOS QUE SERÃO ENVOLVIDOS PELAS FIBRAS COM UM RAIO MÍNIMO DE 1,3 cm;
  - TODA A NATA, POEIRA, ÓLEO, REVESTIMENTOS EXISTENTES OU QUALQUER OUTRO COMPONENTE QUE POSSA AFETAR A LIGAÇÃO DO COMPÓSITO AO SUBSTRATO DEVE SER REMOVIDO.
- MISTURA DAS RESINAS**  
A RESINA DEVE SER MISTURADA SEGUNDO AS ORIENTAÇÕES DO FABRICANTE, ATÉ QUE SEUS COMPONENTES FORMEM UMA PASTA UNIFORME E HOMOGÊNEA, PODENDO SER FEITA COM UM EQUIPAMENTO DE MISTURA ELÉTRICO OU MANUALMENTE.  
OBS.: A RESINA NUNCA DEVE SER UTILIZADA APÓS O POT LIFE (TEMPO EM ABERTO), POIS AS CARACTERÍSTICAS DE ADERÊNCIA SÃO PERDIDAS.
- APLICAÇÃO DO SISTEMA DE REFORÇO COM FIBRAS DE CARBONO**  
AS MANTAS DE FIBRA DE CARBONO DEVEM SER CORTADAS NAS DIMENSÕES INDICADAS, UTILIZANDO-SE TESOURAS REFORÇADAS OU ESTILETES. NÃO DEVEM SER FEITAS EMENDAS.
  - PRIMER**  
O PRIMER DEVE SER APLICADO UNIFORMEMENTE EM TODAS AS ÁREAS DE CONCRETO ONDE O SISTEMA COMPÓSITO SERÁ INSTALADO, NA ESPESSURA RECOMENDADA PELO FABRICANTE. O PRIMER DEVE ESTAR CURADO ANTES DA APLICAÇÃO DA RESINA DE SATURAÇÃO.
  - REGULARIZADOR DE SUPERFÍCIE (PUTTY)**  
O REGULARIZADOR DE SUPERFÍCIE DEVE SER UTILIZADO SOMENTE PARA PREENCHER BURACOS E VAZIOS, E REGULARIZAR ALGUMA DESCONTINUIDADE OU SUPERFÍCIE ÁSPERA QUE POSSA EXISTIR. O PUTTY DEVE ESTAR CURADO ANTES DA APLICAÇÃO DA RESINA DE SATURAÇÃO.
  - RESINA DE SATURAÇÃO E TECIDO DE FIBRA DE CARBONO**  
A RESINA DE SATURAÇÃO DEVE SER APLICADA UNIFORMEMENTE E NA ESPESSURA DEFINIDA PELO FABRICANTE, EM TODAS AS SUPERFÍCIES JÁ PREPARADAS ONDE HAVERÁ A APLICAÇÃO DO REFORÇO. AS FIBRAS DEVEM SER LEVEMENTE PRESSIONADAS SOBRE A RESINA DE SATURAÇÃO NÃO CURADA, E AS BOLHAS DE AR QUE FICAREM PRESAS DEVEM SER LIBERADAS COM A AJUDA DE UM ROLO ANTES DE A RESINA SECAR. O ROLO SÓ DEVE SER UTILIZADO NA DIREÇÃO DAS FIBRAS. MAIS UMA CAMADA DE RESINA DEVE SER APLICADA PARA COMPLETAR A TOTAL IMPREGNAÇÃO DAS FIBRAS. NO CASO DE SUCESSIVAS CAMADAS DE FIBRAS, A CAMADA SEGUINTE SEMPRE DEVE SER POSICIONADA ANTES QUE A RESINA ESTEJA CURADA. TODAS AS CAMADAS DEVEM ESTAR TOTALMENTE IMPREGNADAS PELA RESINA DE SATURAÇÃO.
  - REVESTIMENTOS DE PROTEÇÃO**  
OS REVESTIMENTOS APLICADOS NO SISTEMA DE REFORÇO DEVEM SER COMPATÍVEIS E APLICADOS SEGUNDO AS RECOMENDAÇÕES DO FABRICANTE.
  - PROTEÇÃO TEMPORÁRIA**  
UTILIZAR PROTEÇÕES TEMPORÁRIAS, COMO BARRACAS OU TELAS DE PLÁSTICO, PARA PROTEGER O REFORÇO DA AÇÃO DE AGENTES EXTERNOS, COMO TEMPERATURAS EXTREMAS, CONTATO COM A ÁGUA DA CHUVA, POEIRA, SUJEIRAS, EXCESSIVO CONTATO COM OS RAIOS ULTRAVIOLETAS, ALTA UMIDADE, VANDALISMO, ENTRE OUTROS.
  - LIBERAÇÃO DA ESTRUTURA**  
É NECESSÁRIO ESPERAR O SISTEMA DE REFORÇO ESTAR COMPLETAMENTE CURADO, SEGUNDO O TEMPO INDICADO PELO FABRICANTE, ANTES DA RETIRADA DO ESCORAMENTO E CARREGAMENTO DA ESTRUTURA.
  - CONTROLE DE QUALIDADE DA EXECUÇÃO**  
A EXECUÇÃO DO REFORÇO DETALHADO NESTE PROJETO DEVE SER ACOMPANHADA DAS INSTRUÇÕES DE VERIFICAÇÃO DE SERVIÇO PRESENTES NA FICHA ANEXADA AO MEMORIAL DESCRITIVO.

## PROJETO DE REFORÇO ESTRUTURAL

Obra: RESIDENCIAL ESPLANADA

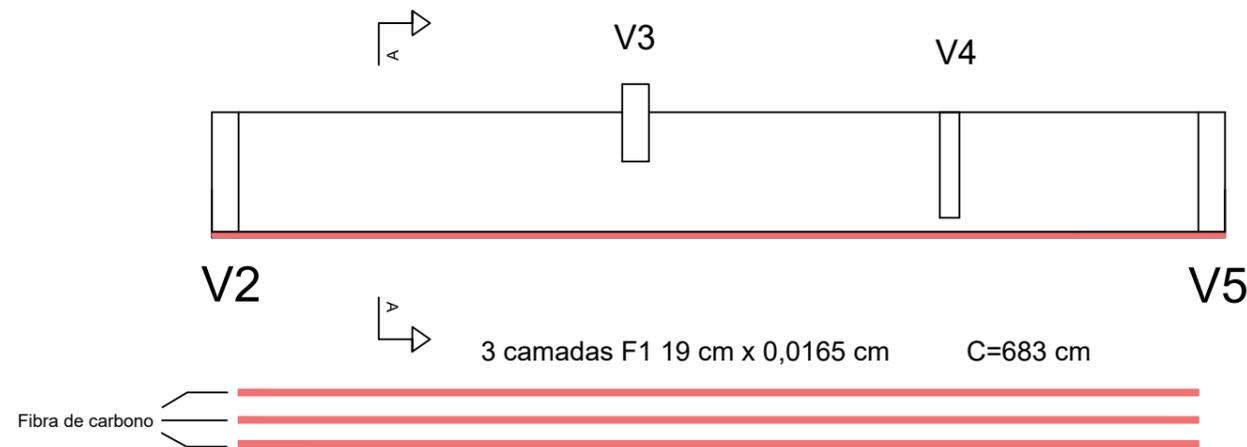
Assunto: REFORÇO ESTRUTURAL COM FIBRA DE CARBONO  
PLANTA DE DETALHAMENTO - V5

Cliente: ABS ENGENHARIA  
Fase: EXECUTIVO  
Escala: Indicada  
Data: 03/09/2022  
Autora do projeto: CAROLINA SANCHES MALLMANN

Prancha:

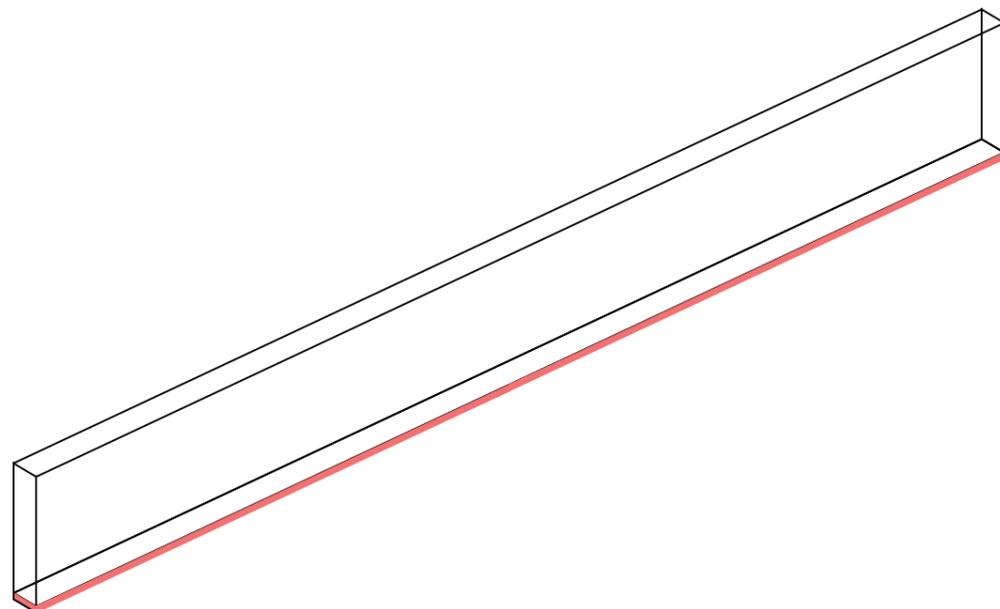
05/R00

# V12



## 1. VISTA LATERAL

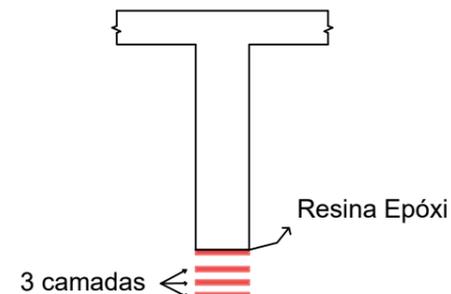
1:50



## 3. VISTA ISOMÉTRICA

sem escala

## Corte A



## 2. VISTA TRANSVERSAL

1:25

Propriedades Físicas da Fibra	
Material da fibra	Carbono de alta resistência
Tipo	Tecido
Orientação	Unidirecional
Gramatura	300 g/m <sup>2</sup>
Largura mínima do tecido	20 cm
Espessura nominal	0,165 mm/lâmina
Propriedades de tração a 0°	
Sistema curado in situ	
Límite de resistência à tração	3800 MPa
Módulo de elasticidade	227 GPa
Deformação de ruptura	1,67%

QUANTITATIVO DE FIBRA DE CARBONO					
V12	POSIÇÃO	LARGURA (cm)	QUANTIDADE	COMPRIMENTO	
				UNITÁRIO (cm)	TOTAL (cm)
	F1	19	3	683	2049

## ETAPAS DE EXECUÇÃO DO REFORÇO ESTRUTURAL

- DESCARREGAMENTO DA ESTRUTURA E ESCORAMENTO**
  - RETIRAR OS RESERVATÓRIOS DE ÁGUA APOIADOS NA LAJE 2 PARA A EXECUÇÃO DO REFORÇO. VER PRANCHA 02.
  - ESCORAR AS LAJES 1 E 5 ANTES DO INÍCIO DA EXECUÇÃO DO REFORÇO SEGUNDO O PROJETO DE ESCORAMENTO CONTRATADO. VER PRANCHA 02.
  - ESCORAR A LAJE 2 SEGUNDO O PROJETO DE ESCORAMENTO CONTRATADO EM PONTOS ESTRATÉGICOS QUE NÃO ATRAPALHEM A EXECUÇÃO DO REFORÇO NESTE ELEMENTO. VER PRANCHA 03.
- PREPARAÇÃO DA SUPERFÍCIE**
  - REMOVER TODOS OS REVESTIMENTOS (PINTURA, REBOCO, CHAPISCO) DAS SUPERFÍCIES QUE FICARÃO EM CONTATO COM O REFORÇO.
  - REMOVER PEDAÇOS DE FÔRMA E DE ARAME, E REPARAR PARTES DANIFICADAS DO CONCRETO.
  - EM CASO DE SUSPEITA DE CORROSÃO NA ARMADURA, DEVE-SE IDENTIFICAR AS CAUSAS E TRATAR ANTES DA APLICAÇÃO DO REFORÇO.
  - AS FISSURAS COM ESPESURA IGUAL OU SUPERIOR A 0,3 mm DEVEM SER PREENCHIDAS COM RESINA EPÓXI ANTES DA INSTALAÇÃO DO REFORÇO.
  - A CAMADA DE NATA DE CIMENTO DEVE SER REMOVIDA, E OS AGREGADOS EXPOSTOS, MANTENDO A SUPERFÍCIE O MAIS REGULAR POSSÍVEL (VERIFICAR VALORES DE IRREGULARIDADE ACEITÁVEIS NO MEMORIAL DESCRITIVO DESTE PROJETO) COM A UTILIZAÇÃO DE UMA ESMERILHADEIRA COM DISCO DIAMANTADO OU ATRAVÉS DE LIXAÇÃO OU JATEAMENTO ABRASIVO.
  - A SUPERFÍCIE DE CONCRETO DEVE SER PREPARADA PARA UM GRAU 3 DE CSP (CONCRETE SURFACE PROFILE), CONFORME DETALHADO NO MEMORIAL DESCRITIVO DESTE PROJETO;
  - DEVE-SE FAZER O ARREDONDAMENTO DOS CANTOS VIVOS QUE SERÃO ENVOLVIDOS PELAS FIBRAS COM UM RAIO MÍNIMO DE 1,3 cm;
  - TODA A NATA, POEIRA, SUJEIRA, ÓLEO, REVESTIMENTOS EXISTENTES OU QUALQUER OUTRO COMPONENTE QUE POSSA AFETAR A LIGAÇÃO DO COMPÓSITO AO SUBSTRATO DEVE SER REMOVIDO.
- MISTURA DAS RESINAS**  
A RESINA DEVE SER MISTURADA SEGUNDO AS ORIENTAÇÕES DO FABRICANTE, ATÉ QUE SEUS COMPONENTES FORMEM UMA PASTA UNIFORME E HOMOGÊNEA, PODENDO SER FEITA COM UM EQUIPAMENTO DE MISTURA ELÉTRICO OU MANUALMENTE.

OBS.: A RESINA NUNCA DEVE SER UTILIZADA APÓS O POT LIFE (TEMPO EM ABERTO), POIS AS CARACTERÍSTICAS DE ADERÊNCIA SÃO PERDIDAS.

### 4) APLICAÇÃO DO SISTEMA DE REFORÇO COM FIBRAS DE CARBONO

AS MANTAS DE FIBRA DE CARBONO DEVEM SER CORTADAS NAS DIMENSÕES INDICADAS, UTILIZANDO-SE TESOURAS REFORÇADAS OU ESTILETES. NÃO DEVEM SER FEITAS EMENDAS.

- PRIMER**  
O PRIMER DEVE SER APLICADO UNIFORMEMENTE EM TODAS AS ÁREAS DE CONCRETO ONDE O SISTEMA COMPÓSITO SERÁ INSTALADO, NA ESPESURA RECOMENDADA PELO FABRICANTE. O PRIMER DEVE ESTAR CURADO ANTES DA APLICAÇÃO DA RESINA DE SATURAÇÃO.
- REGULARIZADOR DE SUPERFÍCIE (PUTTY)**  
O REGULARIZADOR DE SUPERFÍCIE DEVE SER UTILIZADO SOMENTE PARA PREENCHER BURACOS E VAZIOS, E REGULARIZAR ALGUMA DESCONTINUIDADE OU SUPERFÍCIE ÁSPERA QUE POSSA EXISTIR. O PUTTY DEVE ESTAR CURADO ANTES DA APLICAÇÃO DA RESINA DE SATURAÇÃO.
- RESINA DE SATURAÇÃO E TECIDO DE FIBRA DE CARBONO**  
A RESINA DE SATURAÇÃO DEVE SER APLICADA UNIFORMEMENTE E NA ESPESURA DEFINIDA PELO FABRICANTE, EM TODAS AS SUPERFÍCIES JÁ PREPARADAS ONDE HAVERÁ A APLICAÇÃO DO REFORÇO. AS FIBRAS DEVEM SER LEVEMENTE PRESSIONADAS SOBRE A RESINA DE SATURAÇÃO NÃO CURADA, E AS BOLHAS DE AR QUE FICAREM PRESAS DEVEM SER LIBERADAS COM A AJUDA DE UM ROLO ANTES DE A RESINA SECAR. O ROLO SÓ DEVE SER UTILIZADO NA DIREÇÃO DAS FIBRAS. MAIS UMA CAMADA DE RESINA DEVE SER APLICADA PARA COMPLETAR A TOTAL IMPREGNAÇÃO DAS FIBRAS. NO CASO DE SUCESSIVAS CAMADAS DE FIBRAS, A CAMADA SEGUINTE SEMPRE DEVE SER POSICIONADA ANTES QUE A RESINA ESTEJA CURADA. TODAS AS CAMADAS DEVEM ESTAR TOTALMENTE IMPREGNADAS PELA RESINA DE SATURAÇÃO.
- REVESTIMENTOS DE PROTEÇÃO**  
OS REVESTIMENTOS APLICADOS NO SISTEMA DE REFORÇO DEVEM SER COMPATÍVEIS E APLICADOS SEGUNDO AS RECOMENDAÇÕES DO FABRICANTE.
- PROTEÇÃO TEMPORÁRIA**  
UTILIZAR PROTEÇÕES TEMPORÁRIAS, COMO BARRACAS OU TELAS DE PLÁSTICO, PARA PROTEGER O REFORÇO DA AÇÃO DE AGENTES EXTERNOS, COMO TEMPERATURAS EXTREMAS, CONTATO COM A ÁGUA DA CHUVA, POEIRA, SUJEIRAS, EXCESSIVO CONTATO COM OS RAIOS ULTRAVIOLETAS, ALTA UMIDADE, VANDALISMO, ENTRE OUTROS.
- LIBERAÇÃO DA ESTRUTURA**  
É NECESSÁRIO ESPERAR O SISTEMA DE REFORÇO ESTAR COMPLETAMENTE CURADO, SEGUNDO O TEMPO INDICADO PELO FABRICANTE, ANTES DA RETIRADA DO ESCORAMENTO E CARREGAMENTO DA ESTRUTURA.
- CONTROLE DE QUALIDADE DA EXECUÇÃO**  
A EXECUÇÃO DO REFORÇO DETALHADO NESTE PROJETO DEVE SER ACOMPANHADA DAS INSTRUÇÕES DE VERIFICAÇÃO DE SERVIÇO PRESENTES NA FICHA ANEXADA AO MEMORIAL DESCRITIVO.

## PROJETO DE REFORÇO ESTRUTURAL

Obra: RESIDENCIAL ESPLANADA

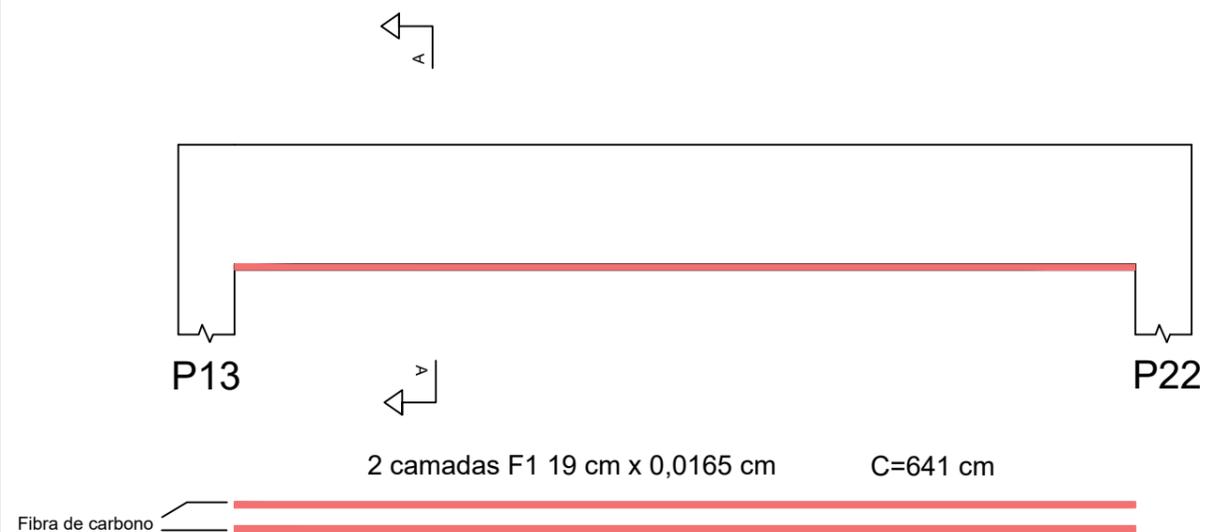
Assunto: REFORÇO ESTRUTURAL COM FIBRA DE CARBONO  
PLANTA DE DETALHAMENTO - V12

Cliente: ABS ENGENHARIA  
Fase: EXECUTIVO Escala: Indicada Data: 03/09/2022  
Autora do projeto: CAROLINA SANCHES MALLMANN

Prancha:

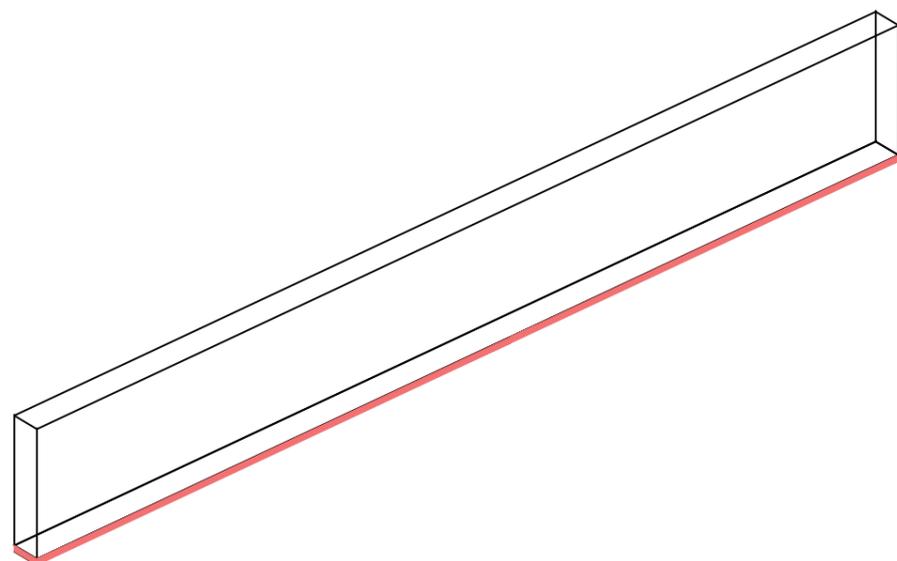
06/R00

# V14



## 1. VISTA LATERAL

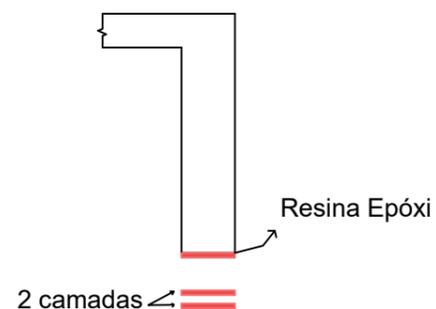
1:50



## 3. VISTA ISOMÉTRICA

sem escala

## Corte A



## 2. VISTA TRANSVERSAL

1:25

Propriedades Físicas da Fibra	
Material da fibra	Carbono de alta resistência
Tipo	Tecido
Orientação	Unidirecional
Gramatura	300 g/m <sup>2</sup>
Largura mínima do tecido	20 cm
Espessura nominal	0,165 mm/lâmina
Propriedades de tração a 0°	
Sistema curado in situ	
Limite de resistência à tração	3800 MPa
Módulo de elasticidade	227 GPa
Deformação de ruptura	1,67%

QUANTITATIVO DE FIBRA DE CARBONO					
V14	POSIÇÃO	LARGURA (cm)	QUANTIDADE	COMPRIMENTO	
				UNITÁRIO (cm)	TOTAL (cm)
	F1	19	2	641	1282

### ETAPAS DE EXECUÇÃO DO REFORÇO ESTRUTURAL

- DESCARREGAMENTO DA ESTRUTURA E ESCORAMENTO**
  - RETIRAR OS RESERVATÓRIOS DE ÁGUA APOIADOS NA LAJE 2 PARA A EXECUÇÃO DO REFORÇO. VER PRANCHA 02.
  - ESCORAR AS LAJES 1 E 5 ANTES DO INÍCIO DA EXECUÇÃO DO REFORÇO SEGUNDO O PROJETO DE ESCORAMENTO CONTRATADO. VER PRANCHA 02.
  - ESCORAR A LAJE 2 SEGUNDO O PROJETO DE ESCORAMENTO CONTRATADO EM PONTOS ESTRATÉGICOS QUE NÃO ATRAPALHEM A EXECUÇÃO DO REFORÇO NESTE ELEMENTO. VER PRANCHA 03.
- PREPARAÇÃO DA SUPERFÍCIE**
  - REMOVER TODOS OS REVESTIMENTOS (PINTURA, REBOCO, CHAPISCO) DAS SUPERFÍCIES QUE FICARÃO EM CONTATO COM O REFORÇO.
  - REMOVER PEDAÇOS DE FÔRMA E DE ARAME, E REPARAR PARTES DANIFICADAS DO CONCRETO.
  - EM CASO DE SUSPEITA DE CORROSÃO NA ARMADURA, DEVE-SE IDENTIFICAR AS CAUSAS E TRATAR ANTES DA APLICAÇÃO DO REFORÇO.
  - AS FISSURAS COM ESPESSURA IGUAL OU SUPERIOR A 0,3 mm DEVEM SER PREENCHIDAS COM RESINA EPÓXI ANTES DA INSTALAÇÃO DO REFORÇO.
  - A CAMADA DE NATA DE CIMENTO DEVE SER REMOVIDA, E OS AGREGADOS EXPOSTOS, MANTENDO A SUPERFÍCIE O MAIS REGULAR POSSÍVEL (VERIFICAR VALORES DE IRREGULARIDADE ACEITÁVEIS NO MEMORIAL DESCRITIVO DESTE PROJETO) COM A UTILIZAÇÃO DE UMA ESMERILHADEIRA COM DISCO DIAMANTADO OU ATRAVÉS DE LIXAÇÃO OU JATEAMENTO ABRASIVO.
  - A SUPERFÍCIE DE CONCRETO DEVE SER PREPARADA PARA UM GRAU 3 DE CSP (CONCRETE SURFACE PROFILE), CONFORME DETALHADO NO MEMORIAL DESCRITIVO DESTE PROJETO;
  - DEVE-SE FAZER O ARREDONDAMENTO DOS CANTOS VIVOS QUE SERÃO ENVOLVIDOS PELAS FIBRAS COM UM RAIO MÍNIMO DE 1,3 cm;
  - TODA A NATA, POEIRA, SUJEIRA, ÓLEO, REVESTIMENTOS EXISTENTES OU QUALQUER OUTRO COMPONENTE QUE POSSA AFETAR A LIGAÇÃO DO COMPÓSITO AO SUBSTRATO DEVE SER REMOVIDO.
- MISTURA DAS RESINAS**  
A RESINA DEVE SER MISTURADA SEGUNDO AS ORIENTAÇÕES DO FABRICANTE, ATÉ QUE SEUS COMPONENTES FORMEM UMA PASTA UNIFORME E HOMOGÊNEA, PODENDO SER FEITA COM UM EQUIPAMENTO DE MISTURA ELÉTRICO OU MANUALMENTE.

OBS.: A RESINA NUNCA DEVE SER UTILIZADA APÓS O POT LIFE (TEMPO EM ABERTO), POIS AS CARACTERÍSTICAS DE ADERÊNCIA SÃO PERDIDAS.

#### 4) APLICAÇÃO DO SISTEMA DE REFORÇO COM FIBRAS DE CARBONO

AS MANTAS DE FIBRA DE CARBONO DEVEM SER CORTADAS NAS DIMENSÕES INDICADAS, UTILIZANDO-SE TESOURAS REFORÇADAS OU ESTILETES. NÃO DEVEM SER FEITAS EMENDAS.

- PRIMER**  
O PRIMER DEVE SER APLICADO UNIFORMEMENTE EM TODAS AS ÁREAS DE CONCRETO ONDE O SISTEMA COMPÓSITO SERÁ INSTALADO, NA ESPESSURA RECOMENDADA PELO FABRICANTE. O PRIMER DEVE ESTAR CURADO ANTES DA APLICAÇÃO DA RESINA DE SATURAÇÃO.
- REGULARIZADOR DE SUPERFÍCIE (PUTTY)**  
O REGULARIZADOR DE SUPERFÍCIE DEVE SER UTILIZADO SOMENTE PARA PREENCHER BURACOS E VAZIOS, E REGULARIZAR ALGUMA DESCONTINUIDADE OU SUPERFÍCIE ÁSPERA QUE POSSA EXISTIR. O PUTTY DEVE ESTAR CURADO ANTES DA APLICAÇÃO DA RESINA DE SATURAÇÃO.
- RESINA DE SATURAÇÃO E TECIDO DE FIBRA DE CARBONO**  
A RESINA DE SATURAÇÃO DEVE SER APLICADA UNIFORMEMENTE E NA ESPESSURA DEFINIDA PELO FABRICANTE, EM TODAS AS SUPERFÍCIES JÁ PREPARADAS ONDE HAVERÁ A APLICAÇÃO DO REFORÇO. AS FIBRAS DEVEM SER LEVEMENTE PRESSIONADAS SOBRE A RESINA DE SATURAÇÃO NÃO CURADA, E AS BOLHAS DE AR QUE FICAREM PRESAS DEVEM SER LIBERADAS COM A AJUDA DE UM ROLO ANTES DE A RESINA SECAR. O ROLO SÓ DEVE SER UTILIZADO NA DIREÇÃO DAS FIBRAS. MAIS UMA CAMADA DE RESINA DEVE SER APLICADA PARA COMPLETAR A TOTAL IMPREGNAÇÃO DAS FIBRAS. NO CASO DE SUCESSIVAS CAMADAS DE FIBRAS, A CAMADA SEGUINTE SEMPRE DEVE SER POSICIONADA ANTES QUE A RESINA ESTEJA CURADA. TODAS AS CAMADAS DEVEM ESTAR TOTALMENTE IMPREGNADAS PELA RESINA DE SATURAÇÃO.
- REVESTIMENTOS DE PROTEÇÃO**  
OS REVESTIMENTOS APLICADOS NO SISTEMA DE REFORÇO DEVEM SER COMPATÍVEIS E APLICADOS SEGUNDO AS RECOMENDAÇÕES DO FABRICANTE.
- PROTEÇÃO TEMPORÁRIA**  
UTILIZAR PROTEÇÕES TEMPORÁRIAS, COMO BARRACAS OU TELAS DE PLÁSTICO, PARA PROTEGER O REFORÇO DA AÇÃO DE AGENTES EXTERNOS, COMO TEMPERATURAS EXTREMAS, CONTATO COM A ÁGUA DA CHUVA, POEIRA, SUJEIRAS, EXCESSIVO CONTATO COM OS RAIOS ULTRAVIOLETAS, ALTA UMIDADE, VANDALISMO, ENTRE OUTROS.
- LIBERAÇÃO DA ESTRUTURA**  
É NECESSÁRIO ESPERAR O SISTEMA DE REFORÇO ESTAR COMPLETAMENTE CURADO, SEGUNDO O TEMPO INDICADO PELO FABRICANTE, ANTES DA RETIRADA DO ESCORAMENTO E CARREGAMENTO DA ESTRUTURA.
- CONTROLE DE QUALIDADE DA EXECUÇÃO**  
A EXECUÇÃO DO REFORÇO DETALHADO NESTE PROJETO DEVE SER ACOMPANHADA DAS INSTRUÇÕES DE VERIFICAÇÃO DE SERVIÇO PRESENTES NA FICHA ANEXADA AO MEMORIAL DESCRITIVO.

## PROJETO DE REFORÇO ESTRUTURAL

Obra: RESIDENCIAL ESPLANADA

Assunto: REFORÇO ESTRUTURAL COM FIBRA DE CARBONO  
PLANTA DE DETALHAMENTO - V14

Cliente: ABS ENGENHARIA  
Fase: EXECUTIVO Escala: Indicada Data: 03/09/2022  
Autora do projeto: CAROLINA SANCHES MALLMANN

Prancha:

07/R00

# **PROJETO DE REFORÇO ESTRUTURAL COM FIBRA DE CARBONO**

## **MEMORIAL DESCRITIVO**

Empreendimento: Residencial Esplanada  
Projetista: Carolina Sanches Mallmann

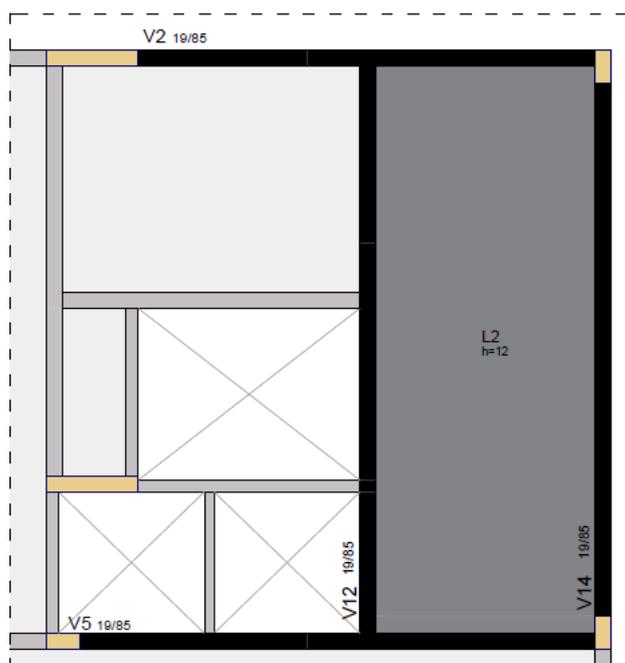
Porto Alegre  
Outubro de 2022

# SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2 COMPONENTES DO SISTEMA DE REFORÇO DE PRFC.....</b>	<b>2</b>
<b>3 TÉCNICAS DE EXECUÇÃO .....</b>	<b>2</b>
3.1 Condições de instalação .....	2
3.2 Equipamentos e ferramentas .....	3
3.3 Descarregamento da estrutura e escoramento .....	3
3.4 Preparação da superfície .....	4
3.4.1 Serviços iniciais .....	4
3.4.2 Preparação da superfície .....	4
3.5 Fibras .....	6
3.6 Mistura de resinas .....	6
3.7 Aplicação do sistema de PRF .....	7
3.7.1 <i>Primer</i> .....	7
3.7.2 Regularizador de superfície .....	7
3.7.3 Sistemas compósitos .....	8
3.8 Revestimentos de proteção .....	8
3.9 Proteção temporária .....	9
3.10 Liberação da estrutura .....	9
3.11 Controle de qualidade e manutenção .....	9

## 1 INTRODUÇÃO

Este memorial descritivo refere-se ao projeto de reforço estrutural que será executado no Residencial Esplanada, localizado na Rua A, nº 100. O reforço será feito com polímeros reforçados com fibra de carbono (PRFC), utilizando o sistema curado *in situ*. A estrutura em questão será reforçada devido ao incremento de carga gerado pelo aumento do volume dos três reservatórios superiores, de 10.000 litros cada para 15.000 litros cada, justificado por uma mudança de uso na edificação. Os elementos estruturais que se deve intervir são: laje 2, viga 2, viga 5, viga 12 e viga 14, conforme mostrado na Figura 1.



**Figura 1:** Elementos estruturais a serem reforçados.

(Fonte: Elaboração própria)

## 2 COMPONENTES DO SISTEMA DE REFORÇO DE PRFC

O sistema PRFC é formado pelas fibras e resinas utilizadas para criar o compósito, e todas as resinas necessárias para a efetiva ligação do mesmo ao substrato de concreto, além dos revestimentos utilizados para proteger o reforço e aumentar a sua durabilidade. Deve-se utilizar o sistema curado *in situ* do fabricante “A”, não sendo possível, em hipótese alguma, misturar componentes de fabricantes diferentes. Nas Tabelas 1 e 2 são apresentadas as propriedades físicas e as características mecânicas da fibra, respectivamente.

**Tabela 1:** Propriedades físicas da fibra.

Propriedades Físicas da Fibra	
<b>Material da fibra</b>	Carbono de alta resistência
<b>Tipo</b>	Tecido
<b>Orientação</b>	Unidirecional
<b>Gramatura</b>	300 g/m <sup>2</sup>
<b>Largura mínima do tecido</b>	20 cm
<b>Espessura nominal</b>	0,165 mm/lâmina

Fonte: Elaboração própria.

**Tabela 2:** Propriedades mecânicas da fibra.

Propriedades de tração a 0°	
<b>Limite de resistência à tração</b>	3800 MPa
<b>Módulo de elasticidade</b>	227 GPa
<b>Deformação de ruptura</b>	1,67%

Fonte: Elaboração própria.

Deve-se utilizar, ainda, o primer, o regularizador de superfície e a resina de saturação indicadas pelo fabricante, que formam o sistema compósito.

## 3 TÉCNICAS DE EXECUÇÃO

### 3.1 Condições de instalação

Antes de iniciar a instalação do reforço, observar os seguintes limites fornecidos pelo fabricante:

- Temperatura do ar;
- Temperatura da superfície de concreto onde será instalado o reforço;
- Umidade relativa do ar;

- Umidade da superfície de concreto onde será instalado o reforço.

### **3.2 Equipamentos e ferramentas**

Os equipamentos a serem utilizados na execução deste reforço são:

- Esmerilhadeira com disco diamantado;
- Trinchas ou jato de ar para limpeza do substrato;
- Espátula de aço para aplicação das resinas;
- Rolo de pintura;
- Recipiente para mistura das resinas;
- Misturador manual ou mecânico;
- Tesoura reforçada ou estilete;
- Termômetro e medidor de umidade.

Todos os equipamentos devem estar limpos e em boas condições de operação. Além disso, o uso de equipamentos de proteção individual, como luvas, máscaras e óculos de proteção é essencial.

Para detalhes relativos ao armazenamento dos produtos, deve-se consultar a ficha técnica e a Ficha de Informação de Segurança de Produtos Químicos (FISPQ) dos mesmos.

### **3.3 Descarregamento da estrutura e escoramento**

Para a execução do reforço é imprescindível retirar toda a carga possível e escorar a estrutura, seguindo as recomendações abaixo:

- Retirar os reservatórios de água apoiados na Laje 2 (Prancha 02) antes da execução do reforço.
- Escorar as Lajes 1 e 5 (Prancha 02) antes do início da execução do reforço, de acordo com projeto de escoramento feito por profissional habilitado.
- Escorar a Laje 2 em pontos estratégicos que não atrapalhem a execução do reforço neste elemento, de acordo com projeto de escoramento feito por profissional habilitado. Ver prancha 03.

Além disso, os elementos que interferem na execução do reforço também devem ser removidos, totalmente ou em parte, como paredes de alvenaria situadas abaixo das vigas.

### 3.4 Preparação da superfície

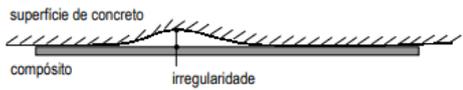
#### 3.4.1 Serviços iniciais

- Remover todos os revestimentos que ficarão em contato com a fibra de carbono, tais como pintura, reboco e chapisco;
- Remover pedaços de fôrma e de arames e reparar partes danificadas do concreto;
- Não aplicar o sistema de reforço em substratos de concreto de elementos com suspeita de corrosão na armadura. As causas da corrosão devem ser identificadas e tratadas antes da aplicação do reforço;
- Fissuras com espessura de, pelo menos, de 0,3 mm devem ser preenchidas com resina epóxi antes da instalação do sistema de PRFC. Fissuras com espessura menor do que 0,3 mm expostas a ambientes agressivos devem ser preenchidas também para prevenir a corrosão da armadura;

#### 3.4.2 Preparação da superfície

A preparação deve garantir que a superfície fique o mais regular possível. Os valores aceitáveis de irregularidade da superfície são apresentados na Tabela 3:

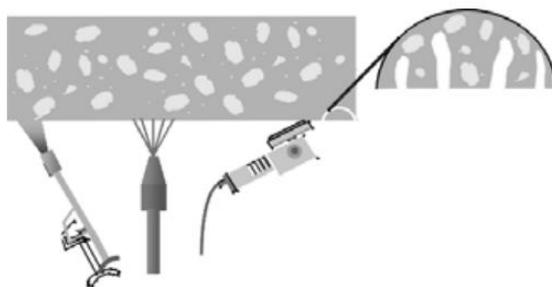
**Tabela 3:** Valores aceitáveis de irregularidades da superfície de concreto.

SISTEMA DE REFORÇO		
	Irregularidade aceitável em um comprimento de 2 m	Irregularidade aceitável em um comprimento de 0,3 m
Laminado pré-fabricado (espessura > 1 mm)	10 mm	4 mm
Laminado pré-fabricado (espessura < 1 mm)	6 mm	2 mm
Curado <i>in situ</i>	4 mm	2 mm

Fonte: FIB – Bulletin 14 (2001)

A preparação da superfície deve seguir os procedimentos citados abaixo e ilustrados nas figuras:

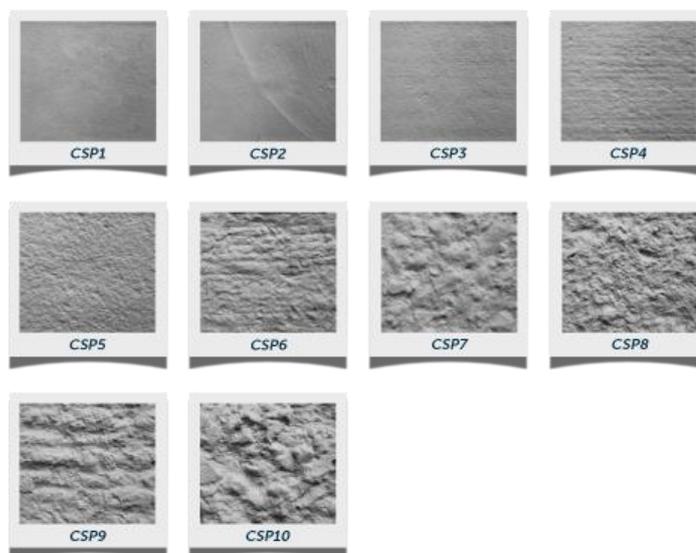
- A camada de nata de cimento deve ser removida, e os agregados expostos, mantendo a superfície o mais regular possível, com a utilização de uma esmerilhadeira com disco diamantado ou através de lixação ou jateamento abrasivo;



**Figura 3:** Regularização e limpeza da superfície.

Fonte: Manual de Reforço das Estruturas de Concreto Armado com Fibras de Carbono – MACHADO, A. P. (2006)

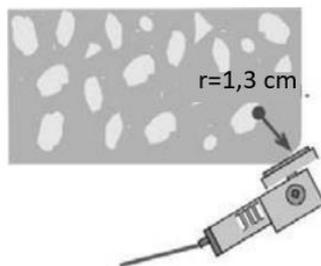
- A superfície de concreto deve ser preparada para um grau 3 de CSP (*concrete surface profile*), que é uma medida padronizada referente à rugosidade de uma superfície, definida pelo ICRI (*International Concrete Repair Institute*) e é apresentada abaixo:



**Figura 4:** Medidas de CSP (*concrete surface profile*).

Fonte: Método de Aplicação SikaLevel (2021)

- Deve-se fazer o arredondamento dos cantos vivos que serão envolvidos pelas fibras com um raio mínimo de 1,3 cm, com o uso de uma esmerilhadeira.



**Figura 5:** Arredondamento dos cantos vivos.

Fonte: Manual de Reforço das Estruturas de Concreto Armado com Fibras de Carbono – MACHADO, A. P. (2006)

- Toda a nata, poeira, sujeira, óleo, revestimentos existentes ou qualquer outro componente que possa afetar a ligação do compósito ao substrato deve ser removido.

### 3.5 Fibras

As fibras de carbono devem ser cortadas nas dimensões recomendadas no projeto, não sendo indicado fazer emendas em nenhuma situação. Utilizar tesouras reforçadas ou estiletos para o corte. É possível armazenar temporariamente os pedaços já cortados, tomando o cuidado de não dobrar os tecidos. As fibras devem ficar isentas de poeira, óleos, umidade e outros contaminantes.



**Figura 6:** Corte das fibras de carbono.

Fonte: Manual de Reforço das Estruturas de Concreto Armado com Fibras de Carbono – MACHADO, A. P. (2006)

### 3.6 Mistura das resinas

A mistura das resinas deve ser feita de acordo com as recomendações do fabricante. Os itens abaixo devem ser observados:

- Temperaturas mínima e máxima adequadas para trabalhar com a resina;
- Proporção correta entre os dois componentes da mistura;
- Tempo de mistura;

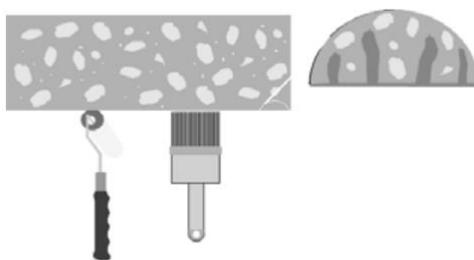
- *Pot life* (tempo em aberto): é o intervalo de tempo, após a mistura da resina e do catalisador, durante o qual o material líquido é utilizável sem dificuldade. Após esse tempo, a mistura perde suas características de aderência e não deve ser usada;
- Tempo de cura.

A resina deve ser misturada até que seus componentes formem uma pasta uniforme e homogênea. Geralmente, os componentes têm colorações diferentes, ou seja, a mistura deve ser feita até que fique de uma cor apenas. Pode ser feita com um equipamento de mistura elétrico ou manualmente.

### 3.7 Aplicação do sistema de PRFC

#### 3.7.1 *Primer*

O *primer* deve ser aplicado uniformemente em todas as áreas de concreto onde o sistema compósito será instalado, utilizando um rolo de pintura ou um pincel rígido até a espessura de película úmida recomendada pelo fabricante.

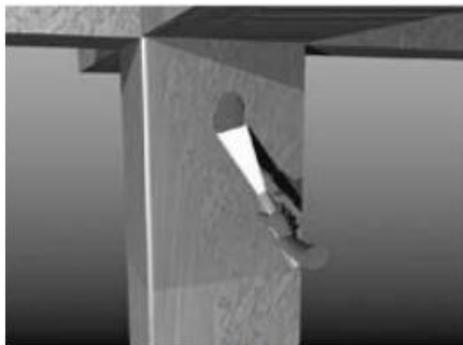


**Figura 7:** Aplicação do *primer*.

Fonte: Manual de Reforço das Estruturas de Concreto Armado com Fibras de Carbono – MACHADO, A. P. (2006)

#### 3.7.2 Regularizador de superfície

O regularizador de superfície, ou *putty*, deve ser aplicado em substratos já imprimados, antes ou depois da cura total da camada de *primer*, utilizando uma espátula ou desempenadeira de aço. Deve ser utilizado somente para preencher buracos e vazios, e regularizar alguma descontinuidade ou superfície áspera que possa existir. Não utilizar para aplicações de elevadas espessuras. Arestas ou linhas deixadas pela espátula na aplicação do *putty* devem ser polidas antes da aplicação de outros materiais.



**Figura 8:** Aplicação do regularizador de superfície.

Fonte: Manual de Reforço das Estruturas de Concreto Armado com Fibras de Carbono – MACHADO, A. P. (2006)

### 3.7.3 Sistemas compósitos

- A resina de saturação deve ser aplicada uniformemente e na espessura definida pelo fabricante, em todas as superfícies já preparadas onde haverá a aplicação do reforço;
- As fibras devem ser levemente pressionadas sobre a resina de saturação não curada, e as bolhas de ar que ficarem presas devem ser liberadas com a ajuda de um rolo antes de a resina secar. O rolo só deve ser utilizado na direção das fibras.
- Mais uma camada de resina deve ser aplicada para completar a total impregnação das fibras.
- No caso de sucessivas camadas de fibras, a camada seguinte sempre deve ser posicionada antes que a resina esteja curada. Se as camadas anteriores já estiverem secas, pode ser necessário fazer lixamento ou aplicar algum solvente, conforme recomendação do fabricante. Todas as camadas devem estar totalmente impregnadas pela resina de saturação.

No caso de o reforço ao esforço cortante com envolvimento em “U” descolar durante a execução, deve-se colocar uma estrutura de suporte para impedir, como fôrma de madeira e escoras, por exemplo. Para garantir que a estrutura de suporte não fique colada na resina de saturação, deve-se colocar plástico na interface entre estes elementos.

### 3.8 Revestimentos de proteção

Posteriormente à execução do reforço e cura total do sistema compósito, deve-se aplicar o revestimento de proteção contra raios ultravioletas na espessura recomendada pelo fabricante em todos os elementos reforçados. Deve-se remover qualquer indício de poeira, óleos, umidade ou outros contaminantes com a utilização de água com sabão, e a superfície deve estar limpa e

completamente seca antes da aplicação de qualquer revestimento para garantir uma boa aderência.

### 3.9 Proteção temporária

Proteções temporárias, como barracas ou telas de plástico, podem ser necessárias para proteger o reforço da ação de agentes externos, como temperaturas extremas, contato com a água da chuva, poeira, sujeiras, excessivo contato com os raios ultravioletas, alta umidade, vandalismo, entre outros.

### 3.10 Liberação da estrutura

O sistema de PRFC deve estar completamente curado, segundo o tempo recomendado pelo fabricante, antes da retirada do escoramento, para garantir que o elemento estrutural tenha capacidade de resistir às cargas de projeto. Para isso, deve-se fazer o teste de sonoridade do concreto e teste de arrancamento.

### 3.11 Controle de qualidade e manutenção

A execução do reforço deve ser monitorada através da ficha de controle de qualidade antes, durante e depois do serviço. Além disso, a inspeção periódica do reforço deve ser realizada a cada 6 meses, seguindo a ficha de inspeção. No caso de alguma inconformidade ser encontrada, devem ser tomadas atitudes em prol de fazer a manutenção do reforço e garantir a sua vida útil e, conseqüentemente, a segurança estrutural. As fichas encontram-se nas Tabelas 4 e 5.

**Tabela 4:** Ficha de controle de qualidade de execução.

Fonte: Elaboração própria.

<b>CONTROLE DE QUALIDADE DE REFORÇO ESTRUTURAL COM FIBRA</b>		
<b>ETAPA/ATIVIDADE</b>	<b>SIM</b>	<b>NÃO</b>
<b>1) Materiais do sistema</b>		
a. Certificação de qualidade		
<b>2) Descarregamento da estrutura</b>		
a. Estrutura descarregada e escorada conforme projeto		
<b>3) Preparação da superfície de concreto</b>		
a. Remoção dos revestimentos (chapisco, reboco, pintura)		
b. Remoção dos pedaços de arame e fôrma		
c. Indícios de corrosão na armadura		

d. Fissuras com espessura mínima de 0,3 mm		
e. Remoção da camada de nata de cimento (cobrimento)		
f. Superfície de concreto prepara para grau 3 de CSP		
g. Arredondamento dos cantos vivos		
h. Limpeza da superfície		
<b>4) Condições no momento da instalação</b>		
a. Temperatura do ar (°C)		
b. Temperatura da superfície do concreto (°C)		
c. Umidade relativa do ar (%)		
d. Umidade da superfície de concreto (%)		
<b>4) Fibras</b>		
a. Corte das fibras nas dimensões de projeto (não são admitidas emendas)		
<b>5) Mistura das resinas</b>		
a. Temperaturas mínima e máxima adequadas		
b. <i>Pot life</i> (min)		
c. Uniformidade e homogeneidade da pasta misturada		
<b>6) Sistema de PRFC</b>		
a. Aplicação do primer (espessura indicada pelo fabricante)		
b. Aplicação do regularizador de superfície em buracos e vazios		
c. Aplicação da resina de saturação no substrato (espessura indicada pelo fabricante)		
d. Aplicação do tecido de fibras de carbono		
e. Aplicação da resina de saturação para impregnação das fibras		
<b>7) Revestimento de proteção</b>		
a. Aplicação do revestimento de proteção contra raios UV		
<b>8) Depois da instalação</b>		
a. Existência de bolhas de ar no reforço		
b. Verificado descolamento do reforço		
c. Verificada mudança de cor do reforço		
d. Orientação e dimensões das fibras		
e. Tempo de cura das resinas (dias)		
<b>8) Liberação da estrutura</b>		
a. Teste de sonoridade		
b. Teste de arrancamento		
c. Tempo de cura das resinas		

**Tabela 5:** Ficha de inspeção e manutenção.

<b>INSPEÇÃO DE REFORÇO ESTRUTURAL COM FIBRA</b>		
<b>ETAPA/ATIVIDADE</b>	<b>SIM</b>	<b>NÃO</b>
<b>1) Inspeção visual</b>		
a. Existência bolhas de ar		
b. Descolamento do reforço do substrato		
c. Mudanças de cor no reforço		
d. Existência de fissuras no concreto		
e. Indícios de corrosão na armadura		
<b>2) Testes</b>		
a. Teste de sonoridade		

Fonte: Elaboração própria.