



**FACULDADE ARI DE SÁ**  
**CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**EMANOEL LUAN ALMEIDA DA ROCHA**

**ESTUDO TEÓRICO DE VIGAS DE CONCRETO ARMADO REFORÇADAS POR  
MEIO DA ADIÇÃO DE CHAPAS DE AÇO COLADAS**

**FORTALEZA**  
**2021**

**EMANOEL LUAN ALMEIDA DA ROCHA**

**ESTUDO TEÓRICO DE VIGAS DE CONCRETO ARMADO REFORÇADAS POR  
MEIO DA ADIÇÃO DE CHAPAS DE AÇO COLADAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
como requisito à obtenção do título de Bacharel  
em (Engenharia Civil) da Faculdade Ari de Sá.

Orientador: MSc. Ésio Magalhães Feitosa  
Lima.

**FORTALEZA**

**2021**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Faculdade Ari de Sá  
Gerada automaticamente mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

R672e Rocha, Emanuel Luan Almeida da.

ESTUDO TEÓRICO DE VIGAS DE CONCRETO ARMADO REFORÇADAS POR MEIO  
DA ADIÇÃO DE CHAPAS DE AÇO COLADAS / Emanuel Luan Almeida da Rocha. – 2021.

46 f.: il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso – Faculdade Ari de Sá, Curso de Engenharia Civil, Fortaleza,  
2021.

Orientação: Prof. Me. Écio Magalhães Feitosa Lima.

1. Reforço à flexão. 2. Chapas de aço coladas. 3. Resina epóxi. I. Título.

CDD 620

---

**EMANOEL LUAN ALMEIDA DA ROCHA**

**ESTUDO TEÓRICO DE VIGAS DE CONCRETO ARMADO REFORÇADAS POR  
MEIO DA ADIÇÃO DE CHAPAS DE AÇO COLADAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
como requisito à obtenção do título de Bacharel  
em (Engenharia Civil) da Faculdade Ari de Sá.

Orientador: MSc. Ésio Magalhães Feitosa  
Lima.

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

**BANCA EXAMINADORA**

---

MSc. Ésio Magalhães Feitosa Lima.  
Faculdade Ari de Sá

---

MSc. Francisca Lillian Cruz Brasileiro  
Faculdade Ari de Sá

---

MSc. Francisco Rosendo Sobrinho  
Unichristus

## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar, a Deus, que sempre me conduziu para que fosse possível alcançar meus objetivos, durante todo curso de graduação.

Aos meus avós, Maria concebida e José Rodrigues, que sempre foram minha maior fonte de alegrias e incentivos, e por toda dedicação que sempre tiveram por mim.

Aos meus pais, Maria Iracilda e Francisco Moacir, pelo incentivo aos estudos e pelo apoio incondicional.

Agradeço aos meus colegas, por compartilharem comigo tantos momentos de descoberta e aprendizado, assim como todo companheirismo ao longo deste caminho.

Ao meu prezado orientador MSc. Ésio Magalhães Feitosa Lima, pela dedicação e compreensão. Também gostaria de agradecer a disponibilidade da banca examinadora.

*“Não importa quanto a vida possa ser ruim, sempre existe algo que você pode fazer, e triunfar. Enquanto há vida, há esperança.”*

Stephen Hawking

## RESUMO

Este trabalho traz a dissertação da técnica de reforço meio de chapas de aço colocadas por resina epóxi ao concreto, para reforçar elementos estruturais fletidos. Tratasse de uma técnica bastante eficiente, quando o trabalho é bem executado. O sucesso do reforço dependerá da qualidade da resina utilizada, da preparação da superfície do concreto e do aço e da execução correta do reforço. O método é bastante simples, trata-se da colagem de chapas de aço à peça a ser feita o reforço, criando um elemento estrutural concreto-cola-aço, aumentando a resistência da peça à esforços de flexão e cortante. O cálculo do reforço consiste na determinação da área transversal da chapa de aço necessária para que a viga suporte novas solicitações de esforço. Antes é necessário conhecer todas as características geométricas da seção transversal da peça existente, dimensões da seção, área de aço das armaduras existentes e das propriedades dos materiais. Foi feito uma comparação entre dois modelos de cálculo, para encontrar a área da seção transversal da chapa de aço. O primeiro método utilizado foi o J. Bresson, o cálculo é feito no Estádio II, o segundo método foi o de Cánovas, onde o dimensionamento é feito no Estádio III. A viga utilizada no exemplo, foi biapoiada. A área de aço obtida pelo método de J Bresson é superior à de Cánovas, pois ele não considera a mudança de posição da linha neutra. Já o método de Cánovas tem uma área de aço menor, pois é usado como hipóteses a seção no Estádio III, que resulta na mudança da linha neutra, e assim resultando em uma área de aço menor.

**Palavras-chave:** Reforço à flexão, Chapas de aço coladas, Resina epóxi.

## ABSTRACT

This work brings a dissertation on the technique of reinforcement using steel sheets placed by epoxy resin to concrete, to reinforce flexed structural elements, it is a very efficient technique, when the work is well executed. The success of the reinforcement will depend on the quality of the resin used, the preparation of the concrete and steel surface and the correct execution of the reinforcement. The method is quite simple, it is the bonding of steel sheets to the part to be reinforced, creating a concrete-glue-steel structural element, increasing the part's resistance to bending and shearing efforts. The calculation of reinforcement consists of determining the cross-sectional area of the steel sheet necessary for the beam to support new stress requirements. Beforehand, it is necessary to know all the geometric characteristics of the cross section of the existing part, section dimensions, steel area of the existing reinforcement and material properties. A comparison was made between two calculation models to find the cross-sectional area of the steel sheet. The first method used was the J. Bresson, the calculation is done in Stage II, the second method was the Cánovas method, where the design is done in Stage III. The beam used in the example was simply supported. The steel area obtained by the J Bresson method is superior to that of Cánovas, as it does not consider the change in position of the neutral line. The Cánovas method, on the other hand, has a smaller steel area, as the section in Stage III is used as a hypothesis, which results in a change in the neutral line, thus resulting in a smaller steel area.

**Keywords:** Bending reinforcement, Glued steel sheets, epoxy resin.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Fissuras em Viga por flexão.....	17
Figura 2 - Retratando Zona de Transição entre concreto e o Reforço.....	18
Figura 3 - Preparação da Superfície com Jato de água.....	19
Figura 4 - Diferentes níveis da preparação da superfície do concreto.....	20
Figura 5 - Escarificação Manual.....	21
Figura 6 - Disco de Desbaste.....	22
Figura 7 - Apicoamento Mecânico.....	22
Figura 8 - Escovamento Manual.....	23
Figura 9 - Disco de Corte.....	24
Figura 10 - Matriz Polimérica da Fibra de Carbono.....	25
Figura 11 - Reforço Através de Fibra de Carbono.....	26
Figura 12 - Reforço Através de Protensão externa.....	27
Figura 13 - Viga com Reforço na Face Inferior com Chapas de Aço.....	28
Figura 14 - Colagem da Chapa de Aço na Superfície do Concreto, reforço à flexão.....	30
Figura 15 - Pressão Aplicada nas chapas de aço.....	31
Figura 16 - Uso de Chapas Coladas para Reforço à flexão.....	32
Figura 17 - Chumbador Químico.....	33
Figura 18 - Estado de Deformação e Tensão de uma Viga Reforçada (Bresson).....	33
Figura 19- Estado de Deformação e Tensão de uma Viga Reforçada (Cánovas).....	35
Figura 20- Exemplo de reforço à flexão simples de uma viga por colagem de chapa.....	37

## LISTA DE QUADROS E TABELAS

Quadro 1 - Procedimento de Preparo do Substrato .....	21
Quadro 2 - Parâmetros para cálculo .....	37
Tabela 1 - Comparativo de área de Reforço .....	42

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	12
1.1	JUSTIFICATIVA .....	14
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	15
<b>2.1</b>	<b>OBJETIVO GERAL</b> .....	15
<b>2.2</b>	<b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b> .....	15
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	16
<b>4</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	17
4.1	FISSURAS POR FLEXÃO EM VIGAS DE CONCRETO ARMADO .....	17
4.2	TRANSFERÊNCIA DE ESFORÇOS ENTRE O REFORÇO E O CONCRETO .....	17
4.3	PREPARAÇÃO DA SUPERFÍCIE DO CONCRETO PARA RECEBER O REFORÇO .	18
4.3.1	Escarificação Manual .....	21
4.3.2	Disco de Desbaste .....	22
4.3.3	Apicoamento Mecânico .....	22
4.3.4	Escovamento Manual .....	23
4.3.5	Disco de Corte .....	23
4.4	TÉCNICA DE REFORÇO ESTRUTURAL UTILIZANDO FIBRAS DE CARBONO ...	24
4.5	TÉCNICA DE REFORÇO UTILIZANDO CABOS EXTERNOS PROTENDIDOS .....	26
<b>5</b>	<b>REFORÇO POR MEIO DA ADIÇÃO DE CHAPAS DE AÇO COLADAS</b> .....	28
5.1	COLAGEM DA CHAPA DE AÇO NA SUPERFÍCIE DO CONCRETO .....	29
5.2	SISTEMA DE ANCORAGEM DAS CHAPAS DE AÇO AO CONCRETO .....	32
5.3	CÁLCULO DA ÁREA DA SEÇÃO TRANSVERSAL DA CHAPA .....	33
5.3.1	Método de J. Bresson .....	33
5.3.2	Método de Cánovas .....	35
<b>6</b>	<b>APLICAÇÃO DOS MODELOS DE CÁLCULO</b> .....	37
6.1	Cálculo Pelo Método de J. Bresson .....	38
6.2	Cálculo pelo Método de Cánovas .....	41
<b>7</b>	<b>CONDIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	43
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	44

## 1 INTRODUÇÃO

Um dos grandes problemas na construção civil são as patologias causadas nas estruturas de edificações, onde será abordado o assunto principal reforço a flexão em vigas de concreto armado através de chapas de aço. Todas as patologias causadas dependem basicamente da qualidade do projeto estrutural da execução do mesmo e da manutenção ao decorrer do uso da edificação. Em certo tempo de vida da estrutura pode ser feita uma mudança em sua usualidade, assim a qualidade da estrutura não fica voltada somente ao projeto estrutural e de sua execução, mas sim o modo em que a estrutura passou a ser utilizada (VAN GEMERT, 2003).

Observou-se que para suprir essas mudanças de uso da estrutura, desgaste com o tempo e maus cuidados de uma edificação, surgiu a ideia de fazer um reforço estrutural em tais peças para que passassem a ser utilizadas com segurança (HIGASHI, 2016). As estruturas de concreto armado são projetadas para ter no mínimo 50 anos de vida útil (NBR 6118, 2014). Quando essas estruturas são localizadas próximas do oceano, por exemplo, pode-se ter a vida útil reduzida e ficando menos duráveis (MOREIRA, 2018).

Pode-se ocorrer várias falhas dentre elas, como na concepção estrutural, estudo preliminar, anteprojeto ou durante a criação do projeto executivo, como elementos de projeto inadequados que tenha uma má definição das ações atuantes na estrutura, falhas de compatibilidade estrutura-arquitetura, especificações incorretas dos materiais a serem utilizados, detalhamentos maus desenhados com deficiência de compreensão, erros de dimensionamentos. Assim quanto mais cedo possível deve-se evitar esses tipos de erros, que poderão causar patologias futuras na estrutura (REIS, 1998).

Devido o concreto armado ser susceptível a ter corrosão e outras patologias com o decorrer dos anos, deve-se ter em mente que uma adequada concepção de uma estrutura implica em um conjunto de processos que tragam melhor qualidade da estrutura ao decorrer da sua vida útil. Não se pode esquecer às questões ligadas à sua resistência mecânica, como o manuseio e utilização dos materiais que compõe o concreto, como a relação água/cimento, isso ocasiona as características como densidade, compacidade, porosidade, permeabilidade, capilaridade e fissuração. Isto tudo está ligado a durabilidade e desempenho da estrutura (SOUSA e RIPPER, 2009).

Tendo em vista que são vários fatores que levam ao reforço estrutural, sobre qual já foram mencionados anteriormente, têm-se que ter bastante atenção a essa técnica de reforço estrutural com chapas de aço, pois, o bom desempenho desse método faz com que a estrutura aumente seu tempo de vida útil, é muito importante que ligação viga-resina-chapa tenham uma

boa adesão para que a execução seja feita com melhor qualidade possível, e assim obtenha uma transferência de momentos, cisalhamentos e torções, entre os materiais (NASCIMENTO, 2017).

Essa técnica vem sendo usada a bastante tempo, por ser uma técnica simples, econômica e bastante eficiente desde que seja utilizada da forma correta, usando resina com base epóxi de alta qualidade. Na década de 60 foi descoberto um dos primeiros casos desse reforço por meio de chapas de aço coladas em estruturas de concreto comprometidas por falha de execução, onde as vigas de uma obra residencial foram executadas com a área de aço menor que a de projeto, este fato aconteceu em Durban na África do Sul. No Japão foi usado bastante em pontes de rodovias, reforçadas chapas de aço. Diversos ensaios foram realizados, que mostram que as chapas de aço são eficientes a reforços, com aumento significativo da resistência à flexão (BEBER, 2003).

As aplicações desse reforço estrutural podem ser feitas em vigas, laje, pilares dentre outras peças de concreto armado. Onde a espessura da camada de cola não pode ultrapassar 1,5 mm. Já as chapas de aço não podem ultrapassar 3 mm de espessura, a não ser que seja usado dispositivo de ancoragem como buchas expansivas. Para executar um projeto de reforço estrutural, tem que ser feito todo um estudo do projeto estrutural já existente da edificação, assim como uma avaliação da segurança do local com uma inspeção detalhada para que não ocorra nenhum risco (HIGASHI, 2016).

Segundo BRANCO (2012), as vantagens da técnica com chapas de aço coladas são:

- Matem a peça de concreto armado sem que seja demolida.
- Uma técnica com rápida execução.
- Aumento da resistência à flexão em até 50%.
- Evita o excesso de ruído ou entulho no local da execução.
- Matem a geometria da peça, por a chapa ter uma pequena espessura.

As desvantagens da técnica são:

- Possibilidade de corrosão das chapas de aço por umidade e sais minerais.
- Descolamento da resina epóxi por temperaturas elevadas.
- Deslocamento nas extremidades da chapa de aço.
- Impede a visualização de fissuras que podem aparecer.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

A técnica de reforço estrutural por meio do uso de chapas coladas, tem princípio simples e de fácil execução, que possibilita o aumento da resistência da peça a flexão, com pouca alteração em sua geometria, bastante eficiente e econômica.

Algumas estruturas não estão em condições suficientes para suportar a carga ativa sobre ela, precisando serem reforçadas para suportar maiores demandas na estrutura. Em alguns casos podem ser feito o reforço em estruturas recém executadas, por conta de erros na execução ou no projeto estrutural.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Dissertar a técnica de reforço estrutural em vigas de concreto armado, por meio de chapas de aço coladas.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Descrever procedimentos para o preparo do substrato do concreto a ser realizado o reforço estrutural;
- Especificar recomendações encontradas na revisão bibliográfica sobre reforço estrutural em vigas de concreto armado através de chapas de aço coladas;
- Apresentar exemplos de dimensionamento da área da seção transversal da chapa de aço, de uma viga a ser executado o reforço estrutural;
- Comparar dois modelos de cálculo, para encontrar a área da seção transversal da chapa de aço.

### **3 METODOLOGIA**

Para atingir os objetivos apresentados neste trabalho, foi feita uma pesquisa teórica sobre reforço estrutural em vigas de concreto armado por meio do uso chapas de aço coladas.

A metodologia adotada foi desenvolvida por levantamentos bibliográficos voltados ao tema do trabalho apresentado, por meio de livros, dissertações, artigos científicos e trabalhos acadêmicos.

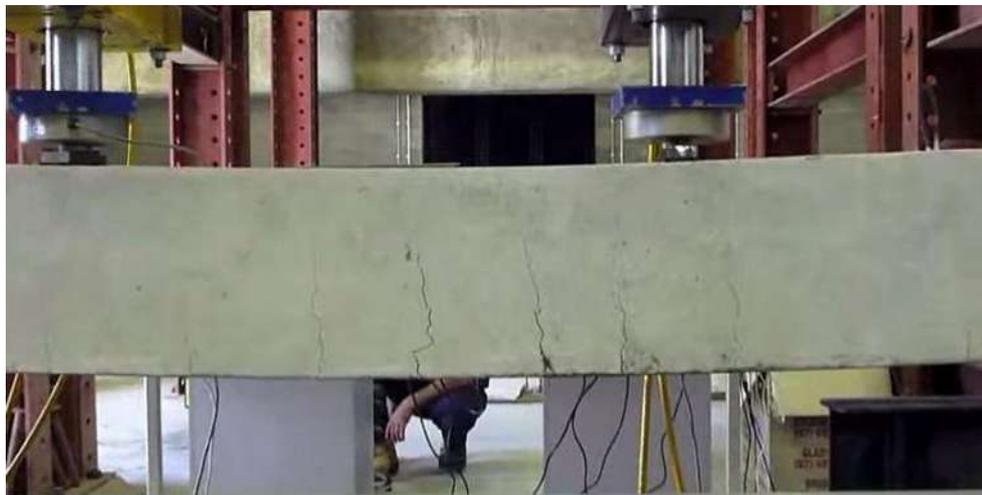
O uso dessa técnica pode evitar a possível demolição das peças de concreto armado, recompondo a vida útil da estrutura. Onde foi realizado dois exemplos de dimensionamento, como exemplo para encontrar a área da seção transversal da chapa de aço.

## 4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 4.1 FISSURAS POR FLEXÃO EM VIGAS DE CONCRETO ARMADO

As fissuras geradas por flexão são geralmente apresentadas no meio do vão na vertical, havendo uma abertura maior na parte inferior da viga onde se localiza a fibra de maior tensão. Fissuramento de viga de concreto armado por flexão (Figura 1).

Figura 1 – Fissuras em Viga por Flexão



Fonte: Fonte: (Araldi, 2013).

Quando se dimensiona uma viga de concreto armado, é previsto que a peça se deforme e fissure. As principais fissuras que ocorrem são devidas ao esforço de tração causado pela flexão, os diagnósticos mais comuns são sobrecargas não previstas, armaduras insuficientes, ancoragem insuficiente e armaduras mal posicionadas no projeto ou execução. (THOMAZ, 2003).

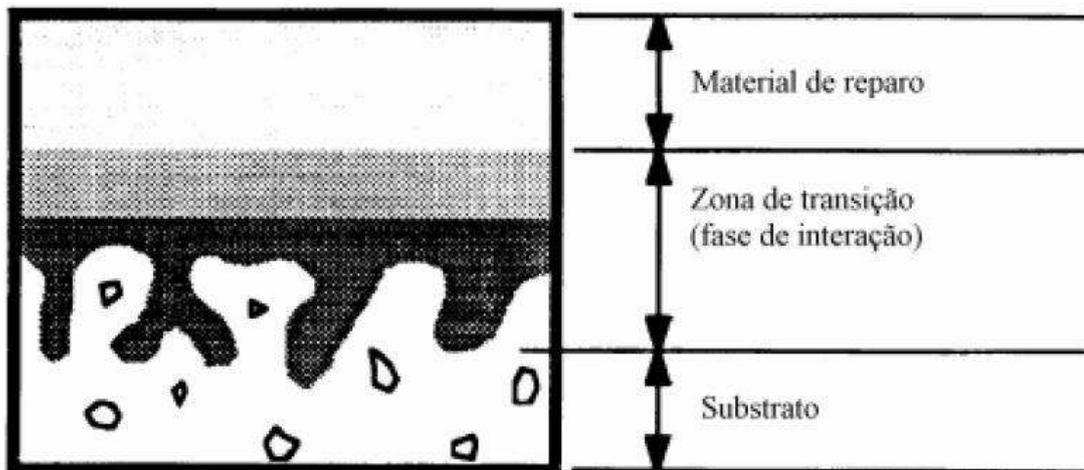
### 4.2 TRANSFERÊNCIA DE ESFORÇOS ENTRE O REFORÇO E O CONCRETO

Uma peça de concreto armado, reforçada é idealizada como uma estrutura monolítica, onde suas deformações são lineares ao longo de toda sua estrutura. As armaduras coladas externamente só serão eficazes se houver a transferência de esforços do concreto para o reforço. Esta transferência se dá por meio de um adesivo, geralmente epóxi, que faz a ligação entre os materiais (NASCIMENTO, 2017).

Segundo REIS (1998), informa que a transferência de esforços entre o concreto e o reforço pode acontecer de três maneiras: adesão, atrito e ação mecânica. O mecanismo de transferência de esforços entre o reforço e o concreto se dá com o surgimento de tensões de cisalhamento na zona de transição entre os materiais, onde uma vez que possuem rigidez diferentes, as tensões normais na ligação entre eles também são diferentes.

Deve ser falado ainda o conceito de aderência. Este fenômeno deve existir obrigatoriamente entre o concreto e armadura, para que haja uma real solidariedade entre ambos os materiais, a fim de resistirem aos esforços de forma conjunta (Figura 2). Se define por concreto armado como sendo a união do concreto simples e de um material resistente à tração (envolvido pelo concreto) de tal modo que ambos resistam solidariamente aos esforços solicitantes (GONÇALVES, 2015).

Figura 2 – Retratando Zona de Transição entre concreto e o Reforço



Fonte: (REIS, 1998).

#### 4.3 PREPARAÇÃO DA SUPERFÍCIE DO CONCRETO PARA RECEBER O REFORÇO ESTRUTURAL

Independentemente do método usado para se fazer o reforço estrutural por meio de chapas coladas deve-se usar uma regulamentação, onde a mais usada é a do C.E.B, que especifica:

- a) A espessura da camada de cola não exceda a 1,5 mm (quanto mais espessa a camada, menor a resistência à tração). Cánovas (1984) sugere que este limite seja de 1,0 mm;
- b) A espessura da chapa não ultrapasse 3 mm (a não ser que sejam utilizados dispositivos especiais de ancoragem, buchas metálicas expansivas, em particular);

- c) O incremento a obter nos esforços resistentes, comparada a situação depois do reforço com a original, não seja superior a 50%, tanto para a flexão como para o cisalhamento (limitação que, em alguns casos, será muito conservadora).

Ao se fazer a análise da estrutura com problemas de patologias, é necessário saber o porquê do surgimento de tal patologia, para assim seja estudado qual o melhor tipo de reforço a ser utilizado em tal patologia, em alguns só será possível fazer a demolição completa da peça e refazê-la.

Para que se garanta a transferências de tensões, é importante ter bastante cuidado com a preparação da superfície do concreto, que é responsável por maior parte da eficiência do reforço estrutural. O objetivo é garantir uma boa condição da superfície do concreto para que tenha uma boa aderência entre a peça e o reforço, através de limpezas com jato de areia, ar comprimido, jato de água com alta pressão mostrado na Figura 3, dentre outras formas (HIGASHI, 2016).

Figura 3 – Preparação da Superfície com Jato de água

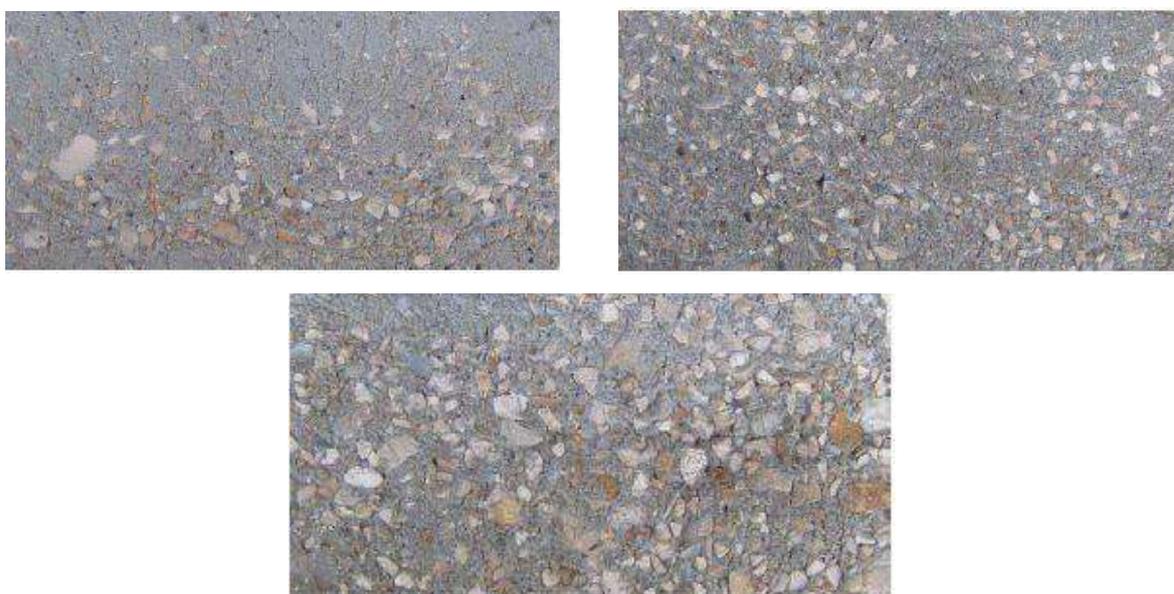


Fonte: (APPLETON, 2012).

Esta técnica consiste em remover as camadas superficiais que apresentem uma maior deterioração, a partir de jatos de areia ou de água, ou ainda uma mistura dos dois. O equipamento utilizado consiste em máquinas de jato ligada a um compressor. Quando a areia é usada, esta não deve apresentar matéria orgânica ou qualquer outro tipo de material. Deve

também apresentar uma granulometria adequada para que não ocorra o entupimento na mangueira. Quando a água é utilizada, encontra-se normalmente em temperatura ambiente e com objetivo de remoção de camadas deterioradas para que futuramente sejam aplicados os materiais para a recuperação do elemento estrutural. Em caso de superfícies muito gordurosas, a água pode ser aquecida com adição de materiais removedores que sejam biodegradáveis. Tanto jatos de areia como de água podem ser usados simultaneamente ou um após o outro para garantir uma maior eficiência do processo (Figura 4) (TRINDADE, 2015).

Figura 4 – Diferentes níveis da preparação da superfície do concreto



Fonte: (APPLETON, 2012).

O preparo do substrato é entendido como o conjunto dos procedimentos efetuados antes da limpeza superficial e da aplicação dos materiais e produtos de correção. O objetivo do preparo do substrato é assegurar condições boas de aderência entre os elementos novo e velho, para isso, deve-se remover o material deteriorado através de limpezas, lavagens, polimentos, ou ainda limpezas especiais como jatos de areia ou ar comprimido, dentre outras. (SENA, 2014).

Para superfície do concreto úmida ou seca, deve-se analisar o melhor procedimento para o preparo do substrato (Quadro 1).

Quadro 1 - Procedimento de Preparo do Substrato

PROCEDIMENTO	PROCEDIMENTO MAIS ADEQUADO PARA	
	CONCRETO COM SUPERFÍCIE:	
	SECA	ÚMIDA
ESCARIFICAÇÃO MANUAL	ADEQUADO	ADEQUADO
DISCO DE DESBASTE	ACEITÁVEL	ADEQUADO
APICOAMENTO MECÂNICO	ADEQUADO	ADEQUADO
ESCOVAMENTO MANUAL	ADEQUADO	ACEITÁVEL
DISCO DE CORTE	ACEITÁVEL	ADEQUADO

Fonte: (Helene, 1988, adaptado pelo autor).

#### 4.3.1 Escarificação Manual

Para facilitar a execução do reforço, faz-se a escarificação da superfície usando com uma talhadeira e uma marreta (Figura 5).

Figura 5 – Escarificação Manual



Fonte: Acesso em 03/06/2021: <http://www.etu.ufrj.br/siaci/imagem/44>

A escarificação manual são em pequenas superfícies de difícil acesso para os equipamentos maiores. O equipamento utilizado nada mais que uma talhadeira e marreta. Deve-se evitar golpes que possam danificar os contornos da região onde está sendo feita a escarificação. Após o procedimento de escarificação é feita a limpeza da região (PÁDUA, LISERRE, SILVA E AGUIAR, 2012).

#### 4.3.2 Disco de Desbaste

Para superfícies com maiores áreas é usado uma máquina com disco de desbaste (Figura 6).

Figura 6 – Disco de Desbaste



Fonte: Acesso em 03/06/2021:

[https://www.hilti.pt/c/CLS\\_POWER\\_TOOLS\\_7124/CLS\\_GRINDERS\\_SANDERS\\_7124/CLS\\_CONCRETE\\_GRINDERS\\_7124/r7650029](https://www.hilti.pt/c/CLS_POWER_TOOLS_7124/CLS_GRINDERS_SANDERS_7124/CLS_CONCRETE_GRINDERS_7124/r7650029)

A utilização do disco de desbaste é usada para preparação e desbaste de grandes superfícies, corrigindo a área de contato com o reforço, retirando o excesso de imperfeições na superfície do concreto (GONDIM, 2005).

#### 4.3.3 Apicoamento Mecânico

O apicoamento mecânico é indicado para superfícies planas, removendo uma pequena camada de concreto para melhorar a aderência do reforço (Figura 7).

Figura 7 – Apicoamento Mecânico



Fonte: Acesso em 03/06/2021: <http://blog.vaivolta.com.br/tag/martelete-pneumatico/>

O preparo por apicoamento mecânico, tem o objetivo de garantir melhor aderência entre a superfície do concreto e o reforço estrutural, onde apresenta maiores valores de rugosidade e os melhores resultados de resistência de aderência (ZUCCHI, 2015).

#### 4.3.4 Escovamento Manual

A escovação manual através de uma escova com cerdas de aço tem finalidade de aumentar a aderência entre o concreto e o reforço (Figura 8).

Figura 8 – Escovamento Manual



Fonte: Acesso em 03/06/2021: <https://tratamentodeconcreto.com.br/recuperacao-estruturas-concreto-sao-paulo.php>

Em relação à interface entre o substrato e o concreto de recuperação, tem ganho de 15% de aderência, quando se aplica, além da escovação uma pequena camada de resina epóxi, verificou-se um aumento de 37% na resistência de aderência entre o concreto e o reforço (DORIA, 2014).

#### 4.3.5 Disco de Corte

O disco de corte tem como finalidade retirar rebarbas da superfície do concreto, o equipamento consiste em uma máquina de corte dotada de um disco diamantado (Figura 9).

Figura 9 – Disco de Corte



Fonte: Acesso em 03/06/2021: [https://br.freepik.com/fotos-premium/trabalhador-com-alto-shear-moedor-corte-e-moinho-cimento-ou-asfalto-ou-concreto\\_3111433.htm](https://br.freepik.com/fotos-premium/trabalhador-com-alto-shear-moedor-corte-e-moinho-cimento-ou-asfalto-ou-concreto_3111433.htm)

O disco de corte tem seu uso mais comum para a remoção do concreto degradado em maiores profundidades, utiliza-se do corte do concreto com discos de corte comuns. Os discos de corte são úteis também para retirada de rebarbas, delimitação de contorno do reparo e para abertura de vincos em tratamento de fissuras (REIS, 2001).

#### 4.4 TÉCNICA DE REFORÇO ESTRUTURAL UTILIZANDO FIBRAS DE CARBONO

Uma alternativa à reforços estruturais convencionais (chapas de aço), as fibras de carbono possuem alta resistência à flexão e de sua ductilidade, proporcionam elevada eficiência no reforço de elementos de concreto armado (PLÁCIDO, 2014).

A fibra de carbono é composta por uma matriz polimérica (Figura 10), tem o objetivo de ligar as fibras e transmitir os esforços externos para as fibras através de tensões tangenciais, já o elemento estrutural tem a função de reter as tensões de tração da peça recuperada (BRONZE, 2016).

Figura 10 – Matriz Polimérica da Fibra de Carbono



Fonte: (MACHADO, 2006)

Segundo (REIS, 1998), citado por (FORTES, 2000), a recuperação de peças de concreto armado deve ser executada com materiais que apresentam características e propriedades melhores do que as do material original. O reforço com fibras de carbono é uma alternativa interessante devido à melhora de algumas propriedades, como:

- Tenacidade;
- Retenção à propagação de fissuras;
- Resistência à tração;
- Resistência ao cisalhamento;
- Ductilidade;
- Permeabilidade;
- Durabilidade.

A estrutura quando não suporta o aumento das cargas, a fibra de carbono é uma ótima opção para ser utilizada como reforço estrutural, pois apresenta uma grande resistência à tração, pode chegar até dez vezes maior do que o aço. As propriedades variam dependendo do tipo da fibra e o grau de concentração e padrão da mesma na matriz polimérica (SERRA e SILVA, 2019).

Segundo (MACHADO, 2011), quando o reforço é feito em peças de concreto armado que estão sofrendo por flexão, utiliza-se fibras de carbono nas faces inferior ou na superior das peças. O cálculo da resistência da peça de concreto armado reforçada por fibras de carbono tem algumas considerações a serem seguidas, como:

Todo o estudo do reforço deve ser feito com base nas dimensões da peça a ser reforçada e da distribuição das armaduras contidas, assim como as propriedades mecânicas que constituem a peça de concreto armado.

Aplicação da fibra de carbono como reforço estrutural (Figura 11).

Figura 11 – Reforço Através de Fibra de Carbono



Fonte: Acesso em 06/06/2021: <http://retrofitengenharia.com.br/tag/manta-de-fibra-de-carbono/>

Na aplicação da fibra de carbono, existe dois aspectos que se deve exigir uma maior atenção, o cruzamento dos laminados da fibra e a necessidade de ancoragem adicional. Com relação ao cruzamento dos laminados da fibra, deve-se ficar atento ao posicionamento das lâminas e à espessura do adesivo. Quando o volume de fibras de carbono é superior em relação ao volume do laminado, é fundamental a utilização de dispositivos de ancoragem constituídos por chapas de aço parafusadas no concreto (MATOS, 2018).

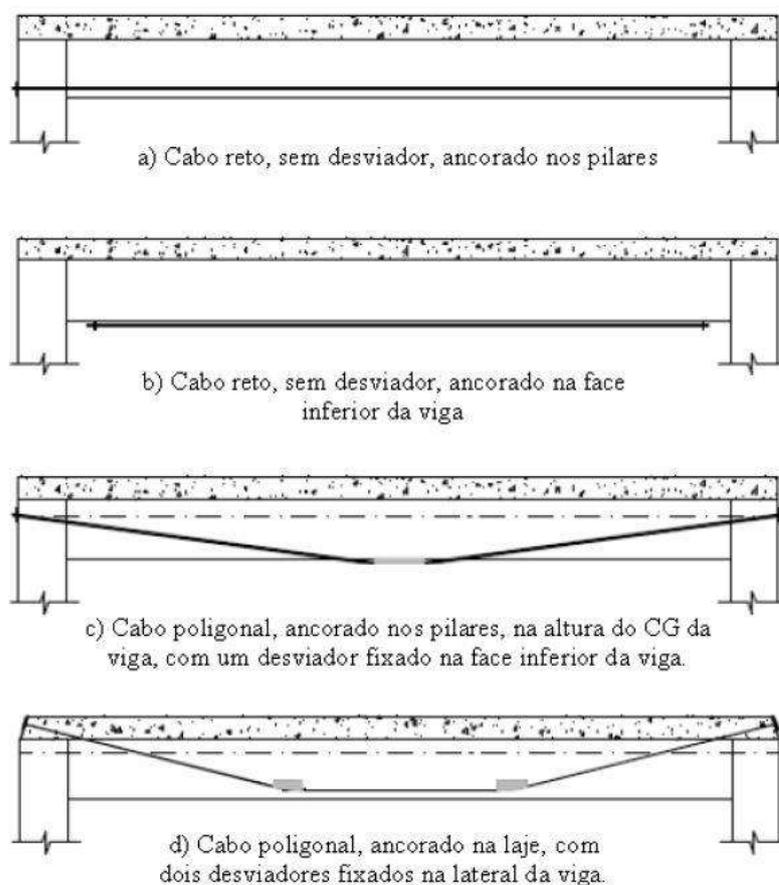
#### 4.5 TÉCNICA DE REFORÇO UTILIZANDO CABOS EXTERNOS PROTENDIDOS

A protensão externa quando se compara com outras técnicas de reforço estrutural, tem um grande diferencial que é seu caráter ativo, pois não é necessário esperar a viga se deformar para que o reforço comece a trabalhar. Há várias possibilidades que levam à possibilidade de se fazer uma recuperação em uma viga por protensão externa, por exemplo, falhas de projeto,

deterioração pelo tempo, falta de manutenção preventiva e até mesmo mudança no uso da estrutura (ALMEIDA, 2001).

Viga de concreto armado reforçada com protensão externa, com 4 modos de se posicionar os cabos (Figura 12).

Figura 12 – Reforço Através de Protensão externa



Fonte: (GALLE, 2011).

O desviador quando usado tem a função de desviar o cabo de protensão externa em alguns pontos estratégicos. É importante definir a quantidade e seu posicionamento adequado, quando utilizado em cabos retos, o desviador passa ter função de fixador, mantendo a excentricidade do cabo quando a viga deforma, se não usado os desviadores, o efeito de segunda ordem devido à variação da excentricidade do cabo, pode resultar em perda de capacidade resistente (TEJEDOR, 2013).

A utilização do reforço por protensão externa pode ser usada para melhorar o desempenho em qualquer tipo de viga, seja ela de madeira, concreto, aço ou vigas mistas (ROMERO, 2007).

## 5 REFORÇO POR MEIO DA ADIÇÃO DE CHAPAS DE AÇO COLADAS

Esta técnica de chapas de aço coladas em elementos de concreto armado consiste em fazer um reforço a uma peça comprometida. Segundo Cánovas (1985) fez ensaios com vigas submetidas a esforços de flexão, onde concluiu que as chapas que tiveram maior eficiência, foram chapas entre 3 e 4 mm de espessura, mas recomenda-se que não ultrapasse a espessura de 3 mm, a não ser que se faça o uso de ancoragem com buchas expansivas (NASCIMENTO, 2017).

A quantidade de estruturas espalhadas no mundo não para de crescer, e ao passar dos anos essas estruturas vão ficando velhas e deterioradas, assim precisando de reforço onde tem peças desgastadas com armaduras em mau funcionamento, e a cada dia que se passa a demanda de manutenção em edificações vem aumentando assim como o reforço estrutural (BEBER, 2003).

A aderência entre a chapas e o concreto deve ser bastante criteriosa, pois permite que tenha uma união monolítica e que a estrutura trabalhe conforme as tensões previstas no cálculo estrutural, fazendo com que a peça continue trabalhando de forma eficiente ao longo de sua vida útil (Figura 13) (HIGASHI, 2016).

Figura 13 - Viga com Reforço na Face Inferior com Chapas de Aço



Fonte: (SOUSA, 2009).

O cálculo do reforço de vigas à flexão utilizando o método de colagem de chapas metálicas consiste na determinação da área da seção transversal da chapa de aço necessária para permitir que a viga resista a novas solicitações. Para tanto, é necessário que todas as características geométricas da seção transversal existente sejam conhecidas, seja através dos projetos executivos ou por determinação “in loco”. Além disso, é indispensável que as forças solicitantes do elemento original

estejam definidas e que as propriedades dos materiais sejam determinadas. Citado por (KUSZKOWSKI, 2017).

Segundo o modelo de dimensionamento à flexão de Van Gemert, Ignoul e Brosens (2003), onde fazem uma série de recomendações que precisam ser atendidas para o bom dimensionamento do reforço à flexão por meio da colagem de armaduras externas com chapas de aço:

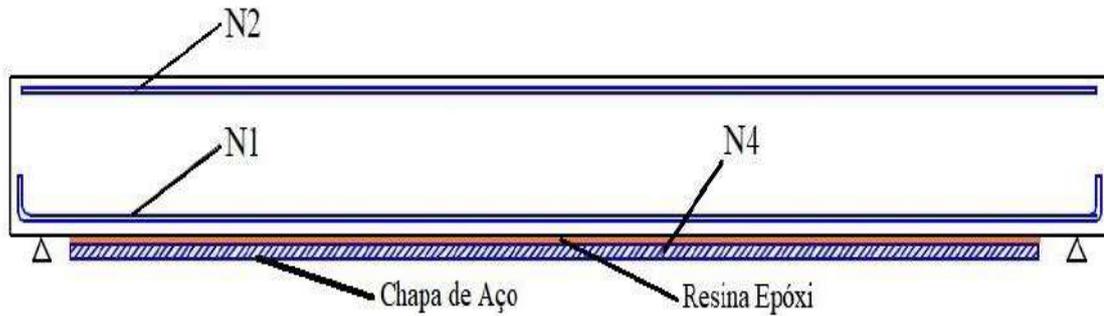
- 1) É preciso conhecer todas as propriedades dos materiais e características geométricas da seção transversal da peça;
- 2) A magnitude da carga que atua sobre o elemento no momento da instalação do reforço deve ser conhecida, pois a distribuição da tensão depende do momento fletor atuante neste instante. Quando mais aliviada a estrutura estiver, maior será a eficácia do reforço com significativa redução de sua área transversal;
- 3) O dimensionamento é feito no Estado Limite Último quando a seção transversal entra em colapso. Nos cálculos, valores de projetos das cargas e relações não-lineares de tensão-deformação para o aço e concreto são utilizadas considerando as deformações plásticas;
- 4) É assumido que as deformações variam linearmente ao longo da altura da viga, e que o ELU é atingido quando pelo menos um dos materiais atinge sua deformação máxima admissível. O eixo neutro é calculado utilizando o equilíbrio de forças normais e momentos fletores na seção transversal;
- 5) No Estado Limite de Serviço, os materiais assumem comportamento elástico e os carregamentos são considerados com seus valores nominais, sendo necessária a verificação de abertura de fissuras e deflexão máxima.

Desde a década de 1970, diversos estudos foram feitos de modo a expor modelos de dimensionamento seguros para o reforço à flexão em vigas de concreto armado através da utilização de chapas de aço coladas.

## 5.1 COLAGEM DA CHAPA DE AÇO NA SUPERFÍCIE DO CONCRETO

A colagem das chapas de aço consiste em colar chapas de aço com resina epóxi na superfície do concreto (Figura 14).

Figura 14 – Colagem da Chapa de Aço na Superfície do Concreto, reforço a flexão



Fonte: (REIS, 1998). Adaptado pelo Autor.

Segundo CÁNOVAS (1988), citado por REIS (1998), a eficiência da colagem das chapas de aço depende da correta preparação da superfície do concreto, onde percebe-se que o mais importante é a união da chapa de aço ao concreto. Colado por aplicação de resina epóxi, a chapa se transforma em uma armadura suplementar acoplada na superfície da viga ou qualquer outro elemento de concreto armado danificado.

A chapa de aço é uma armadura suplementar, altera muito pouco as dimensões finais da peça após o reforço. Assim não há a necessidade de se fazer um redimensionamento das ações no restante da estrutura, mas essa técnica tem sido criticada pelos seguintes fatores, segundo REIS (1998).

1. A técnica de reforço estrutural com chapas de aço impede a visualização de futuras fissuras que podem surgir, assim como a deterioração na face interna da viga, por eventuais umidades que possam infiltrar entre a superfície do concreto e a chapa de aço;
2. A chapa de aço e a resina epóxi possuem baixa resistência a elevadas temperaturas, podendo aumentar o risco de desabamento em caso de possível incêndio;
3. Por possuir grande quantidade de tensão nas extremidades, tem risco de deslocamento nessa região;
4. Não pode ter umidade para realizar o reforço com essa técnica.

Após o reforço com as chapas de aço, deve ser aplicada uma pintura para anticorrosão, para evitar que a chapa perca resistência, caso as chapas não cubram toda a superfície da peça, é preciso que seja feita solda para unir as chapas uma à outra, essas soldas devem ser limpas e escovadas com escova de aço, antes que seja aplicada a pintura de anticorrosão SOUZA e RIPPER (1998).

Segundo REIS (1998), para que se obtenha uma colagem de sucesso entre a chapa e o concreto, deve-se pressioná-la uniformemente, por no mínimo 24 horas, mas pode variar de acordo com o tipo de resina utilizada no reforço.

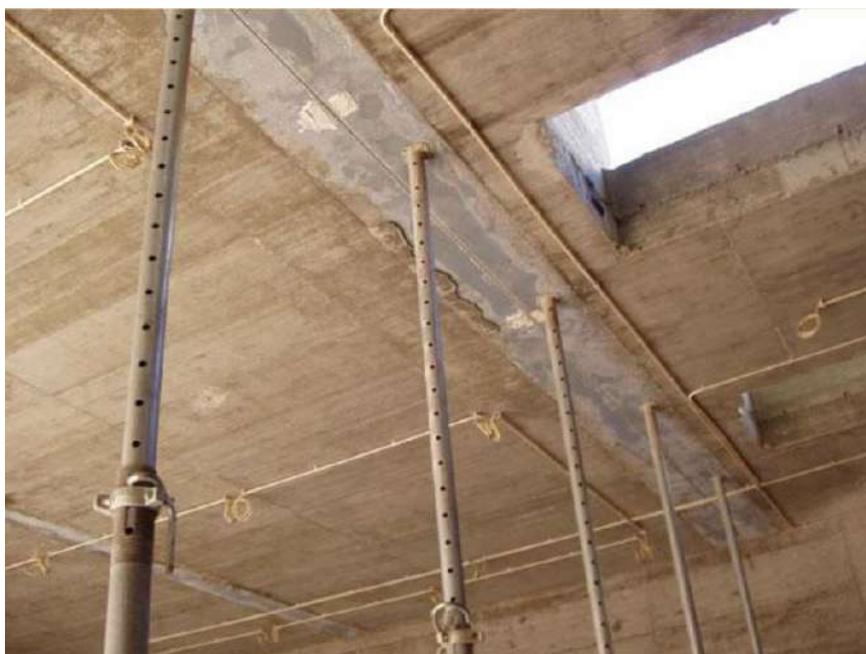
Segundo a norma americana ACI 503.5R (2003), que especifica o tipo de adesivos que podem ser utilizados na construção civil, apresenta os seguintes tipos de poliméricos para o uso em reforço no concreto.

1. Epóxi;
2. Poliéster;
3. Polisulfídico;
4. Poliuretano;
5. Silicone.

Os mais utilizados são os epóxis pois possuem alta aderência ao concreto com baixa retração após a cura, com baixa tensão superficial e tolerante à alcalinidade do concreto.

Segundo APPLETON (2012), considera que após a aplicação das chapas de aço é necessário aplicar uma pressão nas chapas da ordem de 0,1 a 0,5 Mpa por pelo menos sete dias, por isso período a resina tem alcançado 90% de sua resistência (MPa) (Figura 15).

Figura 15 – Pressão Aplicada nas Chapas de aço



Fonte: Acesso em 17/05/2021: <https://docplayer.com.br/69076734-Reforco-estrutural-adicao-de-chapas-e-perfis-metalicos.html>

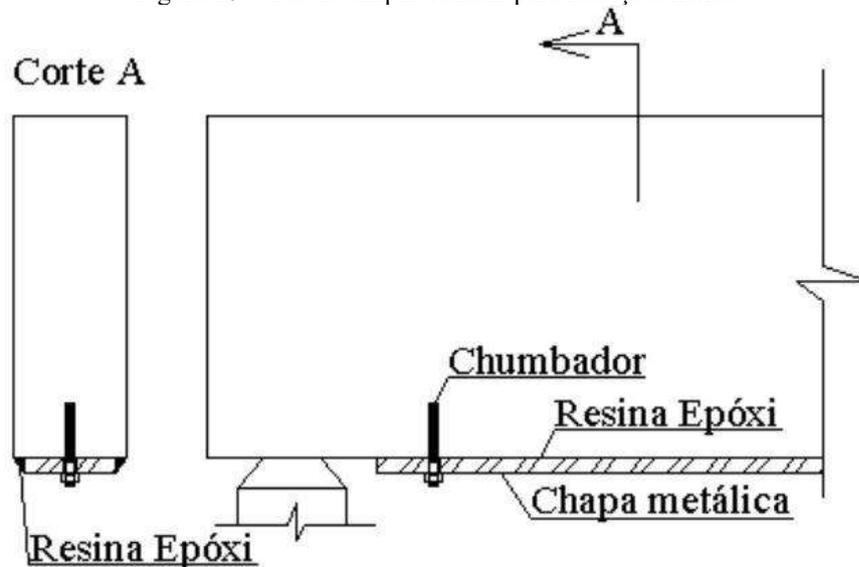
O reforço deve também ser protegido por altas temperaturas e pela à ação do fogo para que evite a deterioração da resina contida no reforço. Essa proteção pode ser feita através de argamassa de projeção resistente ao fogo, assim como por manta de fibra cerâmica, tintas intumescentes, argamassa à base de vermiculite ou qualquer outra barreira física como por

exemplo uma barreira de gesso. A estrutura com o reforço deve suportar pelo menos 30 minutos ao fogo (BRANCO, 2012).

## 5.2 SISTEMA DE ANCORAGEM DAS CHAPAS DE AÇO AO CONCRETO

De acordo com CEB (1983) citado por HIGASHI (2016), para eliminar a formação de bolhas entre a chapa de aço o concreto, tem a possibilidade de usar chumbadores expansivos, e depois injetar a resina entre o aço e a superfície do concreto. A espessura da chapa não pode ser maior que 3,0 mm, caso seja preciso usar chapas com espessura maior que 3,0 mm, utilizar chumbadores químicos ou de expansão, nas extremidades como ancoragem (Figura 16).

Figura 16 – Uso de chapas coladas para reforço a flexão

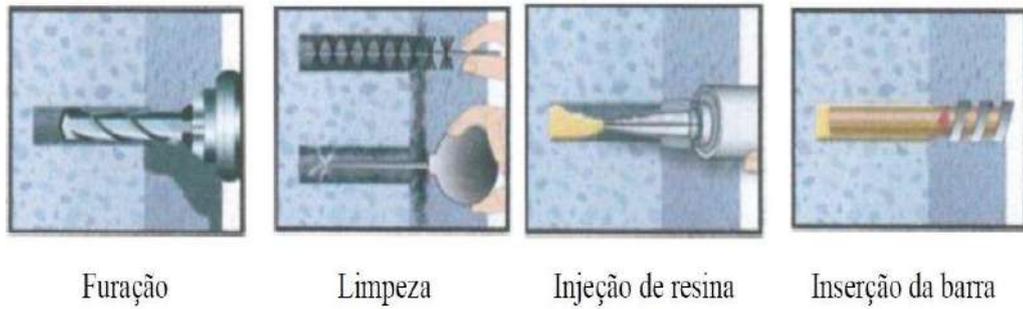


Fonte: Maxwell, PUC Rio. Acesso em 16/05/2021: [https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/3328/3328\\_3.PDF](https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/3328/3328_3.PDF)

O uso do chumbador nas extremidades da viga tem finalidade de aumentar a ligação entre a chapa e o concreto, assim fixando a armadura de reforço e produzindo uma excelente aderência ao concreto, tornando a ligação em uma estrutura monolítica LIMA (2020).

Se optado por usar chumbadores químicos metálicos, é necessário que se faça uma furação antecipada, com o diâmetro de acordo com o chumbador escolhido para o reforço, após a furação fazer limpeza atrás de ar comprimido, para que se garanta uma completa limpeza no furo (NASCIMENTO, 2017), (figura 17).

Figura 17 – Chumbador químico



Fonte: (NASCIMENTO, 2017).

### 5.3 CÁLCULO DA ÁREA DA SEÇÃO TRANSVERSAL DA CHAPA

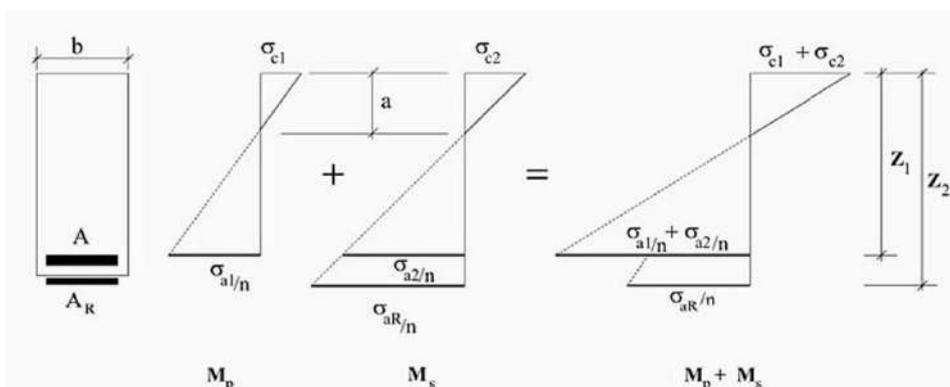
#### 5.3.1 Método de J. Bresson

Bresson partiu, em seus estudos, das seguintes hipóteses iniciais:

- os materiais são linearmente elásticos;
- o concreto não tem resistência à tração;
- as seções se mantêm planas após a deformação;
- não há escorregamento entre a chapa e o concreto.

Em resumo, Bresson considera que o dimensionamento deve ser feito no Estádio II, sendo a viga solicitada na seção a ser dimensionada por um momento fletor composto de duas parcelas:  $M_p$ , que é o momento devido ao peso próprio e às cargas permanentes; e  $M_s$ , que é o momento devido às sobrecargas.

Figura 18 – Estado de deformação e de tensão de uma viga reforçada



Fonte: Bresson (Silveira, 1997).

Em sua situação inicial, a viga está completamente descarregada de cargas não-permanentes, sendo, portanto, solicitada apenas por  $M_p$ . O concreto encontra-se sob uma tensão de valor  $\sigma_{c1}$ , e o aço interno sob uma tensão  $\sigma_{a1}$ , e sob este estado tensional é então colada a chapa. Após o reforço, a viga é submetida às sobrecargas, havendo, portanto, um acréscimo de tensão no concreto de  $\sigma_{c2}$ , e no aço de  $\sigma_{a2}$ , surgindo na armadura de reforço uma tensão de  $\sigma_{aR}$ .

Nesta Figura (18) tem-se ainda que:

$A, A_R$  - Seções das armaduras interna e de reforço, respectivamente;

$n$  - Relação entre os módulos de elasticidade do aço e do concreto;

$Z_1$  - braço de alavanca da armadura interna em relação à fibra mais comprimida;

$Z_2$  - braço de alavanca da armadura de reforço em relação à fibra mais comprimida.

Bresson indica que as tensões finais devem ser comparadas às tensões admissíveis dos materiais ( $\sigma'_c, \sigma_a$  e  $\sigma_{aR}$ ), ou seja:

$$A_R = \frac{1}{\sigma_{aR} \times Z_2} \times [(MP + MS) + (\sigma_{c1} + \sigma_{c2}) \times \frac{a^2}{6} \times b - (\sigma_{a1} + \sigma_{a2}) \times A \times Z_1] \quad (1)$$

Como:

$$A_R = b_R \times e_R \quad (2)$$

Tem-se:

$$e_R = \frac{1}{\sigma_{aR} \times Z_2 \times b_R} \times [(MP + MS) + (\sigma_{c1} + \sigma_{c2}) \times \frac{a^2}{6} \times b - (\sigma_{a1} + \sigma_{a2}) \times A \times Z_1] \quad (3)$$

Sendo:

$e_R$  - espessura da chapa de reforço;

$b_R$  - largura da chapa de reforço;

$Z_1$  - braço de alavanca da armadura interna;

$Z_2$  - braço de alavanca da armadura externa;

$a$  - distância da fibra mais comprimida à linha neutra;

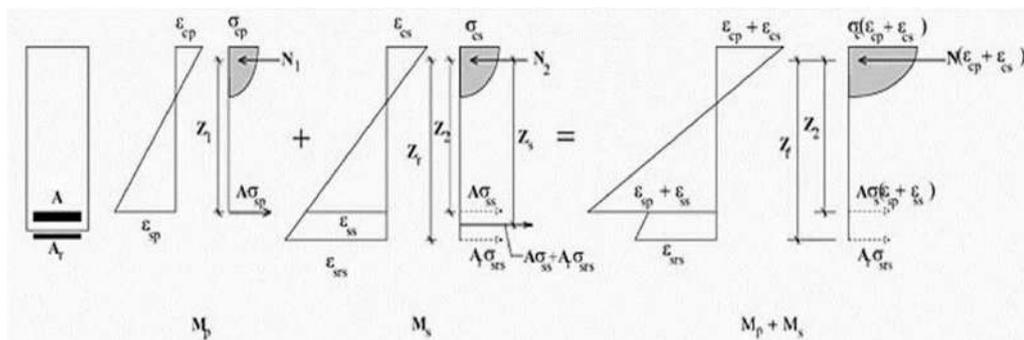
Notando-se que as tensões nas armaduras,  $\sigma_{a1}$ ,  $\sigma_{a2}$  e  $\sigma_{eR}$ , podem ser obtidas em função das tensões no concreto,  $\sigma_{a1}$  e  $\sigma_{a2}$ , e da posição da linha neutra,  $a$ , que, por sua vez, pode ser obtida da teoria clássica do concreto armado no Estádio II.

A desconsideração do deslocamento da linha neutra adotada por Bresson pode levar a seções de armadura de reforço extremamente conservadoras.

### 5.3.2 Método de Cánovas

Cánovas também considera dois momentos atuantes, aos quais denominou de  $M_p$  e  $M_s$ , fazendo a superposição dos diagramas a eles correspondentes. A diferença em relação ao método de Bresson está em que enquanto este fazia a superposição dos diagramas de tensões, Cánovas faz a superposição dos de deformações. Além disto, Cánovas considera que a viga está em um estado-limite último após a atuação do momento  $M_s$ , ou seja, o dimensionamento é feito no Estádio III. Os estados tensionais e de deformação são os mostrados na Figura 19.

Figura 19 – Estado de deformação e de tensão de uma viga reforçada



Fonte: Cánovas (Silveira. 1997).

Para este caso, as verificações são:

$$\sigma(\epsilon_{cp} + \epsilon_{cs}) \leq \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \quad (4)$$

$$\sigma(\epsilon_{sp} + \epsilon_{ss}) \leq \frac{f_{yk}}{\gamma_s} \quad (5)$$

$$\sigma_{srs} \leq \frac{f_{yrk}}{\gamma_s} \quad (6)$$

A tensão na armadura existe, após a execução do reforço, é:

$$\sigma_{sp} = \frac{M_p}{Z_1 \times A} \quad (7)$$

Como o momento total  $M_p + M_s$  leva a um estado-limite último, e admitindo-se que a viga continuará subarmada após o reforço, a tensão na armadura não poderá ultrapassar:

$$\sigma_{srs} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} - \sigma_{sp} \leq \frac{f_{yrk}}{\gamma_s} \quad (8)$$

O equilíbrio de momentos, para o diagrama devido ao momento  $M_s$ , leva à equação de equilíbrio:

$$M_s = (A \times \sigma_{ss} + AR \times \sigma_{sps}) \times Z_s \cong (A + AR) \times \sigma_{sps} \times Z_s \quad (9)$$

E, com isto, a área da armadura de reforço pode ser calculada por:

$$AR = \frac{M_s}{Z_s \times \sigma_{srs}} - A \quad (10)$$

Os braços de alavanca das armaduras,  $Z_1$  e  $Z_2$ , podem ser calculados a partir da teoria clássica do concreto armado para o Estádio III.

## 6 APLICAÇÃO DOS MODELOS DE CÁLCULO

De forma a exemplificar o procedimento descrito anteriormente, será feito exemplos de cálculo para encontrar a área de aço necessária para fazer o reforço por chapas de aço coladas. Parâmetros para cálculos (Quadro 02):

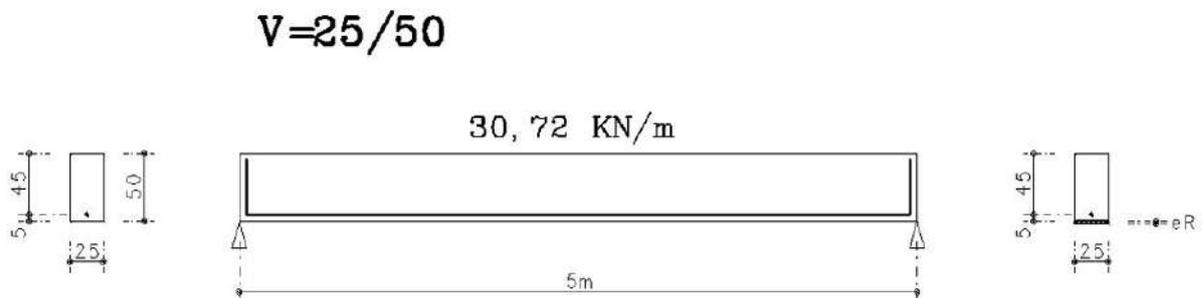
Quadro 02: Parâmetros para cálculo

Propriedades do Concreto:	
Fck	26 Mpa
$\sigma_c$	13,3 Mpa
Ec	32000 Mpa
Propriedades da armadura longitudinal:	
Fys	500 Mpa
$\sigma_{sr}$	310,6 Mpa
Es	210000 Mpa
Propriedades do reforço:	
Fyp	250 Mpa
$\sigma_{s,ref}$	250 Mpa
Ep	200000 Mpa

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Propriedades da viga biapoiada:

Figura 20 – Exemplo de reforço à flexão simples de uma viga por colagem de chapa



Fonte: Elaborado pelo Autor.

$$\rho = 0,67 \%$$

$$\rho' = 0$$

$$d'/d = 0,11$$

$$dch/d = 0,12$$

$$b = 25 \text{ cm}$$

$$h = 50 \text{ cm}$$

$$d = 45 \text{ cm}$$

$$dch = 0,504$$

$$vão = 5\text{m}$$

Dados do carregamento sobre a viga:

$$M_o/MR = 0,6$$

$$M_{ref}/MR = 1,45$$

$$MR = 96 \text{ KN.m}$$

## 6.1 CÁLCULO PELO MÉTODO DE J. BRESSON

Desenvolvimento do modelo de cálculo de Bresson (BRESSON, 1971). Usado para determinar a área de aço das chapas coladas em vigas de concreto com resina epóxi. A interação do sistema concreto-resina-aço leva a um aumento na resistência à flexão.

Considere as seguintes suposições:

A deformação inicia, em cada ponto, a deformação é proporcional à distância da linha neutra da seção. No método de Bresson, o projeto de reforço da viga é calculado no Estádio II, e os esforços solicitantes separados em  $M_p$ , referentes às cargas permanentes, e  $M_s$ , referentes às sobrecargas.

$$\text{Para } Z_1 = d = 46\text{cm}, Z_2 = h + d'/d \text{ e } n = E_s/E_c = 210000/32000 = 6,5625$$

Linha neutra no Estádio II:

$$a = -\rho'(n-1) - \rho n \pm \sqrt{(\rho'(n-1) + \rho n)^2 + 2 \frac{d'}{d} (n-1) \rho' + 2 n \rho}$$

$$a = -0,00672 \times 6,5625 \pm \sqrt{(0,00672 \times 6,5625)^2 + 2 \times 6,5625 \times 0,00672} = 0,256$$

Verificação da tensão admissível dos materiais “concreto” e “chapa de aço”:

$$\frac{\sigma_{cR}}{\sigma_{sR}} n > \frac{a}{1-a} , \text{ armadura de tração atinge a tensão admissível}$$

$$\frac{\sigma_{cR}}{\sigma_{sR}} n < \frac{a}{1-a} , \text{ concreto atinge a tensão admissível}$$

Então:

$$\frac{13,3}{310,6} \times 6,5625 = 0,281 < \frac{0,256}{1 - 0,256} = 0,344$$

Logo o concreto atingiu a tensão admissível, o MR será obtido pelo Estádio II.

$$\sigma_{c1} = \frac{M}{b \times d^2 \left( \frac{a^2}{3} + \frac{a - \left(\frac{d'}{d}\right) \rho'(n-1)}{a} + \frac{n(1-a)^2 \rho}{a} \right)}$$

Adotando a hipótese que a tensão admissível seja:

$$\sigma_{c1} = \sigma_{cR}$$

Então:

$$MR = \sigma_{cR} \times b \times d^2 \left( \frac{a^2}{3} + \frac{\left(a - \frac{d'}{d}\right)^2 \rho'(n-1)}{a} + \frac{n(1-a)^2 \rho}{a} \right)$$

$$MR = 13,3 \times 0,25 \times 0,45^2 \left( \frac{0,256^2}{3} + \frac{6,5625 \times (1 - 0,256)^2 \times 0,00672}{0,256} \right)$$

$$MR = 67,97 \text{ KN.m}$$

$$M_0/MR = 0,6, \text{ Então } M_0 = 0,6 \times 67,97 \times 1,4 = 57,10 \text{ KN.m}$$

$$\sigma_{c1} = \frac{M_0}{b \times d^2 \left( \frac{a^2}{3} + \frac{\left(a - \frac{d'}{d}\right)^2 \rho' (n-1)}{a} + \frac{n(1-a)^2 \rho}{a} \right)}$$

$$\sigma_{c1} = \frac{57,1}{0,25 \times 0,45^2 \left( \frac{0,256^2}{3} + \frac{6,5625 \times (1 - 0,256)^2 \times 0,00672}{0,256} \right)}$$

$$\sigma_{c1} = 9,62 \text{ MPa}$$

Adotando-se:

$$\sigma_{c2} = \sigma_{cR} - \sigma_{c1} = 13,30 - 9,62 = 3,68 \text{ MPa}$$

Tem-se que:

$$\sigma_{a1} = \frac{\sigma_{c1}}{a} n (1-a) = \frac{9,62}{0,256} \times 6,5625 \times (1 - 0,256) = 183,47 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{aR} = \frac{3,68}{0,256} \times 6,5625 \times (1 + 0,1 - 0,256) = 79,62 \text{ MPa} < 150 \text{ MPa}$$

Como  $\sigma_{aR} < \sigma_{sREF, R}$ , não necessita fazer a correção de  $\sigma_{c2}$ .

$$\sigma_{a2} = \frac{\sigma_{c2}}{a} n (1-a) = \frac{3,68}{0,256} \times 6,5625 \times (1 - 0,256) = 70,19 \text{ MPa}$$

Para se obter a área da seção transversal da chapa de aço temos:

$$M_s = (1,45 - 0,60) \times 67,97 \times 1,4 = 80,88 \text{ KN.m}$$

$$A_R = \frac{1}{\sigma_{AR} Z_2} \times [ (M_0 + M_s) + (\sigma_{c1} + \sigma_{c2}) \times \frac{a^2}{6} \times b - (\sigma_{a1} + \sigma_{a2}) A \times Z_1 ]$$

$$AR = \frac{1}{115,1 \times 0,5495} \times [ (57,10 + 80,88) + (9,62 + 3,68) \times \frac{0,256^2}{6} \times 0,25 - (183,47 + 70,19) 7,56 \times 10^{-4} \times 0,45 ]$$

$$AR = 13,91 \text{ cm}^2$$

## 6.2 CÁLCULO PELO MÉTODO DE CÁNOVAS

O modelo do dimensionamento de Cánovas recomenda fazer os cálculos da área da seção transversal da chapa no Estádio III, estado-limite último, após a atuação dos esforços provenientes da sobrecarga. Assim como Bresson, Cánovas considera que o reforço é realizado após a solicitação das cargas permanentes, porém em seu método a sobreposição é do diagrama de deformação, ao contrário de Bresson que faz a sobreposição do diagrama de tensão.

Sabendo que  $Z1 = 0,9 \times d = 0,405\text{m}$  e  $Zs = 1,1 \times d = 0,495\text{m}$

$$\sigma_{sp} = \frac{M0}{Z1 \times A} = \frac{0,60 \times 96 \times 1,4}{0,405 \times 8,4 \times 10^{-4}} = 237,04 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{srs} = \frac{f_{yk}}{y_s} - \sigma_{sp} = \frac{500}{1,15} - 237,04 = 197,74 \text{ MPa} < \frac{\sigma_{s, REF}}{1,15} = 130,40 \text{ MPa}$$

Então será adotado,  $\sigma_{srs} = 130,40 \text{ MPa}$ . O momento fletor da viga após ser reforçada:

$$M_s = (1,45 - 0,60) \times 96 \times 1,4 = 114,24 \text{ KN.m}$$

Para se obter a área da seção transversal da chapa de aço temos:

$$AR = \frac{M_s}{Z_s \times \sigma_{srs}} - A = \frac{114,24}{0,495 \times 130,40 \times 10^3} - 8,4 \times 10^{-4} = 9,30 \text{ cm}^2$$

Na Tabela 01, mostra um resumo dos resultados da área de reforço, obtidos pelos seguintes métodos J. Bresson e Cánovas. Usados para fins de comparação.

Tabela 01: Comparativo de área de Reforço

<b>MÉTODO DO DIMENSIONAMENTO</b>	<b>ÁREA DE AÇO DA CHAPA DE AÇO:</b>
<b>J. Bresson</b>	<b>13,91 cm<sup>2</sup></b>
<b>Cánovas</b>	<b>9,30 cm<sup>2</sup></b>

Fonte: Elaborado pelo Autor.

A área de aço obtida pelo método de J Bresson é superior à de Cánovas, pois ele não considera a mudança de posição da linha neutra. Já o método de Cánovas tem uma área de aço menor, pois é usado como hipóteses a seção no Estádio III, que resulta na mudança da linha neutra, e assim resultando em uma área de aço menor. O método de J. Bresson pode ser mais conservador comparado ao método de Cánovas, mas não existe uma técnica melhor que a outra, pois depende muito da situação a ser utilizado o reforço por meio de chapas de aço coladas. Então fica a critério do engenheiro escolher.

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme apresentado, o reforço por meio de chapas de aço coladas, pode ser feito em estruturas que apresentam degradação antes mesmo de completar sua vida útil, devido à falta da manutenção necessária, erros de execução, projetos detalhados de maneira incorreta e estruturas em contato direto com o intemperismo.

Chapas de aço é umas das opções mais simples de reforço estrutural, pois não exige equipamentos de difícil acesso. Onde o objetivo é o aumento da resistência da peça a esforços de flexão, onde se tem pouca alteração em sua geometria.

Como a chapa é composta por material metálico, é preciso planejar uma decorrente manutenção preventiva após o reforço ser executado, por possuir baixa resistência à ataques químicos. Um dos principais motivos da manutenção ser importante, é pelo bloqueio da visibilidade da estrutura recuperada, impedindo identificar futuras fissuras.

Deve-se tomar cuidados com a preparação do substrato do concreto, pois ele é o principal fator para que se garanta sucesso no reforço por meio de chapas coladas. Existe um limite na espessura da chapa que não deve passar de 3mm, a não que seja usado outros meios de ancoragem além da cola epóxi, por exemplo, chumbadores químicos. Essa técnica possui um agravante que seria o aumento elevado da temperatura que pode prejudicar a resina, podendo causar o descolamento da chapa ao substrato do concreto.

No trabalho foi proposto outras técnicas, mas como algo superficial. para mostrar que existe outras técnicas alternativas à chapa de aço coladas.

A pesquisa bibliográfica apresentada nesse trabalho mostrou informações interessantes sobre o reforço de vigas por meio de chapas de aço coladas, que possui pós e contras. Onde se mostrou desde a preparação da superfície, cálculo para se obter a área de aço da chapa como instruções para se chegar no sucesso da técnica.

## REFERÊNCIAS

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

APPLETON, Júlio, e COSTA, António. **Reabilitação e Reforço de Estruturas**. Lisboa: Instituto Superior Técnico, Slides, 2012.

ACI 503.5R: **Guia para a seleção de adesivo de polímero com concreto**. Farmington hills, 2003.

ALMEIDA, Tatiana Gesteira Martins, **Reforço de Vigas de Concreto Armado por meio de Cabos Externos Protendidos**. Dissertação – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.

ARALDI, E. **Reforço de pilares por encamisamento de concreto armado: Eficiência de métodos de cálculo da capacidade resistente comparativamente a resultados experimentais**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2013.

BEBER, Andriei José. **Comportamento Estrutural de Vigas de Concreto Armado Reforçadas com Compósitos de Fibra de Carbono**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

BRANCO, Fernando G. **Reabilitação e Reforço de Estruturas**. Lisboa: Instituto Superior Técnico, Slides, 2012.

BRESSON, J. **Nouvelles recherches et applications concernant l'utilisation des collages dans les structures**, Annales de l'ITBTP, série BBA/116, Paris, 1971.

BRONZE, Ricardo Alves. **Estudo Comparativo: Uso do Sistema De fibras de Carbono e Sistema Convencional para Reforço de Estruturas de Concreto**. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

CÁNOVAS, M. F. **Patologia e terapia do concreto armado**. São Paulo: Pini, 1988.

DORIA, Mariana Rezende. **Aderência Concreto-Concreto e Aço-Concreto em Recuperação de Estruturas de Concreto Armado**. Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão – SE, 2014.

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

SERRA, Marcus Vinícius Cardoso, e SILVA, Thiago Henrique Lira. **Fibra de Carbono: Reforço Estrutural em Estrutura de Concreto Armado**. Semana Acadêmica – Revista Científica, 2019.

GALLE, Guilherme. **Métodos de Reforço Passivos em Elementos Lineares Fletidos em Concreto Armado: Estudo Comparativo do Acréscimo de Capacidade Portante Através de Programa Computacional**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

GONÇALVES, Eduardo Albuquerque Buys. **Estudo de Patologias e suas Causas nas**

**Estruturas de Concreto Armado de Obras de Edificações.** Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

GONDIM, Land Felipe. **Estudo da Interface Entre o Concreto e o Material de Reparo Mediante Microscopia.** Dissertação Apresentada à Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2005.

HIGASHI, Marcos Maki Yamasaki. **Reforço em Estruturas de Betão Armado com Chapas de Aço.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - ISEP Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto, 2016.

HELENE, Paulo R. L., **Manual Prático e Reforço de Estruturas de Concreto.** 1ª Edição, Pini, São Paulo, 1988.

KUSZKOWSKI, Humberto. **Tomada de Decisão Entre Sistemas de Reforço de Estruturas em Concreto Armado: Uma Aplicação do Método Analytic Hierarchy Process (AHP).** Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2017.

LIMA, Expedito Fernando Soares de Sousa. **Recuperação Estrutural de Vigas de Concreto Armado.** Dissertação de Mestrado - Universidade Católica de Pernambuco, Recife, 2020.

MOREIRA, Adrienne Lúcia Ribeiro. **Previsão de Vida Útil de Estruturas de Concreto Armado Submetidas à Ação de Íons Cloretos: Modelagem Numérica e Aplicações.** Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Espírito Santo - Centro Tecnológico, Vitória, 2018.

MACHADO, Ari de Paula, **Manual de Reforço das Estruturas de Concreto Armado com Fibras de Carbono.** Edição IBRA – 2011.

MACHADO. A. P. **Fibras de Carbono. Manual Prático de Dimensionamento.** Belo Horizonte: Editora Basfe, 2006. 411p.

NASCIMENTO, Arthur Rosinski. **Capacidade de Carga de Vigas de Concreto Armado Reforçadas com Perfis de Aço Laminado.** Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Civil - Mestrado) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2017.

PÁDUA, Rafael Crissóstomo, LISERRE, Andréa Prado Abreu Reis, SILVA, Áureo Ferreira da Silva e AGUIAR, Dilene Aires. **Pilares de Concreto Armado Reforçados Por Meio de Encamisamento.** REEC – Revista Eletrônica de Engenharia Civil, 2012.

PLÁCIDO, Carlos Eduardo. **Análise do Ganho de Resistência em Vigas de Concreto Armado Submetidas à Flexão Reforçadas com Manta de Fibra de Carbono.** Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Campo Mourão, 2014.

ROMERO, Diana Valeria Schwenk. **Dissertação Submetida ao Corpo Docente da Coordenação dos Programas de Pós-graduação de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro Como Parte dos Requisitos Necessários para a Obtenção do Grau de Mestre em Ciências em Engenharia Civil.** Dissertação - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

REIS, Andréa Prado Abreu. **Reforço de Vigas de Concreto Armado por Meio de Barras de Aço Adicionais ou Chapas de Aço e Argamassa de Alto Desempenho.** Dissertação (Para Obtenção de Título de Mestre em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998.

REIS, Lília Silveira Nogueira. **Sobre a Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto Armado.** Universidade Federal de Minas Gerais – Programa de pós-Graduação em Engenharia de Estruturas, Belo Horizonte, 2001.

SOUSA, Vicente Custódio Moreira, e RIPPER, Thomaz. **Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto.** 1ª Edição, 5ª Tiragem, São Paulo, 2009.

SOUSA, Marta Francisca Suassuna Mendes, e RODRIGUES, Rafael Bezerra. **Sistemas Estruturais de Edificações e Exemplos.** Departamento de Estruturas – DES. Campinas, 2008.

SENA, Márcio pereira. **Diagnóstico e Recuperação de Estruturas de Concreto Armado.** Universidade Estadual do Maranhão, São Luís – MA, 2014.

THOMAZ, Eduardo. **Fissuração – 168 Casos Reais.** Departamento de Engenharia de Fortificação e Construção (IME), Rio de Janeiro, 2003.

TEJEDOR, Cristina Mayán. **Patologias, Recuperação e Reforço com Protensão Externa em Estruturas de Pontes.** Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

TRINDADE, Diego dos Santos. **Patologia em Estruturas de Concreto Armado.** Universidade Federal de Santa Maria Centro de Tecnologia, Rio Grande do Sul, 2015.

VAN GEMERT, D. IGNOUL, I. BROSENS, K. **Reforço de construções de concreto com armadura de colagem externa: conceitos de projeto e estudos de caso.** Conferência Internacional. Bélgica, 2003.

ZUCCHI, Fernando Luiz. **Técnicas Para o Reforço de Elementos Estruturais.** Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2015.