

**FACULDADES DOCTUM DE CARATINGA**

**ROSIANE SOARES COLOMBARI**

**ANÁLISE DE MÉTODOS DE REFORÇO ESTRUTURAL EM VIGA DE CONCRETO  
ARMADO PARA RECUPERAÇÃO ESTRUTURAL – ESTUDO DE CASO EM  
CARATINGA-MG.**

**CARATINGA**

**CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**2019**

ROSIANE SOARES COLOMBARI  
FACULDADES DOCTUM DE CARATINGA

**ANÁLISE DE MÉTODOS DE REFORÇO ESTRUTURAL EM VIGA DE CONCRETO  
ARMADO PARA RECUPERAÇÃO ESTRUTURAL – ESTUDO DE CASO EM  
CARATINGA-MG.**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Civil das Faculdades Doctum de Caratinga, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Área de concentração: Patologia.

Orientador: Msc Barbara Dutra da Silva Luz.

CARATINGA  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

2019

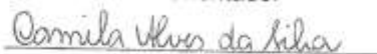
TERMO DE APROVAÇÃO

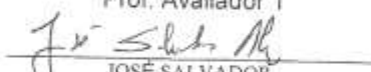
O Trabalho de Conclusão de Curso intitulado: ANÁLISE DE MÉTODOS DE REFORÇO ESTRUTURAL EM VIGA DE CONCRETO ARMADO PARA RECUPERAÇÃO ESTRUTURAL EM VIGA DE CONCRETO ARMADO PARA RECUPERAÇÃO ESTRUTURAL - ESTUDO DE CASO EM CARATINGA - MG, elaborado pelo(s) aluno(s) ROSIANE SOARES COLOMBARI e foi aprovado por todos os membros da Banca Examinadora e aceito pelo curso de ENGENHARIA CIVIL das FACULDADES DOCTUM DE CARATINGA, como requisito parcial da obtenção do título de

**BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL.**

Caratinga 08/07/2019

  
BARBARA DURA  
Prof. Orientador

  
CAMILA SILVA  
Prof. Avaliador 1

  
JOSÉ SALVADOR  
Prof. Examinador 2

## **AGRADECIMENTO**

Agradeço a Deus que me permitiu chegar até aqui mesmo diante das dificuldades, me deu força para superar todos os obstáculos com garra até mesmo quando pensei em desistir.

Ao meu pai Jose Colombari Neto e minha mãe Maria Gorette Soares Colombari pelo apoio, incentivo e compreensão.

A meus colegas de classe que partilharam as dificuldades no dia a dia, obrigada pelo companheirismo.

À orientadora Barbara Dutra por todo auxílio e apoio e ao coordenador do curso de Engenharia Civil João Moreira por compartilhar seu conhecimento na área.

## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1- Reforço com fibras de carbono.....                             | 20 |
| Figura 2- Domínios de estado limite último de uma seção transversal..... | 26 |
| Figura 3- Patologias encontradas em vigas dimensionadas.....             | 36 |
| Figura 4-Lajes com medidas e características específicas.....            | 37 |
| Figura 5- Carregamento sobre a viga.....                                 | 39 |
| Figura 6- Gráfico de cortante.....                                       | 40 |
| Figura 7- Gráfico de momento.....  | 40 |

## LISTA DE QUADROS

|   |    |
|---|----|
| Quadro 1- Coeficientes de ponderação do aço e do concreto.....                                    | 30 |
| Quadro 2- Dados para o cálculo do carregamento sobre a viga.....                                  | 37 |
| Quadro 3- Espessura mínima da capa para alturas totais padronizadas.....                          | 38 |
| Quadro 4- Alturas iniciais para lajes pré-moldadas em função de cargas e vãos livres máximos..... | 39 |
| Quadro 5- Características da viga.....  | 40 |
| Quadro 6- Quadro de orçamento (custos).....   | 44 |

## LISTA ABREVIATURAS E SIMBOLOS

$A_s$  - Área de aço tracionada

$A_{ref}$  - Área de aço necessária de reforço

$B_w$  - Largura da viga de concreto

$Ca50$  - Tipo de aço

$C25$  - Tipo de concreto

$D$  - Altura útil

$d'$  - Cobrimento da seção

$E$  - espessura da chapa de aço

$E_c$  - deformação específica do concreto a tração

$E_f$  - Deformação do reforço considerando o carregamento máximo

$E_i$  - Deformação pré existente da instalação do reforço

$Elu$  - Estado limite ultimo

$E_{ref}$  - Deformação específica do reforço

$E_s$  - deformação especificado aço a tração

$F_{cd}$  - Resistencia de calculo do concreto

$F_{ck}$  - Resistencia característica do concreto a compressão

$F_{ref}$  - Tensão de tração do reforço

$F_{yd}$  - Resistencia de escoamento de calculo do aço

$F_{yk}$  - Resistencia característica do aço a tração

$K_c$  - Coeficiente que considera a natureza da distribuição de tensões na seção, imediatamente antes das fissuração

$K_s$  - Valor da tabela

$M_d$  - Momento resistente de calculo

$M_k$  - Valor de Resistencia da viga

$M_{max}$  - Momento máximo

$Nbr$  - Norma técnica regulamentadora

$Setop$  - Planilha de custos

$x$  - Profundidade da linha neutra

$y$  - Altura do diagrama retangular de tensões de compressão no concreto na seção transversal de uma peça fletida

## RESUMO

O tema reforço estrutural é de extrema importância para a sociedade, ainda mais levando em conta a segurança dos usuários e a economia, gerando um reaproveitamento da estrutura desgastada. O estudo da análise de métodos de reforço estrutural em viga de concreto armado para recuperação estrutural – estudo de caso em Caratinga-MG, tem como principal objetivo apresentar duas técnicas para recuperação e reforço em vigas de concreto armado através de um estudo de caso em uma edificação residencial com a garagem na parte térrea e a residência no primeiro pavimento onde verificou-se dois métodos de reforço e fez-se a análise da melhor opção dentre eles. Para o desenvolvimento do trabalho foi realizada uma vasta pesquisa em artigos científicos, livros e normas que correlacionam o tema proposto compondo assim uma grande bagagem teórica para início da proposta de recuperação da viga na edificação escolhida construindo assim a metodologia para o reparo da viga, a mesma apresentava excesso de carga de acordo com os dados da obra, dos materiais aplicados e projeto e através do dimensionamento pode-se afirmar que ela não porta a armadura suficiente para suportar o carregamento precisando de um reforço para garantir sua estabilidade, após o dimensionamento foi possível encontrar a armadura que faltava na mesma. Notou-se que seu esforço resistente era menor que o esforço solicitante. Foram dimensionadas duas técnicas de reforço sendo elas o reforço com fibra de carbono e com chapa de aço colada com resina epóxi encontrando nos resultados a quantidade de material que precisaria em cada um dos reforços, com isso foi realizado um orçamento e após o comparativo de custos entre os dois tipos de reforços, concluiu-se que a chapa de aço colada com resina epóxi é mais viável que o reforço com fibra de carbono pois além do custo do material ser mais baixo é de fácil disponibilidade na região se comparado a manta de fibra de carbono.

**Palavras-chave:** Reforço estrutural. Recuperação. Concreto armado. Fibras de carbono. Chapas coladas com resina epóxi.



## ABSTRACT

The structural reinforcement theme is of extreme importance for society, even more taking into account the safety of users and the economy, generating a reuse of the worn structure . The study of the Structural Reinforcement Methods for Structural Reinforcement beams- Case Study in Caratinga-MG, has as main objective to present two techniques for recovery and reinforcement in reinforced concrete through a case study in a residential building with the garage in the ground and the residence on the first floor where two reinforcement methods were verified and the best option among them was analyzed. For the development of the work, a vast research was carried out in scientific articles, books and norms that correlate the proposed theme, thus composing a large theoretical baggage for the beginning of the proposed recovery of the beam in the chosen building, it presented an excess of load according to the data of the work, of the applied materials and design and through the dimensioning we can affirm that it did not carry the sufficient reinforcement to support the loading needing a reinforcement to guarantee its stability, after the sizing it was possible to find the missing armature in it. Note that your sturdy effort was less than the requesting effort. Two reinforcement techniques were designed: reinforcement with carbon fiber and with steel plate bonded with epoxy resin, thus finding the amount of material that would need in each of the reinforcements, with this a budget was realized and after comparing costs between it was concluded that the epoxy resin-bonded steel sheet is more feasible than the carbon fiber reinforcement because, in addition to the lower cost of the material, it is easily available in the region when compared to the fiber blanket carbon.

Keywords: Structural reinforcement. Recovery. through. Fiber Carbon. Steel plate bonded with epoxy resin.

## SUMÁRIO

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1 INTRODUÇÃO .....</b>   | <b>10</b> |
| <b>1.1 Contextualização .....</b>   | <b>10</b> |
| <b>1.2 Objetivos .....</b>  | <b>11</b> |
| 1.2.1 Objetivo Geral.....   | 11        |
| 1.2.2 Objetivos específicos .....   | 11        |
| <b>1.2 Justificativa .....</b>  | <b>12</b> |
| <b>1.3 Estrutura do trabalho .....</b>  | <b>12</b> |
| <b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>  | <b>14</b> |
| <b>2.1 Recuperação estrutural .....</b>   | <b>14</b> |
| <b>2.2 Método de reforço usando chapa de aço colada .....</b>                   | <b>16</b> |
| <b>2.3 Método de reforço usando fibra de carbono .....</b>                      | <b>19</b> |
| <b>2.4 Caracterizando o dimensionamento .....</b>                               | <b>21</b> |
| 2.4.1 Chapa de aço .....  | 29        |
| 2.4.2 Fibra de Carbono .....  | 31        |
| <b>2.5 Orçamento .....</b>  | <b>32</b> |
| <b>3 METODOLOGIA DA PESQUISA .....</b>  | <b>34</b> |
| <b>4 RESULTADOS .....</b>   | <b>36</b> |
| <b>4.1 Carregamento imposto na viga .....</b>                                   | <b>36</b> |
| 4.1.1 Dimensionamento com chapa de aço colada .....                             | 42        |
| 4.1.2 Dimensionamento com fibras de carbono .....                               | 43        |
| <b>4.2 Orçamento de custos .....</b>  | <b>44</b> |
| <b>5 CONCLUSÃO .....</b>  | <b>47</b> |
| <b>5.1 Sugestões para trabalhos futuros .....</b>                               | <b>48</b> |
| <b>6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>                                       | <b>49</b> |
| <b>APÊNDICE .....</b>   | <b>53</b> |
| <b>ANEXO 1 - Projeto arquitetônico completo da edificação residencial .....</b> | <b>57</b> |

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Contextualização

O tema reforço estrutural abrange diversos meios de reforços, onde se deve estudar o melhor meio para ser aplicado em cada situação. É uma área que está em constante desenvolvimento, aprimorando e desenvolvendo novas técnicas cada dia mais sofisticadas.

De acordo com estudos de Rodrigues (2017), é importante analisar a degradação do concreto e as formas que foram danificadas para propor soluções adequadas de recuperação dos danos de forma mais realista possível levando em conta a forma mais eficiente.

As estruturas em concreto armado são acometidas por patologias devido a diversos fatores e conseqüentemente têm a necessidade de reparos, imediatos ou com o decorrer do tempo. Os desafios são grandes e os serviços de reabilitação (recuperação e/ou reforço) podem ser mais complicados que a alternativa de uma nova construção, porém, economicamente mais vantajoso.

Estudos e investigações científicas ainda são necessários principalmente para definir melhor as regras do dimensionamento, o comportamento das estruturas reabilitadas ao longo do tempo e as formas de se avaliar a aderência entre os materiais envolvidos, bem como suas propriedades. Tais pesquisas possibilitariam determinar quais os materiais, técnicas, procedimentos e normas mais adequadas a serem adotadas durante a realização de uma recuperação estrutural<sup>1</sup>.

As estruturas no geral são projetadas para que tenham um determinado tempo de vida útil e com o decorrer do tempo sofrem degradações devido a inúmeros fatores que levam a patologias, durante o período de existência algumas não tem mais capacidade de suportar a carga aplicada sobre a mesma e já outras com o reforço estrutural podem voltar a ter um bom desempenho, podendo se recorrer a um projeto de reforço estrutural a fim de devolver a estabilidade da estrutura.

Atualmente, conforme estudos desenvolvidos por Rodrigues (2017) segue em constante desenvolvimento a área de recuperação e reforço das estruturas

---

<sup>1</sup> REIS, 1998.

umentando sua vida útil mediante ao reforço estrutural, o autor relata que atualmente com o desenvolvimento das técnicas de reabilitação, apesar das diversas formas de patologia, quase sempre é possível recuperar os danos na estrutura.

As estruturas devem atender as necessidades de projeto e alguns fatores interferem em seu bom desempenho, são comuns erros em projetos e uso de materiais não previstos inicialmente levando a mesma à ruína já que o comportamento de cada material é diferente, outro fator importante é a mudança do uso inicial para que foi projetada gerando alterações na sobrecarga<sup>2</sup>.

A então recuperação da estrutura é caracterizada como a forma de viabilizar o uso de um determinado elemento após o surgimento de patologias que comprometem a resistência e a utilização da estrutura. Com isso, a recuperação tem a função de reestabelecer o uso e a segurança de uma estrutura danificada, viabilizando sua utilização. Já o reforço pode ser caracterizado como a intervenção realizada em uma estrutura para aumento de sua capacidade resistente sem que a mesma tenha atingido um estado limite último. Em ambas as situações, as técnicas executivas e de projeto são semelhantes<sup>3</sup>.

Para início do estudo foi adotada uma obra localizada na cidade de Caratinga - MG, sendo ela uma edificação residencial com a garagem na parte térrea e a casa no primeiro pavimento, a mesma apresentava excesso de carga, seu esforço solicitante era superior ao esforço resistente. A viga estudada apresentava trincas e fissuras no concreto sendo necessário o reforço para o bom desempenho da edificação e para garantir segurança a seus usuários.

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 Objetivo Geral**

Identificar qual o método de reforço chapa de aço ou fibra de carbono, é mais adequado, técnica e economicamente, para o reforço de uma viga de concreto armado.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

---

<sup>2</sup> ADORNO et al, 2015

<sup>3</sup> ADORNO et al, 2015, p.14

- Realizar o levantamento de dados e análise da estrutura a ser reforçada e recuperada;
- Apresentar o dimensionamento e análise do reforço por meio de uso de chapas de aço e fibra de carbono;
- Efetuar a comparação dos métodos abordados em relação à viabilidade técnica e econômica;
- Desenvolver a análise e escolha do tipo de reabilitação, considerada como melhor opção, a ser aplicada e dimensionada.

### **1.3 JUSTIFICATIVA**

A escolha pelo tema recuperação e reforço estrutural em viga de concreto armado aconteceu devido ao fato de ser uma área de grande desenvolvimento e ainda em constante exploração, tendo varias técnicas existentes e sendo cada vez mais aprimorada a partir do surgimento de novos métodos.

Houve um grande crescimento da construção civil e apesar do constante desenvolvimento algumas estruturas não estão atingindo a sua vida útil como o esperado o que torna fundamental o conhecimento de técnicas eficientes para o reparo das edificações, estendendo a durabilidade da estrutura, além da mobilidade da utilização para outros fins que não constam no projeto inicial o que justifica a importância de desenvolver técnicas de reabilitação (recuperação/reforço) destas estruturas.

A pesquisa proporciona conhecimento na área de reforço estrutural para reabilitação de uma estrutura desgastada devido ao excesso de carregamento com o objetivo de devolver a vida útil à mesma, gerando segurança aos usuários da edificação.

### **1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO**

A estrutura deste estudo e a especificação de cada capítulo ficaram assim divididas:

Capítulo 1: Apresentação, com a introdução do tema a ser trabalhado detalhando os objetivos a serem alcançados assim como a justificativa, importância e contribuição do mesmo para a sociedade e a estrutura do trabalho;

Capítulo 2: Desenvolvida a revisão bibliográfica de suporte ao trabalho realizado através da fundamentação teórica, onde são caracterizadas duas técnicas de recuperação e de reforço sendo elas através de fibra de carbono e técnica de uso de chapas metálicas coladas com resina epóxi;

Capítulo 3: Descreve a metodologia do trabalho bem como os materiais usados no reforço da viga em estudo e os procedimentos no reparo efetuado;

Capítulo 4: São relatados os resultados obtidos através do dimensionamento pelos dois métodos adotados para análise e o orçamento feito no mercado e uma breve discussão efetuando um paralelo deste estudo a outros trabalhos sobre o mesmo tema;

Capítulo 5: Efetua o fechamento de todo o estudo através das considerações finais relatadas na conclusão.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Recuperação estrutural

O reforço estrutural é um método usado para aumentar a capacidade resistente de carga na viga sem que a mesma tenha atingido o estado limite último, e a recuperação estrutural é um método para ser aplicado em qualquer estrutura que esteja previamente danificada com intenção de devolver segurança à edificação<sup>4</sup>.

O concreto possui inúmeras características e é um material de construção que tem justificado sua qualidade o que leva a uma larga aplicação em estruturas em todos os campos da Construção Civil. Reis (1998) afirma, porém, que ao mesmo tempo, é um material de estrutura interna e propriedades muito complexas, o que dificulta a previsão do seu comportamento imediato e ao longo do tempo, e conseqüentemente, a avaliação da confiabilidade das estruturas quanto à resistência e à durabilidade.

Até meados do século XVIII não era comum a utilização do concreto, sendo rara a aparição deste material, quase que exclusivamente limitada às fundações e ao interior de paredes de alvenaria. Somente a partir do desenvolvimento da produção e do estudo das propriedades do cimento apresentada em Leeds em 1824 por Joseph Aspdin, ocorre o desenvolvimento frequente do concreto nas construções<sup>5</sup>.

Na reabilitação de estruturas de concreto, a ação para corrigir uma manifestação patológica, segundo estudos de Reis (1998), torna-se ainda mais complexa, pois além de se partir de uma origem problemática, outros materiais estão sendo adicionados. A autora ainda comenta que todas as propriedades do concreto da estrutura original da edificação ou do concreto do reparo ou reforço, sempre que possível, devem ser analisadas, principalmente quando relacionadas à resistência, à deformabilidade e/ou à aderência.

Mesmo sendo considerado o concreto um material de grande durabilidade, caso receba manutenção sistemática e programada, Reis (1998) aborda em seu estudo que existem vários tipos de manifestações patológicas que podem danificar

---

<sup>4</sup> ADORNO et al, 2015

<sup>5</sup> APPLETON, 2005

as edificações. E estes problemas, com raras exceções, apresentam manifestações características que permitem identificar a natureza, a origem e os mecanismos dos fenômenos desenvolvidos, além de possibilitar a previsão de suas prováveis consequências.

A partir daí, percebe-se que a durabilidade, os problemas patológicos e a recuperação das estruturas são assuntos que preocupam a comunidade em geral e que o domínio e conhecimento técnico dos métodos e técnicas de reabilitação de estruturas é de interesse mundial.

Com o aprimoramento das técnicas com o concreto, houve um forte movimento para introdução e caracterização do conceito de vida útil no projeto das estruturas de concreto, influenciada pela deterioração com o tempo, além de erros de projeto, má execução e conservação<sup>6</sup>.

Desde o século passado já existia uma preocupação em relação ao conhecimento e aprimoramento das técnicas de identificação e resolução de patologias encontradas em estruturas de concreto armado. Prova disso foi o estudo desenvolvido por Reis (1998) que afirmava ser necessário conhecer os mecanismos que provocaram as patologias para então aplicar uma terapêutica adequada. Sendo assim, naquela época já se considerava a necessidade de se fazer um diagnóstico definindo as causas, as consequências e as possíveis formas de solucionar o problema. Portanto, de acordo com Reis (1998) ao se confrontar com danos na estrutura de concreto, deve-se realizar os seguintes procedimentos:

1. Caracterizar os defeitos quanto ao tipo, extensão, localização e intensidade;
2. Conhecer as causas procurando determinar os agentes agressores seja pela observação visual, por contatos com o pessoal envolvido, por ensaios tecnológicos ou outros meios;
3. Analisar o problema tanto do ponto de vista estrutural (estabilidade e segurança) quanto de durabilidade;
4. Definir o tipo de reabilitação a ser aplicado indicando os passos necessários para sua realização e garantindo a estabilidade, segurança e durabilidade desejáveis para a estrutura;

---

<sup>6</sup> ROQUE *et al.*, 2005



5. Realizar uma inspeção final para avaliar os resultados do tratamento aplicado, verificando a qualidade dos serviços.

Para Silva (2006) o principal objetivo do reforço nas estruturas de concreto armado é reestabelecer as condições da estrutura de suportar o carregamento a ela solicitado. Paralelamente, no domínio da reabilitação, a alteração das condições de utilização das estruturas, mobilizando ações mais severas ou modificações no sistema estrutural, é outro dos principais motivos para o reforço estrutural.

Para Reis (1998) os problemas patológicos e a necessidade de reabilitação estão presentes nas construções desde o início das civilizações e dependem principalmente da qualidade da edificação construída. Apesar desse ramo da engenharia estar se desenvolvendo com relativa rapidez, os profissionais ainda contam basicamente com técnicas baseadas em sua própria experiência. Isto porque os processos de reabilitação apresentam, em sua maioria, um aspecto artesanal e com características próprias. Além disso, não existe uma metodologia específica de análise do comportamento estrutural da peça reabilitada e há poucas orientações para o projetista durante o processo de redimensionamento e reforço das estruturas<sup>7</sup>.

Entre os vários métodos de reabilitação (recuperação/reforço) estrutural em concreto armado, de acordo com estudos de Zucchi (2015), destacam-se: fibra de carbono e o de chapas metálicas coladas com Resina Epóxi sem ou com conectores (pinos, chumbadores – mecânicos e/ou químicos - ou parafusos auto-fixantes)

## **2.2 Método de reforço usando chapa colada**

Também chamados “reforços com adição de armaduras exteriores”, utiliza elementos metálicos, chapas ou perfis, colados com adesivo epóxi, que permitem a união de aço e concreto, ou ainda com auxílio de chumbadores *parabolt*<sup>8</sup>.

O reforço então com chapas de aço é feito através da colocação no exterior da estrutura, de finas chapas de aço, fixadas ao concreto por colagem (resina) e/ou buchas expansivas (chumbadores) criando uma segunda armadura de reforço à peça estrutural a ser reabilitada<sup>9</sup>.

---

<sup>7</sup> REIS, 1998

<sup>8</sup> ZUCCHI, 2015

<sup>9</sup> SILVA, 2006

O reforço permite uma união monolítica entre a chapa de aço e a estrutura de concreto fazendo com que, de acordo com estudos de Pimenta (2012), a estrutura reforçada trabalhe sob tensões previstas em cálculo e assim continue trabalhando ao longo do tempo de forma satisfatória.

Durante todo o processo de reforço, a estrutura deverá ser aliviada de todas as cargas possíveis. O concreto existente deverá ser preparado: a camada deteriorada deverá ser removida, e a rugosidade da superfície aumentada através de escarificação, porém, a rugosidade não deverá ser excessiva, a fim de não haver desperdício de adesivo colante em espessuras elevadas. A utilização de adesivo epóxi exige que não haja umidade na região de aplicação<sup>10</sup>.

Em seus estudos, Moraes (2009), cita como vantagens observadas na aplicação desse tipo de intervenção: a esbeltez de pilares e vigas permitindo assim maiores vãos; facilidade quanto a compatibilidade do material usando um projeto para interfaces de compatibilizar; redução de até 40% do tempo de execução se comparado aos processos convencionais; adoção de sistemas industrializados reduzindo assim o desperdício de materiais se comparado ao convencional; alívio de cargas nas fundações; organização e limpeza no canteiro de obras; reciclabilidade.

Para Reis (1998) as principais vantagens quanto à utilização do método de chapa metálica colada com resina epóxi são: rápida execução; não utilização de materiais molhados ou úmidos; pouca interferência no uso da estrutura a ser reabilitada; poucos ruídos e ausência de vibração.

A técnica tem sido criticada devido a esses fatores: impossibilita a visão de futuras patologias na peça, por corrosão ou penetração de umidade causadas entre a chapa e a cola, baixa resistência a elevadas temperaturas, tendências a descolar as extremidades devido ao alto nível de tensão<sup>11</sup>.

Reis (1998) afirma que as camadas de resina e da chapa devem ser de 1,5mm a 3mm, sendo necessário maiores dimensões devem ser utilizados sistemas de ancoragem e mesmo utilizando esse dispositivo não deve ultrapassar 10mm pois chapas muito grossas são pouco flexíveis e não se adaptam com facilidade ao concreto e as muito finas podem empenar e dificultar o assentamento.

Para o reforço com uso de chapas metálicas, além do uso de chumbadores com posterior injeção de adesivo, Reis (1998) *apud* Campagnolo (1993) indica

---

<sup>10</sup> ZUCCHI, 2015, p. 23

<sup>11</sup> REIS, 1998

alguns tipos de ancoragens como: a) Ancoragem por meio de chapa lateral, b) Ancoragem por meio de chapa envolvente e c) Ancoragem por meio de parafusos tipo “parabolt”, todas para evitar descolamentos.

Para Reis (2001), é uma solução de baixo custo, que introduz pequenas alterações na geometria da peça e pouca interferência arquitetônica. A técnica é eficiente quando o problema está nas armaduras existentes, sem haver deficiências nas dimensões e na qualidade do concreto. O reforço pode aumentar a resistência da peça estrutural a momentos fletores e forças cortantes, além de aumentar a rigidez e diminuir a sua deformabilidade.

Apesar de várias obras terem sido reabilitadas com sucesso, de acordo com estudos de Zucchi (2015), ainda existem vários fatores que merecem ser investigados para avaliar melhor o comportamento da estrutura reabilitada. A correta escolha da técnica a ser utilizada numa reabilitação estrutural é uma constatação evidente do seu sucesso nos registros da engenharia pelo mundo afora, pois uma escolha equivocada pode piorar o que já se encontra em estado ruim.

Ao utilizar a técnica da chapa colada com resina epóxi deve-se estar atento ao projeto, cuidados com a limpeza, execução, colagem. Outros fatores a serem observados são a aderência entre os materiais na aplicação, evitando a formação de bolhas de ar na cola, recomenda-se que a limpeza com jatos de água sobre pressão e secagem por jatos de ar comprimido para aplicação da resina, e ao aplicar deve-se submeter a pressões para expulsão do excesso de cola através de escoramentos até a superfície ficar totalmente seca<sup>12</sup>.

Para Moura (2013) as estruturas de concreto se deterioram com o passar do tempo e não alcançam sua vida útil se não são bem projetadas, executadas ou mantidas. Porém, quando não houver um cuidado em relação a esses fatores, a estrutura de concreto resultante poderá ser de má qualidade e irá se deteriorar de modo precoce, absorvendo gastos de recuperação e de reforço desnecessário para ser mantida em condições de uso. Moura (2013) afirmava ainda que como as estruturas de concreto existentes estavam envelhecendo, os problemas de deterioração ficariam cada vez mais acentuados, exigindo com frequência trabalhos de recuperação e de reforço estrutural.

---

<sup>12</sup> BEBER, 2003

Mais recentemente Zucchi (2015), constatou que a reabilitação de estruturas impacta cada vez mais a construção civil, na medida em que a demanda por reparos, reforços e manutenção aumenta a cada dia, ora para recuperação de obras antigas como pontes, ora para preservação do patrimônio histórico, ou ainda para corrigir erros de construções recentes.

Para Silva (2006), citando estudos do século passado, há que se fazer algumas considerações para o reforço com chapas coladas, como:

- Espessura máxima de cola: 1,5 mm;
- Espessura máxima das chapas de 3 mm, salvo quando utilizados dispositivos especiais de ancoragem, como parafusos *parabolt*;
- Não superar em 50% o incremento nos reforços resistentes, comparada à situação anterior ao reforço.

O uso de chapas coladas requer resinas com alto poder de aderência, o aço deve ser submetido à decapagem a jato abrasivo satisfazendo ao grau SA 2 1/2 como pede a norma Sueca SIS 055-900-67. Após a aplicação da resina deve-se ter cuidado com o assentamento da chapa quanto ao posicionamento da forma correta, e após a aplicação fazer pressão para remover o excesso de resina utilizando escoramentos metálicos que devem permanecer até o endurecimento da cola não sendo inferior a 24 horas<sup>13</sup>.

A técnica da chapa de aço colada com resina epóxi é de grande aceitação devido às características do aço que trabalha como uma segunda armadura colado com resina e ser de fácil aplicação e manuseio sem aumento significativo nas dimensões reforçadas<sup>14</sup>.

### **2.3 Método de reforço usando fibras de carbono**

As estruturas são acometidas a diversas patologias devido a inúmeros fatores que danificam sua estabilidade, existindo vários métodos de correção para o problema estrutural, dentre eles destaca-se um moderno método nesse ramo que consiste em reforçar vigas com polímero reforçado com fibras de carbono e que tem

---

<sup>13</sup> SOUZA e RIPPER, 1998

<sup>14</sup> BEBER, 2003

ganhado atenção especial por pesquisadores por ser até então um material estranho inserido na construção civil<sup>15</sup>.

Estudos sobre o uso da fibra de carbono surgiram no Japão com a intenção de reforçar as estruturas protegendo contra desastres naturais e são muito utilizadas onde não se permite o uso de metais. As folhas de fibra de carbono aumentam a capacidade resistente à flexão e a força cortante em vigas e lajes e deve-se observar a resistência da resina aplicada no processo de execução<sup>16</sup>.

Estudos de Beber (2013) apontam que a resistência da fibra é de 3 a 5 vezes maior que a do aço e que possui uma grande facilidade quanto ao manuseio e transporte, além de possuírem uma maior resistência ao fogo, pois o material carboniza ao invés de queimar.

As fibras de carbono surgem através de um processo térmico de fibras precursoras orgânicas, o processo consiste na oxidação dessas fibras a elevadas temperaturas variando de 1000°C a 1500 °C quanto mais elevada a temperatura maior o módulo de elasticidade do material resultante variando de 100 GPa a 300 GPa<sup>17</sup>.

De acordo com Machado (2006) para garantir a eficiência do método é necessário preparar uma ponte de aderência entre os materiais a serem compatibilizados, fazendo as correções nas imperfeições do concreto usando uma pasta epoxídica com alto teor de sólidos para impregnar a lâmina de fibras de carbono e aderir ao concreto. Aplica-se a segunda camada de resina acabando de conformar a matriz epoxídica ao sistema. A figura 1 abaixo mostra o processo de execução do reforço com fibra de carbono apresentando o material que deve ser aplicado do início ao fim do reforço em camadas, sendo que na lâmina de fibra de carbono que reforça o sistema é opcional a película de acabamento com fins estéticos.

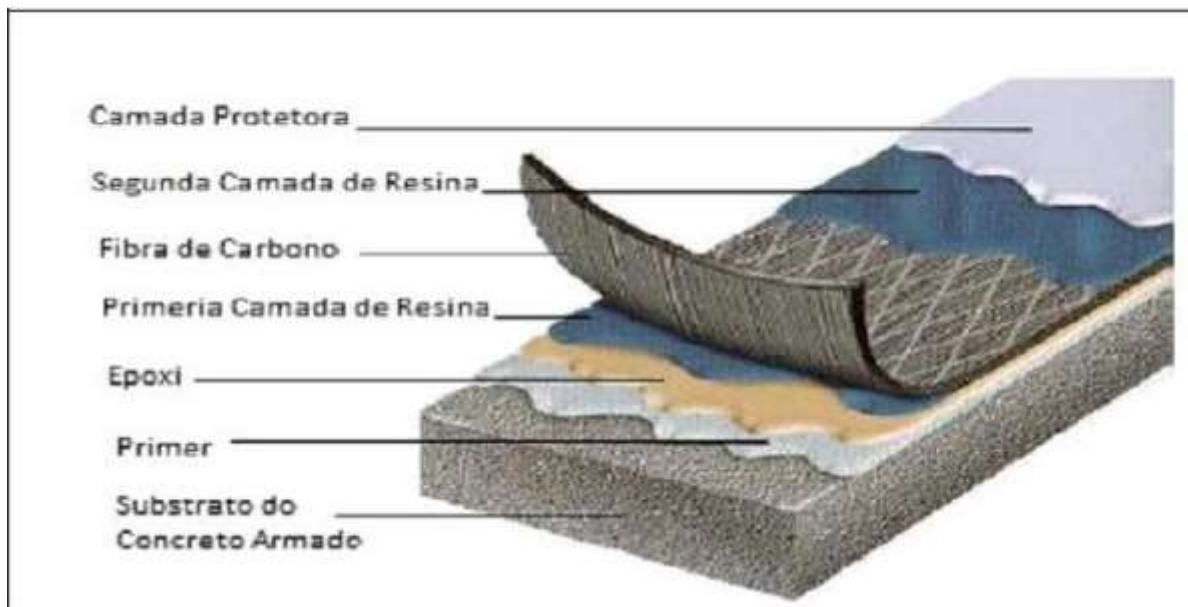
Figura 1. Reforço com fibra de carbono

---

<sup>15</sup> BEBER, 2003

<sup>16</sup> ADORNO et al,2015

<sup>17</sup> MACHADO,2006



Fonte: MACHADO, 2006.

O reforço através de compósitos de fibra de carbono é uma técnica já existente, porém para garantir a eficiência da aplicação devem ser tomados os devidos cuidados quanto à ruptura prematura devido a aderência do material. O dimensionamento baseia-se no estado limite último necessitando assim de uma investigação<sup>18</sup>.

Apresenta-se também o desafio de se compatibilizar materiais, a necessidade de controle do excesso de peso e a dificuldade em vencer grandes vãos. Assim, devem ser previstos os materiais que apresentam as características necessárias para conferir à estrutura um bom desempenho frente às características a que aquela estrutura servirá, garantindo economia com manutenção e resistência do reparo<sup>19</sup>.

Para Albuquerque (2014), quando se opta por recuperar uma estrutura de concreto, deve-se procurar empregar técnicas e materiais que proporcionem as propriedades mecânicas desejadas e o maior período de vida útil possível.

## 2.4 Caracterizando o dimensionamento

Através dos estudos de Roberto Chust Carvalho e colaboradores (2014) foi observado que as tabelas para dimensionamento de lajes pré-fabricadas surgiram junto com as lajes do tipo trilho e foram depois ampliadas para as com

<sup>18</sup> BEBER, 2003

<sup>19</sup> ALBUQUERQUE, 2014

vigotas treliçadas e também para as com vigotas pretendidas. O autor ainda relata que é preciso determinar a altura da laje e a quantidade de armadura a se empregar nos trilhos. Surgiram então as tabelas que correlacionavam vãos, ações atuantes nas lajes e valores de armaduras. Assim, o projetista, sabendo o vão e a sobrecarga da laje, escolhe uma altura adequada e obtém a armadura necessária, simplesmente consultando uma tabela<sup>20</sup>.

A construção de uma tabela deste tipo consiste em calcular inúmeras situações de uma determinada nervura variando os vãos e carregamentos. Calcula-se então o peso próprio da viga e o peso da laje, em seguida é possível verificar na tabela a altura total da laje e fazer o cálculo do revestimento de acordo com o proposto por Chust *et al* (2014).

Para início do dimensionamento toma-se como direção a ABNT NBR 6120 (1980) que fornece valores de cargas permanentes ( $g$ ) e carga acidental ( $q$ ) que devem ser considerados em projetos de estruturas de qualquer edificação, segundo a norma a argamassa de cal, cimento e areia tem um peso específico de  $19 \text{ KN/m}^3$ , o tijolo furado o peso de  $13 \text{ KN/m}^3$  e os valores mínimos de cargas verticais para edifícios residenciais é  $1,5$  ou  $2,0 \text{ KN/m}^2$  que permitem encontrar o peso da parede e o peso próprio da viga, e consultando o quadro (3) nos resultados encontra-se o revestimento, e com o auxílio do quadro (4) nos resultados encontra-se o peso da laje sobre a viga.

Segundo estudos de Chust *et al* (2014) as cargas da laje que são transferidas para viga são calculadas segundo as equações (1) e (2).

$$\frac{P_{laje} \cdot l_x}{2} \quad (1)$$

Sendo:

$P_{laje}$ : peso na laje;

$L_x$ : Dimensão no lado x (menor lado) do vão.

$$\frac{P_{laje} \cdot l_y}{2} \quad (2)$$

Sendo:

---

<sup>20</sup> CARVALHO, 2014

$P_{laje}$ : peso na laje;  
 $L_y$ : Dimensão no lado y (maior lado) do vão.

Somam-se todas as cargas atuantes mais o peso da parede, em seguida distribui-se as cargas atuantes na viga e calcula-se as reações de apoio e efetua-se a confecção do gráfico de esforço cortante e de momento fletor encontrando assim os esforços máximos que atua na viga sendo ele  $M_k$ .

Conhecendo as características da viga estudada e o momento máximo que atua sobre ela é calculado o momento que ela resiste verificando assim que ela precisa de reforço para um bom desempenho e estabilidade, sendo propostos dois métodos para reforçar. Seguindo a ABNT NBR 6118 (2014) encontra-se valores para os coeficientes de ponderação à resistência do concreto  $\gamma_c$  e do aço  $\gamma_s$ .

Tabela 1. Tabela dos coeficientes de ponderação das resistências no estado limite ultimo (ELU)

| Combinações                | Concreto ( $\gamma_c$ ) | Aço ( $\gamma_s$ ) |
|----------------------------|-------------------------|--------------------|
| Normais                    | 1,4                     | 1,15               |
| Especiais ou de Construção | 1,2                     | 1,15               |
| Excepcionais               | 1,2                     | 1,00               |

Fonte: ABNT NBR 6118, 2014

De acordo com norma da ABNT NBR 6118: 2014 a resistência de cálculo para o concreto quando feita em data superior ou igual a 28 dias é feita de acordo com a equação abaixo.

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{1,4} \quad (3)$$

sendo:

$f_{cd}$ : Resistencia de calculo do concreto;

$f_{ck}$ : Resistencia característica do concreto a compressão;

$\gamma_c$ : Coeficiente de ponderação a resistência do concreto para combinações normais.

Coeficiente do aço no estado limite ultimo (ELU)



$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{1,15} \quad (4)$$

Sendo:

$f_{yd}$  : Tensão de escoamento de cálculo do aço;

$f_{yk}$ : Resistência característica do aço a tração;

$\gamma_s$ : Coeficiente do aço para combinações normais.

Para o reforço da estrutura seguem algumas regras da ABNT NBR 6118 (2014) que fornece o encurtamento máximo do concreto comprimido sendo 3,5/1000. Os cálculos são desenvolvidos com base nas características da viga do estudo sendo elas: materiais usados, quantidade, dimensões, armadura, cargas etc. O dimensionamento feito de acordo com o estado limite último (ELU) e visando uma excelente aderência entre o concreto e os materiais usados no reforço.

O dimensionamento da viga foi realizado de acordo com a NBR 6118 (2014) que fornece as equações para o dimensionamento, muitas através de substituições de fórmulas para encontrar a necessária. O cálculo do  $f_{cd}$  é feito de acordo com a equação (3) e do  $f_{yd}$  de acordo com a equação (4).

Usando-se a equação (5) abaixo, com os dados da viga através da substituição de valores encontramos o valor de  $y$  que é a posição da linha neutra em relação ao momento resistente.

$$A_s \cdot f_{yd} \cdot 0,85 \cdot b_w \cdot y \cdot f_{cd} \quad (5)$$

Onde:

$y$ : Altura do diagrama retangular de tensões de compressão no concreto na seção transversal de uma peça fletida;

$A_s$ : Armadura presente na viga;

$f_{yd}$ : Tensão de escoamento de cálculo do aço;

$B_w$ : Largura da seção do concreto;

$f_{cd}$ : Resultantes de compressão do concreto

Seguindo a equação (6) encontra-se o momento que é aplicado na viga.

$$M_d = A_s \cdot f_{yd} \cdot (d - 0,5 \cdot y) \quad (6)$$

Onde :

$m_d$ : Momento resistente de cálculo;

$f_{yd}$ : Tensão de escoamento de cálculo do aço;

$A_s$ : Área de aço presente na viga;

$d$ : Distância entre o centro de gravidade da armadura longitudinal tracionada até a fibra mais comprimida do concreto;

$y$ : Altura do diagrama retangular de tensões de compressão no concreto na seção transversal de uma peça fletida.

Sabendo-se qual o momento máximo que atua na viga é dada sequencia através da equação (7), pode-se encontrar o momento que a viga resiste pela divisão do momento que atua pelo coeficiente de ponderação que mostra a tabela (1) para combinações normais.

$$Mk = \frac{Md}{\gamma} \quad (7)$$

Onde:

$m_d$ : Momento resistente de cálculo;

$\gamma$ : Coeficiente de cálculo

Verificando dessa forma que a viga possui necessidade de reforço para suportar o carregamento solicitante, pois o momento resistente é menor que o momento aplicado sobre ela.

Dando sequencia ao dimensionamento através da equação (8) resolvendo-se a raiz quadrática nota-se que o valor de  $y'$  fica fora da seção retangular da peça e  $y''$  fica dentro da seção da peça, logo adota-se  $y''$ .

$$M_d = B_w \cdot 0,85 \cdot f_{cd} \cdot y \cdot (d - 0,5 \cdot y) \quad (8)$$

Sendo:

$f_{cd}$ : Resultantes de compressão do concreto;

$M_d$ : Momento resistente de cálculo;

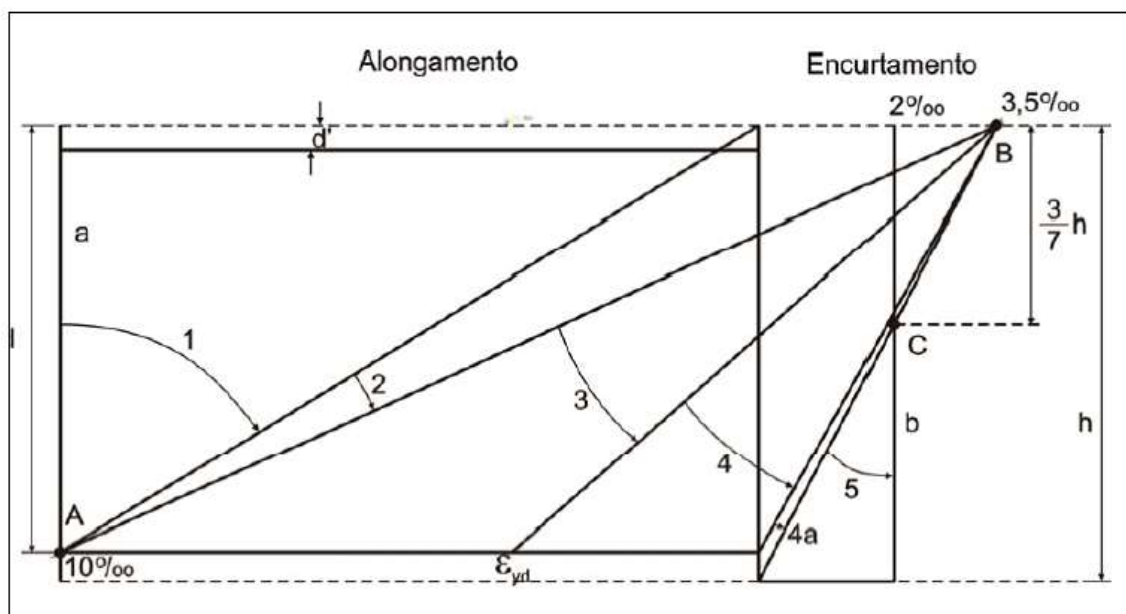
$B_w$ : Largura da seção do concreto;

$y$ : Altura do diagrama retangular de tensões de compressão no concreto na seção transversal de uma peça fletida;

$d$ : Distância entre o centro de gravidade da armadura longitudinal tracionada até a fibra mais comprimida do concreto;

A Figura 2 mostra os domínios de estado limite último, para o dimensionamento desse estudo de caso usa-se o domínio 2 (ruptura convencional por deformação plástica excessiva) e 3 (ruptura convencional por encurtamento limite do concreto) para calcular a flexão simples ou composta no estado limite último.

Figura 2: Domínios de estado limite último de uma seção transversal



Fonte: NBR 6118, 2014

De acordo com Moura (2013) o diagrama de tensões nos domínios 2 e 3 apresenta comportamento parabólico retangular que pode ser resumido à análise da seção por meio de um diagrama retangular de altura. Conforme mostra a equação (9) abaixo, fazendo a substituição do  $y''$  que está dentro da seção encontra-se a profundidade da linha neutra.

$$y = 0,8 \cdot x \quad (9)$$

Sendo:

$y$ : Altura do diagrama retangular de tensões de compressão no concreto na seção transversal de uma peça fletida;

$x$ : Posição da linha neutra;

Para encontrar a tensão no aço é necessário saber a resultante de compressão do concreto através da equação (10) abaixo:

$$R_{cd} = 0,85 \cdot b_w \cdot y \cdot f_{cd} \quad (10)$$

Sendo:

$R_{cd}$ : Resultante de compressão do concreto;

$b_w$ : Largura da seção do concreto;

$y$ : Altura do diagrama retangular de tensões de compressão no concreto na seção transversal de uma peça fletida;

$d$ : Distância entre o centro de gravidade da armadura longitudinal tracionada até a fibra mais comprimida do concreto;

$f_{cd}$ : Resultantes de compressão do concreto

Moura (2013) afirma que após encontrar a linha neutra é possível saber a resultante da tensão de compressão do concreto  $R_{cd}$  e assim encontrar a tensão no aço e sua deformação específica.

Sabendo- se a resultante de compressão do concreto e a área de armadura presente na viga acha-se a tensão no aço através da equação abaixo:

$$\sigma_s = \frac{R_{cd}}{A_s} \quad (11)$$

Sendo:

$\sigma_s$ : Tensão no aço;

$R_{cd}$ : Resultante de compressão do concreto;

$A_s$ : Armadura presente na viga.

Dando sequencia ao dimensionamento da viga de estudo de caso é calculada a deformação específica do aço através da equação abaixo:

$$E_s \epsilon_{si} = \frac{\sigma_s}{\epsilon_s} \quad (12)$$

Sendo:

$\epsilon_{si}$ : Deformação específica do aço;

$\sigma_s$ : Tensão no aço;

Para saber a que tensão que o reforço vai ser submetido é necessário saber anteriormente o nível de tensão no substrato da aplicação sendo possível assim

conhecer o nível de deformação na fibra externa do concreto. A deformação inicial deve ser subtraída da final para garantir a tensão que o esforço vai estar submetido<sup>21</sup>.

Através da equação (13) é calculada a deformação inicial que ocorre no reforço da viga conforme mostra abaixo:

$$\varepsilon_i = \varepsilon_{si} \cdot \frac{(h - x)}{(d - x)} \quad (13)$$

Sendo:

$\varepsilon_i$ : Deformação inicial no reforço

$\varepsilon_{si}$ : Deformação específica do aço;

$h$ : Altura da viga de concreto;

$d$ : Distância entre o centro de gravidade da armadura longitudinal tracionada até a fibra mais comprimida do concreto;

$x$ : Profundidade da linha neutra;

Para encontrar a deformação final no reforço é necessário conhecer a deformação específica do aço e a tração, para isso usa-se a equação (14) para calcular esse dado conforme mostra abaixo:

$$E_s = E_c \cdot \left( \frac{d - x}{x} \right) \quad (14)$$

Sendo:

$x$ : Profundidade da linha neutra;

$E_s$ - Deformação específica do aço a tração;

$E_c$ - Deformação específica do concreto a tração

Através da equação (15) chega-se ao valor da deformação final no reforço pela substituição de valores das dimensões da viga, deformação específica do aço, a tração e posição da linha neutra.

---

<sup>21</sup> MOURA, 2013

$$E_f = E_s \cdot \left( \frac{h - x}{d - x} \right) \quad (15)$$

Sendo:

$E_s$ - Deformação específica do aço a tração;

$E_f$ - Deformação final no reforço;

$h$ : Altura da viga de concreto;

$d$ : Distância entre o centro de gravidade da armadura longitudinal tracionada até a fibra mais comprimida do concreto;

$x$ : Profundidade da linha neutra;

Chega-se a deformação específica que ocorre no reforço através da seguinte equação<sup>22</sup> :

$$E_{ref} = E_f - E_i \quad (16)$$

sendo:

$E_{ref}$ - Deformação específica do reforço;

$E_f$ - Deformação do reforço considerando o carregamento máximo;

$E_i$ - Deformação pré-existente da instalação do reforço.

#### 2.4.1 Chapa de aço

Em seus estudos Reis (1998) afirma que para dimensionar esse tipo de reforço deve-se conhecer as características da chapa que será utilizada no reparo, entre elas resistência à tração e módulo de elasticidade.

Segundo o proposto neste trabalho que é o dimensionamento de reforço para a viga que apresenta o problema patológico, adota-se a chapa de aço para reforço com o aço MR250 por ser indicada para fins estruturais e de reforço.

Faz-se necessário constar que os valores dos coeficientes de ponderação da resistência da chapa de aço são retirados da NBR 8800 (2008):

ASTM A-36

$f_{yk} = 2500 \text{ kgf/cm}^2$  ou  $250 \text{ Mpa}$

---

<sup>22</sup> MACHADO, 2006

E= 210 Gpa

Quadro1.Coefficientes de ponderação

| Combinações                | Aço estrutural<br>Y <sub>a</sub>                               |                            | Concreto<br>Y <sub>c</sub> | Aço de<br>armaduras<br>Y <sub>s</sub> |
|----------------------------|--|----------------------------|----------------------------|---------------------------------------|
|                            | Escoamento,<br>flambagem e<br>Instabilidade<br>Y <sub>a1</sub> | Ruptura<br>Y <sub>a2</sub> |                            |                                       |
| Normais                    | 1,10   | 1,35                       | 1,40                       | 1,15                                  |
| Especiais ou de Construção | 1,10   | 1,35                       | 1,20                       | 1,15                                  |
| Excepcionais               | 1,00   | 1,15                       | 1,20                       | 1,00                                  |

inclui o aço de forma incorporada, usando nas lajes mistas de aço e concreto, de pinos e de parafusos.

Fonte: NBR. 8800: 2008

Com os coeficientes do quadro (1) acima para cálculo de combinações normais à ruptura e coeficiente de escoamento do aço  $Fyk$  segundo características da chapa escolhida no reforço é possível encontrar a tensão de tração do aço de reforço segundo a equação:

$$f_{ydr} = \sigma_{rd} \quad (17)$$

Seguindo o dimensionamento da chapa e através da equação (18) acha-se a área que precisa de reforço ( $A_{ref}$ ) para a viga com as características do estudo de caso conforme mostra a equação (18).

$$M_d = A_s \cdot f_{yd} \cdot (d - 0,5 \cdot y) + A_{ref} \cdot f_{ref} \cdot (h - 0,5 \cdot y) \quad (18)$$

Sendo:

$M_d$ : Momento resistente de cálculo;

$A_s$ : Armadura da viga;

$f_{yd}$ : Resultantes de compressão do concreto;

$d$ : Distância entre o centro de gravidade da armadura longitudinal tracionada até a fibra mais comprimida do concreto;

$y$ : Altura do diagrama retangular de tensões de compressão no concreto na seção transversal de uma peça fletida;

$A_{ref}$ : Área que precisa de reforço;

$f_{ref}$ : Tensão de tração do material aplicado;

$h$ : Altura da viga;

Dividindo a área que precisa de reforço com a largura da chapa usada no reforço que foi igual à largura da viga reforçada, achamos a espessura da chapa de aço para reabilitar a estrutura do estudo de caso:

$$E = \frac{A_{ref}}{b} \quad (19)$$

Sendo:

$E$ : Espessura da chapa de aço;

$A_{ref}$ : área que precisa de reforço;

$b$ : Largura da viga;

#### 2.4.2 Fibra de carbono

Seguindo o os objetivos do trabalho propomos uma segunda técnica para recuperação estrutural sendo ela a manta de fibra de carbono. Adota-se o material com as seguintes características:

Material: Fibra (Viapol – Carbon CFW 300)

Espessura: 0,166mm

Tensão de ruptura: 2100 Mpa – 210 kN/cm<sup>2</sup>

Módulo de elasticidade: 230 Gpa – 230000 Mpa

Seguindo a Lei de Hooke usa-se a equação (20) para encontrar a tensão de tração na fibra:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon_{Ref}} \quad (20)$$

$e$  = Modulo de elasticidade;

$\varepsilon_{Ref}$  = Deformação específica no reforço;

$\sigma$  = Tensão de tração.

Substituindo equações chega se a equação (21) que determina a área que necessita de reforço com fibra de carbono ( $A_{ref}$ ):

$$Md = A_s \cdot f_y d \cdot (d - 0,5y) + A_{ref} \cdot F_{ref} (h - 0,5y) \quad (21)$$

Sendo:



$M_d$ : Momento resistente de cálculo;

$A_s$ : Armadura da viga;

$f_{yd}$ : Resultantes de compressão do concreto;

$d$ : Distância entre o centro de gravidade da armadura longitudinal tracionada até a fibra mais comprimida do concreto;

$y$ : Altura do diagrama retangular de tensões de compressão no concreto na seção transversal de uma peça fletida;

$A_{ref}$ : Área que precisa de reforço;

$F_{ref}$ : Tensão de tração do material aplicado;

$h$ : Altura da viga;

Após encontrar a área que necessita de reforço com a fibra de carbono  $A_{ref}$ , calcula-se a largura necessária de fibra de carbono de acordo com a equação (22).

$$L_f = \frac{A_f}{e_f} \quad (22)$$

Sendo:

$A_f$ : Área que necessita de fibra de carbono

$e_f$ : Espessura da fibra

Para que o reforço seja aplicado em toda a viga deve-se adotar a largura da fibra igual a da viga para chegar ao número de camadas que atende a exigência de carregamento dessa viga.

## 2.5 Orçamento

O orçamento é realizado com base no levantamento de valores de cada material utilizado levando em conta suas características e quantidades, assim como mão de obra para realização do trabalho de recuperação dos dois métodos abordados no trabalho.

A composição de custos unitários leva em conta a quantidade de material, de horas gastas com equipamentos, números de horas de trabalhadores envolvidos que são multiplicados pelos custos com material, pelo aluguel horário dos equipamentos e pelo salário hora dos trabalhadores mais encargos sociais<sup>23</sup>.

A engenharia de custos desenvolveu diversos meios para determinar a estimativa do custo de produção em obras civis com o objetivo de determinar uma

---

<sup>23</sup> TISAKA, 2006

estimativa de baixo custo de produção para o projeto e empreendimento, hoje em dia o método mais utilizado para orçamentação pública ou privada é feito através de custos unitários diretos calculados por projeto e custo indireto específico para o projeto. Os custos unitários são definidos através de uma série de tabelas de custo padrão que auxiliam na tomada de preço de modo que o orçamento realizado seja o mais parecido possível com o do mercado<sup>24</sup>.

---

<sup>24</sup> TAVES,2014

### 3 METODOLOGIA DA PESQUISA

Este trabalho foi baseado em um dimensionamento de uma viga através de cálculos e seguindo normas da associação brasileira de normas técnicas, uma pesquisa bibliográfica descritiva sobre o tema abordado e uma análise teórica associada a exemplos de aplicação, utilizando-se para o seu desenvolvimento uma detalhada pesquisa em livros, bem como o rastreamento de monografias, artigos técnicos, dissertações de mestrados, teses de doutorados. Foi realizado o dimensionamento de uma viga que apresentava desempenho insuficiente para atender as necessidades do projeto devido ao excesso de carregamento imposto sobre essa estrutura com acréscimo de cargas para qual não foi projetada inicialmente gerando uma grande sobrecarga na viga.

Na pesquisa exploratória, tendo como objetivo proporcionar maior familiaridade com o problema com vistas a torná-los mais explícitos, pode-se dizer que essas pesquisas têm como objetivo principal o aprimoramento de ideias ou a descoberta de intuições<sup>25</sup>.

Foram relacionados a este estudo, trabalhos recentes de alguns autores tais como Pimenta (2012), Reis (1998). Adorno *et al* (2015), Rodrigues (2017), Machado (2006), Beber (2003) e Moura (2013) que discutem as vantagens e desvantagens destas técnicas, onde as mesmas podem ser aplicadas e quais são os principais aspectos do seu dimensionamento.

Para conhecer o carregamento que atua na viga foi realizado um levantamento de dados em obra e com o auxílio do projeto arquitetônico no anexo 3 foi possível identificar as características da estrutura e o tipo de material que ela portava e com o auxílio da NBR 6120 (1980) achou-se os valores de cargas que devem ser levados em consideração em qualquer estrutura a ser dimensionada. Além destes itens, foram levadas em considerações tabelas de Roberto Carvalho Chust que fornece dados para encontrar o carregamento sobre a viga<sup>26</sup>.

Sendo conhecido o peso da parede, peso próprio da viga, revestimento e peso das lajes sobre a viga foi encontrado o seu carregamento total e com auxílio do Ftool chega-se ao momento máximo que está sendo aplicado sobre ela.

---

<sup>25</sup> GIL, 2002

<sup>26</sup> CHUST, 2014

Conhecendo o momento máximo aplicado na viga encontra-se a posição da linha neutra e chega-se ao momento resistente que a viga com suas características possui, comprovando assim a necessidade de reforço.

São descritos os métodos de aplicação dos elementos para cada tipo de reforço, como o procedimento de aplicação, equações usadas para o dimensionamento, a flexão dos reforços usados com fibra de carbono e com chapa de aço colada assim como o dimensionamento das duas técnicas adotadas com base nos conceitos do estado limite último e seus respectivos domínios.

O trabalho também apresenta o orçamento referente à mão de obra e aos materiais utilizados nos dois tipos de reforço, após encontrar a quantidade e classificação dos materiais que serão utilizados tendo como orientação dos custos a planilha setop referente à região central de Minas Gerais, chega-se ao método de melhor mobilidade técnica e econômica para aplicar a viga dimensionada<sup>27</sup>.

Descrevendo assim a metodologia utilizada para reforçar a viga através do dimensionamento utilizando suas características específicas e propondo dois meios de reforço nesse estudo de caso para essa estabilizar a estrutura, sendo eles a chapa de aço colada com a resina epóxi e o reforço usando camadas de fibra de carbono.

---

<sup>27</sup> MINAS GERAIS, 2019

## 4 RESULTADOS

Conhecer os mecanismos e formas de deterioração do concreto, possibilitaria a promoção de um dos passos fundamentais para a realização de uma avaliação real das condições das estruturas danificadas e implementar soluções uma vez que as características de cada material influenciam nos resultados finais.

Para início dos resultados observa-se através da imagem algumas áreas onde é possível notar várias patologias como trincas e fissuras grandes, as flechas, causando deformação na viga devido ao excesso do carregamento imposto na estrutura, além disso, o concreto encontra-se deteriorado e apresenta segregação, conforme mostra a figura 3 a seguir:

Figura 3: Patologias encontradas na viga de caso de estudo.



Fonte: Acervo do autor

### 4.1 Carregamento imposto na viga

Foram considerados os seguintes dados do levantamento da viga no local, projeto original e da norma da ABNT da NBR 6120 (1980) para início do dimensionamento da viga segundo apresenta os dados do quadro abaixo:

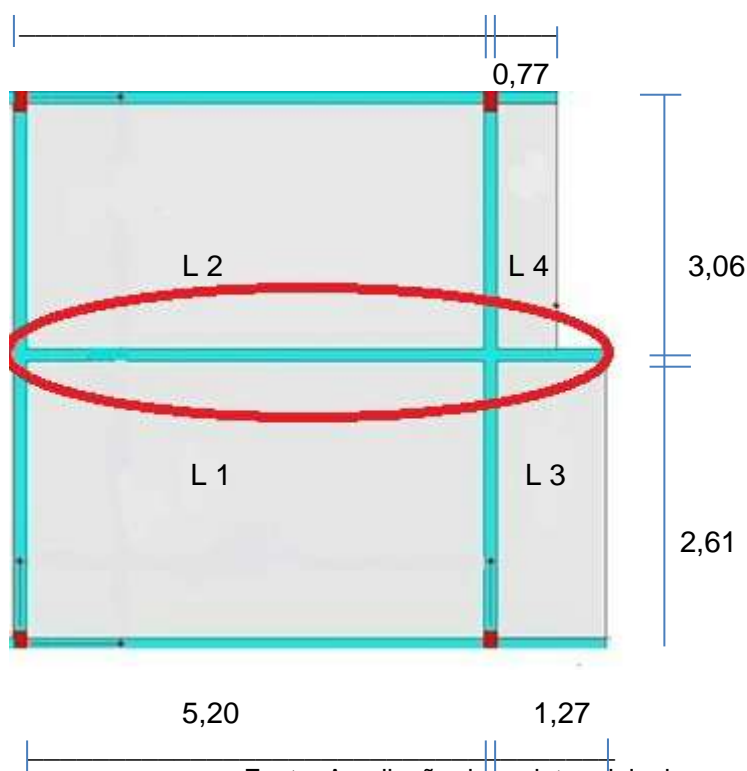
Quadro 2: Dados para cálculo do carregamento total sobre a viga

| Valores das características da viga no local      | Dados da NBR 6120 para edificações residenciais         |
|---|---|
| Dimensões da Viga: 0,15 X 0,40 cm                 | Parede de tijolo furado= 13 kN/m <sup>3</sup>           |
| Armadura que a viga portava: 3,68 cm <sup>2</sup> | Revestimento: cal, cimento e areia:19 kN/m <sup>3</sup> |
| Espessura do reboco: 0.05 m                       | Peso do concreto armado: 25 KN                          |
| - Altura da parede: 2,6 m                         | Edifício Residencial: $Q = 2 \text{ Kn}/\text{m}^2$     |
| Largura do tijolo: 0,09 m                         |   |

Fonte: elaborada pela autora do estudo

A figura 2 apresenta a ampliação do projeto original com ênfase na viga que apresenta a patologia demonstrando sua largura e altura, na mesma imagem também é possível visualizar as lajes (Lx e Ly) em torno da mesma.

Figura 4: Lajes com medidas e características específicas



Peso da parede:

$$(13 \cdot 0,09 \cdot 2,6) + (19 \cdot 0,05 \cdot 2,6) = 5,512 \text{ Kn} / \text{m}^2$$

Peso próprio da viga:

$$(0,40 \cdot 0,15 \cdot 25) = 1,5 \text{ Kn} / \text{m}$$

No anexo 1 consta o projeto arquitetônico completo da edificação residencial que apresenta a viga que está sendo dimensionada e através dele é possível observar que a altura da laje no local é 12 cm, para o cálculo do revestimento usa-se o quadro (3) de Roberto Carvalho Chust (2014) que diz que para a altura da laje no local o revestimento deve ser igual a 4cm.

Quadro 3. Espessura mínima da capa para as alturas totais padronizadas (centímetros)

| Altura total da laje(cm)            | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 24 | 25 | 29 | 30 | 34 |
|-------------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Espessura mínima da capa resistente | 3  | 3  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 5  | 5  | 5  | 5  |

Fonte: Chust, 2014

Revestimento:

$$(0,04 \cdot 19) = 0,76 \text{ Kn} / \text{m}^2$$

Total:

$$(2 + 0,76) = 2,76 \text{ Kn} / \text{m}^2$$

O quadro 4 a seguir apresenta as cargas que são transferidas para a viga da laje de acordo com a altura da laje dimensionada e sabendo-se que a altura da laje no local é 12 cm consulta-se o quadro e usando a equação 1 e 2 é possível descobrir seu peso.

Quadro 4: Alturas iniciais para lajes em função de cargas e vãos livres máximos

| Altura total da laje (cm) | Peso Próprio (kN/m <sup>2</sup> ) | P < 1,0 KN/m <sup>2</sup> (forro) | 2,0 KN/m <sup>2</sup> <p<5,0 KN/m <sup>2</sup> |
|---------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|--|
| 10                        | 1,1                               | 3,5m                              | .....  |
| 12                        | 1,41                              | 5,0 m                             | 4,5 m  |
| 14                        | 1,50                              | 6,0 m                             | 5,5 m  |
| 16 ou maior               | >1,61                             | .....                             | >5,5 m   |

Valores de peso próprio estimado para inter-eixo de 50 cm, capa de 3 cm e o material de enchimento cerâmico.

Fonte: Chust, 2014

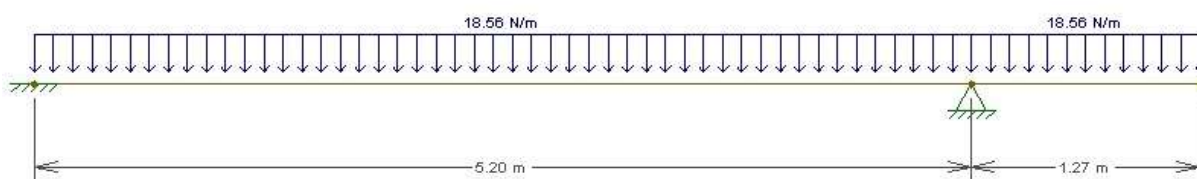
Peso L1=L3

$$\frac{(1,41 + 2,76) \cdot 2,61}{2} = 5,44 \text{ Kn/m} \quad (1)$$

Peso L2=L4

$$\frac{(1,41 + 2,76) \cdot 3,06}{2} = 6,38 \text{ Kn/m} \quad (2)$$

Figura 5. Desenho do carregamento na viga usando o ftool

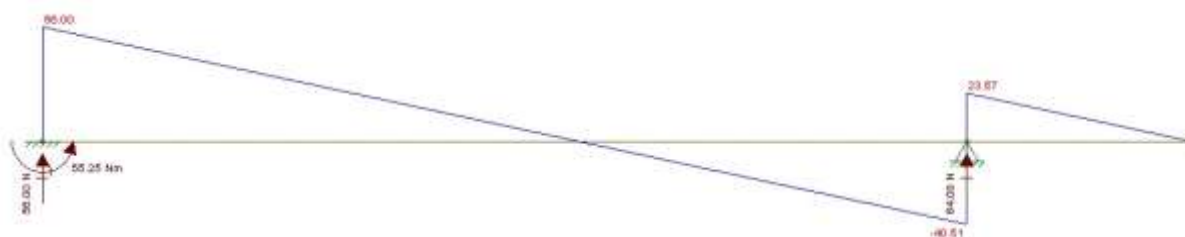


Fonte: Elaborado pela autora



Após encontrar o carregamento imposto sobre a estrutura através do método de Roberto Carvalho Chust (2014), com o auxílio do programa ftool lança-se todos os carregamentos encontrados sobre a viga como mostra a figura 5 e através dele obtém-se o gráfico de esforço cortante como pode ser observado na figura 6.

Figura 6. Gráfico de força cortante desenhado no ftool



Fonte: Elaborado pela autora

Após a confecção do gráfico de esforço cortante, e ainda usando o auxílio do ftool, encontra-se o gráfico de momento fletor, achando assim o carregamento máximo imposto sobre a estrutura sendo ele  $55,25 \text{ kN} / \text{m}$  conforme mostra a figura 7 abaixo:

Figura 7. Gráfico de Momento desenhado no ftool



Fonte: Elaborado pela autora

Em relação ao momento fletor máximo que atua sobre a viga estudada de acordo com o cálculo feito no programa ftool observa-se um carregamento máximo igual a  $55,25 \text{ kN} / \text{m}$

Quadro 5: Características da viga

| Características da viga                      | Nomenclaturas e siglas           |
|--|----------------------------------|
| $C_{25}$                                     | Resistência do concreto          |
| $CA_{50}$                                    | Resistência do aço               |
| $(15 \times 40)cm$                           | Dimensões da viga                |
| $4cm$  | Cobrimento da seção da viga $D'$ |
| $55,25 KN / m$                               | $M_k$                            |
| $(55,25 \cdot 1,4 \cdot 100) = 7735 Kn / cm$ | $M_d$                            |

Fonte : elaborado pela autora

Com base nos estudos de Moura (2013), deve-se inicialmente verificar a real capacidade da viga de concreto armado. Logo, calcula-se a resistência de cálculo do concreto e do aço, com os seus respectivos coeficientes para situações normais.

Dando sequência no estudo calculou-se o dimensionamento da viga original encontrado a posição da linha neutra igual a 7,03 cm e o momento resistente  $37,13 KN / m$ . Observa-se que a viga resiste a  $37,13 KN / m$  e o momento aplicado na mesma é igual a  $55,25 Kn / m$ , logo ela necessita de reforço para suportar o carregamento total.

Moura (2013) seguindo os mesmos parâmetros em seu estudo observou a partir dos cálculos que a viga precisa de reforço, pois o  $M_k$  é o quanto ela resiste e o  $M_{max}$  é a carga aplicada na viga.

Seguindo o estudo de acordo com o memorial de cálculo no apêndice é calculado as deformações iniciais na viga e através da função quadrática obtém-se dois resultados sendo adotado o que está dentro das dimensões da viga. Observa-se que  $y'=99,02$  cm fica fora da seção da viga usado - se o  $y''=10,41$  que fica dentro da seção retangular da viga e através do diagrama retangular de altura simplificado encontra-se  $x=13,01$  cm.

A partir de dados encontrados e dados da viga acham-se as resultantes de compressão do concreto  $R_{cd}=237,01$ ; tensão no aço  $\sigma_s=64,50$  KNcm<sup>2</sup> e a deformação inicial no reforço  $E_i=\frac{3,611}{1000}$ . Para o dimensionamento no reforço primeiro deve-se achar a deformação específica do aço, a tração sendo a mesma  $E_s=\frac{6,18}{1000}$  e a deformação final no reforço sendo  $E_f=\frac{7,25}{1000}$ .

Logo para se achar  $E_{ref}=\text{deformação específica do reforço}$  é necessário conhecer a deformação inicial e a deformação final no reforço, fazendo a subtração da final pela inicial acha-se  $E_{ref}=\frac{3,645}{1000}$ .

Encontrando todas as características do estudo de caso e seguindo os objetivos do trabalho são propostos dois métodos para a recuperação estrutural da viga que não porta armadura suficiente para o carregamento imposto obre ela conforme mostra o desenvolvimento abaixo.

#### 4.1.1 Dimensionamento da chapa de aço colada

Adota-se como um dos objetivos propostos o uso de chapa de aço colada com resina epóxi com as seguintes características:

MR250

ASTM A-36

$$f_{yk}=2500 \frac{Kgf}{cm^2} \text{ ou } 250 \text{ MPa}$$

Sendo o módulo de elasticidade da mesma  $E= 210 \text{ GPa}$

Foi adotada a chapa em questão por ser indicada para fins estruturais e de reforço e sua produção segue a NBR 7007 (2016). Faz-se necessário constar que os valores dos coeficientes de ponderação da resistência da chapa de aço são retirados da NBR 8800 (2008) no quadro 1 para calcular a resistência de cálculo ao escoamento do aço (situação de projeto  $f_{ydr}$ ) sendo  $F_{yd}= 185,18 \text{ MPa}$ .

Utilizando os esforços obtidos calcula-se a área total que necessita de reforço, encontrando-se  $A_{ref}= 4,57 \text{ cm}^2$ , para que o reforço seja aplicado em toda a viga a largura da chapa colada deve ser igual à da viga, 15 cm. Com isso para saber qual a espessura da chapa de aço a ser utilizada no reforço é preciso dividir a área

que necessita do reforço pela largura da viga encontrando  $E = \frac{4,57}{15} = 0,30$ . Logo a espessura da chapa utilizada para o reforço de 3 mm é largura 15 cm.

#### 4.1.2 Dimensionamento com fibras de carbono

Para o segundo método do estudo adota-se o reforço com fibras de carbono para recuperação estrutural da viga estudada com as seguintes características:

Fibra (viapol – carbono CFW 300)

Modulo de elasticidade: 230 GPa – 230000 MPa

Espessura: 0,166 mm

Tensão de ruptura: 2100 Mpa – 210 KN/cm<sup>2</sup>

A fibra adotada para esse reforço é indicada para fins estruturais tendo direção única em seus filamentos com elevada resistência à tração, poder de aderência, baixo peso e espessura e fácil aplicação, garantindo assim rapidez na execução do reforço.

Para saber as camadas de fibras necessárias para reforçar a estrutura, primeiro é feito o cálculo da tensão de tração de acordo com a Lei de Hooke e encontra-se  $\sigma = 838,35 \text{ kN/cm}^2$  e seguindo os dados encontrados  $y'' = 10,41$  assim encontra-se a área que necessita de reforço com fibra de carbono sendo  $A_{ref} = 0,096 \text{ cm}^2$ .

Com os dados acima se pode calcular a largura que necessita de reforço com fibra de carbono dividindo-se  $A_{ref} = 0,096 \text{ cm}^2$  pela espessura da fibra adotada 0,166 mm e encontra-se  $L_f = 5,79 \text{ cm}^2$

Toda a viga deve ser reforçada, portanto a largura da fibra deve ser igual a da viga sabendo que a largura necessária de fibra é 0,58 dividindo pela dimensão da viga 15 cm nota-se que ela precisa de 0,38 camadas de fibra para ser reforçada.

Para reforçar a viga de maneira que atenda as condições de segurança e reforço é necessário que a mesma tenha 1 camada de fibra, levando em conta que a viga tem dimensão igual a 15 cm.

## 4.2 Orçamento de custos

Após as etapas do dimensionamento onde se pode definir a quantidade e características dos materiais utilizados em cada um dos reforços foi realizado um levantamento de custos de cada um dos métodos levando-se em conta a quantidade de cada material utilizado para concluir o reforço e a mão de obra para executar o serviço através da planilha de custos Setop – Minas Gerais (2019) que fornece dados incluindo todos os custos para o reparo de mão de obra, sabendo-se que a viga tem 6m de comprimento.

O quadro 6 apresenta os materiais com suas respectivas características e apresenta os valores de orçamento dos dois métodos de reforço para a recuperação da viga de estudo de caso. Através do quadro percebe-se que para reforçar a viga com chapa de aço colada o custo é de R\$174,45 e para reforçar a mesma viga com manta de fibra de carbono é de R\$1841,23. A partir do orçamento de valores percebe-se que a diferença quanto ao custo entre os dois reforços é de R\$1666,78, valor muito significativo em termos financeiros e que apesar de ser uma técnica excelente é de difícil disponibilidade na região sendo obtida por importação o que eleva o custo com transporte.

Quadro 6: Valores de materiais

| Reforço com chapa de aço colada (MATERIAIS)   | Custo R\$  | Reforço com fibra de carbono (MATERIAIS)  | Custo R\$                          |
|---|--|---|------------------------------------|
| Descarga, montagem, desmontagem e carga de escoramento metálico tipos a e b para vigas e lajes<br>R\$9,25 (m <sup>3</sup> )                                   | $\frac{1\text{m}^3}{0,388} = \frac{9,25}{x}$<br><b>R\$3,58</b> | CFW 300- Manta de fibra de carbono (rolo 15 cm), incluindo mão de obra de execução e transporte)<br>R\$ 1640,00 | 1x317,90=<br><b>R\$1640,00</b>     |
| Preenchimento de furos com injeção de epóxi (sikadur 43) (execução incluindo o fornecimento de todos os materiais, exclui a execução do furo)<br>R\$ 94,30 kg | 1 x R\$94,30=<br><b>R\$94,30</b>                               | Viapol Carbon Prime-resina epóxi bi componente preço R\$ 107,20 kg  | 1 x R\$107,20=<br><b>R\$107,20</b> |

|   |  |   |                                   |
|---|--|---|-----------------------------------|
| Escoamento metálico tubular convencional(H=1,80À 3,20M ) com acessórios para lajes e vigas maciças exclusive transporte e montagem (aluguel mensal)<br>R\$ 31,32 (M³ * MÊS) | $\frac{1\text{m}^3}{0,388} = \frac{31,32}{x}$<br><b>R\$12,16</b> | Tratamento de superfície de concreto aparente, incluindo raspagem, estucagem e polimento com resina<br>R\$ 33,73 m² | 0,15x0,40x33,73<br><b>R\$2,03</b> |
| Fornecimento, fabricação, transporte e montagem de estrutura metálica em perfis laminados e chapas, inclusive pintura primer<br>R\$ 10,50 (KG)                              | 0,99x 6x 10,50=<br><b>R\$62,37</b>                               | Rolete De Canto Tira Bolha De Fibras 38mm X 18mm<br>R\$92,00  | 1x92,00<br><b>R\$92,00</b>        |
| Tratamento de superfície de concreto aparente, incluindo raspagem, estucagem e polimento com resina R\$ 33,73 m²  | 0,15x0,40x33,73<br><b>R\$2,03</b>                                |   |                                   |
| <b>TOTAL R\$</b>  | <b>174,45</b>  | <b>TOTAL R\$</b>  | <b>1841,23</b>                    |

Fonte: Elaborada pela autora

A partir do orçamento pode-se afirmar que o reforço com a chapa colada é o método mais econômico para aplicar nessa viga. Dependendo do porte da obra e da estrutura que necessite de reforço estrutural esse valor pode aumentar bem mais, esse valor é relativo a apenas uma viga.

Para o levantamento de custos em relação à chapa de aço colada levou-se em consideração a preparação da superfície da viga, transporte e assentamento de escoramento, o próprio escoramento, os serviços de fornecimento e mão de obra de assentamento de chapas e perfis laminados e a resina para o assentamento da chapa.

Para o reforço usando manta de fibra de carbono levou-se em consideração o tratamento da superfície do concreto, rolo tira bolhas, a resina para ligamento concreto e cola, manta de fibra para o reforço assim como a mão de obra para a realização do serviço de execução. Não sendo necessário o uso de escoramento para esse tipo de reforço, o que faz dele de mais fácil execução se comparado à chapa de aço colada.

Nos estudos de Moura (2013), com características semelhantes a este, ficou constatado que as estruturas de concreto se deterioram com o passar do tempo e não alcançam sua vida útil se não são bem projetadas, executadas com eficiência e submetidas a uma manutenção preventiva.

## 5 CONCLUSÃO

As estruturas no geral devem atender a necessidade inicial que pede o projeto, porém existem alguns problemas que influenciam na qualidade da estrutura podendo ser ocasionados por diversos fatores que vai desde o material utilizado até o erros na elaboração do projeto.

Após pesquisa exploratória, dimensionamento e estudo em referencial bibliográfico e seguindo os objetivos do trabalho optou-se por dois métodos que se apresentam dispostos neste trabalho como alternativas de reforço de estrutura em concreto armado.

Para cada técnica aqui estudada foi descrito o método de execução, vantagens e desvantagens, além do dimensionamento nos dois métodos. Para a mesma viga de exemplo foram calculados dois tipos de reforço que foram: o reforço através de chapa de aço colada com resina epóxi e o reforço com fibras de carbono.

Ao efetuar um comparativo de custo entre os dois tipos de reforços propostos para reabilitar a viga, através da planilha de custos SETOP que nos fornece o valor do material usado para reabilitar a estrutura assim como mão de obra para executar o serviço, os resultados mostram que a chapa de aço colada é um reforço mais viável que o reforço utilizando manta de fibra de carbono, no estudo de caso em questão. Isto se dá pelo fato de a chapa de aço colada ser um método mais barato como mostra o orçamento de custos no quadro (6), sendo a facilidade do material na região maior que a fibra de carbono, que é um material importado elevando os custos pelo transporte, embora a execução seja bem parecida à base de resina nos dois métodos.

O trabalho fica limitado ao reforço de uma viga não sendo analisado o projeto estrutural completo com fins de certificar o desempenho completo da edificação com intuito de prever futuras patologias.

Observa-se também que é importante considerar possíveis interrupções no uso da estrutura, pois o tempo em que estas estruturas estarão interrompidas poderá causar prejuízos financeiros, aliado ao custo do reparo em si e aos custos de manutenção, bem como considerar os riscos de execução que envolvem cada técnica.



Conclui-se que para a viga escolhida no estudo de caso a proposta mais interessante é usar chapa de aço colada com resina epóxi, e no geral fazendo-se necessário o reforço de vigas de concreto armado, deve ser escolhida e dimensionada a técnica mais apropriada.

### **5.1 Sugestões para trabalhos futuros**

Algumas estruturas apresentam patologias que podem ser provenientes de inúmeros fatores que vão de erros em projetos, execução, materiais não previstos, uso da estrutura para fins que não foi projetada ou até mesmo desgaste devido ao tempo de vida útil.

A área de recuperação estrutural tem sido muito solicitada devido ao envelhecimento das estruturas com o decorrer dos anos, exigindo com frequência esses trabalhos de reabilitação, com o conhecimento através desse estudo sugere-se como desenvolvimento de futuros trabalhos o tema: Reforço de vigas para esforço cortante em vigas de concreto armado com o uso de fibra de carbono e chapa de aço colada.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADORNO, F.V; DIAS, F. O. e SILVEIRA, J.C.O. *Recuperação e reforços de vigas de concreto armado*.2015. p.70. Universidade Federal de Goiás, escola de Engenharia Civil. Disponível em: <[https://www.eec.ufg.br/up/140/o/RECUPERAÇÃO\\_E\\_REFORÇO\\_DE\\_VIGAS.pdf](https://www.eec.ufg.br/up/140/o/RECUPERAÇÃO_E_REFORÇO_DE_VIGAS.pdf)>. Acesso em 15 de maio.2019.

ALBUQUERQUE, C. S. de. *Estudo teórico de reforço de vigas de concreto armado*. Essentia, Sobral, vol. 16, nº 1, p. 241-262, jun./nov. 2014.

APPLETON, J. *Construções em Betão–Nota histórica sobre a sua evolução*. Instituto Superior, 2005.

BEBER, A. J. *Avaliação do Desempenho de Vigas de Concreto Armado Reforçadas com Lâminas de Fibras de Carbono*. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre CPGEC/UFRGS,. Rio Grande do Sul, 2003, 108 p.

CHUST, C. R. *Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado: De acordo com a NBR 6118:2014*. 3.ed : Edufscar, 2014. V.1, 367p.

GIL, A. C. *Como elaborar projetos de pesquisa*. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

MACHADO, A. P. *Fibras de Carbono: Manual Prático de Dimensionamento*. BASF–The Chemical Company Carbono, 2006.

MINAS GERAIS. *Planilha de custos setop, 2019*. Disponível em: <http://www.transportes.mg.gov.br/municipio/consulta-a-planilha-de-precos-setopf>. Acesso em 16 de junho de 2019.

MORAES, C. A. *Intervenções metálicas em construções preexistentes: estudo de caso de interfaces*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade

Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2009. Disponível em: <[https://www.propec.ufop.br/uploads/propec\\_2016/teses/arquivos/tese170.pdf](https://www.propec.ufop.br/uploads/propec_2016/teses/arquivos/tese170.pdf)>. Acesso em: 20 de Abril de 2019.

MOURA, M. *Reforço estrutural em estruturas de concreto armado*. TCC do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Pampa - UNIPAMPA, Campus Alegrete, RS. 2013. p.82. Disponível em: <<http://dspace.unipampa.edu.br/bitstream/riu/1651/1/Refor%C3%A7o%20estrutural%20em%20estruturas%20de%20concreto%20armado.pdf>>. Acesso em: 25 de outubro de 2018.

NBR 6118. *Projeto de estruturas de concreto-procedimento*. Rio de Janeiro-RJ-Maio, 2014.p.238. Disponível em: <<https://engcivil20142.files.wordpress.com/2017/08/nbr-6118-2014-projeto-de-estruturas-de-concreto-procedimento-versc3a3ocorrigida.pdf>>. Acesso em: 10 de março de 2019.

NBR 6120. *Cargas para o cálculo de Estruturas de Edificações*. Rio de Janeiro-RJ, Nov.1980. Disponível em: <[https://rotaacessivel.com.br/\\_files/200000332-9e3c79f36d/nbr6120.pdf](https://rotaacessivel.com.br/_files/200000332-9e3c79f36d/nbr6120.pdf)>. Acesso em: 25 de outubro de 2018.

NBR 7007. *Aços carbono e micro-ligados para uso estrutural em geral*. Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <<https://www.normas.com.br/visualizar/abnt-nbr-nm/537/abnt-nbr7007-aco-carbono-e-aco-microligado-para-barras-e-perfis-laminados-a-quente-para-uso-estrutural-requisitos>>. Acesso em: 25 de outubro de 2019.

NBR 8800: *Projetos de estruturas de aço e estruturas mistas de aço e concreto de edifícios*. Rio de Janeiro. 2008. Disponível em: <[https://www.inti.gov.ar/cirsoc/pdf/acero/NBR8800\\_2008\\_1.pdf](https://www.inti.gov.ar/cirsoc/pdf/acero/NBR8800_2008_1.pdf)>. Acesso em: 25 de outubro de 2018.

PIMENTA, Taina Marinho. *Comportamento estrutural de vigas de concreto armado reforçadas com chapas metálicas, coladas com geopolímero, e com mantas de sisal*

*coladas com resina epóxi*. 2012. 65 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal da Paraíba, Paraíba, 2012. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/5439677-Universidade-federal-da-paraiba-ufpb-centro-de-tecnologia-curso-de-graduacao-em-engenharia-civil-trabalho-de-conclusao-de-curso.html>>. Acesso em: 22 de setembro de 2018.

REIS, A. P. A. *Reforço de vigas de concreto Armado por meio de barras de aço Adicionais ou chapas de aço e Argamassa de alto desempenho*. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos. 1998, p.239. Disponível em: <[http://www.set.eesc.usp.br/static/media/producao/1998ME\\_AndreaPradoAbreuReis.pdf](http://www.set.eesc.usp.br/static/media/producao/1998ME_AndreaPradoAbreuReis.pdf)>. Acesso em: 10 de junho de 2019.

REIS, L. S. N. *Sobre a recuperação e reforço das estruturas de concreto armado*. 114 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2001. Disponível em : < <http://hdl.handle.net/1843/BUDB-8AKG76>>. Acesso em: 22 de setembro de 2018.

RODRIGUES, Ronaldo Marcos. *Reabilitação estrutural em concreto armado*. Revista.unilins.edu, nº 1, 2017. Disponível em: <<http://revista.unilins.edu.br/index.php/cognitio/article/viewFile/237/227>>. Acesso em: 22 de setembro de 2018.

ROQUE, J. A.; MORENO JUNIOR, A. L. *Considerações sobre vida útil do concreto*. São Carlos, 2005.

SILVA, Erick Almeida da. *Técnicas de recuperação e reforço de estruturas de concreto armado*. 84 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo, 2006. Disponível em: < <https://www.passeidireto.com/arquivo/24598596/tecnicas-de-recuperacao-e-reforco-de-estruturas-de-concreto-armado>>. Acesso em: 22 de setembro de 2018.

SOUZA, V. C. M.; RIPPER, T. *Patologias, recuperação e reforço de estruturas de concreto*. São Paulo: Editora PINI, 1998. Disponível em: <<https://lucasmonteiro.site.files.wordpress.com/2017/08/vicente-custodio-e-thomaz-ripper-patologia-recuperacao-e-reforco-de-estruturas-de-concreto.pdf>>. Acesso em 05 de maio de 2019.

TAVES, Gazzoni Guilherme. *Engenharia de custos aplicada a construção civil*. 2014. 63p.- Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10011477.pdf>>. Acesso em 10 de abril de 2019.

TISAKA, Maçahiko. *Orçamento na construção civil: consultoria, projeto e execução*. São Paulo: Editora Pini, 2006.

ZUCCHI, Fernando Luiz. *Técnicas para o reforço de elementos estruturais*. Trabalho de conclusão de curso da Universidade Federal de Santa Maria Centro de tecnologia Curso de engenharia civil. Santa Maria, RS. 2015.p.50. Disponível em: <[http://coral.ufsm.br/engcivil/images/PDF/2\\_2015/TCC\\_FERNANDO%20LUIZ%20ZUCCHI.pdf](http://coral.ufsm.br/engcivil/images/PDF/2_2015/TCC_FERNANDO%20LUIZ%20ZUCCHI.pdf)>. Acesso em: 10 de abril de 2019.

## APÊNDICE

### Apêndice A: Memorial de cálculo

Equação de equilíbrio:

$$\frac{f_{ck}}{1,4} = \frac{25}{1,4} \quad (3)$$

$$\frac{f_{yk}}{1,15} = \frac{50}{1,15} \quad (4)$$

$$A_s \cdot f_{yd} = 0,85 \cdot B_w \cdot y \cdot f_{cd} \quad (5)$$

$$3,68 \cdot \frac{50}{1,15} = 0,85 \cdot 15 \cdot y \cdot \frac{2,5}{1,4}$$

$$160 = 22,77 \cdot y$$

$$y = 7,03 \text{ cm}$$

$$M_d = A_s \cdot f_{yd} \cdot (d - 0,5 \cdot y) \quad (6)$$

$$M_d = 3,68 \cdot \frac{(50)}{(1,15)} \cdot (36 - 0,5 \cdot 7,03) =$$

$$M_d = 5197,6 \text{ Kn/cm ou } 51,98 \text{ Kn / m}$$

$$M_k = \frac{M_d}{\gamma} \quad (7)$$

$$M_k = \frac{(51,98)}{1,4} = 37,13 \text{ Kn / m}$$

$$M_k < M_{max}$$

$$M_d = B_w \cdot 0,85 \cdot f_{cd} \cdot y \cdot (d - 0,5 \cdot y) \quad (8)$$

$$7735 = 0,85 \cdot \frac{2,5}{1,4} \cdot 15 \cdot y (36 - 0,5 \cdot y)$$

$$7735 = 1,52 \cdot 15y (36 - 0,5y)$$

$$7735 = 1,52 \cdot 540 y - 7,5y^2$$

$$7,5y^2 - 820,80y + 7735 = 0$$

$$y = 0,8 \cdot x \quad (9)$$

$$10,41 = 0,8 \cdot x$$

X= 13,01 cm (profundidade da linha neutra)

$$Rcd = 0,85 \cdot bw \cdot y \cdot fcd \quad (10)$$

$$Rcd = 0,85 \cdot bw \cdot fcd \cdot 0,8x$$

$$Rcd = 0,85 \cdot \frac{2,5}{1,4} \cdot 15 \cdot 10,41$$

$$Rcd = 237,01 \text{ KN}$$

$$\sigma_s = \frac{Rcd}{A_s} \quad (11)$$

$$\sigma_s = \frac{237,01}{3,68}$$

$$\sigma_s = 64,40 \text{ kN/cm}^2$$

$$\varepsilon_{si} = \frac{\sigma_s}{\varepsilon_s} \quad (12)$$

$$\varepsilon_{si} = \frac{64,40}{2,1 \cdot 10^{-4}}$$

$$\varepsilon_{si} = 30,76 \cdot 10^{-4} = 3,076 / 1000$$

$$\varepsilon_i = \varepsilon_{si} \cdot \frac{(h-x)}{(d-x)} \quad (13)$$

$$\varepsilon_i = \frac{3,076}{1000} \cdot \frac{(40 - 13,01)}{(36 - 13,01)} = 3,611 / 1000$$

$$E_s = E_c \cdot \left( \frac{d - x}{x} \right) \quad (14)$$

$$E_s = \frac{3,5}{1000} \cdot \frac{(36 - 13,01)}{13,01} =$$

$$E_s = \frac{6,18}{1000}$$

$$E_f = E_s \cdot \left( \frac{h - x}{d - x} \right) \quad (15)$$

$$E_f = \frac{6,18}{1000} \cdot \frac{(40 - 13,01)}{(36 - 13,01)} =$$

$$E_f = \frac{7,25}{1000}$$

$$E_{ref} = E_f - E_i \quad (16)$$

$$E_{ref} = \frac{7,25}{1000} - \frac{3,611}{1000} =$$

$$E_{ref} = \frac{3,645}{1000}$$

### Chapa de aço colada

$$f_{ydr} = \frac{250}{1,35} \quad (17)$$

$$f_{yd} = 185,18 \text{ Mpa}$$

$$M_d = A_s \cdot f_{yd} \cdot (d - 0,5 \cdot y) + A_{ref} \cdot F_{ref} \cdot (h - 0,5 \cdot y) \quad (18)$$

$$7735 = 3,68 \cdot \frac{50}{1,15} \cdot (36 - 0,5 \cdot 10,41) + A_f \cdot 18,518 \cdot (40 - 0,5 \cdot 10,41)$$

$$7735 = 5124,8 + A_{ref} \cdot 570,26$$



$$7735 - 5124,8 = A_{ref} \cdot 570,26$$

$$2610,20 = A_{ref} \cdot 570,26$$

$$A_{ref} = 4,57 \text{ cm}$$

$$E = \frac{4,57}{15} = 0,30 \text{ cm} \quad (19)$$

### Dimensionamento com fibra de carbono

$$E = \sigma^{\varepsilon} Ref \quad (20)$$

$$\sigma = 23000 \cdot \frac{3,645}{1000}$$

$$\sigma = 838,35 \text{ kN/cm}^2$$

$$Md = A_s \cdot f_{yd} \cdot (d - 0,5y) + A_f \cdot F_{ref} (h - 0,5y) \quad (21)$$

$$7735 = 3,68 \cdot \frac{50}{1,15} \cdot (36 - 0,5 \cdot 10,41) + A_{ref} \cdot 838,35 (40 - 0,5 \cdot 10,41)$$

$$7735 = 4927,20 + 29170,39 \cdot A_{ref}$$

$$A_{ref} = 0,096 \text{ cm}^2$$

Agora se pode calcular a largura necessária da fibra de carbono:

$$L_f = \frac{0,096}{0,0166} \quad (22)$$

$$L_f = 5,79 \text{ cm}^2$$

Como a largura da fibra deve ser a mesma da viga, chega-se a mais de uma camada de fibra.

$$\frac{5,79}{15} = 0,38 \text{ camadas}$$

ANEXO 1 - Projeto arquitetônico completo da edificação residencial

**QUANTITATIVO ALVARO**

| Item | Descrição               | Unidade | Quantidade |
|------|-------------------------|---------|------------|
| 1    | Alvará de construção    | Unidade | 1          |
| 2    | Alvará de funcionamento | Unidade | 1          |
| 3    | Alvará de habitação     | Unidade | 1          |

**QUANTITATIVO MATERIAIS**

| Item | Descrição        | Unidade | Quantidade |
|------|------------------|---------|------------|
| 1    | Cimento Portland | kg      | 1000       |
| 2    | Areia            | m³      | 50         |
| 3    | Brita            | m³      | 50         |
| 4    | Alvenaria        | m²      | 100        |
| 5    | Revestimento     | m²      | 200        |
| 6    | Parquet          | m²      | 150        |
| 7    | Sanitário        | Unidade | 1          |
| 8    | Elétrica         | Unidade | 1          |
| 9    | Hidráulica       | Unidade | 1          |
| 10   | Arquitetônica    | Unidade | 1          |

**1 - TERREO (7,30m)**

**2 - Elevação**

**3 - Corte**

**4 - Perspectiva Frente Esquerda**

**5 - Perspectiva Frente Direita**

**6 - Perspectiva Lado Esquerdo**

**7 - Perspectiva Lado Direito**

**8 - Corte**

**BIMACON**  
PROJETOS E EXECUÇÕES

**PROJETO ARQUITETÔNICO**

ARQUITETO: RESIDENCIAL

UBI: CONDOMÍNIO LA LANCHONETA

PROJETADO: CARLOS ROBERTO TAVERES

R.L.: JOSE NELSON VIEIRA DA ROCHA

DETALHE: PLANTAS, CORTES E SEÇÕES EM SEU CONJUNTO DE DESENHO E EXECUÇÃO EM PLANO DE CADERNO DE PROJETO

ESCALA: 1:100

DATA: 10/01/19

PROPRIETÁRIO: CARLOS ROBERTO TAVERES

CPF: 117.734.074-00

ENDEREÇO: RUA VIEIRA DA ROCHA, 100 - JARDIM VILA BELA - SÃO PAULO - SP

PROJETO: 01/01/19

PROJETO: 01/01/19

PROJETO: 01/01/19

ESTE PROJETO É PROPRIEDADE DA BIMACON PROJETOS E EXECUÇÕES E NÃO DEVE SER REPRODUZIDO, COPIADO, IMPRESSO OU UTILIZADO SEM A AUTORIZAÇÃO DA BIMACON PROJETOS E EXECUÇÕES. A BIMACON PROJETOS E EXECUÇÕES NÃO SE RESPONSABILIZA POR ERROS OU OMISSÕES DE QUALQUER NATUREZA.