

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE ENGENHARIA
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM
ANÁLISE E DIMENSIONAMENTO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO
ARMADO E AÇO

Amáger Tótaró Vieira

Técnicas de reforço e recuperação de estruturas de concreto armado

Belo Horizonte
2018

Amáger Tótaró Vieira

Técnicas de reforço e recuperação de estruturas de concreto armado

Monografia de Especialização apresentada ao Departamento de Engenharia de Estruturas da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Análise e Dimensionamento de Estruturas de Concreto Armado e Aço.

Orientador: Prof. Pedro Vianna Pessoa de Mendonça, Mestre

Belo Horizonte
2018



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE ENGENHARIA
*Curso de Especialização em Análise e Dimensionamento de
Estruturas de Concreto Armado e Aço*

ATA DA DEFESA

“Técnicas de Reforço e Recuperação de Estruturas de Concreto Armado”


AMÁGER TÓTARO VIEIRA

Trabalho Final defendido perante a banca examinadora, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de “Especialista em Análise e Dimensionamento de Estruturas de Concreto Armado e Aço”

Aprovada em 03 de agosto de 2018

Por:

Prof. M.Sc. Pedro Vianna Pessoa de Mendonça
Avaliador 1 – Orientador


Nota: 80 (OITENTA)

Prof. M.Sc. Élvio Mosci Piancastelli
Avaliador 2


Nota: 80 (Oitenta)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, Jesus e meu Anjo da Guarda que me deram a oportunidade de estar onde estou e capacidade pra continuar sempre seguindo em frente. Sem Eles, nada seria possível.

Agradeço meu pai, meu maior exemplo de homem e imensurável apoiador, torcedor, fonte de amor e minha maior base para que eu alcance meus objetivos.

Agradeço à minha mãe que é a pessoa por quem crio forças para todos os dias me levantar e seguir em frente para que sinta orgulho do homem que me torno.

Agradeço aos meus irmãos e minha família, pelo carinho, amor e ajuda sempre que precisei, mesmo que não peça. Em especial, a minha irmã Águida, que graças ao seu apoio, auxílio e atenção consigo entregar este trabalho finalizado.

Agradeço a minha namorada, grande amiga e exemplo de profissionalismo, organização e seriedade, que por vários momentos acabou até mesmo se prejudicando deixando de fazer suas funções para me auxiliar na elaboração deste trabalho.

Agradeço a todos os professores e funcionários da UFMG, que sempre muito educados me passaram o máximo de conhecimento e sempre se mantiveram dispostos a oferecer a mão quando necessitei e, assim, me preparar para este novo passo de minha carreira como Engenheiro Civil. E muito especialmente, ao meu orientador Professor Pedro Vianna que, além dos conhecimentos passados em sala de aula e de guiar-me neste trabalho, intercedeu em meu favor ampliando meu prazo para conclusão e, se hoje tenho a possibilidade de concluir o curso de especialização, é graças a ele.

Resumo

O presente trabalho indica aos leitores as diferentes técnicas de reforço e recuperação de estruturas de concreto armado, informa parâmetros baseados em estudos estatísticos e como proceder à avaliação dos sintomas que uma estrutura apresenta indicando a necessidade de eventual intervenção. As técnicas utilizando concreto ou concreto armado, estruturas metálicas, protensão externa e polímeros reforçados com fibras (maior detalhamento para as fibras de carbono) foram detalhadas por serem as mais comumente empregadas no mercado da construção civil atualmente. Definida a técnica, elucida-se as providências a serem tomadas de modo a preestabelecer as condições necessárias para a ótima aplicação do método escolhido. Destaca-se as vantagens e desvantagens de cada material e suas diferentes aplicabilidades, a conveniência quanto a sua empregabilidade e trabalhabilidade na execução, auxiliando na tomada de decisão.

Palavras-chave: reforço e recuperação; estruturas; concreto; aço; polímeros reforçados com fibras.

Abstract

The present work indicates to the readers the different techniques of reinforcement and recovery of reinforced concrete structures, informs parameters based on statistical studies and how to proceed with the evaluation of the symptoms that a structure presents indicating the need for eventual intervention. The techniques using concrete or reinforced concrete, metallic structures, external pretension and fiber reinforced polymers (more detailing for carbon fibers) were detailed because they are the most commonly used in the civil construction market today. Once the technique is defined, the steps to be taken are established in order to preset the necessary conditions for the optimal application of the chosen method. It emphasizes the advantages and disadvantages of each material and its different applicabilities, the convenience as to its employability and workability in the execution, assisting in the decision making.

Keywords: reinforcement and recovery, structures; concrete; steel; polymers reinforced with fibers.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: HIPÓTESES PARA RECONVERSÃO DE ESTRUTURAS COM DESEMPENHO INSATISFATÓRIO.	13
FIGURA 2: DESLOCAMENTO DE PLACAS DE CONCRETO, ESTRUTURA DA PONTE ESTÁ BEM COMPROMETIDA E AMEAÇA DESABAR.....	19
FIGURA 3: AUMENTO DA SEÇÃO DO PILAR.	23
FIGURA 4: ACRÉSCIMO DE ARMADURA PARA COMPRESSÃO, COM APLICAÇÃO DE CONECTORES PARA RESTRINGIR FLAMBAGEM.	24
FIGURA 5: ENCAMISAMENTO DE PILAR E ENCAMISAMENTO DE PILAR-FORMA.	25
FIGURA 6: REFORÇO COM PERFIS METÁLICOS.	26
FIGURA 7: REFORÇO ESTRUTURAL EM ESTRUTURA METÁLICA.....	28
FIGURA 8: REFORÇO PARA ESTRUTURAS COM PROTENSÃO EXTERNA.....	29
FIGURA 9: REFORÇO PARA ESTRUTURAS COM PROTENSÃO EXTERNA.....	30
FIGURA 10: DIAGRAMA TENSÃO-DEFORMAÇÃO DE PLÁSTICOS PARA FRP.....	32
FIGURA 11: TECIDOS DE FRP.	33
FIGURA 12: FORMAS GERAIS DE REFORÇO COM FRP.	34

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1: PRINCIPAIS SINTOMAS DAS PATOLOGIAS ESTRUTURAIS.....	14
QUADRO 2: PRINCIPAIS FATORES DE DETERIORAÇÃO DAS ESTRUTURAS.	18
QUADRO 3: PRÓS E CONTRAS DAS TÉCNICAS DE REFORÇO E RECUPERAÇÃO.	37

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1: PROBLEMAS PATOLÓGICOS MAIS COMUNS.....	14
---	----

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: TÉCNICAS DE REPARO PARA PROCESSOS CORROSIVOS EM ESTRUTURAS.....	22
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

FRP *Fiber Reinforced Polymers*

GPa Giga Pascal

MM Milímetro

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 OBJETIVOS	16
2.1 Objetivo Geral	16
2.2 Objetivos Específicos	16
3 CONTEXTUALIZAÇÃO.....	17
4 TÉCNICAS DE REFORÇO E RECUPERAÇÃO.....	20
4.1 Concreto ou Concreto Armado	21
4.2 Perfis e Chapas de Aço	26
4.3 Protensão Externa	29
4.4 Polímeros Reforçados de Fibras	32
5 CONCLUSÃO	39
6 REFERÊNCIAS	41

1 INTRODUÇÃO

Ao se falar sobre estruturas, a primeira coisa que se vem à mente, se tratando do material a ser empregado, é o concreto armado. Haja vista, que este ainda é o elemento estrutural mais utilizado no mundo e, isso se deve, em grande parte, pelos fatos de:

- Com concreto armado, ser possível moldar a estrutura conforme se desejar e a criatividade permitir;
- Possuir relativa baixa complexidade de execução;
- Unir a resistência à compressão do concreto com a resistência à tração do aço;
- Possuir menor custo de operação que seus concorrentes.

Com o passar dos anos, os desejos por projetos cada vez mais ousados se tornou comum e, com isso, foram desenvolvidos softwares de cálculo estrutural, criadas novas técnicas e métodos, materiais muito mais sofisticados e muitas outras formas de se conseguir vãos sempre maiores, menos pilares, vigas escondidas no intuito de, em alguns casos, melhorar a estética e, em outros, a funcionalidade da obra.

Entretanto, apesar de possuir um vasto número de vantagens, a infinidade de possibilidades na aplicação do concreto armado não está isenta de imperfeições, seja por erros de projeto ou de sua execução, utilização de materiais de má qualidade ou de finalidade incorreta da estrutura. Na ocorrência de alguma dessas situações, deve-se efetuar um estudo detalhado a fim de se obter a melhor solução para a patologia que se apresentar.

Concomitantemente, para o nosso bem, o tempo que passou e mostrou que até essas estruturas de concreto armado não são eternas, trouxe também tecnologias capazes de reforçar ou recuperar uma estrutura danificada. Ou seja, em muitos casos, a demolição acaba por se tornar uma opção ao invés de uma essencialidade, o que por sua vez não significa dizer que seja algo mais simples ou mais econômico de se efetuar.

Há situações como o caso de estruturas mais antigas, carentes de projetos e/ou documentos que detalhem o processo de construção, estruturas que estejam sendo utilizadas onde é necessária a retirada de seus usuários, possibilidade de material mais caro ou mão de obra especializada.

No diagrama a seguir, retirado da dissertação de mestrado de Reis (2001), tem-se um questionário que ilustra o caminho que se pode seguir a fim de verificar a viabilidade em reparar, demolir ou apenas limitar a utilização de uma estrutura.

Figura 1: Hipóteses para reconversão de estruturas com desempenho insatisfatório.



Fonte: Reis, (2001).

No livro *Reforço de Estruturas de Concreto Armado com Sistemas Compostos FRP*, teoria e prática, Machado e Machado (2015), os autores enumeram as principais manifestações, com seus respectivos percentuais de ocorrência, onde uma estrutura mostra que precisa de um olhar mais cuidadoso, como mostra-se a seguir.

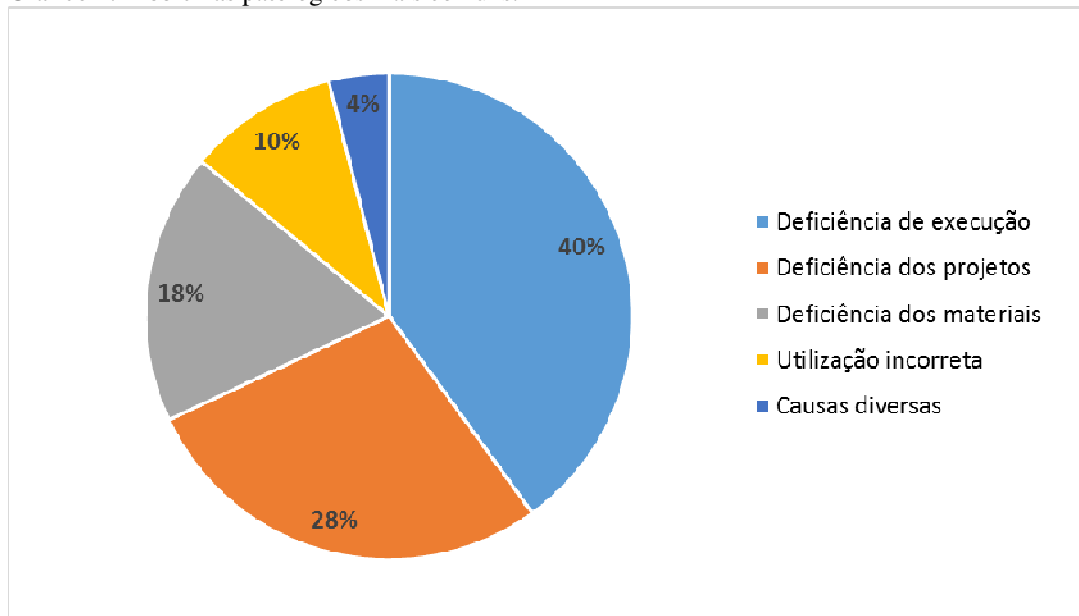
Quadro 1: Principais sintomas das patologias estruturais.

Manchas superficiais no concreto armado	22%
Fissuras e trincas (ativas ou passivas)	21%
Corrosão de armaduras no concreto armado	20%
Segregações dos agregados do concreto	20%
Deformações excessivas (flechas e rotações)	10%
Deterioração e degradação química	7%

Fonte: Machado e Machado, (2015).

As falhas estruturais podem ser originadas em diferentes etapas, desde o planejamento até a utilização da estrutura. As etapas da construção são planejamento, projeto, fabricação dos materiais, execução e utilização. O gráfico a seguir apresenta as principais causas que podem levar a estrutura a necessitar de uma intervenção.

Gráfico 1: Problemas patológicos mais comuns.



Fonte: Machado e Machado, (2015).

Tomada a decisão pelo tratamento estrutural pode-se optar por encamisamento da estrutura, colagem de sistemas compostos de polímeros reforçados com fibra (FRP, do inglês, *fiber reinforced polymers*), uso de chapas e perfis metálicos e protensão de armaduras

externas. Estas são algumas das formas de se trabalhar a peça que sofreu efeito deletério.

Esta análise deve ser feita por um especialista e, sempre, o mais breve possível pois, trabalhar com uma estrutura já estabelecida se torna uma tarefa mais complexa como será detalhado neste trabalho.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O presente trabalho possui como finalidade a captação de variadas técnicas para se efetuar o reforço ou recuperação de estruturas, descrevendo sua metodologia, citando vantagens e desvantagens e ilustrando os métodos e técnicas, através de uma revisão em trabalhos legitimados, leitura de revistas técnicas, conversas com profissionais da área e anotações em aula durante o Curso de Pós-Graduação em Análise e Dimensionamento de Estruturas de Concreto Armado e Aço.

2.2 Objetivos Específicos

- Explicitar as técnicas de reforços ou recuperação de estruturas;
- Auxiliar profissionais no processo de decisão da técnica a ser aplicada para reforço ou recuperação de estrutura;
- Estimular o aperfeiçoamento das técnicas citadas e a pesquisa de outras que não foram abordadas neste estudo.

3 CONTEXTUALIZAÇÃO

Reforço e recuperação estrutural se baseiam, basicamente, no fato de a estrutura estar comprometida, ou seja, quando não resiste de forma adequada aos esforços solicitantes que nela atuam, e assim, se torna carente de uma intervenção para aprimorar seu uso ou, em caso mais drástico, sua demolição.

A necessidade de intervenção pode ocorrer na situação que a estrutura ainda esteja em fase de execução ou quando já se encontre plenamente estabelecida, neste caso, dificultando ainda mais a aplicação de alguns dos métodos que aqui serão apresentados.

No reforço, as providências a serem tomadas são com o intuito de aumentar a capacidade resistente da peça a ser trabalhada, quando se tem em vista, por exemplo, fazer uma mudança da utilização da estrutura (ex: residencial para comercial).

Já a recuperação, serve para o caso de devolver à estrutura o desempenho perdido. Embora essas definições sejam apenas conceituais, dependendo do ponto de partida do raciocínio feito, segundo o professor Piancastelli.

Uma estrutura não cai da noite para o dia, a menos que haja uma somatória de erros ou caso atue nela uma força externa. É importante estar atento porque a estrutura costuma dar sinais visíveis de que nem tudo está como deveria estar. No entanto, não necessariamente esses sinais serão sempre imediatos, pois há situações em que se demoram anos para que os sinais de comprometimento sejam revelados e outras em que uma patologia acaba por encobrir outra.

O quadro a seguir, apresenta os principais fatores de deterioração das estruturas.

Quadro 2: Principais fatores de deterioração das estruturas.

	Deterioração mecânica	Deterioração física	Deterioração química	Deterioração eletroquímica
Decorre de:	<input type="checkbox"/> Choques, impactos, recalque diferencial das fundações	<input type="checkbox"/> Desgaste superficial, cristalização de sais nos poros do concreto, retração hidráulica, gradiente térmico e ação do fogo	<input type="checkbox"/> Ataque por ácidos, água pura, carbonatação, ataque de cloretos, etc.	<input type="checkbox"/> Corrosão das armaduras
Sintomas observados:	<input type="checkbox"/> Fissuração	<input type="checkbox"/> Desgaste superficial	<input type="checkbox"/> Expansão por fissuração do concreto	<input type="checkbox"/> Deterioração e perda da seção do aço
	<input type="checkbox"/> Lascamento do concreto	<input type="checkbox"/> Fissuração	<input type="checkbox"/> Decomposição química da pasta	<input type="checkbox"/> Perda de aderência aço/concreto
	<input type="checkbox"/> Perda de armadura	<input type="checkbox"/> Desagregação do concreto		<input type="checkbox"/> Expansão e fissuração

Fonte: Revista Téchne, (2015).

De qualquer forma, seja por problemas no concreto, no aço ou no conjunto, diversos são os sintomas que a estrutura apresenta no intuito de mostrar que precisa ser examinada com mais cuidado. São apenas algumas dessas manifestações patológicas:

- Trincas;
- Fissuras;
- Rachaduras;
- Manchas;
- Infiltrações;
- Flechas exageradas;
- Descolamento de placas de concreto;
- Corrosão da armadura.

Figura 2: Deslocamento de placas de concreto, estrutura da ponte está bem comprometida e ameaça desabar.



Fonte: G1 Globo, (2014).

No atual cenário mundial foram concebidas inúmeras tecnologias, materiais e métodos para aperfeiçoar a construção e, assim, minimizar os problemas estruturais, mas, em contrapartida, cobranças cada vez maiores por prazos mais curtos, escolha de materiais com qualidade duvidosa a fim de diminuir os custos, mão de obra desqualificada que pode fazer uso de um produto excelente, mas de forma errada, acabam por gerar danos que, quanto mais tarde tratados, mais irão onerar e complicar o reparo.

Diversas são as formas de se efetuar uma intervenção numa estrutura avariada, e por isso, cada cenário deve ser avaliado detalhadamente.

Consultas a trabalhos bem-sucedidos é sempre um caminho positivo a ser seguido a fim de precisar a melhor técnica a ser utilizada, tendo como premissa que este ainda é um terreno relativamente novo e muito amplo.

4 TÉCNICAS DE REFORÇO E RECUPERAÇÃO

Qualquer que seja o componente escolhido para se efetuar a intervenção, a primeira coisa a se fazer é adotar medidas no intuito de se preparar a estrutura para o recebimento da correta aplicação da técnica em questão, seja ela qual for.

Cada técnica possui seu procedimento próprio e neste capítulo serão abordados os cuidados, vantagens e desvantagens, passo a passo da preparação a execução. O professor Piancastelli (2015) detalha o porquê e como se efetuar o devido preparo da superfície, exemplificando:

São duas as finalidades básicas do tratamento:

- Retirar todo material deteriorado ou contaminado;
- Propiciar as melhores condições de aderência entre o substrato e o material de reparo.

Na sua execução, podem ser adotados os seguintes procedimentos:

- Escarificação manual (talhadeira, ponteiro, marreta);
- Escarificação mecânica (martelete, rompedor, fresa);
- Escovamento manual (escova de aço);
- Lixamento manual ou elétrico (lixas para concreto e aço, lixadeira elétrica);
- Hidro-demolição (equipamento específico);
- Jateamento de areia (equipamento específico);
- Jateamento de água e areia (equipamento específico);
- Queima controlada com chama (maçarico);
- Corte de concreto (disco de corte);
- Jateamento de ar comprimido (equipamento específico);
- Jateamento de água fria ou quente (equipamento específico);
- Jateamento de vapor (equipamento específico);
- Lavagem com soluções ácidas (solução de ácido clorídrico, Reebaklens da Fosroc);
- Lavagem com soluções alcalinas (solução de “soda cáustica”);
- Aplicação de removedores de óleos e graxas (Reebexol Super, Fosroc);
- Aplicação de removedores de gordura e ácido úrico - suor (álcool isopropílico, acetona);
- Umedecimento ou saturação da superfície do concreto com água (aspersão, pano ou areia molhados) (Piancastelli, 2015, p.02).

4.1 Concreto ou Concreto Armado

Dentre as técnicas que envolvem o uso de concreto armado, as mais utilizadas são o encamisamento da estrutura e a adição de armaduras.

O encamisamento nada mais é que proporcionar um aumento da seção transversal da estrutura “doente” existente por meio da criação de uma “camisa de concreto”, geralmente através do uso de concreto, argamassa ou graute, para que esta “camisa” possa abranger e aderir à estrutura defeituosa e trabalharem como uma.

Este método se faz necessário, entre outras razões, quando a estrutura a ser trabalhada sofre de um descolamento de placas de concreto, quando sua seção transversal atual está inferior à necessária, seu cobrimento mínimo não atende ou possui armadura existente aparente. Claro que, nesta última situação, caso a armadura encontre-se degradada, deve-se primeiro efetuar seu reparo, senão, assim se encobriria uma patologia que mais tarde tornaria a se manifestar.

A devida reparação de uma armação oxidada pode ser realizada de diversas formas, a tabela a seguir (Reis, 2001) ilustra variados tipos e o passo a passo dessas técnicas.

Tabela 1: Técnicas de reparo para processos corrosivos em estruturas.

Tipo de reparo	Passos
Reparos localizados ou generalizados	a) Remover cuidadosamente o concreto afetado e os produtos de corrosão b) tratamento das armaduras: limpeza superficial, uso de pinturas protetoras de base mineral ou orgânica (epóxi) c) reconstituição do concreto: concretos ou argamassas comuns ou modificada por polímeros ou ainda os grautes d) principais polímeros modificadores de argamassas e concretos: látex tipo acrílico, acrílico modificado e estireno-butadieno (SBR) e) principais polímeros aglomerantes das argamassas poliméricas: resinas epóxi, poliéster e metilmetacrilato.
Galvanização e pinturas epoxídicas	a) Limpeza das barras b) aplicação do produto.
Remoção eletroquímica dos cloretos	a) Aplicação de material com resinas de troca iônica (argamassa condutora) sobre toda a superfície do concreto b) colocação de metal nobre sobre o concreto que atuará como ânodo (carregado positivamente) c) a armadura será o catodo (carregado negativamente) d) conectar a fonte eletricamente ao metal nobre e também à armadura, promovendo correntes contínuas elevadas.
Controle do processo catódico	a) Uso de pintura seladora por meio de produtos poliméricos ou revestimentos superficiais.
Eliminação do eletrólito	a) Secagem dos poros do concreto através de lâmpadas e ventilação artificial.
Proteção catódica com ânodos de sacrifício	a) Limpeza das barras da região deteriorada b) instalação de ânodo de sacrifício junto à armadura c) verificar com um multímetro se há condutividade elétrica entre o aço e o ânodo de sacrifício d) vida útil limitada.
Proteção catódica por corrente impressa	a) Coloca-se um sistema de ânodo sobre o concreto cobrindo com material condutor. b) interligar o sistema de ânodo ao terminal positivo do sistema retificador de corrente e a armadura ao terminal negativo. c) ao funcionar, a armadura passa a funcionar como catodo, ficando protegida.
Impregnação profunda de concreto com polímeros	a) Secagem do concreto b) impregnação, tendo como resultado estrutura tamponada, com teor baixo de umidade
Impregnação do concreto com inibidores de corrosão	a) Impregnação próxima à armadura, bloqueando o processo catódico, eliminando a ação da corrosão.

Fonte: Reis, (2001).

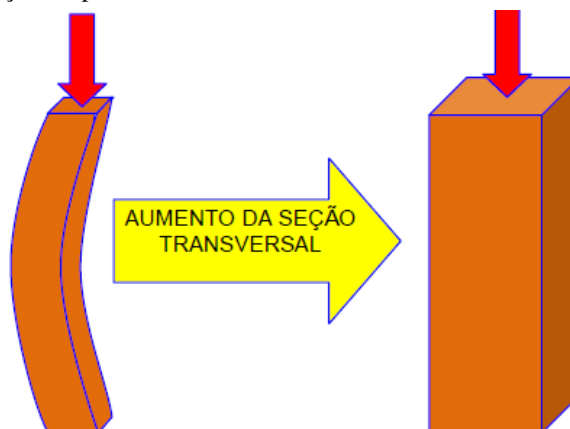
Embora o encamisamento da estrutura seja uma técnica mais simples de ser executada, ou seja, não necessite de mão de obra muito qualificada, e seja até mais viável economicamente que a maioria, possui como desvantagens:

- Influir negativamente no ponto de vista arquitetônico, pois aumenta a seção das peças trabalhadas;
- Aumenta-se o peso da estrutura;
- Pode ocasionar uma restrição da utilização da estrutura;
- Grande poluição visual e sonora, devido ao uso de concretagem e equipamentos para preparar as peças a serem trabalhadas.

Uma alternativa para reduzir alguns desses impactos negativos, como o aumento de seção e conseqüentemente do peso da estrutura, seria fazer a utilização de concreto de alto desempenho.

A figura a seguir ilustra o que acontece na situação de um pilar, dimensionado com seções inferiores as necessárias, onde nele atua uma carga normal fazendo com que ocorra flambagem da peça. Ao efetuar-se a ampliação da seção transversal, por meio de um encamisamento, percebe-se que já elimina este problema de flambagem.

Figura 3: Aumento da seção do pilar.



Fonte: Speranza Engenharia, (2018).

A adição de armaduras, realizada conjuntamente ao encamisamento, como o próprio nome já diz, se baseia em aumentar a armadura total da seção transversal da estrutura a ser

reparada, caso a existente não esteja atendendo adequadamente aos esforços solicitantes, no caso de recuperação, ou vá ser realizado aumento destes esforços, no caso de reforço.

A figura a seguir, retirada da revista IBRACON (abril-junho/2016), ilustra a colocação de barras de aço adicionais em uma viga, detalhando as ranhuras e os conectores metálicos.

Figura 4: Acréscimo de armadura para compressão, com aplicação de conectores para restringir flambagem.



Fonte: Revista IBRACON ABR-JUN 2016, p. 26.

Para a correta execução destes métodos, segue-se um procedimento como abaixo:

- Faz-se o alívio das cargas atuantes na peça;
- Prepara-se a superfície da peça tornando-a rugosa;
- Limpa-se a superfície, para que a sujeira não atrapalhe a devida aderência entre os materiais velho e novo;
- Faz-se a colocação de armaduras adicionais ou a recuperação das existentes, conforme for necessário;
- Monta-se a forma necessária;
- Efetua-se a concretagem (argamassa, graute, entre outros) e finaliza-se com a cura.

Figura 5: Encamisamento de pilar e encamisamento de pilar-forma.



Fonte: TEPREM, (2018).

4.2 Perfis e Chapas de Aço

Outra solução, comumente empregada, é a utilização de perfis e chapas de aço. Sendo esta, uma alternativa altamente mais rápida e limpa de se executar que a com o uso de concreto armado.

Porém, a escolha pela utilização deste método geralmente acarreta um custo um pouco mais elevado e mão de obra mais especializada que a anterior. Além do fato de às vezes ser necessário utilizar perfis relativamente altos sob vigas e lajes a fim de aumentar sua resistência à flexão e, com isso, impactando negativamente na arquitetura local.

Podem ser utilizadas também chapas de aço, fixadas às peças que receberão o tratamento por meio de parafusos, chumbadores, resinas epóxi ou a combinação de ambos, de modo a garantir uma perfeita interação da peça a ser trabalhada com estas chapas.

Neste último caso, a influência da altura da chapa é praticamente desprezível no ponto de vista arquitetônico, entretanto, têm-se como ponto negativo os grandes comprimentos comumente utilizados e o peso elevado das peças, tornando trabalhoso o processo em estruturas já estabelecidas. Fator este que também se aplica aos perfis.

A figura a seguir exemplifica um caso de uso de perfis metálicos onde, caso a pessoa desejasse esconder os perfis, deveria efetuar a colocação de um forro em que perderia no pé direito, a altura referente ao perfil utilizado.

Figura 6: Reforço com perfis metálicos.



Fonte: Global Groups, (2018).

Devido ao fato de sempre serem usados perfis ou chapas externamente à peça a ser trabalhada, esta técnica também recebe o nome de “reforço com adição de armaduras exteriores” (Zucchi, 2015), e semelhantemente à técnica anterior deve, primeiramente, proporcionar alívio das cargas atuantes sobre a estrutura e prepará-la de forma adequada para receber o reforço.

O passo a passo para esta técnica segue, basicamente, como descrito a seguir:

- Faz-se o alívio das cargas atuantes na peça;
- Efetua-se a remoção da superfície desgastada que entrará em contato com os perfis/chapas;
- Faz-se com que a superfície a ser trabalhada torne-se rugosa, porém não em excesso, para que assim não haja um desperdício do uso de adesivo epóxi que será utilizado para aderir o reforço à peça que será reforçada;
- Limpa-se a superfície e certifica-se que esta esteja seca, para que haja a devida aderência entre o adesivo, a peça a ser trabalhada e o perfil/chapa de aço;
- Termina-se com a aplicação do adesivo epóxi entre a superfície de concreto e a chapa, no caso do uso exclusivo de adesivo. Em casos que houver chumbadores, primeiro se encaixa a peça em furos pré-estabelecidos;
- Os elementos devem permanecer escorados até que estejam devidamente vinculados.

Pelo fato de as estruturas metálicas possuírem baixa resistência com relação a altas temperaturas, Juvandes (2002) alerta para que se execute a devida proteção dos perfis/chapas por meio de pinturas ou barreiras que assegurem uma proteção mínima de 30 minutos.

Figura 7: Reforço estrutural em estrutura metálica.



Fonte: Núcleo Fix, (2018).

4.3 Protensão Externa

Diferentemente das técnicas até aqui apresentadas, esta possui como fator diferencial o fato de não ser necessário efetuar o alívio dos esforços atuantes sob a peça que receberá o reforço. Aliado a isso a vantagem de poder alcançar enormes vãos.

Todavia, este processo é extremamente oneroso e trabalhoso, tornando-se mais viável se tratando de grandes obras, como pontes ou viadutos. Até porque, esta é uma situação em que sua paralisação acarretaria prejuízos a toda população, sem citar o trabalho que seria desmobilizar uma ponte ou viaduto para se efetuar um reforço ou recuperação pelas vias citadas anteriormente.

Figura 8: Reforço para estruturas com protensão externa.



Fonte: EVEHX (2018).

Para que se tenha em mente a dimensão da perturbação que seria, basta imaginar realizar apenas três dos procedimentos necessários para a técnica de concreto armado, num local em que possui apenas uma ponte como porta de entrada:

- Realizar escoramento;
- Efetuar a concretagem;
- Aguardar o tempo de cura.

Cada um desses passos toma um tempo significativo e hoje, com o dinamismo que o mundo exige, ficar estagnado por algumas horas gera grandes infortúnios. Numa situação como a descrita acima, todo abastecimento de insumos da cidade ficaria comprometido no mesmo tempo necessário para que o problema fosse sanado.

Figura 9: Reforço para estruturas com protensão externa.



Fonte: EVEHX (2018).

A figura acima exemplifica um reforço em uma ponte executado por meio de protensão externa, de forma a propiciar a conclusão do serviço com o mínimo de prejuízos aos seus usuários.

Outro ponto negativo também a ser destacado, como a própria figura acima ilustra claramente se dá pelo fato de os cabos de protensão serem externos a estrutura, ficando assim,

suscetíveis às intempéries, ações do fogo e mesmo atos de depredação.

Para que se diminua a chance que ocorra alguma dessas situações, uma medida a ser tomada é tomar as devidas precauções de modo a proteger os cabos.

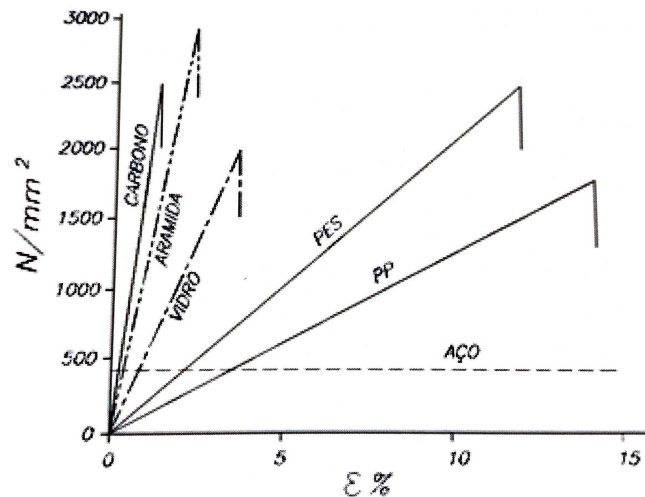
4.4 Polímeros Reforçados de Fibras

Surgidos no final do século passado, os sistemas compostos de polímeros foram concebidos no intuito de aprimorar a técnica de chapas coladas, que possuíam grande dificuldade de manuseio devido ao seu elevado peso e a questão da oxidação, por serem metálicas.

Conforme Machado e Machado (2015), materiais compostos são classificados como aqueles que são estruturados com fibras contínuas e matriz polimérica, sendo ainda, anisotrópicos, heterogêneos e com comportamento linear elástico até a ruptura, ou seja, não possuem fase plástica como o aço.

O diagrama de tensão/deformação a seguir ilustra devidamente essa relação.

Figura 10: Diagrama tensão-deformação de plásticos para FRP.

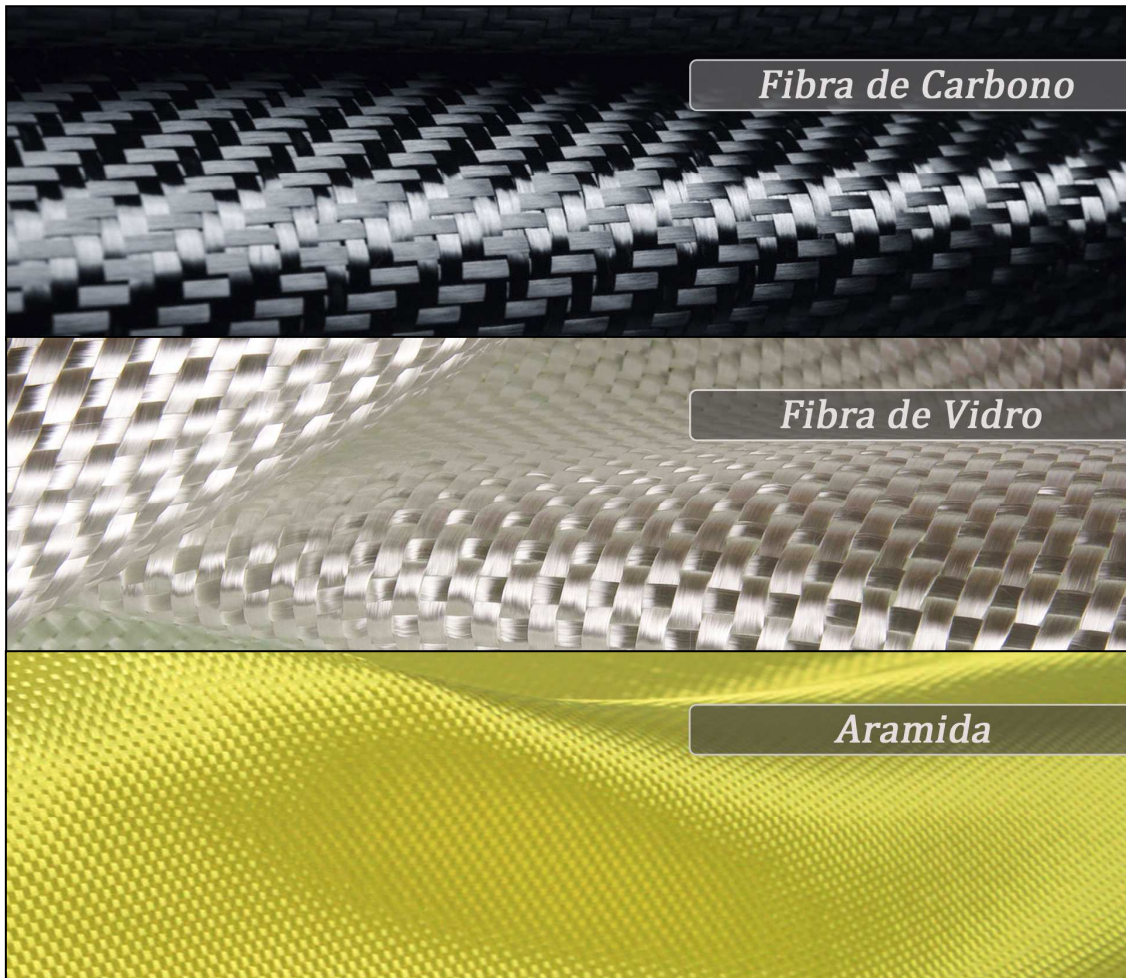


Fonte: Machado, Machado (2015).

Sendo esta a mais recente das técnicas abordadas neste trabalho, tanto que ainda não dispõe de uma norma regulamentadora nacional para seu uso, o reparo via sistemas compostos de materiais poliméricos possui ainda um custo elevado, porém, hoje bem mais competitivo com o custo de seus concorrentes, devido à crescente popularização da técnica, aliada à redução do valor da matéria prima e aumento da sua produção industrial.

Dentre os materiais mais popularmente encontrados na fabricação de polímeros reforçados com fibras, podemos destacar o carbono, vidro e a aramida.

Figura 11: Tecidos de FRP.



Fonte: Advanced Vacuum, (2015).

Estes são encontrados em diversas formas:

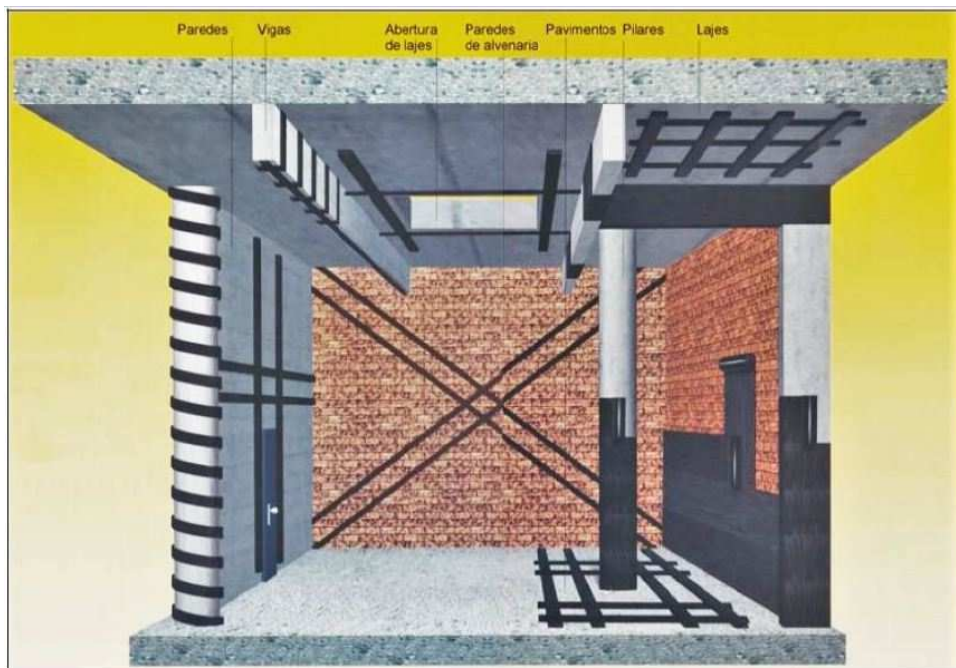
- Tecidos;
- Barras;
- Placas;
- Laminados.

Será abordado neste trabalho apenas o tecido de fibras de carbono de modo que o mesmo não perca o seu propósito de elucidar diferentes técnicas, e não, diferentes materiais de uma mesma técnica.

Se por um lado os polímeros reforçados de fibra (FRP) de carbono possuem custo elevado, como vantagens podem ser citadas:

- Serem muito leves (a ponto de ter seu peso desprezado durante o cálculo estrutural);
- Possuir módulo de elasticidade bastante alto: 200 GPa (giga pascal);
- Moldarem-se a diferentes formas, não necessitarem de maquinário ou equipamentos especiais para sua instalação;
- Resistentes à corrosão, por não serem metálicos.

Figura 12: Formas gerais de reforço com FRP.



Fonte: Zucchi, (2015).

Assim como ilustra a figura acima, pode ser aplicado em praticamente todas as peças devido a sua facilidade de manuseio, contanto que nelas atuem tensões de flexão ou cisalhamento, com a ressalva de que para cada tipo de situação a forma de aplicação será realizada de maneira específica.

- Pilares:

Pode ser realizada a aplicação do tecido polimérico a fim de aumentar a resistência à flexão com a colocação do tecido no sentido longitudinal do pilar, e a resistência à compressão por meio do confinamento da seção, colocando-se o tecido no sentido ortogonal do pilar.

A regra a ser seguida neste caso é que, caso seja necessária a utilização de ambos, deve-se sempre realizar primeiro a colocação do tecido FRP para combater a flexão (sentido longitudinal), atendendo à técnica de colagem crítica, para só então proceder para o confinamento da seção (sentido ortogonal), atendendo as técnicas de contato crítico.

- Vigas:

Podem ser utilizados de modo a reforçar a peça no combate a flexão, aplicação no sentido longitudinal da viga em momentos positivos ou negativos, e ao corte, podendo assumir a inclinação necessária.

- Lajes:

Semelhante à aplicação das vigas, pode ser utilizada em casos de combate de flexão de lajes, em qualquer direção necessária e com a condição de que as lâminas FRP possuam espessura inferior a 1 mm (milímetro).

- Paredes:

Nas situações de alvenaria, vigas-parede ou muros de arrimo, podem ser aplicadas também no combate às tensões de flexão e cisalhamento e tem aumentado sua popularidade em locais onde atuam ventos fortes, como tornados e furacões, como forma de prevenir esses fenômenos da natureza.

Pode-se efetuar a aplicação em varias camadas de modo a proteger contra impactos ou explosões.

Por se tratar de uma alternativa extremamente leve e de pouca influência arquitetônica, este método se faz bastante eficaz em estruturas históricas, que possuem a necessidade de manter intacta sua estética e, pela idade avançada, que já não suportam receber grandes cargas. Podem ainda ser aplicadas em reservatórios, fundações e mesmo no combate a efeitos sísmicos.

Assim como os reforços que utilizam perfis e chapas metálicas e concreto (armado ou não), este método requer a preparação da superfície em que será aplicado. E como no sistema

de protensão externa, não requer alívio das tensões atuantes na peça.

Há que se ressaltar que este material não pode ser utilizado para cargas de compressão e deve-se evitar onde há situação de ruptura frágil (aquelas em que a estrutura entra em colapso sem aviso prévio). Possui melhor aderência em concreto são e, caso haja danos nas armaduras ou no substrato do concreto, deve-se efetuar primeiro a resolução desta situação. (MACHADO e MACHADO, 2015).

O quadro a seguir resume os prós e contras das técnicas apresentadas no trabalho:

Quadro 3: Prós e contras das técnicas de reforço e recuperação.

Técnica	Prós	Contras
Concreto / Concreto armado	<ul style="list-style-type: none"> – Baixo custo – Mão de obra simples – Materiais fáceis de serem executados <i>in loco</i> ou transportados – Necessidade de se evacuar a edificação 	<ul style="list-style-type: none"> – Grande interferência arquitetônica – Aumento do peso da estrutura – Necessidade de se efetuar escoramento da peça a ser reparada – Demorado – Processo bastante poluidor
Perfis / Chapas metálicas	<ul style="list-style-type: none"> – Processo mais rápido – Pouca influência arquitetônica no uso de chapas – Método produz menos poluição sonora e visual – Necessidade de evacuar a edificação 	<ul style="list-style-type: none"> – Interferência arquitetônica razoável quando se utilizam perfis – Chapas coladas às peças podem encobrir fissuras e sintomas de outras patologias – Tamanho e peso das peças dificultam o manuseio em estruturas já estabelecidas – Baixa resistência ao fogo – Sujeita a corrosão
Protensão externa	<ul style="list-style-type: none"> – Não se faz necessário o escoramento das peças a serem trabalhadas – Pode ser realizado sem desmobilizar a estrutura 	<ul style="list-style-type: none"> – Alto custo – Carece de mão de obra especializada – Elementos de protensão, se não tomados os devidos cuidados, ficam suscetíveis a ações deletérias e de vandalismo

(continuação)

Técnica	Prós	Contras
Sistemas compostos FRP	<ul style="list-style-type: none"> – Influência arquitetônica praticamente zero – Baixíssimo peso – Elevada resistência à tração – Usada em locais de difícil acesso – Insuscetível à corrosão 	<ul style="list-style-type: none"> – Alto custo – Se não adotados cuidados para proteção, fica suscetível a ações deletérias e de vandalismo – Carece de mão de obra especializada

Fonte: Autor, (2018).

5 CONCLUSÃO

É notório que, muitas das vezes as estruturas de concreto armado não atendem ao objetivo para o qual foram projetadas inicialmente, pelos diversos fatores citados:

- Erros de projeto;
- Controle inadequado da execução;
- Má qualidade do material;
- Utilização indevida da estrutura.

Caso o problema não seja sanado, na maioria das vezes, podem-se ter implicações graves e sérios riscos aos seus usuários.

A escolha da maneira mais adequada a ser empregada, caso seja constatada a necessidade de uma intervenção por reforço ou recuperação estrutural, deve ser estudada caso a caso por um especialista através da análise criteriosa, sempre se levando em conta a harmonização com todos os sistemas além do estrutural (elétrico, hidrossanitário, arquitetônico...), e obviamente, quanto o cliente dispõe de orçamento, a fim de se obter o melhor resultado.

Embora seja a opção mais econômica e até a mais comum de se ver, utilizando-se encamisamento de concreto armado, além de se ter o aumento das seções e, conseqüentemente, aumento do peso da estrutura, ressalta-se também o longo tempo que se faz necessário para repetir o processo de montagem de formas, escora de vigas, cura do concreto. Outros agravantes são a necessidade de desocupar o ambiente, a poluição sonora e visual do processo.

As estruturas de aço, embora bem mais leves se comparadas com o concreto armado, devido ao seu maior comprimento, dificultam a trabalhabilidade em estruturas já estabelecidas. Impactam negativamente na questão arquitetônica no caso dos perfis e, podem ocultar outras falhas no caso de chapas coladas.

A protensão exterior, apesar de possuir a vantagem de não se fazer necessário descarregar a estrutura para ser executada, devido ao seu alto custo e grande intervenção arquitetônica, se torna uma alternativa mais empregada em pontes e viadutos.

De maneira geral, o uso dos polímeros reforçados de carbono se torna uma excelente opção quando o cliente deseja que sua arquitetura não seja alterada drasticamente, aliando ainda a otimização do tempo de execução e da resistência das fibras a agentes químicos. Embora possa ser mais caro, o tempo menor para sua execução pode acabar compensando o custo mais elevado em relação aos outros métodos apresentados.

Como dito, este trabalho busca elucidar algumas das formas de se efetuar um reparo, e cada situação merece ser analisada de forma aprofundada. Não existe melhor ou pior técnica. Em algumas situações podem ser indicadas a utilização de um sistema misto das técnicas, de forma a garantir o melhor custo-benefício, agilidade, conforto e segurança.

Que este trabalho possa despertar a curiosidade dos profissionais de cálculo estrutural em conhecer mais a fundo cada uma das técnicas apresentadas bem como pesquisar outras aqui não citadas a fim de agregar cada vez mais informação a este relativamente novo mundo do reforço e recuperação estrutural.

6 REFERÊNCIAS

ADORNO, F. V.; DIAS, F. O.; SILVEIRA, J. C. O. **Recuperação e Reforço de Vigas de Concreto Armado**. 2015. 70f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2015.

AECweb – **Concreto Armado é Solução Durável e Econômica**. Disponível em: https://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/concreto-armado-e-solucao-duravel-e-economica_6993_0_1. Acesso em: 20 de Maio de 2018.

ANDRADE, J. J. O. **Durabilidade das Estruturas de Concreto Armado: Análise das Manifestações Patológicas nas Estruturas no Estado do Pernambuco**. 1997. 151f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.

BEBER, A. J. **Comportamento Estrutural de Vigas de Concreto Armado Reforçados com Compósitos de Fibra Carbono**. 2003. 317f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

CAMPOS, L. E. T. **Técnicas de Recuperação e Reforço Estrutural com Estruturas de Aço**. 2006. 104f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

CARVALHO, R. R. **Patologias das Estruturas de Concreto Armado com Ênfase a Execução**. 2005. 84f. Apostila do Curso de Engenharia Civil UNIVALE. Universidade do Vale do Rio Doce, Governador Valadares, 2005.

CARRAZEDO, R. **Mecanismos de Confinamento e Suas Implicações no Reforço de Pilares de Concreto por Encamisamento com Compósito de Fibras de Carbono**. 2002. 208f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002.

CASARIN, R. C. **Reforço Estrutural em Lajes de Concreto Armado**. [2014]. 32f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, [2014].

CONSTRUTORA GENOVA – **Recuperação de Estruturas de Concreto Armado Exige Planejamento e Documentação dos Serviços**. Disponível em: http://www.construtoragenova.com.br/midia/techne_recuperacao_estrutural/. Acesso em: 19 de Maio de 2018.

ESO – **Reforço Estrutural em Estrutura de Concreto Armado**. Disponível em: <https://www.ufrgs.br/eso/content/?p=1141>. Acesso em: 21 de Maio de 2018.

EVEHX – **Reforço para Estruturas com Protensão Externa**. Disponível em: <https://evehx.com/blog/2018/05/04/reforco-para-estruturas-com-protensao-externa/>. Acesso em: 30 de Maio de 2018.

FERRARI, V. J.; PADARATZ, I. J.; LORIGGIO, D. D. **Reforço à Flexão em Vigas de Concreto Armado com Manta de Fibra de Carbono: Mecanismos de Incremento de Ancoragem**. 2002. 9f. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

GLOBAL GROUPS – **Reforço Metálico**. Disponível em: <http://globalgroups.com.br/produtos/reforco-metalico/>. Acesso em 27 de Maio de 2018.

GLOBO.COM – **Ponte que Dá Acesso a Município Piauiense Corre Risco de Cair**. Disponível em: <http://g1.globo.com/pi/piaui/vc-no-g1-pi/noticia/2014/11/ponte-que-da-acesso-municipio-piauiense-corre-risco-de-cair.html>. Acesso em: 19 de Maio de 2018.

HELENE, P. R. L. **Contribuição ao Estudo da Corrosão em Armaduras de Concreto Armado**. 1993. 248f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.

IBRACON – **Revista Concreto**. Disponível em: http://ibracon.org.br/site_revista/concreto_construcoes/pdfs/revista82.pdf. Acesso em: 30 de Junho de 2018.

INFRAESTRUTURA URBANA – **Inspeção e Reforço Estrutural de Pontes**. Disponível em: <http://infraestruturaurbana17.pini.com.br/solucoes-tecnicas/40/inspecao-e-reforco-estrutural-de-pontes-313531-1.aspx>. Acesso em: 21 de Maio de 2018.

IST LISBOA – **Departamento de Engenharia Civil, Arquitectura e Georrecursos**. Disponível em: <http://www.civil.ist.utl.pt/~cristina/EBAP/ReabReforcoPontes/modulo1-3.pdf>. Acesso em: 21 de Maio.

JÚNIOR, C. C. S. **Técnicas de Recuperação de Estruturas de Concreto Armado Sob Efeito da Corrosão das Armaduras**. 2008. 10f. Contribuição Técnica ao Professor e Colegas da Disciplina: Reologia e Tecnologia do Concreto, do Curso de Mestrado do Departamento de Engenharia de Materiais e Construção – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

JUVANDES, L. F. P. **Materiais Compósitos Reforçados com Fibras, FRP**. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. 2002. 76f. Formação Profissional – Ordem dos Engenheiros – Universidade do Porto, Madeira, Portugal, 2002.

MACHADO, A. P.; MACHADO, B. A. **Reforço de Estruturas de Concreto Armado com Sistemas Compostos FRP, Teoria e Prática**. São Paulo: Pini, 2015.

MOLIN, D. C. C. V. **Análise das Manifestações Típicas e Levantamento de Casos Ocorridos no Estado do Rio Grande do Sul**. 1988. 238f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1988.

NÚCLEO FIX – **Reforço Estrutural**. Disponível em: <http://www.nucleofix.com.br/reforco-estrutural.html>. Acesso em: 27 de Maio de 2018.

PIANCASTELLI, E. M. **Patologia e Terapia das Estruturas, Sintomas e Causas das Enfermidades**. [2015]. 16f. Apostila do Curso Engenharia Civil UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2001.

PIANCASTELLI, E. M. **Patologia e Terapia das Estruturas, Intervenções de Reparo (Restaurações)**, [2015]. 37f. Apostila do Curso Engenharia Civil UFMG – Universidade

Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2001.

PIANCASTELLI, E. M. **Patologia e Terapia das Estruturas, Reforço com Concreto**, [2015]. 37f. Apostila do Curso Engenharia Civil UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2001.

PORTAL METALICA – **Reforço de Estruturas de Concreto Armado**. Disponível em: http://www.metalica.com.br/pg_dinamica/bin/pg_dinamica.php?id_pag=968. Acesso em: 20 de Maio 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**. 1998. 239f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998.

REIS, L. S. N. **Sobre a Recuperação e Reforço das Estruturas de Concreto Armado**. 2001. 114f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2001.

REVISTA TÉCHNE – **Recuperação Estrutural**. Disponível em: <http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/84/artigo286279-1.aspx>. Acesso em: 20 de Maio de 2018.

REVISTA TÉCHNE – **Reparo, Reforço e Recuperação de Concreto**. Disponível em: <http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/146/concreto-reparo-reforco-e-recuperacao-de-concreto-285462-1.aspx>. Acesso em: 20 de Maio de 2018.

SILVA, E. A. **Técnicas de Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto Armado**. 2006. 84f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo, 2006.

SOTO, R. C. **Reforço e Recuperação de Vigas de Concreto Armado**. 2013. 75f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2013.

SPERANZA – **Corrosão da Armadura de Pilares**. Disponível em:

<http://speranzaengenharia.ning.com/page/corrosao-da-armadura-de-pilares>. Acesso em: 20 de Maio 2018.

TECHNIQUES – **Reforço Estrutural em Concreto**. Disponível em: <http://producao.techniques.com.br/project/reforco-estrutural-em-concreto/>. Acesso em: 21 de Maio de 2018.

TECHNIQUES – **Recuperação, Reforço e Proteção de Estruturas**. Disponível em: <http://techniques.com.br/>. Acesso em: 21 de Maio de 2018.

TEPREM – **Reforço em Concreto Armado**. Disponível em: <http://teprem.com.br/reforco-em-concreto-armado/>. Acesso em: 21 de Maio de 2018.

WEBER SAINT- GOBAIN – **Como Recuperar e Reforçar Estruturas de Concreto**. Disponível em: <https://www.quartzolit.weber/solucoes-tecnicas-quartzolit-para-reparos-protecao-e-reforco/como-recuperar-e-reforcar-estruturas-de-concreto>. Acesso em: 20 de Maio de 2018.

ZUCCHI, F. L. **Técnicas para o reforço de elementos estruturais**. 2015. 50f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.