

CENTRO UNIVERSITÁRIO DE ANÁPOLIS - UNIEVANGÉLICA

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

EVERTON MURILO DA SILVA

PAULO FRANCISCO DIAS

MATERIAIS E TECNICAS USUAIS EM SERVIÇO DE RECUPERAÇÃO E

REFORÇO DE ESTRUTURA DE CONCRETO

ANÁPOLIS

2015

EVERTON MURILO DA SILVA

PAULO FRANCISCO DIAS

**MATERIAIS E TECNICAS USUAIS EM SERVIÇO DE RECUPERAÇÃO
E REFORÇO DE ESTRUTURA DE CONCRETO**

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

ORIENTADOR: ANA LUCIA

ANÁPOLIS/GO

2015

FICHA CATALOGRÁFICA

DA SILVA, EVERTON MURILO.

DIAS, PAULO FRANCISCO

Materiais e técnicas usuais utilizados em serviço de recuperação e reforço de estrutura de concreto

X, 135P, 297 mm (ENC/UNI, Bacharel, Engenharia Civil, 2015)

TCC - Uni evangélica

Curso de Engenharia Civil

1. Concreto

2. Patologias

3. Resistência

4. Recuperação

I. ENC/UNI

II. Título (Série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

EVERTON SILVA, S. D. Materiais e técnicas usuais utilizados em serviço de recuperação e reforço de estrutura de concreto. TCC, Curso de Engenharia Civil, UniEvangélica, Anápolis, GO, 135 p., 2015.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Everton Murilo da Silva, Paulo Francisco Dias

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO:
Materiais e técnicas usuais utilizados na recuperação e reforço de estrutura de concreto

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil

ANO: 2015

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

Everton Murilo da Silva, Paulo Francisco Dias
E-mail: evertonk3@gmail.com

EVERTON MURILO DA SILVA

PAULO FRANCISCO DIAS

**MATERIAS E TECNICAS UTILIZADOS EM SERVIÇOS DE RECUPERAÇÃO
E REFORÇO DE ESTRUTURA DE CONCRETO**

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

APROVADO POR:

Professora Ana Lúcia Carrijo Adorno, Doutor(a) (Unievangélica)
(ORIENTADOR)

Prof. Msc. Isa Lorena Silva Barbosa, Mestre (Unievangélica)
(EXAMINADOR INTERNO)

Paulo Alexandre de Oliveira, Mestre (Unievangelica)
(EXAMINADOR EXTERNO)

Data:23/05/2015
Anápolis/GO

RESUMO

O objetivo deste trabalho é divulgar os materiais e técnicas usuais em serviços de recuperação e reforço de estruturas de concreto utilizadas no mercado atualmente. Sendo discutido primeiramente as patologias que surge em diversas etapas da construção e suas consequências para o edifício bem como uma metodologia para avaliar a origem e causa para que com isso aborde as técnicas de recuperação. Por fim será discutido as técnicas mais utilizadas para reforço das estruturas de concreto como reforço por aumento da seção transversal e reforço com chapas metálicas e por ultimo reforço com fibras de carbono sendo aplicado em pilares, lajes e vigas.

Palavras-chave: Pilar. Reforço. Recuperação. Laje. Fissuras. Vigas. Resistencia.

ABSTRACT

This study and disseminate the materials and techniques usual in recovery services and reinforcement of concrete structures used in the market today. It is first discussed the pathologies that arises in various stages of construction and its consequences for the building as well as a methodology for evaluating the origin and cause so that it addresses the recovery techniques. Finally discussed the techniques most used for reinforcement of concrete structures as reinforcement by increasing the cross section and with metal reinforcing plates and finally with carbon reinforcing fibers being applied to pillars, beams and slabs.

Keywords: Pilar. Reinforcement. Recovery. Slab. Cracks. Beams. Resistencia.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fissuras provocadas por tração axial.....	31
Figura 2 – Fissuras de torção em vigas.....	31
Figura 3 – Fissuras por esmagamento do concreto.....	32
Figura 4 – Fissuração por deficiência de armaduras.....	32
Figura 5 – Fissuração devido fina espessura da laje.....	33
Figura 6 – Comprimento de ancoragem insuficiente.....	34
Figura 7 – Configuração genéricas de fissuração em função do tipo de solicitação.....	34
Figura 8 – Fissura horizontal causada por movimentação higroscópica.....	35
Figura 9 – Fissuras inclinadas causadas por recalques diferenciais.....	35
Figura 10 – Fissura de cisalhamento devido ao carregamento desbalanceado.....	35
Figura 11 – Preparação de fenda para procedimentos de injeção.....	36
Figura 12 – Avaliação da eficiência de injeção de fissuras.....	37
Figura 13 – Selagem de fenda com mastique.....	37
Figura 14 – Vedação de fenda com neoprene.....	38
Figura 15 – Reparo de fissura por costura.....	39
Figura 16 – Sistema de intervenção para medição de corte em concreto.....	40
Figura 17 – Limpeza com escova de aço.....	42
Figura 18 – Apicoamento mecânico e manual.....	42
Figura 19 – Aspecto final da cavidade na intervenção de corte no concreto.....	43
Figura 20 – Procedimento para ancoragem para nova barra de aço.....	44
Figura 21 – Procedimento para reparo na estrutura do concreto.....	45
Figura 22 – Aplicação de chumbadores no concreto.....	50

Figura 23 – Aplicação de cabos para efeito de segunda ordem.....	52
Figura 24 – Esquema de utilização dos desviadores.....	53
Figura 25 – Utilização de cabos para reforço de pilares.....	54
Figura 26 – Procedimento para aumento da seção transversal da viga.....	55
Figura 27 – Esquema de reforço de viga ao esforço cortante.....	57
Figura 28 – Recomendação de reforço de viga a flexão.....	58
Figura 29 – Disposição construtiva para reforço em pilares.....	59
Figura 30 – Reforço de viga e laje por aumento da altura transversal.....	61
Figura 31 – Reforço de viga por aumento da seção transversal.....	62
Figura 32 – Ancoragem de armadura em vigas.....	63
Figura 33 – Disposição de armaduras em pilares.....	63
Figura 34 – Esquema para aplicação de reforço com fibras de carbono em pilar.....	65

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Cimentos disponíveis no mercado brasileiro.....	24
Quadro 2 – Componentes disponíveis no cimento.....	25

LISTA DE ABREVIATURAS

PRFC: Polímeros reforçado com fibras de carbono;

ABNT: Associação brasileira de normas técnicas;

ACI: American Concrete Institute;

NBR: Norma Brasileira;

CAD: Concreto de alto desempenho;

CAR: Concreto de alta resistência;

ISO: International Organization for Standardization;

EUROCOMP: European Structural Polymeric Composites Group;

FIB: Federation Internationale du beton;

FRP: Fiber Reinforced Polymer;

J.C.I.: Japan Concrete Institute;

REBAP: Regulamento de Estruturas de Betão Armado e Pré-Esforçado;

NE: Norma Europeia;

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
1.1 CONTEXTOS HISTORICO.....	1
1.2 JUSTIFICATIVA.....	1
1.3 OBJETIVOS.....	3
1.4.1 Objetivo Geral.....	3
1.4.2 Objetivo Especifico.....	3
1.5 METODOLOGIA.....	4
2 PATOLOGIA EM ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO	4
2.1 ORIGEM DA PATOLOGIA EM ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO.....	4
2.2 PATOLOGIAS GERADA NA ETAPA DE EXECUÇÃO DA ESTRUTURA.....	5
2.2.1 Patologia gerada na etapa de execução da estruturas.....	5
2.2.2 Patologia gerada na etapa de utilização da estrutura.....	6
2.3 CAUSAS DA DETERIORAÇÃO DAS ESTRUTURAS.....	7
2.4 DIAGNOSTICO.....	12
3 MATERIAIS UTILIZADOS NA RECUPERAÇÃO E REFORÇO DE ESTRUTURA DE CONCRETO	14
3.1 ESCOLHA DOS MATERIAIS PARA RECUPERAÇÃO.....	15
3.2 TIPOS DE CIMENTOS.....	19
3.3 AGREGADOS GRAUDOS.....	20
3.4 AGEGRADOS MIUDOS.....	21
3.5 ÁGUA.....	22
3.6 ADITIVOS.....	23
3.7 POLIMEROS.....	26
3.8 ARGAMASSA DE CIMENTO INJETAVEL.....	27
3.9 CONCRETO CONVENCIONAL.....	28
3.10 CONCRETO PROJETAVEL.....	28
3.11 CONCRETO COM SILICA ATIVA.....	29
3.12 CONCRETO COM FIBRAS.....	29
3.13 ARGAMASSAS POLIMERICAS.....	30

3.14 INIBIDORES DE CORROSÃO.....	31
3.15 GROUT.....	32
4 RECUPERAÇÃO EM ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO.....	34
4.1 CAUSAS DE FISSURAÇÃO EM ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO.....	34
4.2 FISSURAS EM ALVENARIAS.....	35
4.3 TRATAMENTOS DE FISSURAS.....	36
4.4 TECNICA DE INJEÇÃO DE FISSURAS.....	37
4.5 A TECNICA DE SELAGEM DE FISSURAS.....	38
4.6 COSTURA DE FISSURAS OU GRAMPEAMENTO.....	38
4.7 PROCEDIMENTOS PARA REPAROS EM ELEMENTOS ESTRUTURAIS.....	39
4.8 INTERVENÇÕES NA SUPERFICIE DE CONCRETO.....	40
4.9 POLIMENTO.....	40
4.10 LAVAGENS.....	41
4.11 ESCOVAÇÃO MANUAL.....	41
4.12 APICOAMENTO.....	42
4.13 CORTE OU REMOÇÃO DO CONCRETO DEGRADADO.....	43
4.14 RESUMO DAS ETAPAS PARA REPAROS EM ELEMENTOS ESTRUTURAIS.....	44
5 REFORÇO EM ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO.....	46
5.1 RESISTENCIA RESIDUAL DE ELEMENTOS DANIFICADOS.....	46
5.2 CONSIDERAÇÕES SOBRE METODOS DE CALCULO.....	46
5.3 TRANSFERENCIA DE ESFORÇO.....	47
5.4 TRANSFERENCIA DE CARGA PELA INTERFACE DO CONCRETO.....	48
5.5 TRANSFERENCIA DE CARGA PELA ARMADURA.....	49
5.6 CONECTORES E ANCORAGENS.....	50
5.7 CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE REFORÇO EM ELEMENTOS ESTRUTURAIS.....	51
5.8 REFORÇO DE VIGA POR MEIO DE PROTENSÃO EXTERNA.....	52
5.9 GEOMETRIA DOS CABOS E TIPOS DE DESVIADORES.....	53
5.10 REFORÇO DE VIGA MEDIANTE O AUMENTO DA SEÇÃO TRANSVERSAL.....	54
5.11 REFORÇO COM CHAPA DE AÇO COLADAS.....	58
5.12 REFORÇO DE LAJES MEDIANTE O AUMENTO DA ALTURA TRANSVERSAL.....	61

5.13 REFORÇO DE VIGAS E PILARES MEDIANTE O AUMENTO DA SEÇÃO TRANVERSAL.....	62
5.14 REFORÇO DE ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO COM TECIDOS DE FIBRAS DE CARBONO.....	64
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	67
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	68

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos houve um crescimento acelerado da construção civil, destaca-se que entre os fatores para tal está a facilidade do crédito imobiliário por parte dos bancos e do governo bem como o aumento de renda da população.

Entretanto esse aumento da demanda para construção de edifícios e casas populares obrigou as construtoras a construir edifícios em prazo curto e com uma margem de lucro pequena devido ao aumento da concorrência tendo como consequências a falta de planejamento, compra de materiais com baixa qualidade, falta de qualificação da mão de obra o que resultou em obras com diversas patologias.

Podemos destacar ainda que a maioria dos edifícios brasileiros não tem uma programação de manutenção tendo a ideia que o concreto ou melhor o edifício é algo eterno e durável, aliado a falta de fiscalização por parte do governo e órgãos competentes verificamos atualmente o colapso de várias estruturas de concreto as vezes com vítimas fatais em todas as regiões do Brasil.

Existe uma grande quantidade de normas e regulamentos que tratam do projeto e execução de estrutura de concreto, no entanto quando o assunto é recuperação e reforço de estruturas bem como a durabilidade das construções os estudos desses assuntos são pouco divulgados com exceção de seminários ou eventos internacionais.

1.2 CONTEXTO HISTÓRICO

Nesses últimos anos percebemos o grande número de obras sendo feitas em todo Brasil principalmente na área de construção de edifícios e casas habitacionais em que as empresas que trabalham com recuperação e reforço das estruturas ainda são poucas e são concentradas nas grandes metrópoles já que é uma área bastante específica em que o conhecimento e a qualidade são fundamentais para o sucesso.

Podemos perceber que grande parte das normas relativas à área de estrutura de concreto e outras relacionadas a materiais de construção civil é recente comparado a outros países americanos e europeus e aliado a falta de conhecimento dessas normas com a baixa qualificação da mão de obra temos como consequências inúmeras patologias nos edifícios em toda parte do país.

Ao contrário de outros países desenvolvidos em que boa parte da infraestrutura está pronta e que é visível várias patologias, citando como exemplo os EUA que 50% das pontes

possui algum tipo de degradação ou problemas estruturais e vários países da Europa estão preocupados em recuperar edifícios históricos, já em países asiáticos como o Japão a preocupação é com os abalos sísmicos que coloca em risco a integridade física da população.

1.2 JUSTIFICATIVA

Devido ao aumento do número de reclamações sobre diversas patologias ocorridas nos edifícios em vários lugares do país, surgiu a necessidade de conhecer e aprimorar o uso de materiais específicos e técnicas utilizadas para o reforço e recuperação de estruturas de concreto.

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral desse trabalho é apresentar as patologias em estrutura de concreto armado e procedimentos para o diagnóstico das causas e deterioração da estrutura para que com isso determinar os materiais e técnicas de reforço e recuperação.

1.5.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

O presente trabalho tem como objetivo específico demonstrar os materiais utilizados, bem como as técnicas usuais utilizadas na recuperação e reforço de estruturas de concreto.

1.6 METODOLOGIA

A metodologia utilizada nesse trabalho consiste em pesquisa em livros, artigos, publicações e revistas técnicas relacionadas ao assunto de patologia em estrutura de concreto armado, além de estudo das normas relacionadas ao tema bem como consulta a manuais e catálogos técnico sobre o assunto.

2 PATOLOGIAS EM ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO

2.1 ORIGENS DAS PATOLOGIAS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO

Entre os motivos que contribuem para a degradação das construções são decorrentes de inúmeros fatores, como variações de temperatura, reações químicas, vibrações, erosão e um dos mais sérios, o fenômeno da corrosão das armaduras do concreto armado que ocupa um importantíssimo fenômeno patológico, contribuindo para a degradação da construção.

Segundo Souza (2010) podemos constatar que a melhora de desempenho da edificação não pode ser alcançada somente por melhoria das características dos materiais utilizados, mas também na técnica de execução, da melhora dos projetos arquitetônicos e estruturais, dos procedimentos de fiscalização e manutenção, incluindo a manutenção preventiva.

Botelho (2012), afirma que o surgimento de problema patológico em dada estrutura indica, em última instância e de maneira geral, a existência de uma ou mais falhas durante a execução de uma ou mais etapas da construção, além de apontar para falhas também no sistema de controle de qualidade própria a uma ou mais atividades.

2.1.1 PATOLOGIAS GERADAS NA ETAPA DE CONCEPÇÃO DA ESTRUTURA

Segundo Sousa (2010) é inúmeras as falhas que acontecem na etapa de concepção da estrutura. Elas podem se originar durante o estudo preliminar e na execução do anteprojeto, ou durante a elaboração do projeto de execução, também chamado de projeto final de engenharia.

Segundo Souza (2010) as falhas originadas de um estudo preliminar deficiente, ou de anteprojetos equivocados, são responsáveis, principalmente, pelo encarecimento do processo de construção, ou por transtornos relacionados à utilização da obra, enquanto as falhas geradas durante a realização do projeto final de engenharia geralmente são as responsáveis pela implantação de problemas patológicos sérios.

Destaca-se elementos de projeto inadequados (má definição das ações atuantes) ou da combinação mais desfavorável das mesmas, escolha errada do modelo analítico, deficiência no cálculo da estrutura ou na avaliação da resistência do solo e falta de compatibilização entre a estrutura e a arquitetura.

2.1.2 PATOLOGIAS GERADAS NA ETAPA DE EXECUÇÃO DA ESTRUTURA

Depois de encerrado a parte de projeto, inicia a execução da estrutura, no entanto e comum iniciar a execução sem ainda ter terminado a parte de projeto podendo acarreta problemas no futuro ou mesmo impedir a continuidade da obra.

Alguns cuidados são necessários ao bom andamento da construção como a caracterização da obra, individualizada pela programação de atividades, alocação de mão-de-obra, definição do "lay-out" do canteiro e previsão de compras dos materiais.

Segundo Souza (2010) após iniciada a construção pode ocorrer falhas por vários motivos como falta de condições locais de trabalho (cuidados e motivação), não capacitação profissional da mão-de-obra, inexistência de controle de qualidade de execução, má qualidade de materiais e componentes, irresponsabilidade técnica e até mesmo sabotagem.

2.1.3 PATOLOGIAS GERADAS NA ETAPA DE UTILIZAÇÃO DA ESTRUTURA

Após o termino das etapas de concepção e de execução e mesmo quando tais etapas tenham sido de qualidade adequada, as estruturas podem vir a apresentar problemas patológicos originados da utilização errônea ou da falta de um programa de manutenção adequado.

Para Ripper (2010) as estruturas de concreto devem ser projetadas, construídas e utilizadas de modo que sob as condições ambientais previstas e respeitadas as condições de manutenção preventiva especificadas no projeto, conservem sua segurança, estabilidade, aptidão em serviço e aparência aceitável, durante um período pré-fixado de tempo, sem exigir medidas extras de manutenção e reparo.

Segundo Souza (2010) a durabilidade das estruturas de concreto requer cooperação e esforços coordenados de pelo menos seis responsáveis;

- a) o proprietário definindo suas expectativas presentes e futuras de uso da estrutura;
- b) o responsável pelo projeto arquitetônico definindo detalhes e especificando materiais;
- c) o responsável pelo projeto estrutural definindo geometrias, detalhes e especificando materiais e manutenção preventiva;
- d) o responsável pela tecnologia do concreto definindo características dos materiais, traços e metodologia de execução, em conjunto com os responsáveis pelo itens c e e;
- e) o responsável pela construção definindo metodologias complementares da

construção e respeitando o projetado e especificado anteriormente;

f) o proprietário / usuário obedecendo as condições de uso, de operação e de manutenção preventivas especificadas;

2.2 CAUSAS DE DETERIORAÇÃO DAS ESTRUTURAS

O conhecimento das origens da deterioração é muito importante para que se possa proceder aos reparos exigidos e que após reparada a estrutura não volte a se deteriorar.

Segundo Souza (2010), o estudo das causas dos processos de deterioração das estruturas de concreto é complexo, no entanto atualmente está sendo utilizadas duas classificações que interagem entre si que são as causas intrínsecas ou endógenas inerentes a estrutura e as causas extrínsecas ou exógenas externas ao corpo estrutural.

2.4.5 DIAGNOSTICO

Ao se verificar que uma estrutura de concreto armado apresenta problemas patológicos, torna-se necessário efetuar uma vistoria detalhada e cuidadosamente planejada para que se possa determinar as reais condições da estrutura, de forma a avaliar as anomalias existentes, suas causas, providencias a serem tomadas e os métodos a serem adotados para a recuperação ou o reforço.

Segundo Souza (2010), deve observar a importância das estruturas em termos de resistência e durabilidade, assim como, muito particularmente, a agressividade ambiental. A metodologia genérica para a inspeção de estruturas convencionais, dividida em três etapas básicas: levantamento dos dados, análise e diagnóstico.

A etapa do levantamento dos dados é extremamente delicada e deve ser feita por engenheiro experiente, especialista em patologia das estruturas, que seja capaz de caracterizar com o máximo rigor a necessidade ou não de adoção de medidas especiais.

Segundo Souza (2010) a etapa de levantamento de dados fornecerá os subsídios necessários para que a análise possa ser feita corretamente, e compreende os seguintes passos:

- a) classificação analítica do meio ambiente, em particular da agressividade à estrutura em questão;
- b) levantamento visual e medições expeditas da estrutura que consiste na observação normal, anotações e medições nos principais elementos;
- c) estimativa das possíveis consequências dos danos e caso necessário tomada de

medidas de emergência, tais como o escoramento de parte ou do todo da estrutura, alívio do carregamento;

d) instalação de instrumentos para medidas de deformações e recalque e interdição da estrutura;

e) levantamento detalhado dos sintomas patológicos, inclusive com documentação da avaliação fotográfica, medidas de deformações (se necessário, com aparelhos topográficos), presença de cloretos ou de outros agentes agressores, carbonatação, medidas de trincas e fissuras (posição, extensão, abertura), medidas de perda de seção em barras de aço, etc.;

f) identificação de erros quanto à concepção da estrutura (projeto), à sua execução ou ainda quanto à sua utilização e manutenção;

g) análise do projeto original e dos projetos de modificações e ampliações, caso existam, de forma a se pode determinar possíveis deficiências na concepção ou no dimensionamento dos elementos estruturais danificados;

Segundo Souza (2010) outro levantamento importante e a instrumentação da estrutura e realização de ensaios especiais, inclusive em laboratório, compreendendo:

a) tipologia e intensidade dos sistemas de deterioração e dos agentes agressores;

b) medições da geometria, nível, prumo e excentricidades, mapeamento das fissuras, determinação de flechas residuais e evolução da abertura de fissuras e de deformações, etc.;

c) estudos e ensaios e verificação dimensional dos elementos (seção transversal do concreto, armaduras e cobrimento, etc.) e investigação geotécnica, avaliação da resistência do concreto e das características do aço etc.;

Segundo Souza (2010) a segunda etapa, análise dos dados, deverá conduzir o analista a um perfeito entendimento do comportamento da estrutura e de como surgiram e se desenvolveram os sintomas patológicos.

Esta análise deverá ser feita de forma pormenorizada, para evitar que as anomalias mais graves não sejam detectadas por estarem ocultas por anomalias superficiais, assim como se deve verificar atentamente se não houve mais do que um fator gerador do sintoma patológico que está sendo analisado.

Segundo Souza (2010) a última etapa, o diagnóstico, só poderá ser efetuada após a conclusão das etapas de levantamento e de análise. Frequentemente ocorre ter-se que retornar à primeira etapa, pois só após algumas tentativas de diagnóstico é que se consegue saber da necessidade de coleta e análise de novos elementos.

3. MATERIAIS UTILIZADOS NA RECUPERAÇÃO E REFORÇO DE ESTRUTURA DE CONCRETO

3.1 ESCOLHA DOS MATERIAIS PARA RECUPERAÇÃO DAS ESTRUTURAS

A escolha dos materiais a serem utilizados em reparos é um importante e complexo processo, envolvendo o entendimento do que é requerido no reparo, características dos materiais, requisitos para a sua aplicação, metodologia de aplicação, etc. Após os requisitos estarem estabelecidos e as propriedades dos materiais definidas as especificações dos mesmos podem ser efetuadas.

Segundo Granato (2012) um dos maiores desafios na escolha dos materiais é avaliar seu comportamento junto com o substrato. As mudanças das tensões no substrato e nos materiais de reparo podem causar trincas, fissuras, delaminação e desagregação do material de reparo. A aderência do material de reparo na estrutura tem que ser observada, de forma a que o resultado final seja de uma estrutura sólida e monolítica.

Segundo Granato (2012) os materiais de reparos podem também ter sua classificação de indicação de acordo com a profundidade do reparo, temos os reparos rasos que tem profundidade variando entre 3 mm (tipo estucamento) a 30 mm (ponto de atingir as armaduras). Temos os reparos médios que tem como profundidade entre 30 mm a 60 mm e os reparos profundos com profundidade superior a 60 mm.

3.2 TIPOS DE CIMENTOS

Atualmente no Brasil são fabricados diversos tipos de cimento, que correspondem à maior ou menor exaltação das propriedades dos seus principais componentes e resultam no desenvolvimento de variadas características mecânicas, físicas e químicas.

A escolha do tipo de cimento mais adequado a uma determinada obra ou serviço a executar requer o bom conhecimento das características dos diversos tipos disponíveis no mercado. No quadro 1 abaixo é mostrado os tipos de cimentos bem como as normas relacionadas.

Quadro 1 - Tipos de cimentos e normas relacionadas

Siglas	Classes de resistência	Componentes (% em massa)			
		Clínquer + sulfato de cálcio	Escória de alto-forno	Material pozolânico	Material carbônico
CP I	25-32-40	100	-	-	-
CP I-S	25-32-40	99-95	1-5	1-5	1-5
CP II-E	25-32-40	94-56	6-34	-	0-10
CP II-Z	25-32-40	94-76	-	6-14	0-10
CP II-F	25-32-40	94-90	-	-	0-10
CP III	25-32-40	65-25	35-70	-	0-5
CP IV	25-32	85-45	-	15-50	0-5
CP V-ARI	-	100-95	-	-	0-5

Fonte: Souza, 2010

Quadro 2 - Cimentos disponíveis no mercado brasileiro

Designações	Classes	Norma ABNT
Cimento Portland comum	CP I-25 CP I-32 CP I-40	NBR - 5732
Cimento Portland comum (com adições)	CP I-S-25 CP I-S-32 CP I-S-40	NBR - 5732
Cimento Portland composto (com escória)	CP II-E-25 CP II-E-32 CP II-E-40	NBR - 11578
Cimento Portland composto (com pozolana)	CP II-Z-25 CP II-Z-32 CP II-Z-40	NBR - 11578
Cimento Portland composto (com filer)	CP II-F-25 CP II-F-32 CP II-F-40	NBR - 11578
Cimento Portland de alto-forno	CP III-25 CP III-32 CP III-40	N.B.R. - 5735
Cimento Portland pozolânico	CP IV-25 CP IV-32	N.B.R. - 5736
Cimento Portland de alta resistência inicial	CP V-ARI	N.B.R. - 5733

Fonte: Souza, 2010

3.3 AGREGADOS GRAÚDOS

Os agregados utilizados no concreto seja do ponto de vista econômico ou do ponto de vista técnico, exercem influência sobre algumas características importantes, como a redução de retração, o aumento da resistência aos esforços mecânicos e outros.

Segundo Souza (2010) alguns cuidados são necessários para a escolha dos agregados como evitar substâncias nocivas (torrões de argila, matérias contendo carbono, material pulverulento e impurezas orgânicas), tendo grãos resistentes e de preferência arredondados, pois a forma dos grãos facilita o adensamento do concreto.

Deve se tomar cuidado também com o teor de umidade dos agregados, pois a quantidade de água conduzida ao concreto altera consideravelmente o fator água/cimento. A composição granulométrica tem influência muito grande sobre a qualidade do concreto, especialmente sobre a compactidade e a resistência aos esforços mecânicos.

3.4 AGREGADOS MIÚDOS

Segundo Souza (2010) na utilização do agregados miúdos para compor o concreto pode ser retirada areias a margem de rios e córregos verificando se esta isentos de limos e de outras matérias orgânicas, assim como de argilas e siltes que diminuem a aderência à pasta de cimento ou que prejudicam o endurecimento do concreto.

Um fator importante a considerar e a granulometria dos agregados miúdos que tem influência muito grande na qualidade do concreto bem como sua densidade já que a densidade baixa de um agregado miúdo indica que é poroso e pouco resistente.

Devem ser tomadas precauções para prevenir contra a ocorrência de reações expansivas que possam vir a afetar o concreto, cuidados como na escolha adequada do tipo de cimento e na análise química dos agregados e atenção a presença de sílica reativa nas areias.

3.5 ÁGUA

Segundo Souza (2010) apesar da água ter um custo baixo em relação aos demais componentes e também o elemento mais importante na composição do concreto. E a quantidade de água utilizada (fator água/cimento) que determina a resistência final do concreto. A estrutura poderá ter problemas patológicos graves caso a água tenha forte presença de cloretos o pode vir a ter corrosão das armaduras.

Água na mistura do concreto deve ser potável não devendo conter matérias em suspensão, impurezas químicas (cloretos e sulfatos) e resíduos industriais, especialmente os hidratos de carbono (açúcares) que, mesmo em pequenas quantidades, podem retardar em muito e até mesmo impedir a pega do concreto.

Segundo Helene (2002) a qualidade potencial do concreto depende preponderantemente do tipo de cimento, da relação água/cimento e do grau de hidratação. São esses os principais parâmetros que regem as propriedades de absorção capilar de água, de permeabilidade por gradiente de pressão de água ou de gases, de difusibilidade de água ou de gases, de migração de íons, assim como todas as propriedades mecânicas, tais como módulo de elasticidade, resistência à compressão, à tração, fluência, relaxação, abrasão e outras.

3.6 ADITIVOS

De acordo com Cánovas (1984), os aditivos "são produtos que, acrescentados aos aglomerantes no momento de sua elaboração, e em condições adequadas, nas formas convenientes e nas doses precisas, têm por finalidade modificar ou implementar, em sentido positivo e em caráter permanente, certas propriedades do conglomerado.

Segundo Souza (2010) para melhor comportamento dos aditivos em todos ou em algum aspecto, tanto no estado fresco como endurecido". Como normas gerais para o emprego de aditivos na confecção de concretos, temos:

- a) sempre que possível deve-se evitar o emprego de aditivos, procurando obter, sem este recurso um concreto com as propriedades desejadas;
- b) quando houver a necessidade inevitável de se utilizar aditivos, por quaisquer circunstâncias particulares, deverão ser realizados, previamente, os ensaios necessários e efetuado rigoroso controle na sua dosagem, de forma a não existir incompatibilidade entre os aditivos e o aglomerante empregado;
- c) os aditivos não deverão ser utilizados para corrigir defeitos próprios do concreto, como seleção incorreta dos componentes, má dosagem, ou mesmo deficiente colocação em obra;
- d) os aditivos devem ser protegidos de maneira adequada e assim, se estão em pó, devem ser conservados em lugares secos, evitando a possível formação de torrões por efeito da umidade, o que acarretaria alterações nas suas propriedades e se em estado líquido, devem ser protegidos do calor e agitados antes do seu emprego, para evitar que as sedimentações que porventura se tenham produzido tirem a sua uniformidade;

e) devem ser tomadas precauções para que se tenha uma mistura uniforme do aditivo em toda a massa de concreto, já que a falta de homogeneidade poderá ocasionar efeitos indesejáveis;

f) o emprego de vários aditivos em um único traço de concreto pode provocar o aparecimento de problemas patológicos, devidos a uma possível incompatibilidade da mistura;

Neste particular, a escolha do aditivo adequado, a certeza de que o produto colocado na obra foi realmente o escolhido, a avaliação dos efeitos secundários deste produto e a competência na sua aplicação são providências necessárias e condicionamos à garantia de uma boa execução.

3.7 POLIMEROS

Segundo Souza (2010) os polímeros são compostos formados por processo químico de associação molecular, produzido e controlado por catalisadores, responsáveis pelo início do processo, pelos inibidores, que controlam a velocidade do processo, impedindo a polimerização prematura durante o armazenamento do produto, e pelos aceleradores, que aceleram o processo.

Entre os polímeros mais utilizados no Brasil estão as resinas epoxídicas, derivadas do petróleo, resultantes da combinação da epocloridina e do bifenol.

Com isto obtêm-se produtos denominados de formulações epoxídicas, que são, em última análise, os produtos realmente úteis aos trabalhos de recuperação e de reforço de estruturas de concreto. De acordo com as proporções de resina e de endurecedor, e do tipo de endurecedor utilizado, obtêm-se o produto mais apropriado para determinada aplicação.

3.8 ARGAMASSAS DE CIMENTO INJETAVEL

Segundo Ripper (2010) a pasta de cimento injetável é o material elaborado por mistura de cimento e água, normalmente utilizado para injeção em falhas na estrutura ou ancoragem de barras.

Esta pasta deve ser homogênea, devendo adquirir, após elaborada, a consistência de uma tinta espessa. Em geral utiliza-se um fator água/cimento da ordem de 0,40, acrescentando-se aditivos plastificantes e expansores que lhe aumentam a fluidez e diminuem

a segregação de água e ainda provocam expansão da massa, neutralizando, desta forma, a retração.

Quando os espaços a serem preenchidos forem relativamente grandes, pode-se acrescentar areia fina à mistura, na proporção de 25% do peso do cimento, obtendo-se, então, uma argamassa de cimento.

3.9 CONCRETOS CONVENCIONAL

Segundo Souza (2010) o concreto convencional ainda é o material mais utilizado em serviços de recuperação e reforço de estruturas de concreto. Para os trabalhos serem executados com sucesso, a dosagem do concreto a ser aplicado deve ser feita tendo-se em mente que as diferenças de retração entre o concreto a aplicar e o concreto já existente na estrutura devem ser minimizadas.

Se a peça a ser restaurada ou reforçada for bastante nova, não tendo ainda o seu concreto sofrido a maior parte da retração, o traço do concreto novo deve se aproximar o mais possível do traço do concreto antigo.

Segundo Souza (2010) se a peça for antiga, o seu concreto já terá sofrido toda ou praticamente toda a sua retração, e, neste caso, o traço do concreto novo deve ser escolhido de modo a reduzir a sua retração ao mínimo. O meio mais eficaz para se alcançar tal objetivo é a redução do fator água/cimento, empregando-se aditivos plastificantes ou superplastificantes.

Se possível, o concreto novo deve ser misturado e deixado em repouso por 30 a 60 minutos, de forma a diminuir a retração após o lançamento. Os traços muito ricos em cimento também devem ser evitados, pois apresentam grande retração.

3.10 CONCRETO PROJETAVEL

Segundo Souza (2010) um concreto é projetável quando o seu transporte da misturadora até o local de aplicação, é feito através de um tubo, sob impulsão de ar comprimido, a uma velocidade constante e elevada. Há uma distinção clara entre o concreto projetável e o bombeável, não só na forma de transporte, mas também quanto ao propósito de utilização.

Quanto à forma de transporte, entenda-se que, no caso do concreto bombeável, o que se dá é um fluxo contínuo de concreto ao longo do condutor, enquanto que, no caso do

concreto projetável, a mistura seca de cimento e agregados, ou mesmo o próprio concreto, é conduzida, sob pressão constante, a uma considerável velocidade dentro do tubo.

Relativamente ao propósito, enquanto o concreto bombeável tem por intuito ultrapassar regiões congestionadas da obra e fazer com que as concretagens sejam possíveis mesmo em locais de difícil acesso, sendo aí compactado convencionalmente.

O concreto projetável tem por função maior possibilitar, pela própria velocidade de transporte, a compactação simultânea com a aplicação, desenvolvendo então um produto mais denso e pela pressão de aplicação, mais apto a gerar grandes tensões de aderência, mesmo se aplicado de baixo para cima.

3.12 CONCRETOS COM SÍLICA ATIVA

Segundo Souza (2010) a sílica ativa é um pó fino pulverizado de tom cinza, que atua no concreto alterando suas características tanto no estado fresco quanto no estado endurecido e sua ação está diretamente ligada às suas características pozolânicas, com teores de sílica amorfa maior ou igual a 85% em sua composição e de seu efeito microfiller, devido a partículas esféricas com diâmetro médio da ordem de 0,2 μm que além de preencherem os vazios, colaboram para maior reatividade do material.

Devido à forma das partículas e à sua extrema finura, a sílica ativa modifica várias propriedades do concreto. As adições de sílica ativa são feitas em quantidades que variam de 4% a 15% do peso do cimento, conforme a aplicação e o desempenho que se deseja do material concreto.

Quanto à forma de utilização, a sílica ativa pode já vir condicionada ao cimento ou ser empregada diretamente na mistura do concreto, sob a forma de lama ou "in natura" (pó). Para seu melhor desempenho é necessária a utilização de aditivos fluidificantes ou plastificantes.

3.13 CONCRETOS COM FIBRAS

Segundo Souza (2010) os concretos com fibras são materiais resultantes da mistura do concreto comum com fibras descontínuas, geralmente esparsas na massa do concreto, sendo também denominados de concretos reforçados com fibras.

As fibras mais correntemente utilizadas têm sido as fibras de aço, de vidro e de polímeros orgânicos, mas as vegetais, como a juta e o sisal, também podem ser usadas. As

armaduras convencionais em barras, fios ou cabos, são colocadas em locais apropriadamente escolhidos nas peças estruturais, principalmente nas regiões tracionadas, e são detalhadas de forma contínua e linear nas peças de concreto.

Segundo Souza (2010) as fibras, ou armaduras de fibras, ao contrário, são descontínuas e distribuídas na massa de concreto, constituindo-se em uma armadura difusa. As fibras não tem como objetivo substituir as armaduras de barras, mas apenas complementá-las, simplesmente por melhorar algumas das propriedades do concreto, nomeadamente a resistência e o alongamento de ruptura à tração.

3.14 ARGAMASSAS POLIMERICAS

Segundo Granato (2012) entre as argamassas poliméricas estão a base cimento são argamassas a base de cimento Portland, em composição ou não com cimentos aluminosos, contendo quartzo de granulométrica apropriada, contendo polímeros em pó ou líquido e sua composição.

Podem conter adições de microssilica, que proporcionam maior impermeabilidade, resistência mecânica e fibras sintéticas ou metálicas, que incorporam as características de controle de fissuração da argamassa, maior resistência ao impacto, cargas cíclicas, flexão e tração.

Temos também as argamassas a base de resinas de epóxi, poliéster, furânica, ester vinilica dentre outras, contendo quartzo de granulométrica apropriada. São normalmente utilizados em situações de necessidade de resistência química, vibração, alta resistência a compressão, etc. As argamassas são utilizadas para reparos rasos, desde um estucamento de poucos milímetros até reparos de profundidade média.

Deve-se tomar cuidado com algumas argamassas que sofrem retrações acentuadas, normalmente quando aplicadas em espessuras superiores a 20 mm. As argamassas com fibras apresentam melhor comportamento na redução da retração e possuem boa tixotropia para aplicações verticais e “sobre cabeça”.

3.15 INIBIDORES DE CORROSÃO

Os inibidores de corrosão como o nome diz são produtos que tem a utilidade de proteger as armaduras do concreto armado contra a corrosão das armaduras. Podem ser dos

tipos de primer aplicados sobre as armaduras, ou como aditivos incorporados as argamassas, grautes e concretos. Os aditivos inibidores são mais utilizados durante o processo de concretagem da estrutura, como forma preventiva contra a corrosão por cloretos.

No mercado temos o primer anticorrosivo de epóxi com zinco que são produtos aplicados diretamente sobre as armaduras rigorosamente limpas. Podem ser a base de resina epóxi rico em zinco, que é mais eletronegativa que o aço, formando uma proteção catódica atuando como anodo de sacrifício.

3.19 GROUT

Segundo Souza (2010) os grautes são argamassas industrializadas, cujas características principais são a elevada fluidez, baixa permeabilidade, ausência de retração (retração compensada) e elevadas resistências iniciais e finais. São utilizados em muitas aplicações, como reparos estruturais, chumbamento de equipamentos, ancoragem de tirantes, etc.

Os grautes podem ser industrializados com aglomerantes de base mineral (cimento Portland, cimento aluminoso) ou sintético (resinas epóxi), com agregados de quartzo ou metálico, aditivado com superplastificantes, compensadores de retração, podendo ou não conter microssilica.

Segundo Souza (2010) para grandes vãos, pode ser adicionada ao graute base cimentícia brita lavada de granulométrica até 9 mm, usualmente até 30 % do volume do graute. São produzidos também alguns grautes cimentícios especiais com elevada resistência inicial (10 a 20 Mpa em 2 horas) para reparos rápidos em pavimentos, chumbamentos de trilhos, etc.

4 RECUPERAÇÃO DA ESTRUTURA DO CONCRETO

4.1 CAUSAS DE FISSURAÇÃO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO

Algumas fissuras que surgem nas estruturas de concreto geralmente se manifestam de forma bem característica, permitindo assim que um profissional experiente possa deduzir qual a natureza, a origem e os mecanismos envolvidos, bem como as prováveis consequências.

Segundo Granato (2012) podemos definir a fissura como uma abertura em forma de linha que aparece nas superfícies de qualquer material sólido, proveniente da ruptura sutil de parte de sua massa, com espessura de até 0,5mm, já a trinca é uma abertura em forma de linha que aparece na superfície de qualquer material sólido, proveniente de evidente ruptura de parte de sua massa, com espessura de 0,5mm a 1,00mm

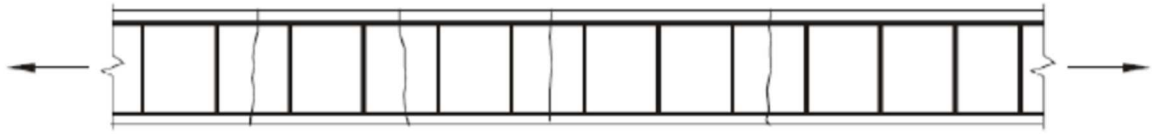
E temos a rachadura que é uma abertura que aparece na superfície de qualquer material sólido, proveniente de acentuada ruptura de sua massa, podendo-se “ver” através dela e cuja espessura varia de 1,00mm até 1,5mm e por último temos a fenda que é uma abertura expressiva que aparece na superfície de qualquer material sólido, proveniente de acentuada ruptura de sua massa, com espessura superior a 1,5mm.

De modo geral tais aberturas podem ser passivas ou ativas. As fissuras passivas quando chegam à sua máxima amplitude, estabilizam se devido ao cessamento das causas que as geraram, como é o caso das fissuras de retração hidráulica ou das provocadas por um recalque diferencial de fundação que esteja estabilizado. As fissuras ativas são produzidas por ações de magnitude variáveis que provocam deformações também variáveis no concreto.

Segundo Souza (2010) alguns defeitos necessitam de um conhecimento global da obra, envolvendo ainda todo o histórico da estrutura, a análise do projeto e todas as informações que possam identificar as causas que motivaram a sua patologia. O estudo dos sintomas apresentados pela estrutura implica na análise das causas que produziram os defeitos ou lesões existentes.

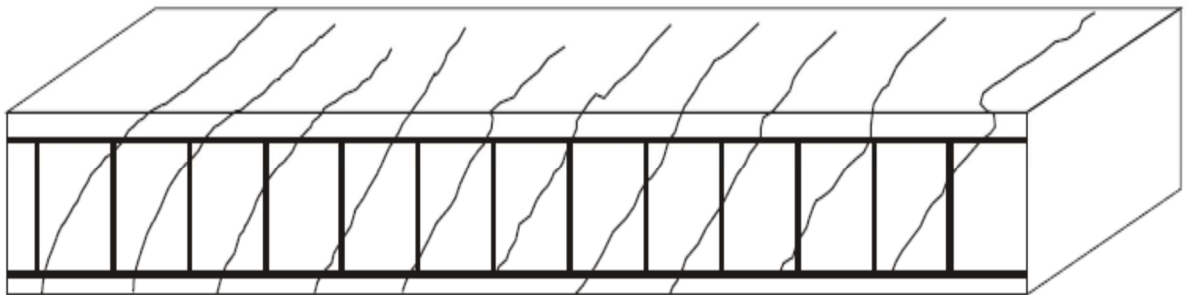
Nesse sentido a localização e o tipo de fissuras são da maior importância nessa análise, bastando muitas vezes a observação do quadro de fissuração para se chegar às conclusões que permitam diagnosticar os problemas existentes. A seguir será mostrado alguns tipos de fissuras que frequentemente ocorre como e o caso da fissura provocada por tração axial e torção que pode ser visto na figura 1 e 2.

Figura 1 - Fissuras provocadas por tração axial



Fonte: Afonso, 2013

Figura 2 – Fissuras de torção em vigas

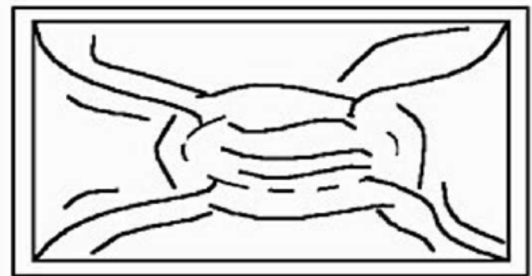


Fonte: Afonso, 2013

Figura 3 – Fissura por esmagamento do concreto



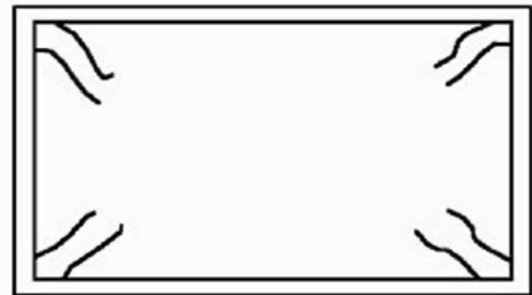
Face superior da laje



Face inferior da laje

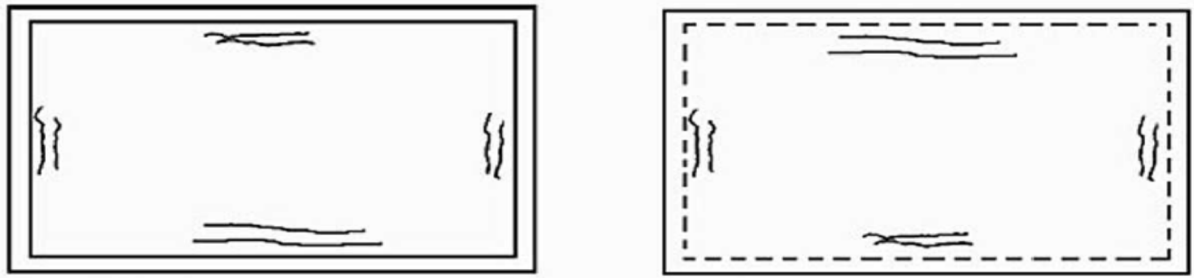
Fonte: Souza, 2010

Figura 4 – Fissuração por deficiência de armaduras



Fonte: Souza, 2010

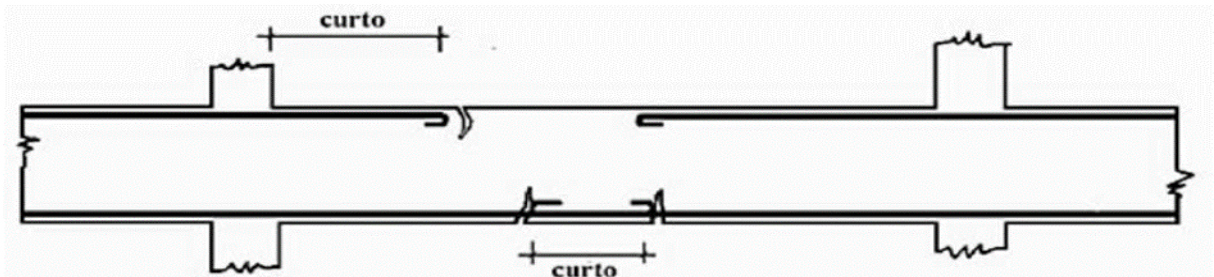
Figura 5 – Fissuração do concreto por reduzida espessura da laje



Fonte: Sousa, 2010

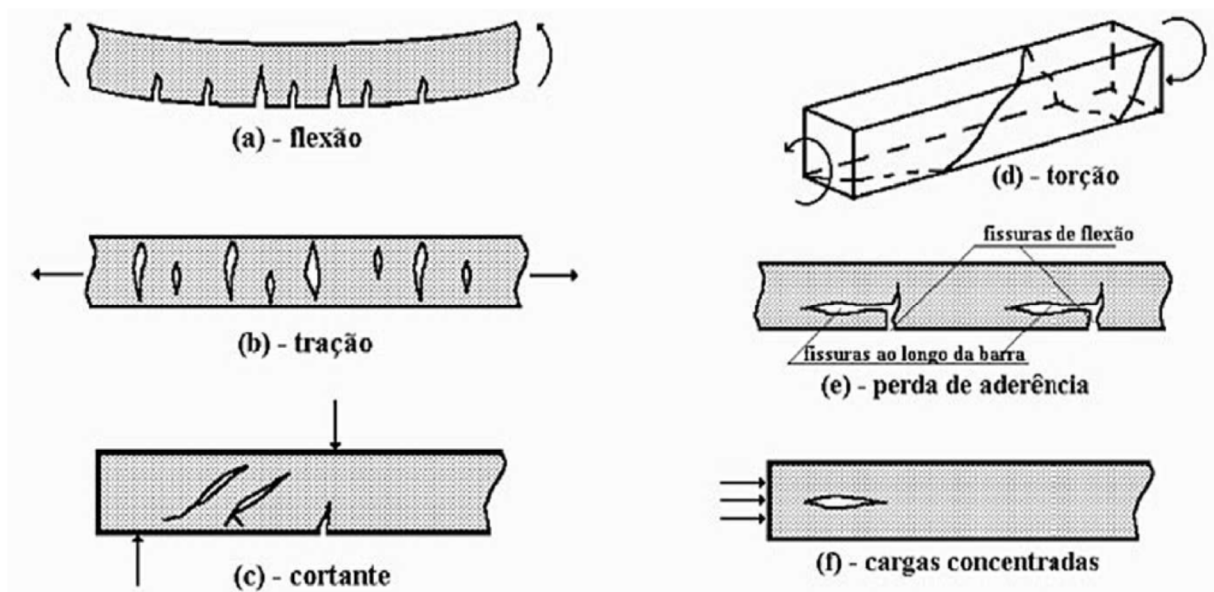
Outra problema comum quando aparece fissuras em lajes e a insuficiente de armaduras como mostra as figuras 3,4 e 5 já que a maior parte dos esforços que a laje sofre esta no centro e nos cantos das lajes o que faz necessário uma cuidadoso dimensionamento já que pode ser um erro de projeto como podemos ver na figura 6.

Figura 6 - Comprimento de ancoragem insuficiente



Fonte: Souza, 2010

Figura 7 – Configurações genéricas de fissuras em função do tipo de solicitação



Fonte: Souza, 2010

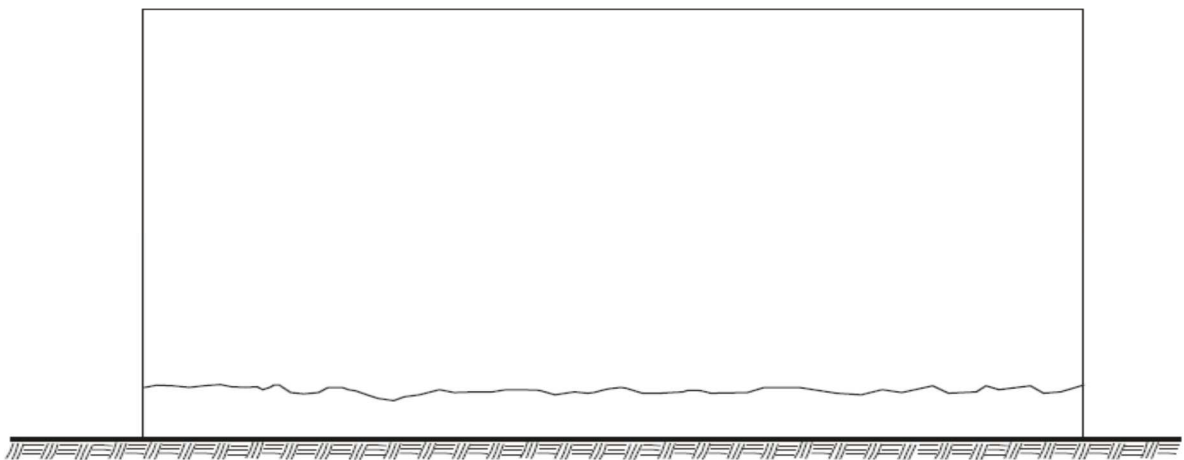
4.2 FISSURAS EM ALVENARIAS

Segundo Souza (2010) as fissuras são problemas bastante comuns nas alvenarias. Suas causas nem sempre são facilmente identificadas, porém, o conhecimento das mesmas é de fundamental importância para a adoção dos procedimentos adequados de correção. As alvenarias apresentam bom comportamento à compressão, porém o mesmo não ocorre em relação às solicitações de tração, flexão e cisalhamento.

Na maioria dos casos de fissuração em alvenaria são provocadas por tensões de tração e cisalhamento. Outros fatores que também influenciam na fissuração e nas propriedades mecânicas são a heterogeneidade resultante da utilização conjunta de materiais diferentes, com propriedades mecânicas e elásticas diferenciadas.

Outro problema comum são as movimentações higroscópica térmicas e recalques diferenciais como pode ser visto na figura 8 e 9. A seguir estão indicadas esquematicamente, algumas configurações mais frequentes de fissuras nas paredes de alvenarias.

Figura 8 – Fissura horizontal causada por movimentação higroscópica



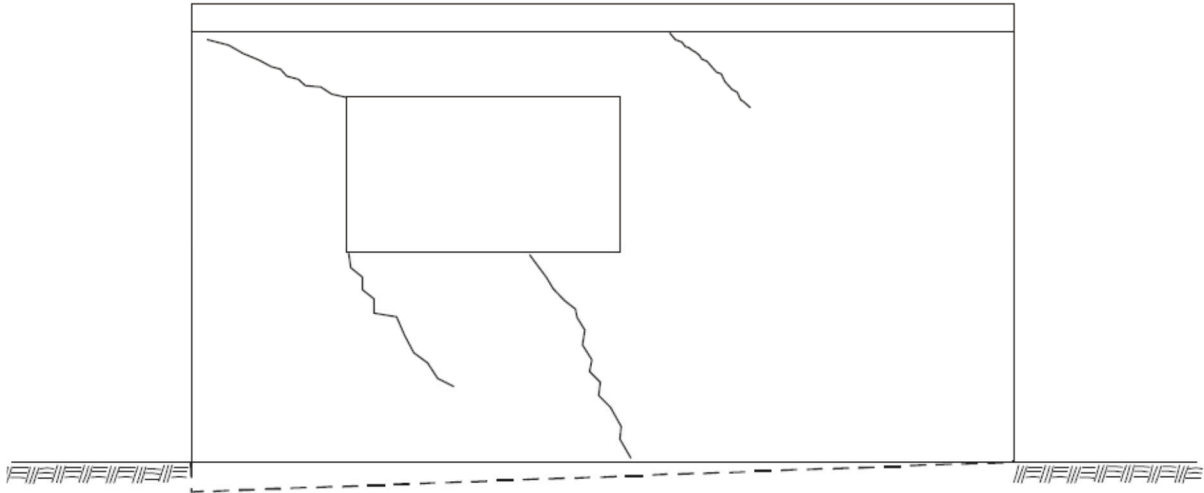
Fonte: Afonso, 2012

A retração de uma alvenaria depende de vários fatores como a qualidade dos blocos e da argamassa de assentamento, além do grau de restrição imposto a parede ou pela grande quantidade de janelas ou aberturas nas alvenarias

Um observação que deve ser feita e que as fissuras por movimentação termica pode acontecer em qualquer elemento da estrutura ou seja em laje, pilar e pilar e com isso o efeito ou resultado aparecer fissuras nas alvenarias que não tem condições de suportar esses esforços

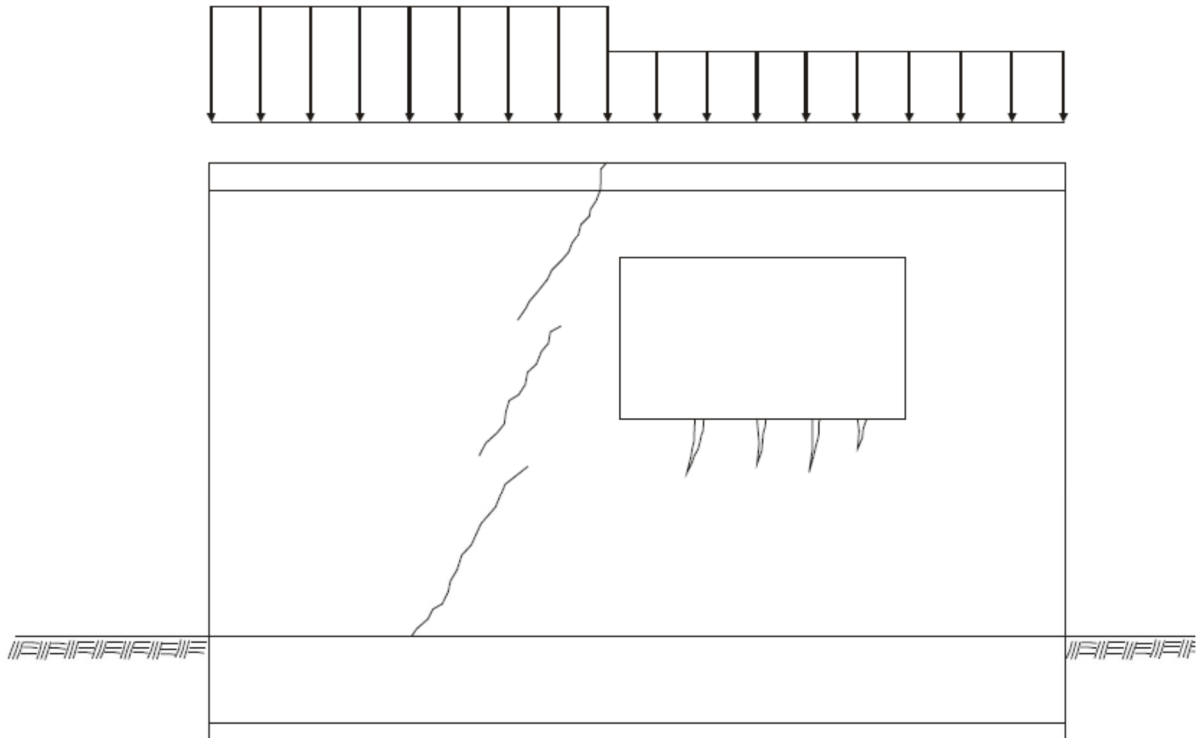
no entanto pode ser amenizado quando a construção existe um controle de qualidade por parte do construtor.

Figura 9 – Fissuras inclinadas causadas por recalques diferenciais



Fonte: Afonso, 2013

Figura 10 – Fissuras de cisalhamento devido a carregamento desbalanceado



Fonte: Afonso, 2013

4.3 TRATAMENTOS DE FISSURAS

Segundo Sousa (2010) o tratamento de peças fissuradas está diretamente ligado à perfeita identificação da causa da fissuração, ou, dito de outra forma, do tipo de fissura com que se está a lidar, particularmente no que diz respeito à atividade (variação de espessura) ou não da mesma, e da necessidade ou não de se executar reforços estruturais (casos em que as fissuras resultam de menor capacidade resistente da peça).

No caso das fissuras ativas, é só o que se pode fazer, a menos que seja eliminada a causa que as gerou, casos em que passarão a ser passivas. Assim, não terá sentido dizer-se do "fechamento" de fissuras ativas, porque se fosse tentado restabelecer o monolitismo a peça voltaria a se abrir, senão no mesmo ponto, que naturalmente deverá ter ficado mais resistente, ao menos ao lado, posto que a causa ainda persistirá.

Portanto, em se tratando de fissuras ativas, deve-se promover a vedação, cobrindo os bordos externos da mesma e, eventualmente, preenchendo-a com material elástico e não resistente. Deverá ser sempre uma obstrução macia, que admita e conviva com a patologia instaurada, impedindo, no entanto, a degradação do concreto.

Já nos casos passivos, para além do estabelecimento do dispositivo protetor, há que se garantir que a peça volte a funcionar como um todo, monoliticamente, ou seja, há que se fechar a fissura, o que é conseguido pela injeção de um material aderente e resistente, normalmente resina epoxídica.

4.4 A TECNICA DE INJEÇÃO DE FISSURAS

Segundo Sousa (2010) entende-se por injeção a técnica que garante o perfeito enchimento do espaço formado entre as bordas de uma fenda, independentemente de se estar injetando para restabelecer o monolitismo de fendas passivas, casos em que são usados materiais rígidos, como epóxi ou grouts, ou para a vedação de fendas ativas, que são situações mais raras, em que se estarão a injetar resinas acrílicas.

Segundo Souza (2010) a escolha do tipo de resina epoxídica deve levar em consideração três aspectos que são a viscosidade, módulo de elasticidade, "pot-life" da mistura, ou seja, coeficiente de polimerização, a ser regulado em função da temperatura ambiente já o processo de injeção consiste nos seguintes passos:

- a) abertura de furos ao longo do desenvolvimento da fissura, com diâmetro da ordem dos 10 mm e não muito profundos (30 mm), obedecendo a espaçamento ℓ que deve

variar entre os 50 mm e os 300 mm, em função da abertura da fissura (tanto maior quanto mais aberta esta for), mas sempre respeitando um máximo de 1,5 vezes a profundidade da fissura;

b) Fazer uma exaustiva e consciente limpeza da fenda ou do conjunto de fissuras, se for o caso e dos furos, com ar comprimido, por aplicação de jatos, seguida de aspiração, para remoção das partículas soltas, não só as originalmente existentes (sujeiras) mas também as derivadas da operação de furação;

c) nos furos, são fixados tubinhos plásticos, de diâmetro um pouco inferior ao da furação, com parede pouco espessa, através dos quais será injetado o produto. A fixação é feita através do próprio adesivo que selará o intervalo de fissura entre dois furos consecutivos. Preparação da fenda para o procedimento de injeção

d) a selagem é feita pela aplicação de uma cola epoxídica bicomponente, em geral aplicada a espátula ou colher de pedreiro. Ao redor dos tubos plásticos, a concentração da cola deve ser ligeiramente maior, de forma a garantir a fixação deles. A selagem tem o objetivo de arrematar a injeção, protegendo a própria resina.

e) antes de se iniciar a injeção, a eficiência do sistema deve ser comprovada, o que pode ser feito pela aplicação de ar comprimido, testando então a intercomunicação entre os furos e a efetividade da selagem como pode ser visto na figura 12.

f) testado o sistema e escolhido o material, a injeção pode então iniciar-se tubo a tubo, sempre com pressão crescente, escolhendo-se normalmente como primeiros pontos aqueles situados em cotas mais baixas como pode ser visto na figura 11.

Figura 11 – Preparação da fenda para procedimento de injeção

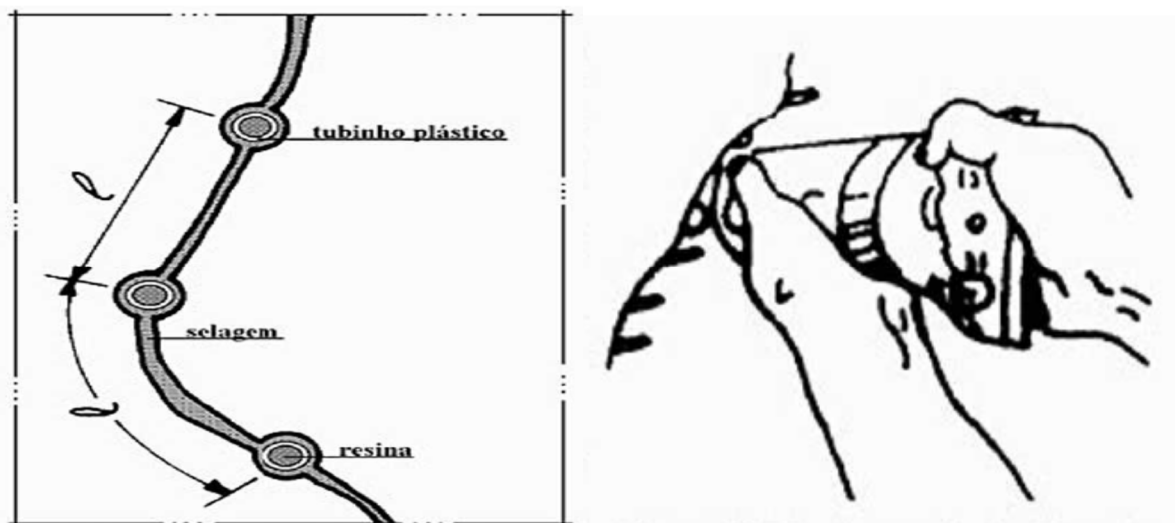
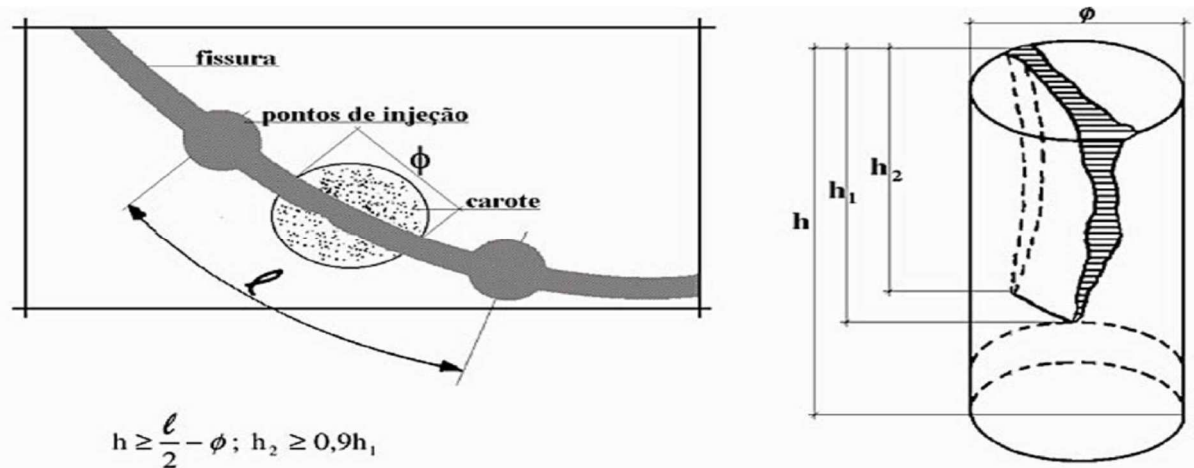


Figura 12 – Avaliação da eficiência de injeção de fissuras por meio de testemunho



Fonte: Souza, 2010

4.5 A TECNICA DE SELAGEM DE FISSURAS

Segundo Sousa (2010) a selagem é a técnica de vedação dos bordos das fissuras ativas pela utilização de um material necessariamente aderente, resistente mecânica e quimicamente, não retrátil e com módulo de elasticidade suficiente para adaptar se à deformação da fenda.

Para Souza (2010) as situações de fendas com aberturas inferiores a 10 mm o processo de selagem já foi descrito, posto ser o mesmo necessário para a vedação superficial das fissuras ativas 4 etapa do processo de injeção. Em fissuras com abertura superior a 10 mm, dever-se-á proceder da forma descrita a seguir:

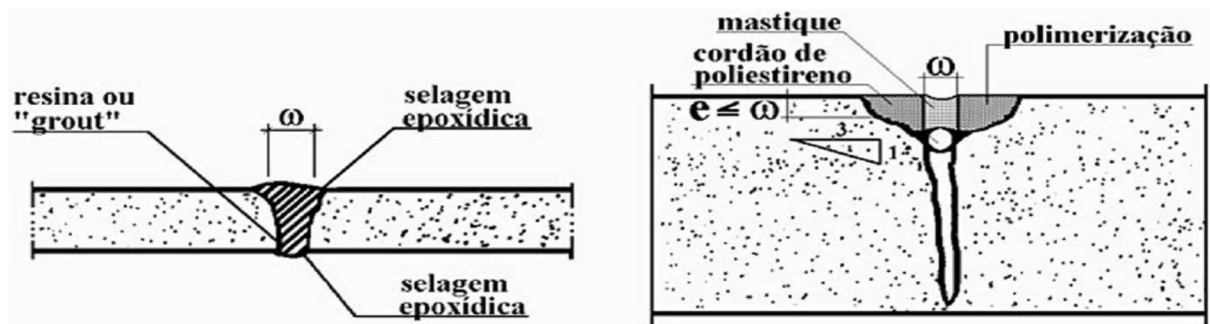
- a) para fissuras maiores que 10 mm e menores que 30 mm o enchimento da fenda e sempre na mesma direção, com grout, podendo, em alguns casos, haver a adição de carga, procedendo-se a selagem convencional das bordas, com produto à base de epóxi
- b) Para fissuras maiores que 30 mm a selagem aqui já passa a ser encarada como se fosse a vedação de uma junta de movimento e que prevê a inserção de um cordão em poliestireno extrudado, ou de uma mangueira plástica, para apoio e isolamento do selante do fundo da fenda .
- c) Uma outra hipótese é a colocação de juntas de neoprene, que deverão aderir aos bordos da fenda, devidamente reforçados para. Em se utilizando o mastique como selante, é necessária a prévia colocação, no fundo do entalhe. de um cordão de poliestireno extrudado (ou, nos casos de menor movimentação, de uma mangueira plástica), que além de servir como material de pré-enchimento (limitando a

quantidade de selante a ser utilizado), impedirá também que o mastique venha a aderir ao fundo da fissura, o que comprometeria não só a sua durabilidade, mas o seu próprio trabalho.

É usual a pincelagem dos bordos da junta, e do próprio cordão, com um primário (normalmente os epoxídicos têm melhor desempenho), servindo como ponte de aderência entre o concreto e o selante.

Finalmente, aplica-se o mastique, o que deve ser feito de uma só vez. apertando-se o bico da bisnaga contra o fundo da junta, após o que a superfície final deverá ser cuidadosamente alisada a espátula como pode ser visto na figura 13.

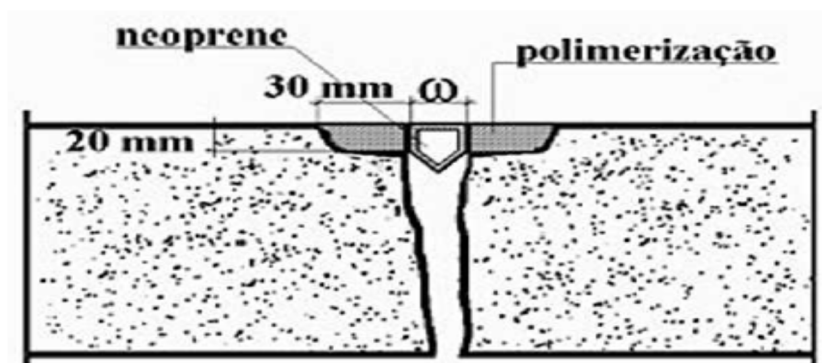
Figura 13 – Selagem de fenda com mastique



Fonte: Souza, 2010

Na hipótese de recurso à vedação com junta em borracha neoprene especial, esta cumprirá as funções do mastique e do cordão, sendo aderida aos bordos da fenda através de adesivos epoxídicos, e, em alguns casos, sendo merecedora de uma discreta pressurização posterior como pode ser visto na figura 14.

Figura 14 - Vedação de fendas com neoprene



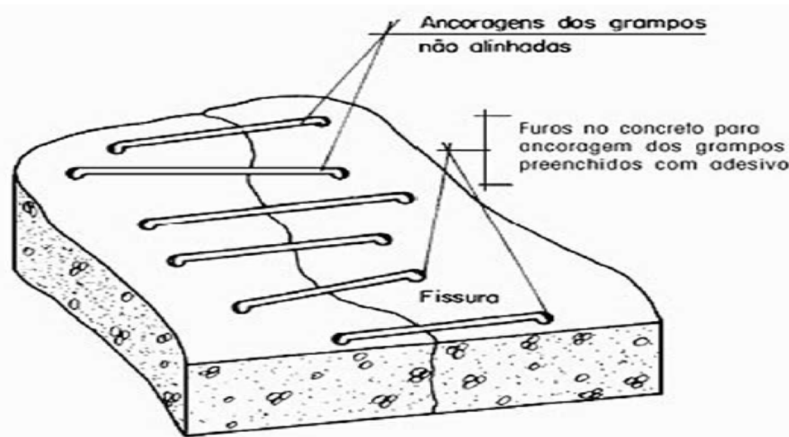
Fonte: Sousa, 2010

4.6 COSTURA DE FISSURAS OU GRAMPEAMENTO

Segundo Souza (2010) nos casos de fissuras ativas e em que o desenvolvimento delas acontece segundo linhas isoladas e por deficiências localizadas de capacidade resistente, poderá vir a ser conveniente a disposição de armadura adicional, de forma a resistir ao esforço de tração extra que provocou a fendilhação. As etapas de execução da técnica de costura de fissuras são:

- a) sempre que possível, descarregamento da estrutura, pois o processo em questão não deixa de ser um reforço;
- b) execução de berços na superfície do concreto, para assentamento das barras de costura, incluindo, se a opção for por ancoragem mecânica, a execução de furação no concreto para amarração das extremidades dos grampos, sendo estes buracos devidamente cheios com adesivo apropriado;
- c) se a opção for esta, injeção da fenda com resinas epoxídicas ou cimentícias, fazendo a selagem a um nível inferior ao do berço executado. O grampeamento deve ser sempre e necessariamente posterior à injeção;
- d) colocação dos grampos e complementação dos berços executados com o mesmo adesivo utilizado para a selagem;
- e) as fendas devem ser costuradas nos dois lados da peça, se for o caso de se estar lidando com peças tracionadas como pode ser visto na figura 15.

Figura 15 – Reparo de uma fissura por costura



Fonte: Souza, 2010

4.7 PROCEDIMENTOS PARA RECUPERAÇÃO EM ELEMENTOS ESTRUTURAIS

A profundidade dos danos, os serviços de reparo ou recuperação podem ser classificados em reparos rasos ou superficiais, reparos semi-profundos e reparos profundos.

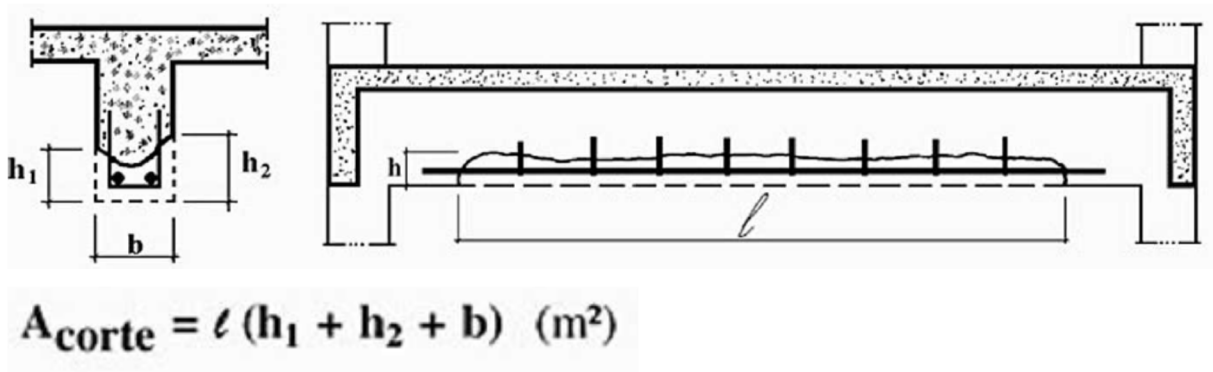
Segundo Souza (2010) a técnica e os materiais a serem utilizados nestes trabalhos dependerão do tipo e da extensão dos danos e de fatores econômicos. Os reparos rasos ou superficiais são aqueles cuja profundidade é inferior a 2,0 cm, sendo considerados em pequenas áreas os que forem executados em superfícies de até 15 cm, e em grandes áreas os demais.

Os reparos semiprofundos são aqueles cuja profundidade está entre 2,0 e 5,0 cm, normalmente atingindo as armaduras. Ao redor da armadura a ser substituída deve ser efetuada uma limpeza de 2,0 a 3,0 cm de profundidade. Os reparos profundos são aqueles que atingem profundidades superiores a 5,0 cm.

4.8 INTERVENÇÕES NA SUPERFÍCIE DO CONCRETO

Segundo Souza (2010) os serviços de intervenção em superfícies são normalmente medidos por m² da área original de intervenção, ou seja, têm quantidades previamente fixadas, relativamente a execução dos trabalhos como pode ser visto na figura 16 e para tanto, apenas requerem a garantia de acesso direto ao local de trabalho.

Figura 16 – Sistema de medição para intervenção de corte em concreto



Fonte: Souza, 2010

4.9 POLIMENTO

Esta é uma técnica muito utilizada nos casos em que a superfície de concreto se apresenta inaceitavelmente áspera, quer em decorrência de deficiências executivas, dosagens

equivocadas do concreto, utilização de fôrmas brutas ou ásperas (em concreto aparente), falta de vibração adequada e quer como resultado do desgaste pelo próprio uso.

Segundo Souza (2010) o polimento visa reconduzir a superfície de concreto à sua textura original, lisa e sem partículas soltas, o que pode ser conseguido manualmente, pela ação enérgica de pedras de polir apropriadas, ou mecanicamente, com lixadeiras portáteis, ou, ainda, para grandes superfícies, através de recurso a máquinas de polir pesadas.

O polimento do concreto exige pleno conhecimento da tecnologia, já que existe a necessidade de utilização de equipamentos apropriados e mão-de-obra especializada, além de requerer cuidados especiais relativos à proteção ambiental e dos operários, pois implica sempre elevados graus de poluição sonora e atmosférica (grande formação de pó).

4.10 LAVAGENS

A lavagem pela aplicação de jatos de água sob pressão controlada é largamente utilizada como técnica de limpeza e preparação do substrato para a futura recepção do material de reparação.

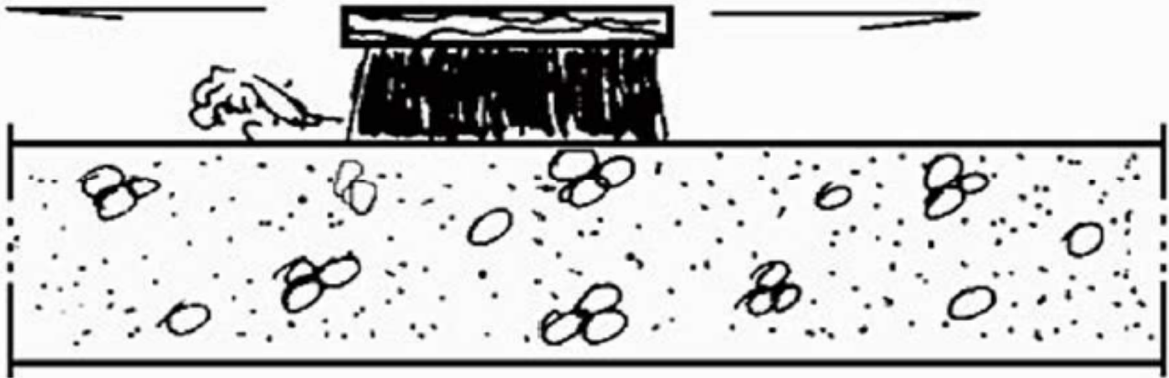
Segundo Souza (2010) os jatos são de água fria e muitas vezes são utilizados simultaneamente com os jatos de areia no entanto em determinadas situações e superfícies muito gordurosas ou com manchas de forte impregnação química recorre-se a jatos de água quente, normalmente adicionando-se removedores biodegradáveis.

A limpeza das superfícies pela aplicação de jatos de areia sob pressão controlada, sem ou com a presença de água e sendo este último o caso mais comum pode ser considerada como a principal tarefa na preparação das superfícies para a recepção dos materiais de recuperação, sendo normalmente utilizada na maioria dos sistemas de recuperação imediatamente após os trabalhos de corte e apicoamento do concreto.

4.10 ESCOVAÇÃO MANUAL

Trata-se de uma técnica a ser aplicada exclusivamente em pequenas superfícies e, muito particularmente, caso de pequenas extensões de barras de aço que estejam com evidência de corrosão ou mesmo que simplesmente careçam de limpeza para implemento de suas capacidades aderentes. Na figura 17 e mostrada a aplicação da escova de aço.

Figura 17 – Limpeza com escova de aço



Fonte: Souza, 2010

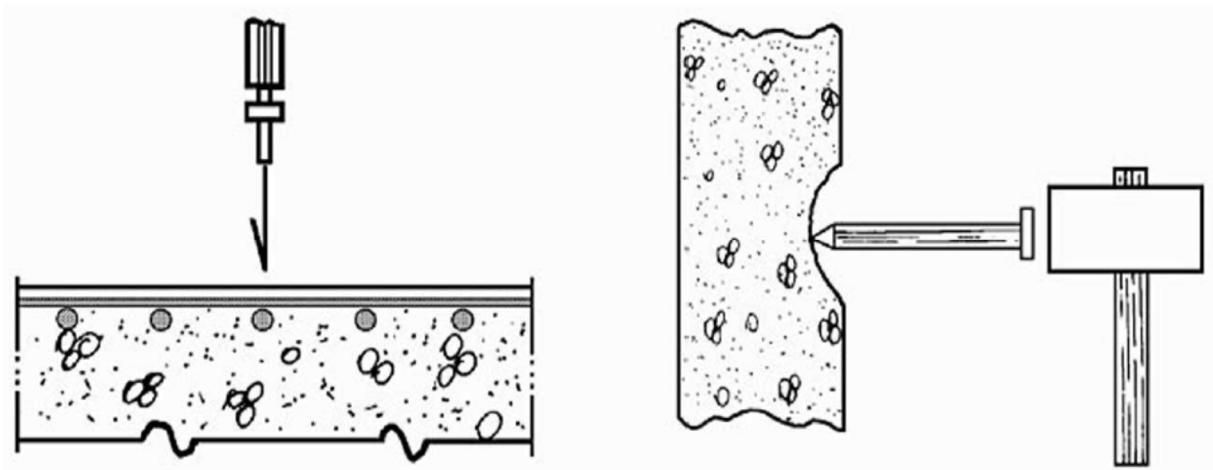
A aplicação deve ser enérgica e repetitiva, usando-se escova com cerdas de aço, com o reaproveitamento da escova sendo limitado à perda de rigidez dos arames.

4.11 APICOAMENTO

Segundo Souza (2010) apicoar é o ato de retirar a camada mais externa do concreto das peças estruturais, normalmente com o intuito de potencializá-las para a complementação com uma camada adicional de revestimento, em concreto ou argamassa, para aumento da espessura de cobertura das armaduras. Assim, as espessuras de apicoamento são, em geral, de até 10 mm como podemos ver na figura 18.

O apicoamento manual, nos casos de intervenções em áreas menores, é feito com a utilização sistemática de ponteiro, talhadeira e marreta leve (1 kg) ou no caso de espessuras de remoção da ordem de 2 a 3 mm, com percussão de martelo de geólogo (ponta viva).

Figura 18 – Apicoamento mecânico e manual



Fonte: Souza, 2010

4.11 CORTE OU REMOÇÃO DO CONCRETO DEGRADADO

O equipamento tradicional para o corte do concreto é um martelo demolidor, não tão leve quanto o utilizado para o apicoamento nem tão pesado quanto o de demolição, sendo o ideal que fique entre os 6 e os 10 kg, com ponteiro terminando em ponta viva.

De maneira mais precisa, o corte pode ser definido como sendo a remoção profunda de concreto degradado. Esta tarefa tem como razão de ser a extirpação de todo e qualquer processo nocivo à boa saúde das armaduras.

Assim, o corte de concreto justifica-se sempre que houver corrosão do aço das armaduras, já implantada ou com possibilidades de vir a acontecer, como no caso de concreto segregado, e deve garantir não só a remoção integral do concreto degradado, como também a futura imersão das barras em meio alcalino.

Segundo Souza (2010) o corte deverá ir além das armaduras, em profundidade, pelo menos 2 cm ou o diâmetro das barras da armadura, devendo-se atender à mais desfavorável das situações. A extensão do corte não permitirá, se assim for necessário, a recolocação de armaduras, sejam estas de complementação ou de reforço, por impossibilidade de observância dos comprimentos de ancoragem ou de emenda com a armadura existente.

Para estas situações, é costume recorrer-se à execução de furos no concreto existente, onde serão imersas, em meios previamente cheios de epóxi ou grout, as barras da armadura. A figura 19 demonstra a forma correta de corte na estrutura de concreto e a figura 20 demonstra os procedimentos para a colocação de nova armadura.

Figura 19 – Aspecto final da cavidade na intervenção de corte do concreto

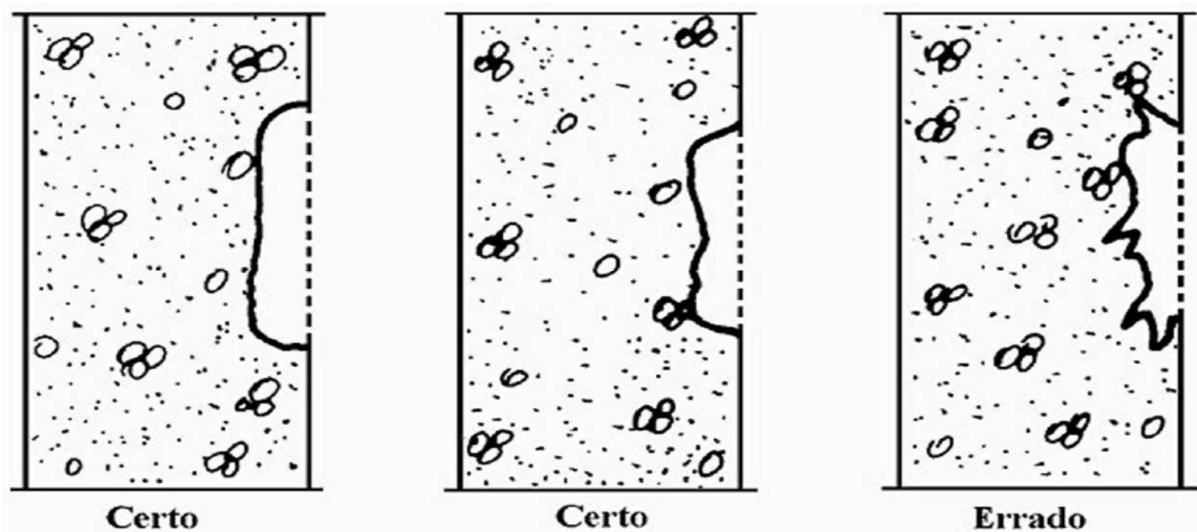
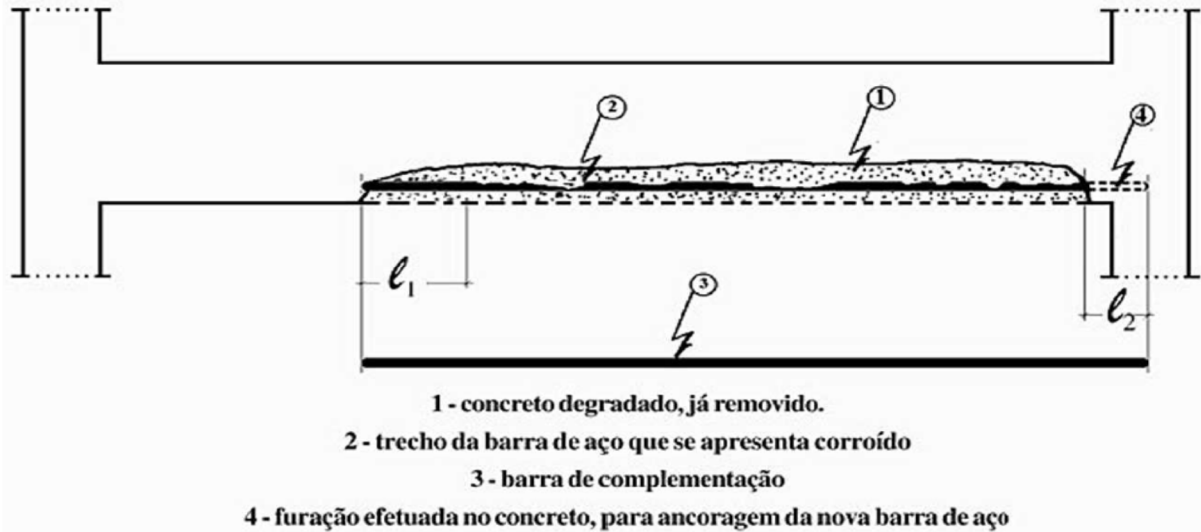


Figura 20 – Procedimento para ancoragem de nova barra de aço



Fonte: Souza, 2010

4.12 RESUMO DAS ETAPAS PARA REPAROS EM EMENTOS ESTRUTURAIS

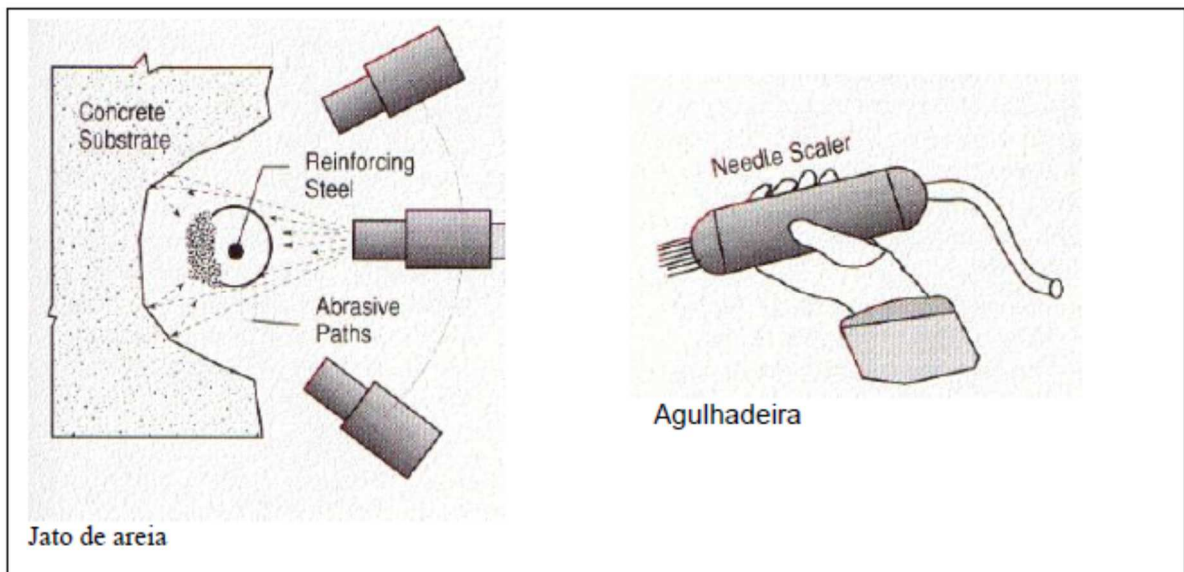
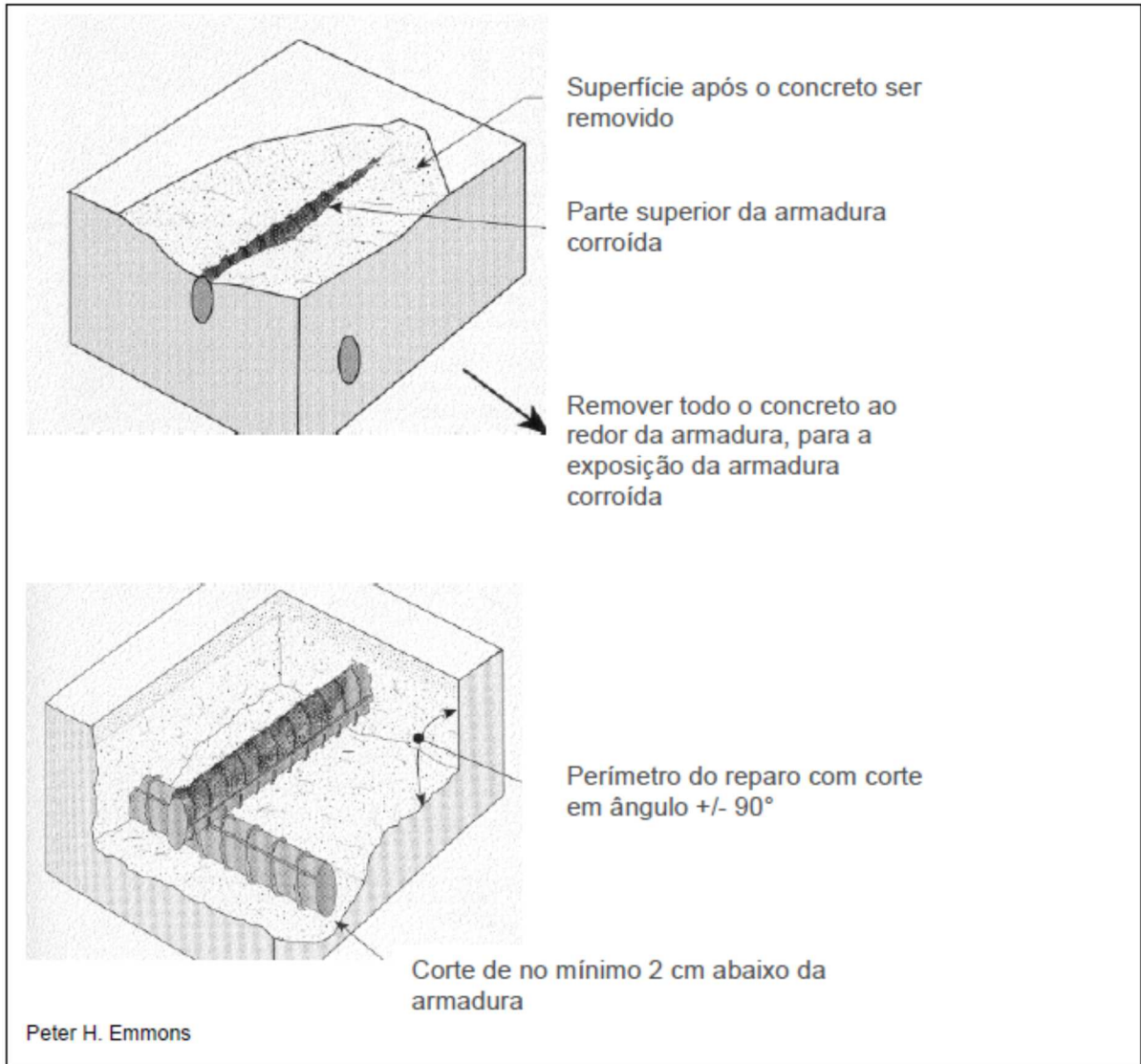
Segundo Granato (2012) a preparação da superfície são os procedimentos necessários para preparar o concreto para a execução dos reparos. A preparação e requerida para remover todo o substrato deteriorado, contaminado ou danificado, para preparar a superfície para receber os materiais de reparo.

Deve-se iniciar o serviço efetuando um rigoroso exame da estrutura, visual, por percussão para a detecção das áreas a serem reparadas.

O processo de preparação e uma das fases mais críticas do trabalho. Sem preparar adequadamente o substrato, os resultados dos reparos podem não ter o resultado desejado. Deve-se efetuar a marcação e delimitação das áreas a serem reparadas.

E importante delimitar as áreas de reparos em um desenho geométrico retangular ou quadrado e após a delimitação da área de reparo, deve-se efetuar um corte ortogonal na região delimitada, retirando todo o concreto em torno da armadura. Percebe-se na figura 21 e 22 a preparação da superfície do concreto e procedimento para o corte e limpeza de maneira a não prejudicar a aderência entre o concreto e a armadura.

Figura 21 – Procedimento para reparo na estrutura do concreto



5 REFORÇO EM ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO

Segundo Souza (2010) a qualidade dos serviços de recuperação ou de reforço de estruturas de concreto depende da análise precisa das causas que os tornaram necessários e do estudo detalhado dos efeitos produzidos. Definidos estes dois pontos, passa-se então à escolha da técnica adequada, que inclui a cuidadosa seleção dos materiais e equipamentos a serem empregados e mesmo da mão-de-obra necessária para a execução do serviço.

De acordo com Ripper (2010) os serviços de reforço requerem sempre a prévia elaboração de trabalhos de cálculo estrutural, sejam estes serviços derivados de necessidade de alteração na funcionalidade da estrutura aumento da carga de utilização ou como consequência de danificação sofrida pela estrutura, casos em que o reforço estará inserido nos trabalhos de recuperação e a partir do cálculo poderão ser estabelecidos elementos básicos para:

- a) definição precisa das peças da estrutura em que será necessário proceder-se ao reforço e a extensão desta intervenção e daquelas em que será suficiente apenas a recuperação, entendendo-se como tal a reconstituição das características geométricas, de resistência e desempenho originais;
- b) determinação da capacidade resistente residual da estrutura, ou da peça estrutural e definição do tipo, intensidade e extensão do reforço necessário;
- c) indicação da necessidade ou não da adoção de procedimentos de escoramento durante os trabalhos;
- d) avaliação do grau de segurança em que se encontra a estrutura, antes, durante e depois da execução do reforço;
- e) escolha da técnica executiva a utilizar;
- e) determinação das tarefas necessárias e das quantidades reais de trabalho a realizar, isto é, definição do custo real da empreitada, em conjunto com os elementos da inspeção técnica realizada;

Segundo Souza (2010) o primeiro passo é a avaliação da resistência residual de elementos de concreto armado danificados, discutindo questões cujo adequado conhecimento poderá não só permitirão projetista quantificar o que pode ainda aproveitar da peça existente.

Consequentemente, reduzir a intensidade do reforço, como avaliar se há ou não necessidade de se escorar a estrutura, o que tem grande importância, por serem ambas informações que, em geral, se tornam fatores decisivos na análise da viabilidade econômica da execução dos trabalhos de recuperação e reforço.

5.1 RESISTENCIA RESIDUAL DE ELEMENTOS DANIFICADOS

A estimativa das características mecânicas da estrutura antes e após a reabilitação pode ser realizada por vários métodos, de acordo com a magnitude dos danos, sua concepção e importância.

Segundo Souza (2010) conhecimento das características residuais da estrutura danificada permite determinar uma série de dados relacionados à rigidez e à resistência da peça que são necessários durante a definição das hipóteses de cálculo adotadas para o dimensionamento do reforço. A estimativa da capacidade de resistência residual pode ser obtida de forma analítica, através de prova de carga ou empiricamente.

5.2 CONSIDERAÇÕES SOBRE METODOS DE CALCULO

Estabelecidos os coeficientes de segurança e as características mecânicas residuais, parte-se para a definição das hipóteses de cálculo. Atualmente, o critério utilizado para o dimensionamento do reforço tem se baseado muito mais na experiência e bom senso dos técnicos do que em regras pré-estabelecidas.

Por esse motivo, o cálculo das solicitações atuantes em estruturas reabilitadas deve ser feito da mesma forma que para estruturas primárias, baseando-se na Teoria da Elasticidade ou nas hipóteses simplificadoras da Resistência dos Materiais.

As solicitações calculadas com base na Teoria Elástica são redistribuídas para todas as fases de funcionamento da estrutura, que vão desde o aparecimento das primeiras fissuras na parte tracionada do concreto até atingir o estado limite último.

O dimensionamento da armadura do reforço é feito conforme o estado da peça a ser reabilitada. Se os danos existentes não comprometem ou comprometem apenas superficialmente a capacidade resistente, estas devem ser reparadas e o reforço dimensionado para suportar apenas o acréscimo de carga.

Segundo Souza (2010) caso a peça estrutural tenha sido bastante danificada, pode-se considerar a resistência residual nula e dimensionar o reforço para absorver totalmente o carregamento final. Entretanto, deve-se considerar como fundamentos básicos para qualquer tipo de dimensionamento, os seguintes aspectos:

- a) garantia das condições de segurança;
- b) garantia das condições de utilização;
- c) garantia das condições de durabilidade;

- d) proteção ao fogo;
- e) limitação dos deslocamentos entre os elementos novos e velhos;
- f) limitação da redistribuição dos esforços, através da limitação das tensões do aço e do concreto adicionados;
- g) consideração do grau de monolitismo no comportamento das estruturas reforçadas.

Segundo SOUZA (2010), o alargamento das seções transversais dos elementos promove um aumento significativo da rigidez que deve ser considerado durante a redistribuição dos esforços decorrentes do carregamento aplicado. Além disso, a fluência diferencial entre os materiais novos e velhos também deve ser considerada nessa redistribuição.

Dependendo do tipo de intervenção e do número de elementos reforçados, pode ser necessário que algumas áreas não danificadas sejam também reforçadas devido ao aumento dos esforços.

5.3 TRANSFERENCIA DE ESFORÇOS

Segundo Souza (2010) para que a redistribuição dos esforços se realize, é preciso que a intervenção seja eficiente de modo a promover a transferência de cargas. A transferência de esforços entre os materiais novos e velhos se realiza, basicamente, através da aderência da interface do substrato com o material de reparação e através das ligações de novas armaduras.

Quando tensões de cisalhamento são transferidas ao longo de uma junta formada pela ligação de concretos com idades diferentes, são desenvolvidas tensões em sentidos contrários que tendem a equilibrar as ações.

Estas tensões de cisalhamento provocam uma tendência de deslizamento na interface, fenômeno caracterizado por movimento de translação entre as duas superfícies. Nesse caso, são mobilizados dois mecanismos de transferência classificados em transferência de carga pela interface do concreto e transferência de carga pela ligação de armaduras.

Segundo Souza (2010), as tensões de cisalhamento geradas ao longo da junta devido a transmissão de carregamento entre as partes que compõe a viga recuperada, existe ainda uma parcela correspondente às tensões geradas devido às mudanças de volume diferenciadas entre os materiais novos e antigos (retração e fluência), efeitos térmicos e diferenças entre os módulos de deformação que constituem a peça.

5.4 TRANSFERENCIA DE CARGA PELA INTERFACE DO CONCRETO

Segundo Souza (2010), os pré-requisitos básicos para se obter uma ligação satisfatória entre os dois materiais são o tratamento da superfície de ligação e a forma de aplicação do material de reparo. A superfície de contato deve ser rugosa, isenta de poeira, graxa ou óleo e, dependendo do caso, deve ser saturada por um período de tempo significativo ou receber uma camada prévia de agentes adesivos.

A aplicação do novo material deve ser de tal modo que imprima algum tipo de compactação e garanta continuidade. Os procedimentos de cura também devem ser cuidadosos.

O mecanismo de transferência de esforços de cisalhamento pela superfície de contato é semelhante à transferência de esforços das barras de aço para o concreto por aderência e pode ser dividido em três parcelas: adesão, atrito e ação mecânica.

5.5 TRANSFERENCIA DE CARGA PELA ARMADURA

Este efeito também é conhecido como transferência pela ação de pino da armadura e surge quando a junta de concreto é solicitada por esforços de cisalhamento que provocam um deslizamento entre as duas partes em contato.

Se existir armadura atravessando a interface, esse movimento tenderá a cisalhá-la. A armadura, por sua vez, fornecerá uma resistência ao corte que será somada à resistência fornecida pela superfície de contato.

Além da ação de pino, gerada pela armadura que cruza a interface, observa-se ainda um aumento da resistência devido ao *efeito de costura* que essa armadura proporciona. Este efeito contribui na resistência pois aumenta o atrito na interface através das tensões normais que solicitam essas barras de aço.

5.6 CONECTORES E ANCORAGENS

Segundo Prado (2002), caso de reabilitação de estruturas, o conhecimento dos mecanismos de transferência de esforços é importante para permitir ao projetista a adoção de conectores que garantam a eficácia das intervenções. Nesse item, os conectores são definidos como qualquer peça capaz de promover a ligação, de forma eficiente, entre armadura-

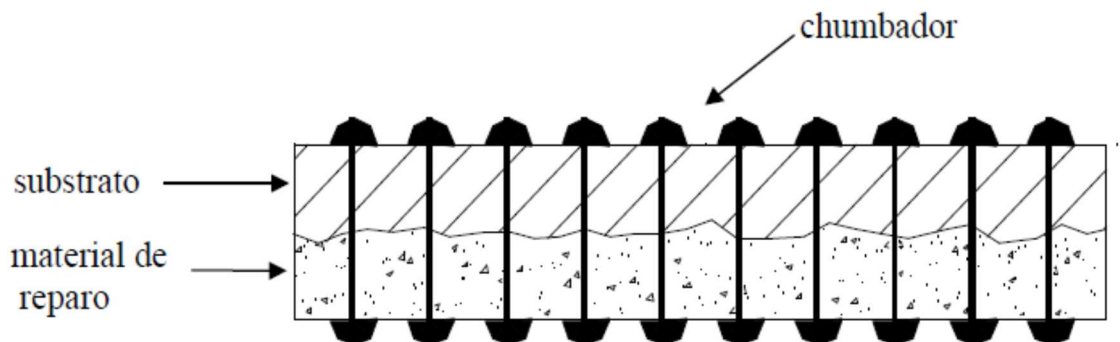
concreto, armadura-armadura ou concreto-concreto. Os conectores podem ser classificados em:

- a) chumbadores ou parafusos que são elementos metálicos, fabricados em aço inoxidável, que podem ser fixados na estrutura por meio de expansão química ou mecânica;
- b) barras soldadas que são elementos metálicos soldados nas armaduras novas e velhas, possibilitando a transferência de carga entre ambas;

A ancoragem das barras de aço do reforço também podem ser feitas através desses conectores. No caso de ancoragem feita introduzindo-se a armadura em furos preenchidos com material apropriado, o diâmetro desse furo irá depender do material de enchimento e do diâmetro da armadura como pode ser visto na figura 22.

O CEB (1983), recomenda que o diâmetro do furo seja igual a bitola do aço mais 5 mm. Depois de feito o furo, a cavidade deve ser limpa e seca, injetando-se posteriormente o material de enchimento de forma cuidadosa para evitar a penetração de ar. A armadura deve ser inserida levemente com movimentos giratórios garantindo que fique na posição correta.

Figura 22 – Aplicação de chumbadores no concreto



Fonte: Souza, 2010

5.7 CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE REFORÇO EM ELEMENTOS ESTRUTURAIS

Após o diagnóstico do problema na estrutura danificada, parte-se para a escolha do método de reabilitação a ser aplicado. Cabe ao projetista analisar as particularidades da estrutura que sofrerá a intervenção e, diante das várias técnicas existentes, escolher a que mais se adequa a cada situação.

Juntamente com a indicação do tipo de reparo e reforço escolhido, deve-se especificar as etapas construtivas necessárias para realizar a intervenção e descrever os dispositivos a serem empregados.

Segundo Souza (2010), é importante especificar o sistema de escoramento a ser utilizado e sua distribuição, localização de macacos hidráulicos e o instante em que devem ser acionados, posicionamento de contraflechas, a extensão e a profundidade de corte de concreto para retirada do material danificado, o detalhe de fôrmas e armaduras, o programa de remoção de escoramento e de alívio de ação dos macacos, a distribuição de injetores e o plano de injeção de resina epóxica, a medição de deformações, etc..

Uma etapa construtiva bastante comum em obras de reabilitação consiste no alívio do carregamento do elemento a ser reabilitado. Geralmente, os elementos da estrutura são escorados com pontaletes e erguidos através de macacos hidráulicos com a finalidade de retornar os elementos com flechas excessivas à posição original e neutralizar as solicitações provenientes do carregamento atuante.

Este procedimento é feito antes de executar a reabilitação e garante que a intervenção contribua efetivamente na resistência e controle de deformações causadas pelas ações permanentes.

Quando não é feito o descarregamento da estrutura o reparo não participa das distribuições de tensão o que de certa forma faz com que o reparo não esteja contribuindo para o aumento da resistência da peça.

5.8 REFORÇO DE VIGA POR MEIO DE PROTENSÃO EXTERNA

O grande diferencial da protensão quando comparada a outras técnicas de reforço é seu caráter ativo. Não é necessário que a viga se deforme para que o reforço comece a atuar sobre ela.

Segundo Prado (2002) a aplicação da protensão melhora o comportamento em serviço e aumenta a capacidade portante das vigas. Em menor escala, contribui também para resistência ao cisalhamento. O aumento de rigidez proporcionado pela protensão, decorrente do melhor controle da fissuração do concreto, pode reduzir as flechas e a vibração das pontes, bem como reduzir a variação de tensões aumentando a resistência à fadiga.

É necessário avaliar o estado de tensões a que está submetido o concreto para que o acréscimo de força axial não cause sua ruptura. Isto pode ser importante, principalmente, se o concreto for de baixa resistência ou estiver deteriorado.

Os cabos externos estão mais susceptíveis à corrosão, sendo essencial provê-los de uma proteção eficiente. Além disso, estão mais susceptíveis também à ação do fogo, ao impacto e a atos de vandalismo.

O detalhamento dos desviadores e das ancoragens deve levar em conta a concentração de tensões nestes pontos. Finalmente, quando os cabos forem fixados à face inferior da viga, deve -se certificar que a diminuição da altura livre sob a ponte não cause problemas.

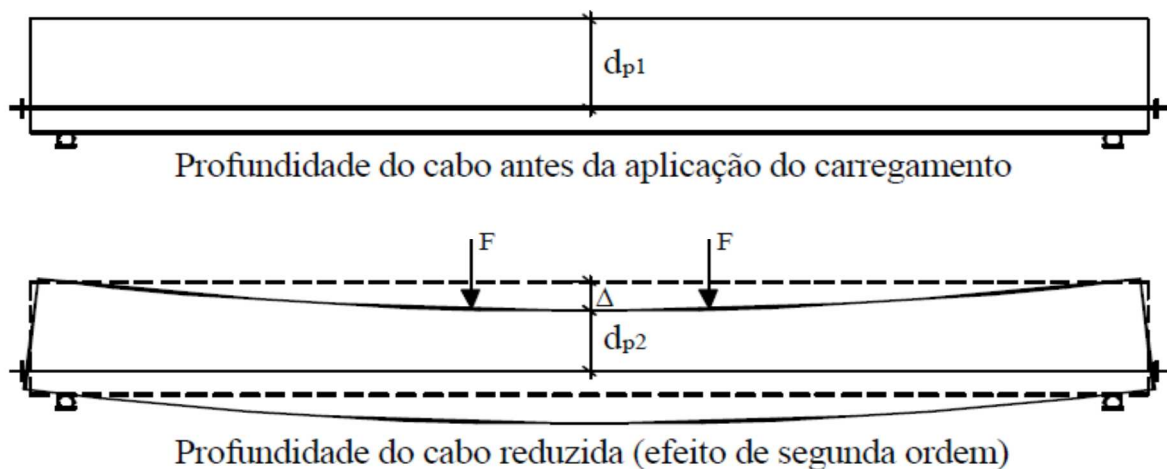
Segundo Prado (2002), admite-se que as vigas protendidas com cabos externos podem ser analisadas como vigas protendidas com cabos não aderentes internos. Porém, uma diferença básica entre esses dois sistemas deve ser observada e que nas vigas com cabos externos os cabos não acompanham a deflexão da viga em todos os pontos, havendo uma variação da excentricidade do cabo.

Este deslocamento relativo entre o cabo e o eixo da viga nada mais é do que um efeito de segunda ordem. Se a viga for protendida com cabos retos e sem desviadores ao longo do vão, esta variação é teoricamente igual à flecha da viga.

Tentando-se eliminar uma das desvantagens oferecidas pela protensão externa, podem ser utilizadas as cordoalhas engraxadas e plastificadas que já possuem proteção contra a corrosão. Estas cordoalhas são de fácil manuseio e possuem baixo coeficiente de atrito devido à presença da graxa possibilitando que a protensão seja aplicada por apenas uma das extremidades do cabo.

Os macacos hidráulicos utilizados são leves e de fácil operação, simplificando a execução da protensão. A figura 23 demonstra a aplicação do cabo e o efeito de segunda ordem.

Figura 23 – Aplicação do cabo para efeito de segunda ordem



5.9 GEOMETRIA DOS CABOS E TIPOS DE DESVIADORES

Segundo Prado (2002) os desviadores são os elementos agregados à estrutura com o objetivo de desviar a posição do cabo de protensão em determinados pontos. Eles podem ser utilizados mesmo quando se opta por cabos retos. Neste caso, ele funciona não tanto como um “desviador” e sim como um “fixador”, mantendo a excentricidade do cabo de protensão quando a viga se deforma.

Em relação aos cabos poligonais, é importante ressaltar que a mudança de direção nos desviadores deve ser suave para que não se tenha uma concentração de tensões exageradas nestes pontos que venha a acarretar sua ruptura prematura. Percebe-se na figura 24 e 25 a maneira na qual os desviadores são usados para reforçar o elemento estrutural.

São muitos os tipos de desviadores utilizados em obras de reforço de vigas ou lajes. Quando se deseja aumentar a excentricidade do cabo de protensão ao longo do vão, os desviadores podem ser fixados na face inferior do elemento a ser reforçado e pode ter altura tal que forneça a excentricidade desejada.

Figura 24 – Esquema de utilização dos desviadores

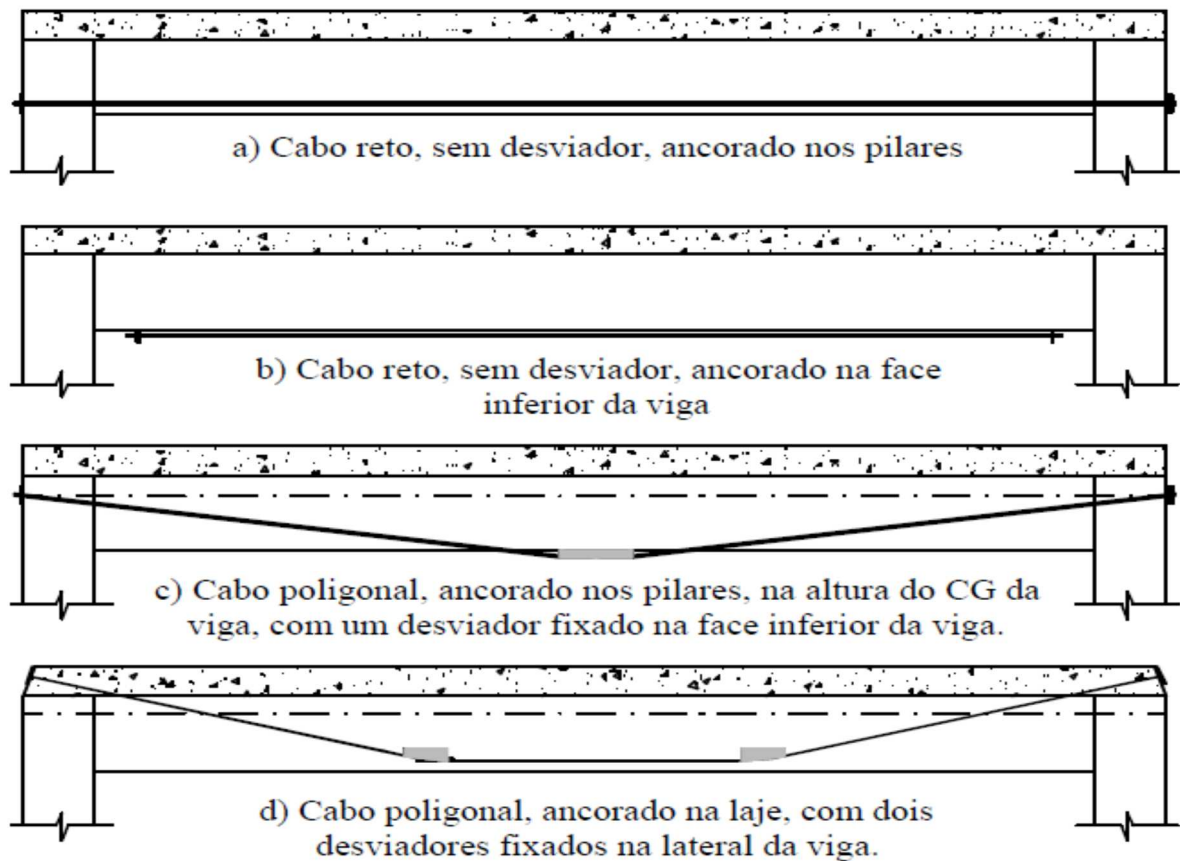
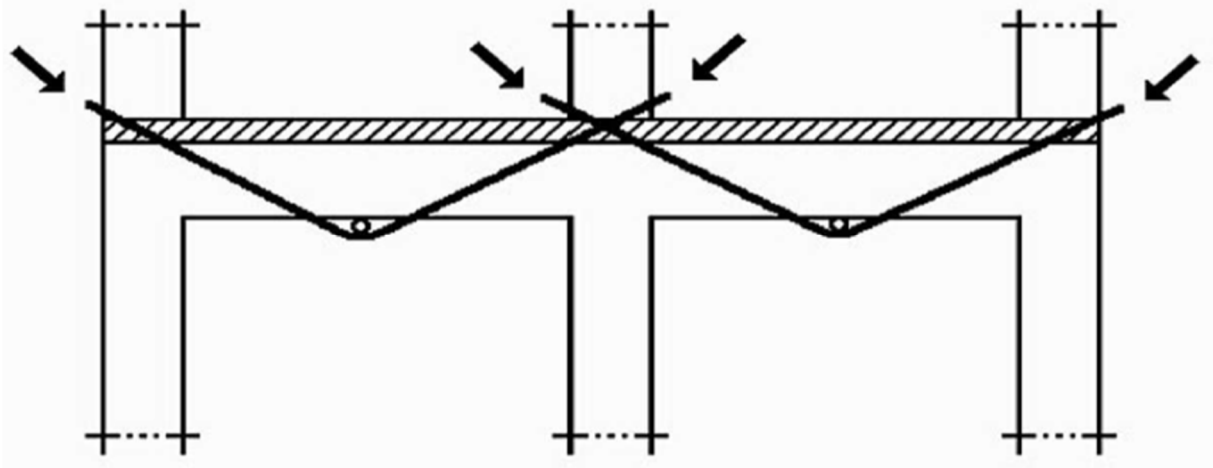


Figura 25 – Utilização de cabos para reforço de pilares



Fonte: Souza, 2010

5.10 REFORÇO DE VIGA MEDIANTE AO AUMENTO DA SEÇÃO TRANSVERSAL

Este tipo de reforço pode ser utilizado quando a viga apresenta insuficiência de armadura na zona tracionada. O reforço realizado com concreto adequadamente preparado apresenta boa eficiência, sendo em muitos casos superior à obtida por outros métodos.

Contudo, esse sistema de reforço padece do inconveniente de produzir seções finais de dimensões muito superiores às iniciais de projeto, o que, em alguns casos, pode ser indesejável e problemático.

Segundo Souza (2010), caso a concretagem seja dificultada pela existência de lajes que não podem ser danificadas, faz-se o apicoamento da peça para retirar a camada superficial de argamassa nas faces da viga e a camada de concreto, na face inferior, até encontrar os estribos da viga original, onde serão fixadas as novas armaduras transversais.

Os estribos adicionados devem ser dimensionados para suportar os esforços tangenciais que provocam uma tendência de deslizamento horizontal entre o substrato e o material de reforço.

Em seguida, são colocadas as armaduras longitudinais de reforço e fixadas as fôrmas suspensas (cachimbos). Por fim, realiza-se a concretagem conforme Figura 69. O excesso de concreto deve ser retirado posteriormente ao endurecimento do material do reparo, utilizando talhadeiras ou marretas. Para os casos em que a laje pode ser danificada, o procedimento é o ilustrado na Figura 26.

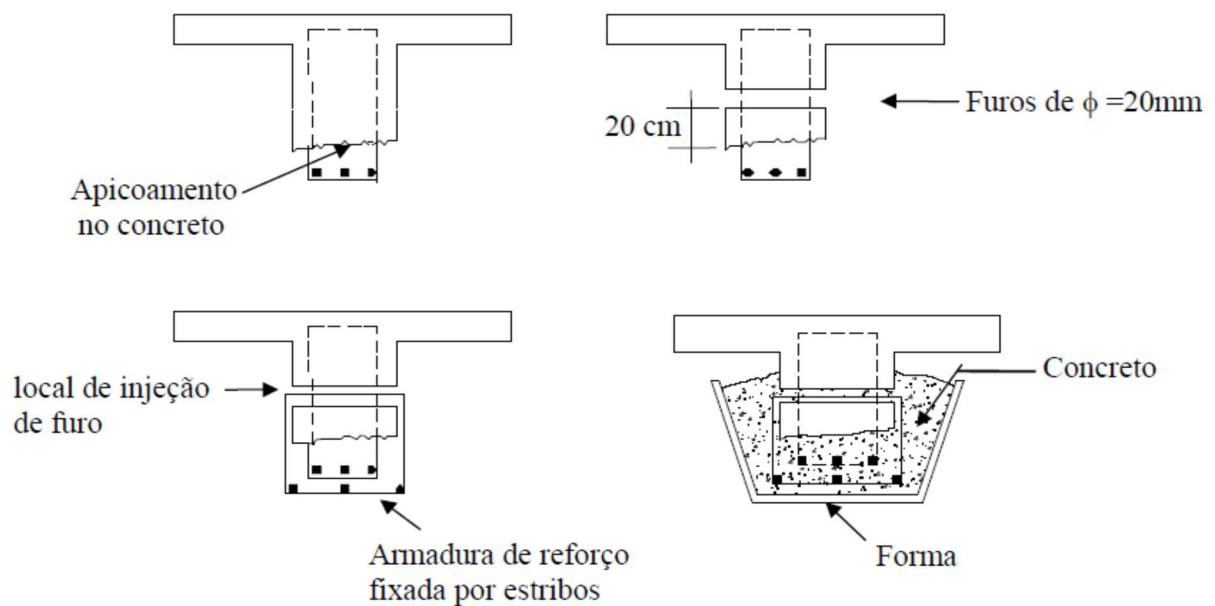
Segundo Souza (2010), recomenda-se fazer furos para a passagem dos estribos com brocas de 20 mm e dispor as armaduras do reforço o mais próximo possível das barras

existentes, a fim de diminuir as distâncias dos planos dos baricentros das duas armaduras. Uma vez introduzidos os estribos, os vazios existentes entre eles e os furos devem ser preenchidos manual ou mecanicamente, com pasta de cimento injetada com relação água-cimento (a/c) não superior a 0,40.

Para realizar a ancoragem das barras que chegam até os apoios, PETRUCCI, apud CÁNOVAS (1988), recomenda furar o concreto e, após a introdução das barras, preencher os vazios com argamassa epóxi ou com injeções de adesivo.

Para o dimensionamento da peça, deve-se ressaltar que as armaduras ficam em planos diferentes e, portanto, as distâncias dos baricentros das armaduras iniciais e do reforço à armadura de compressão são distintas.

Figura 26 – Procedimento para o aumento da seção transversal da viga



Fonte: Souza, 2010

5.11 REFORÇO COM CHAPAS DE AÇO COLADAS

A utilização de finas chapas de aço coladas por resina epóxi ao concreto, para reforçar elementos estruturais fletidos, é uma técnica bastante moderna e, quando o trabalho é bem executado, bastante eficiente.

O sucesso do reforço dependerá da qualidade da resina empregada, da conveniente preparação das superfícies do concreto e do aço, da execução do reforço em si e da correção do projeto.

O princípio do método, cujos primeiros estudos se devem a Hermite e J. Bresson (1971) é bastante simples, ou seja, trata-se da colagem de finas chapas de aço à superfície de concreto com resina epóxi, criando um elemento estrutural composto concreto-cola-aço, o que possibilita aumentar a resistência do elemento a momentos fletores e forças cortantes. Como "efeito colateral" obtém-se um aumento da rigidez do elemento, diminuindo a sua deformabilidade.

Deve-se, qualquer que seja o método utilizado, levar em consideração certas restrições impostas por regulamentos. A regulamentação mais utilizada para os procedimentos de colagem de chapas é a do C.E.B. que, dentre outras restrições, especifica que:

- a) a espessura da camada de cola não exceda a 1,5 mm (quanto mais espessa a camada, menor a resistência à tração). Cánovas (1984) sugere que este limite seja de 1,0 mm;
- b) a espessura da chapa não ultrapasse 3 mm (a não ser que sejam utilizados dispositivos especiais de ancoragem, buchas metálicas expansivas, em particular);
- c) o incremento a obter nos esforços resistentes, comparada a situação depois do reforço com a original, não seja superior a 50%, tanto para a flexão como para o cisalhamento (limitação que, em alguns casos, será muito conservadora);

O cálculo do reforço de vigas à flexão consiste na determinação da área da seção transversal da(s) chapa(s) de aço necessária(s) para permitir que a viga resista às novas solicitações, e também na determinação de seu(s) comprimento(s) de ancoragem.

Para isto é necessário que todas as características geométricas da seção transversal existente sejam conhecidas (dimensões da seção de concreto e posicionamento das seções transversais das armaduras), seja através de desenhos "as-built" ou por pesquisa "in loco", assim como torna-se indispensável que as forças solicitantes do elemento original estejam definidas e que as propriedades dos materiais sejam determinadas.

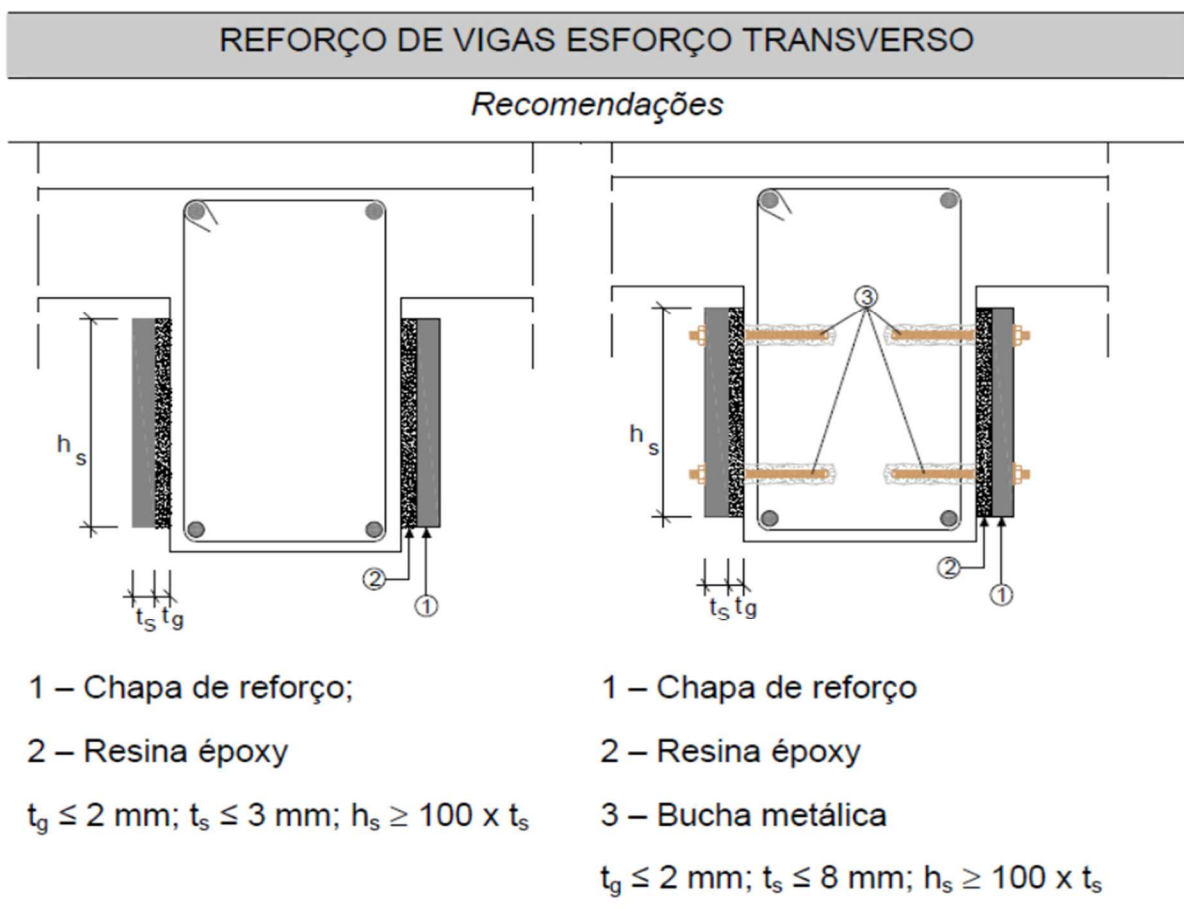
Nesse tipo de reforço, é imprescindível garantir uma superfície de concreto com resistência suficiente para transmitir os esforços de cisalhamento atuantes na ligação. A resistência da chapa não deve ser totalmente explorada. Para evitar descolamento na região de ancoragem, deve-se utilizar chumbadores metálicos ou estender a chapa até regiões onde ela não seja necessária.

De acordo com CAMPAGNOLO (1993), indica alguns tipos de ancoragens para esses casos para obter uma colagem satisfatória da chapa no elemento de concreto, deve-se pressioná-la de forma uniforme por, no mínimo, 24 horas. Este tempo de colagem varia em função do tipo de resina empregado e da temperatura ambiente.

De acordo com o CEB (1983), também é possível fixar as chapas de aço ao elemento a ser reforçado através de chumbadores, com posterior injeção de resina entre o aço e o concreto, eliminando assim a probabilidade da formação de bolhas de ar na camada de resina.

PETRUCCI, citado por SALES et ali (1994), recomenda que, se o comprimento da chapa não for suficiente para cobrir toda extensão do reforço, deve se efetuar emendas através de soldagem das chapas. Nesse caso, sobre a zona soldada deve-se fazer uma sobre junta com chapa de aço de mesma espessura, colada com adesivo epóxi.

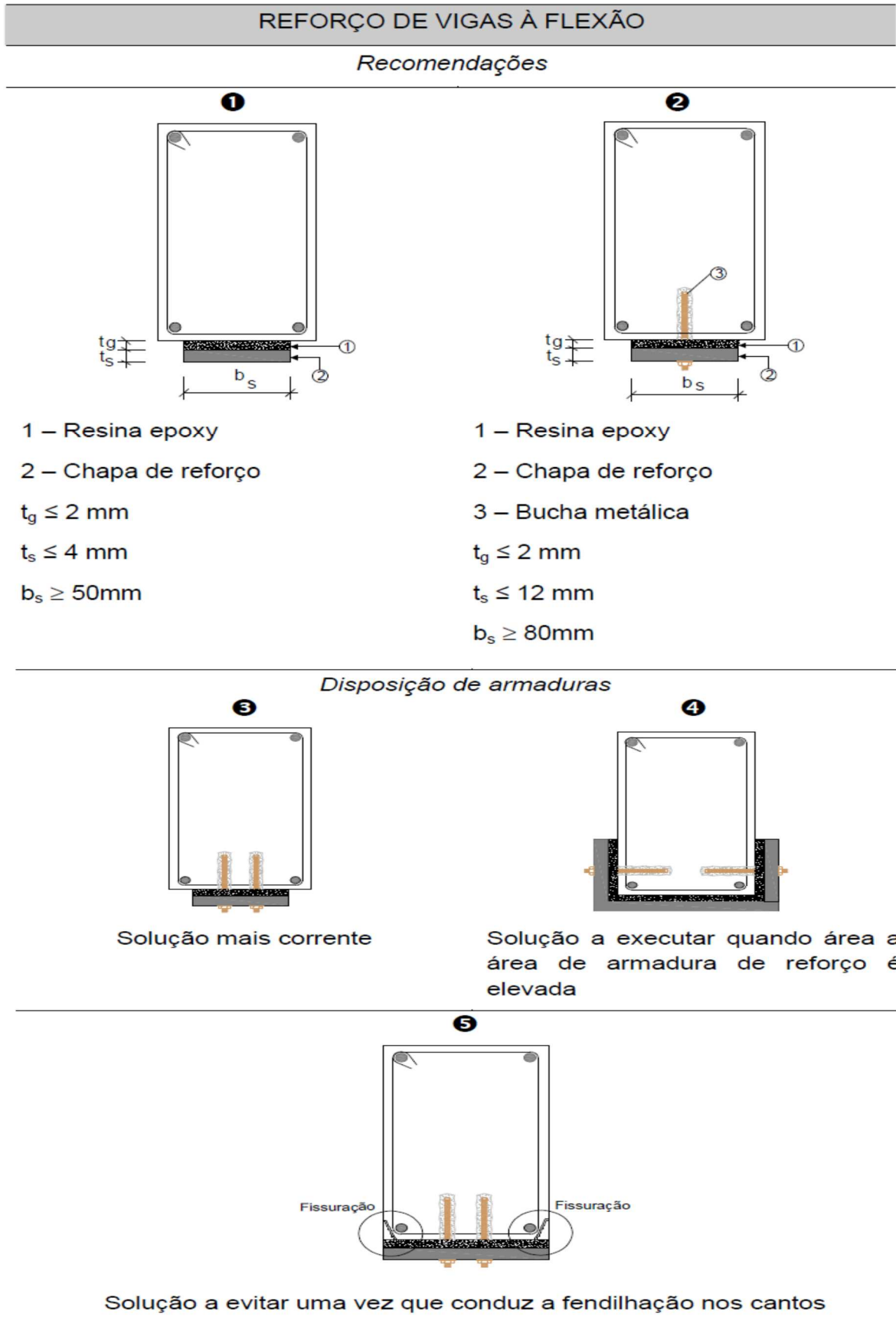
Figura 27 - Esquema de reforço de vigas ao esforço cortante



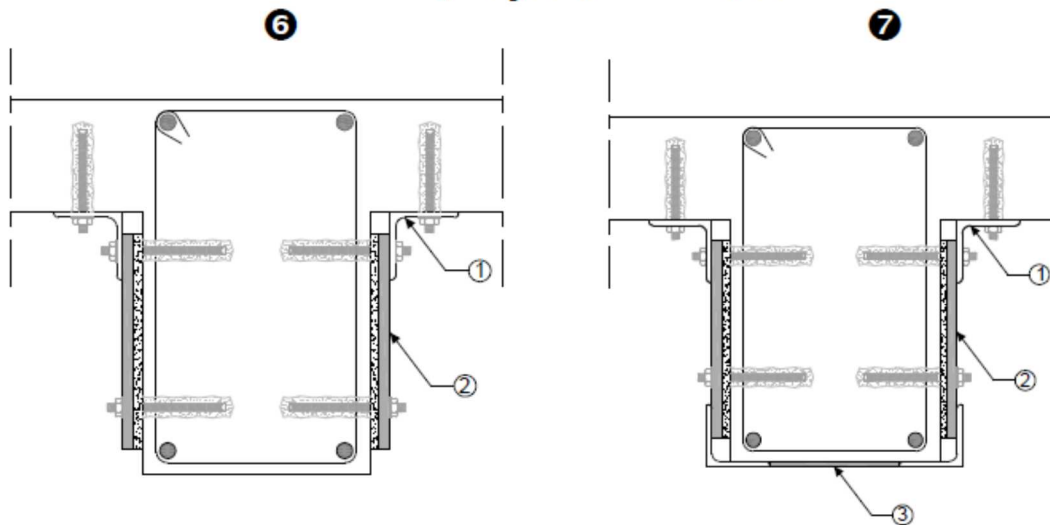
Fonte: Vieira, 2008

Na figura 27 e demonstrado os limites mínimos da espessura da chapa e a disposição da armadura em relação ao esforço cortante, já a figura 28 e demonstrado a disposição da armadura e colagem da chapa metálica. Na figura 29 e mostrado recomendações para o reforço de chapas coladas em pilares.

Figura 28 – Recomendações para o reforço de vigas à flexão por colagem de armaduras metálicas



Disposição de armaduras



1 – Cantoneira fixa à face inferior da laje por intermédio de buchas;
2 – Chapa metálica contínua em toda a face da viga.

Esta solução tem como inconveniente o manuseamento das chapas e o grande área de superfície de betão a tratar.

1 – Cantoneira fixa à face inferior da laje por intermédio de buchas e ligada ao nível da face inferior da laje por barras metálicas;
2 – Chapa metálica descontínua (tiras distribuídas na face da viga);

3 – Chapa metálica descontínua (tiras distribuídas na face da viga);

Fonte: Vieira, 2008

No caso de pilares, o aumento da resistência e ductilidade se dá pelo confinamento produzido pelas chapas e/ou perfis. Apesar da técnica ser simples em termos de concepção, é necessário um rigoroso controle na execução do reforço.

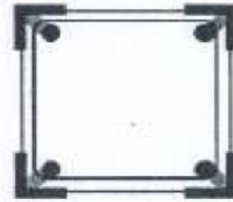
Os cuidados incluem a preparação da superfície do concreto e da superfície do elemento metálico que entra em contato com a resina, além de pintura anticorrosiva das demais superfícies metálicas.

Devido a problemas de descolamento das chapas de aço em caso de temperaturas elevadas, como em situações de incêndio, é comum que as chapas, além de coladas, sejam também aparafusadas ao concreto.

Figura 29 – Disposição construtiva para reforço em pilares

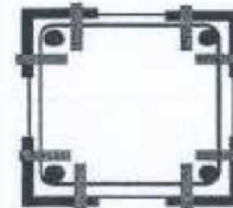
REFORÇO DE PILARES

Zona B – Solução 1 [2]



O reforço é realizado com cantoneiras dispostas nos cantos, coladas ao betão com uma resina epoxy injectada e fixas à armadura principal por soldadura [2]. As cantoneiras são ligadas entre si por barras soldadas ao perfil.

Zona B – Solução 2 [2]



Neste caso, a diferença relativamente à solução anterior reside no facto de se colocarem buchas. Esta solução será adequada quando as cantoneiras apresentam dimensões consideráveis [19]

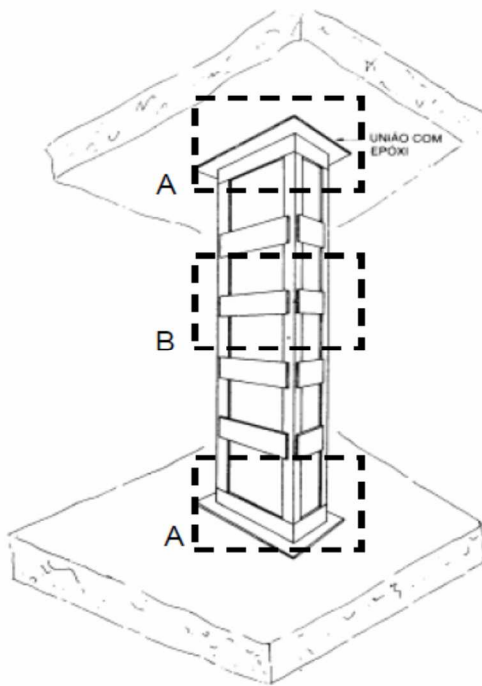
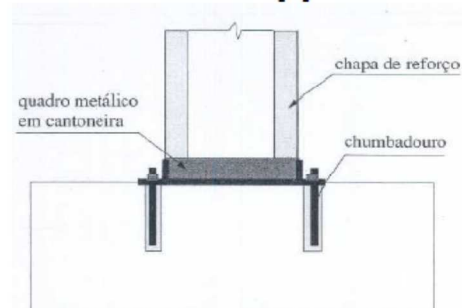


Fig. 6.42 - Pilar reforçado com armaduras exteriores

Zona A [2]



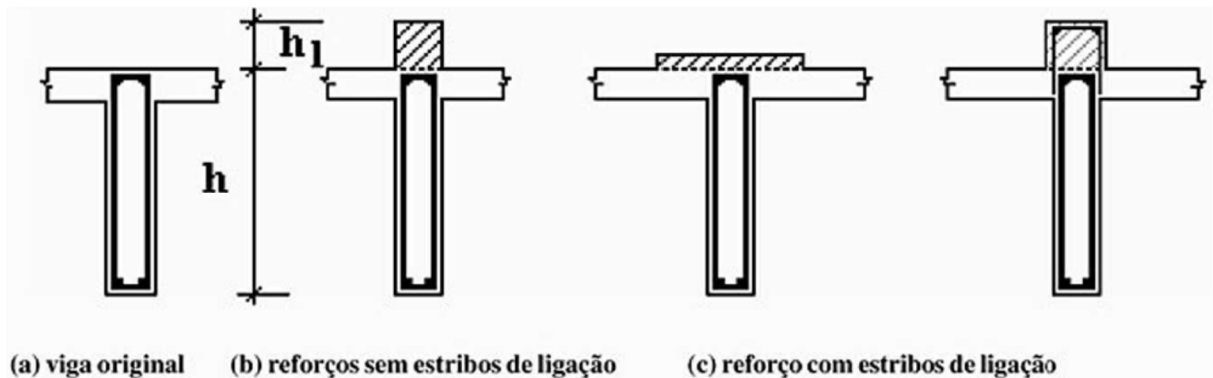
A ligação dos perfis à fundação realiza-se através de esquadros metálicos soldados aos perfis, fixos à fundação por chumbadouros selados ao betão com uma argamassa não retráctil fluida.

5.12 REFORÇO DE LAJES MEDIANTE AO AUMENTO DA ALTURA DA SEÇÃO TRANSVERSAL

Uma situação típica de reforço é a caracterizada pelo aumento da altura da seção transversal de vigas, por meio do acréscimo de concreto na face superior, aumentando, assim, o braço de alavanca do momento resistente e, conseqüentemente, a capacidade portante das vigas.

Segundo Souza (2010), essa técnica, combinada com o descarregamento parcial ou total da viga para execução do reforço (e neste caso, é possível descarregar a viga facilmente), é bastante eficiente, de rápida execução e de baixo custo, tendo como inconveniente maior o fato de que o piso do pavimento estrutural onde o reforço está sendo executado ficará com saliências. A Figura 30 mostra este tipo de reforço.

Figura 30 – Reforço de viga e laje por aumento da altura transversal



Fonte: Souza, 2010

Segundo Souza (2010), são três as soluções adotadas que são: apicoamento, limpeza a seco, aplicação de resina epóxi e concretagem e apicoamento, furação da peça para encaixe de novos estribos em forma de U invertido, limpeza e concretagem ou a combinação das duas soluções anteriores.

O reforço das lajes pode ser efetuado por reforço das armaduras negativas e o mais simples de todos, embora nem sempre possa ser adotado pelo projetista, como no caso de edifícios residenciais, por exemplo, quando seria necessário operar-se pelo apartamento de cima.

Para a sua execução, fazem-se simplesmente os trabalhos preparatórios iniciais retirada do piso, execução de ranhuras na laje nas posições das novas barras, e limpeza coloca-se as novas barras em posição, aplica-se resina epóxi e recobrem-se as barras com

argamassa de base mineral ou grout, dependendo da necessidade ou não de a estrutura entrar rapidamente em serviço.

Temos também o reforço das armaduras positivas que é usado quando apenas o reforço das armaduras negativas for insuficiente ou quando esse reforço não puder ser adotado.

Para sua execução, retira-se o revestimento, apicoa-se toda a face inferior da laje, colocam-se as novas armaduras em posição (preferencialmente telas soldadas) e fixadas com grampos e arames ou pinos aplicados com pistolas e recobrem-se as armaduras, usando-se epóxi e argamassa de base mineral ou grout, ou então concreto ou argamassa projetada

5.13 REFORÇO DE VIGAS E PILARES MEDIANTE O AUMENTO DA SEÇÃO TRANSVERSAL

Segundo Souza (2010) o procedimento a ser adotado para o reforço de pilares dependerá das causas que levaram à necessidade do reforço, do posicionamento do pilar na edificação, de razões estéticas e do material disponível. Há casos em que é suficiente aumentar apenas a seção transversal da armadura, enquanto em outros será também necessário aumentar a seção de concreto. Pode-se também utilizar perfis metálicos para o reforço.

O posicionamento do pilar na edificação é um fator determinante, haja vista que há casos em que não se tem acesso a todas as faces do pilar, obrigando que o trabalho de reforço seja feito apenas em algumas faces. Segundo Souza (2010) para o aumento da seção transversal da armadura segue os seguintes passos:

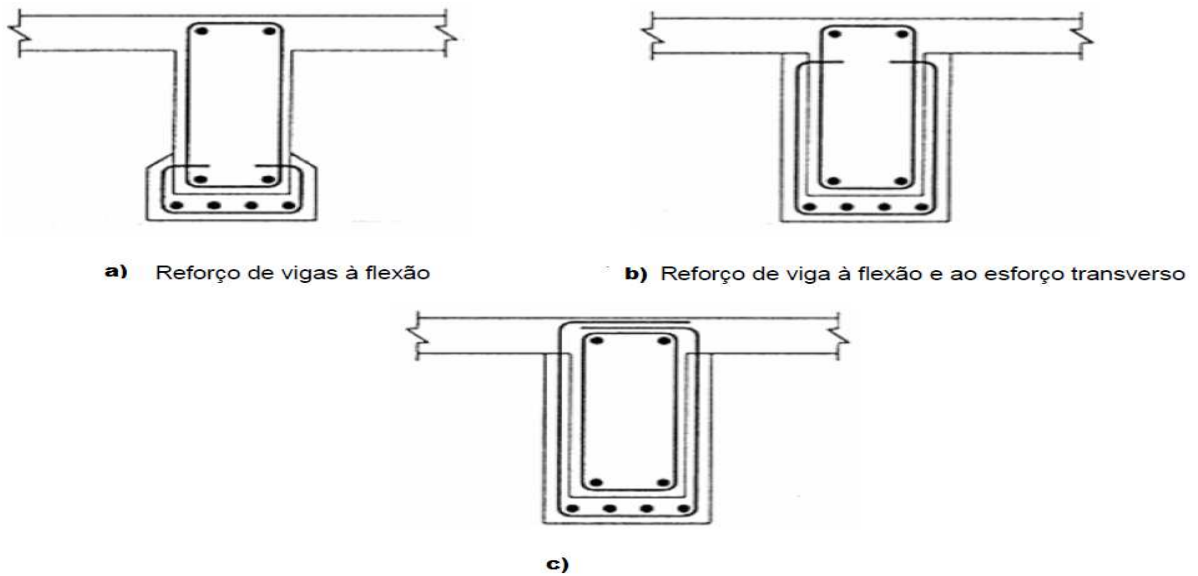
- a) corte de todas as faces do pilar às quais se tem acesso, até que as armaduras existentes fiquem aparentes (mas não descobertas), como mostram as figuras abaixo;
- b) limpeza rigorosa da superfície cortada e colocação das novas barras em posição para o caso mostrado na Figura os furos para encaixe dos novos estribos devem ser preenchidos com resina epóxi fluida imediatamente antes da colocação dos novos estribos em posição;
- c) reconstituição da seção de concreto, respeitando o cobrimento dos novos estribos;

Para o aumento das seções transversais de concreto e da armadura o procedimento é o mesmo recomendado para as vigas, devendo-se notar que se pode usar concreto projetado, colocando-se guias lateralmente para evitar que haja perda excessiva de concreto ou concreto convencional aditivado com aditivo plastificante e expensor.

Sendo que neste caso a concretagem deve ser efetuada por partes e em geral a cada metro de altura de baixo para cima, sendo o último lance concretado através de aberturas feitas na laje do teto ou com argamassa farofa, quando não for possível fazer os furos na laje.

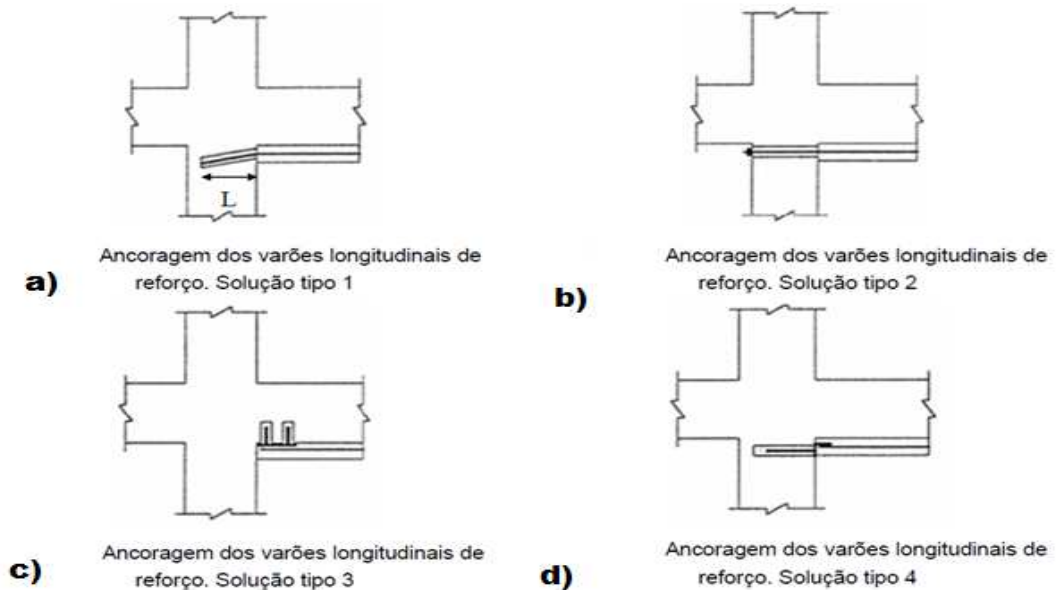
Na figura 32 e demonstrado o reforço de vigas por aumento da seção transversal e na figura 33 e visto os tipos de ancoragem em vigas, já na figura 34 e demonstrado várias maneiras de reforçar pilar de acordo com a situação.

Figura 31 – Reforço de vigas por aumento da seção transversal



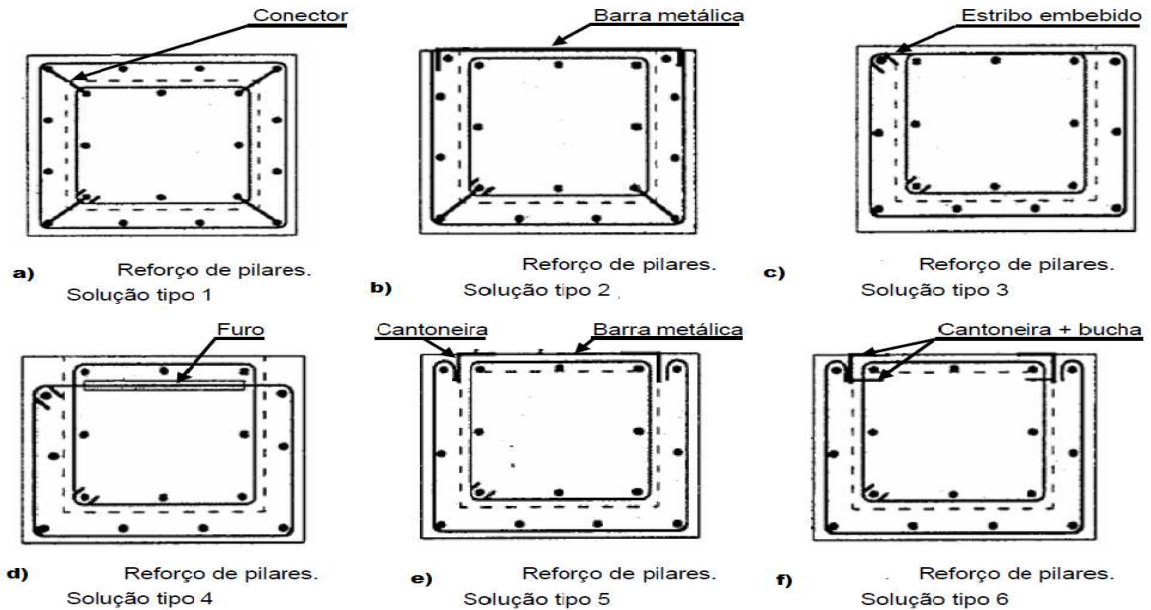
Fonte: Vieira, 2008

Figura 32 – Ancoragem de armaduras em vigas



Fonte: Vieira, 2008

Figura 33 – Disposição de armaduras em pilares



Fonte: Vieira, 2008

5.14 REFORÇO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO COM FIBRAS DE CARBONO

O termo compósito refere-se à combinação de dois ou mais materiais diferentes que possuem uma interface visível. No caso de sistemas PRF, os compósitos são formados pela combinação de matrizes poliméricas com fibras. A matriz tem as funções de dar suporte e proteger as fibras.

Além disso, a matriz transfere a carga aplicada às fibras através de tensões de cisalhamento. As fibras são responsáveis pela resistência e rigidez do sistema (ACI 440R, 1996).

A ACI (2000) define basicamente dois tipos de sistemas PRF que são os saturados em campo (wet lay-up systems) e os previamente saturados (pre-preg systems). Os sistemas “wet lay-up” consistem em folhas e tecidos unidirecionais ou multidirecionais secos que são impregnados com uma resina saturante no próprio local de utilização.

A resina saturante também é usada para colar as folhas ou tecidos na superfície do concreto. Esse sistema é, portanto, saturado e curado no local. Os sistemas “pré-preg” consistem em folhas ou tecidos de fibras unidirecionais ou multidirecionais que são pré-impregnados, pelo fornecedor. Os polímeros reforçados com fibras de carbono (PRFC) são

encontrados principalmente na forma de laminados, tecidos bidirecionais e folhas flexíveis unidirecionais.

Segundo Souza (2010), o desempenho futuro de uma construção reforçada com compósitos de fibras de carbono será diretamente dependente da qualidade da aplicação do produto sobre a superfície dos elementos. Neste aspecto, pode-se dividir o processo em duas etapas distintas que e a preparação da superfície receptora e a de aplicação do compósito propriamente dito.

A superfície de concreto precisa ser cuidadosamente trabalhada, através de esmerilagem. Não se deseja, neste caso, o efeito conseguido pelo apicoamento, como se requer, por exemplo, na preparação de superfícies destinadas a receber concreto projetado ou argamassa de reparação

O objetivo é simplesmente remover as sujeiras e a fina camada de nata de cimento que sempre reveste os elementos de concreto, permitindo assim a absorção do primário a ser aplicado e a consequente melhoria das propriedades aderentes da camada de concreto da interface.

Caso existam defeitos geométricos ou de execução ao longo da superfície a ser revestida, estes deverão ser reparados pela aplicação de argamassas epoxídicas alisadas a espátula.

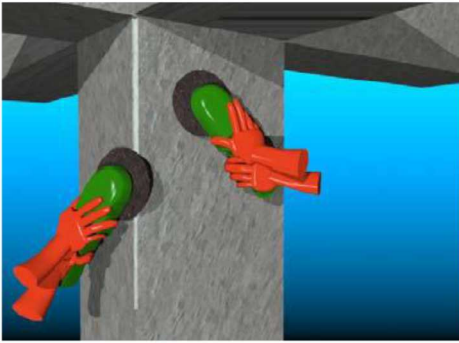
As arestas vivas deverão ser arredondadas, de forma a apresentarem um raio mínimo de curvatura da ordem dos 30 mm. Preparada a superfície, o primer poderá ser aplicado de imediato, cuja função será não só a de melhorar, através da impregnação, as características do concreto da superfície, como também garantir plena adesão do compósito.

Decorrido um intervalo de aproximadamente uma hora após a aplicação do primer, deverão ser aplicados, sequencialmente, a resina de colagem (undercoating), a folha flexível de fibras de carbono (previamente desenrolada e cortada com uma tesoura, à rigorosa medida do reforço a ser executado) e a camada final de resina de recobrimento das fibras (overcoating).

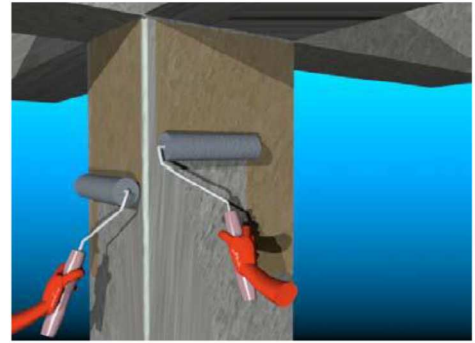
A eventual aplicação de outras camadas é imediata, servindo a camada precedente como base para as seguintes. É, no entanto possível diferir, no tempo, a aplicação das sucessivas camadas e ir até uma semana, desde que se aplique, sobre a resina endurecida, uma nova camada de resina fresca (undercoating).

Observe nas figura 35 as formas de execução de reforço com fibras de carbono mais utilizados atualmente.

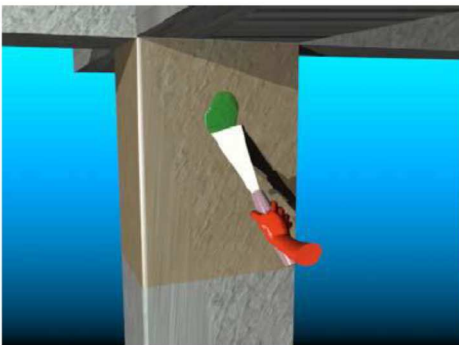
Figura 34 - Aplicação de fibras de carbono em pilar



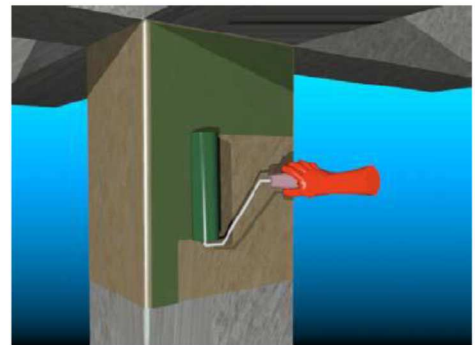
1ª fase – Esmerilamento das superfícies e arredondamento das arestas



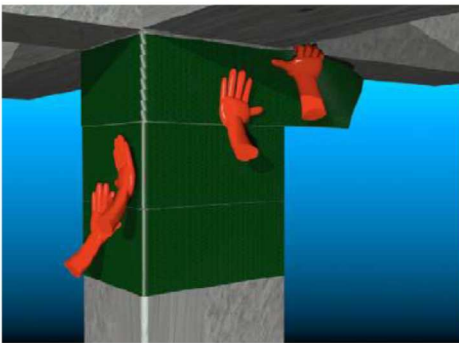
2ª fase- Aplicação do primário



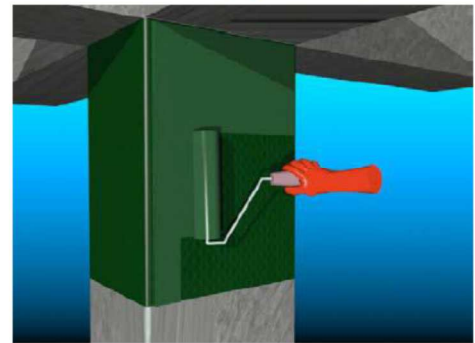
3ª fase - Reparação do substrato com argamassa epóxi



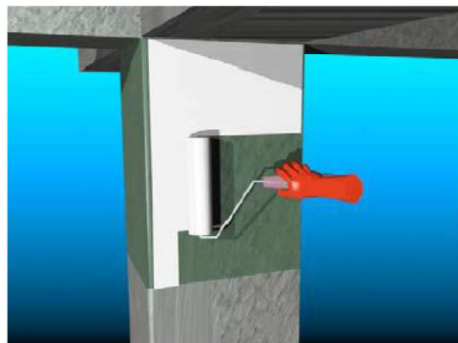
4ª fase – Aplicação da primeira camada de resina (undercoating) para colagem



5ª fase - Aplicação do tecido



6ª fase – Aplicação da resina de impregnação (overcoating)



7ª fase - Aplicação do revestimento final de proteção (fogo e UV)

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para obter êxito no serviço de recuperação e reforço de estruturas de concreto é essencial conhecer as causas das patologias tendo o cuidado de identificar todos os sintomas que degrada as estruturas não focando apenas em problemas superficiais, para isso o profissional tem que conhecer os problemas que acontece em todas as etapas da construção desde a concepção da estrutura passando pela execução e posteriormente a manutenção programada.

Os materiais usados não apenas para construir estruturas de concreto, mas para recuperar estruturas degradadas e vasto em termos de quantidade e variedade e o seu conhecimento de como utilizar corretamente é fundamental para o sucesso.

Saber o comportamento do material antigo e o que será aplicado é outra preocupação por parte das empresas que fazem serviços de recuperação e reforço principalmente no que diz respeito à aderência entre os dois materiais, além disso o comportamento da estrutura perante o reforço concluído depende da correta aplicação dos materiais e equipamentos adotados.

É importante também conhecer as técnicas disponíveis no mercado, pois cada uma tem sua vantagem e desvantagem tanto em termos de custo ou facilidade de aplicação e até mesmo na questão de eficiência já que apesar dos avanços tecnológicos no desenvolvimento de novos materiais e equipamentos existe pouca pesquisa e normas relacionadas na área de recuperação e reforços de estruturas. Esse fato leva as empresas a basear em dados experimentais e na experiência dos profissionais envolvidos nessa área.

Alguns materiais estão sendo usados com frequência na recuperação e reforço de estruturas de concreto armado como é o caso das resinas epóxi especificamente tanto no reforço com chapas coladas ou chapas metálicas a sua utilização é frequente o que pode ser justificada pela sua alta resistência mecânica, boa aderência, adequado módulo de elasticidade e bom comportamento a ambientes agressivos.

Além das resinas epóxi outro material que chama atenção das empresas e universidades são as fibras que estão ganhando destaque devido à facilidade de aplicação e suas características que são de certa forma parecidas com as resinas epóxi, no entanto sua principal característica está na elevada resistência mecânica aplicada em qualquer tipo de estrutura.

É difícil fazer comparações entre diferentes técnicas de reforço, mas alguns cuidados devem ter para escolher a técnica adequada o que na maioria das vezes tem que levar em conta a segurança, custo-benefício e viabilidade técnica. No caso do reforço por aumento da

seção transversal temos a vantagem dessa técnica de reforço ser bastante conhecida e fácil de executar, no entanto tem o inconveniente de aumentar a carga da estrutura e diminuir o espaço principalmente no caso dos pilares que dependendo da estrutura pode ser inviável.

O reforço por colagem de chapas de aço tem como principal vantagem a manutenção geométrica do elemento original e rapidez na execução e não há necessidade de interromper o uso da estrutura para as intervenções tendo como desvantagens a sensibilidade aos agentes atmosféricos podendo acarretar corrosão da armadura ou chapa e deterioração da cola devido ao aumento da temperatura.

O reforço por meio de protensão exterior tem um grande diferencial em relação a outras técnicas e seu caráter ativo, ou seja, após aplicação da protensão a carga já pode ser carregada, os cabos que serão usados podem ser facilmente inspecionados e trocados caso seja necessário podendo também aumentar a resistência a flexão ou ao esforço cortante sem aumento de peso da estrutura. O reforço por protensão externa tem como desvantagens que os cabos estão suscetíveis a corrosão, ação do fogo e ao vandalismo no caso obras públicas.

E por fim temos o reforço com tecidos de fibras de carbono que ao contrário do reforço com chapas de aço possui imunidade a corrosão tendo como outras características o baixo peso, elevada resistência mecânica, bom módulo de elasticidade e facilidade na aplicação tendo como desvantagens que em altas temperaturas poderá perder a aderência com o concreto e em caso de incêndios formar uma fumaça tóxica o que de certa forma poderá ser contornado passando algum material de proteção.

Independente de qual técnica de reforço aplicar o profissional tem que observar se a estrutura que será feito o reforço tem condições para suportar a carga, podendo ter a opção de demolição caso chega a ser necessário, tendo também pleno conhecimento dos métodos e cálculos para cada reforço já que todas as decisões passam primeiro pelos calculo que deverão juntar aos materiais disponíveis no mercado e a condição financeira do contratante.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ALFAIATE, J. Reforço e reparação de estruturas de betão armado com resinas epoxy e elementos metálicos. Instituto Superior Técnico, Lisboa, 1986.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Projeto e execução de obras de concreto armado, NBR 6118/14, Rio de Janeiro, 2014.
- CAMPAGNOLO, J.L. Técnicas de ancoragem em vigas de concreto armado reforçadas com chapas de aço coladas, Anais. 34" REIBRAC, São Paulo, 1995.
- CÁNOVAS. M.F. Patología y Terapêutica Hormigon Armado. Editora Dossat, Madrid, 1984.
- HELENE. P.R.L. Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto, PINI, São Paulo, 1992.
- BAUER, L. A. Falcão. Materiais de Construção. Volumes 1, LTC Editora, São Paulo, 2000.
- CÁNOVAS, Manuel F. Patologia e Terapia do Concreto Armado. Ed. Pini, São Paulo, 1988.
- THOMAZ, Ércio. Trincas em Edifícios, Causas, Prevenção e Recuperação. Ed. Pini Ltda., São Paulo, 1989.
- PRADO, A. P. A. (2000). Reforço de vigas de concreto armado por meio de barras de aço adicionais ou chapas de aço e argamassa de alto desempenho. São Carlos, 179p. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- TAKEUTI, A. R. Reforço de Pilares de Concreto Armado por Meio de Encamisamento com Concreto de Alto Desempenho. 1999. 184p. Dissertação (Mestrado). USP, São Carlos.
- CURI, Edmond. Perícias Judiciais e Fundamentos de Avaliações Patrimoniais e Perícias de Engenharia. Editora Pini Ltda., São Paulo, 1998.
- THOMAZ, Ércio. Patologia Manual Técnico de Alvenaria. Editora Pini, São Paulo, 1990.
- VITÓRIO, Afonso. RAMOS, José R. Inspeção e Diagnóstico para Recuperação de Pontes Rodoviárias. DER-PE, Recife, 1992.
- Piancastelli, E.M. Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto Armado, Ed. Depto. Estruturas da EEUFMG, 1997.
- ACI Committee 318, Building code requirements for structural concrete and commentary – American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, USA, 2011, 509p.
- ACI Committee 440.2R. Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures. American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, USA, 2008, 80p.

MARQUES, M. G. Análise do comportamento de pilares de concreto armado reforçados com chumbadores e concreto auto adensável. 2014, 197f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) UFG. Goiânia, 2014.

COMITE EURO-INTERNATIONAL DU BETON. Assessment of concrete structures and design procedures for upgrading (redesign). Bulletin d'Information n. 162, 1983.

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. 1988. 239p. Dissertação (Mestrado) – USP, São Carlos, 1988.

EMMONS, P.; THOMAS. J.; VAYSBURD. A. Muscle Made with Carbon Fiber, Civil Engineering. Janeiro, 1998.

RESENDE, S.H. Tratamento de fissuras em galerias de concreto. Boletim Sika, Rio de Janeiro, 1983.

MOREIRA DE SOUZA, V. C.; RIPPER, T. Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto. São Paulo. Editora PINI, 2010.

VIEIRA DA SILVA, A. Recuperação e reabilitação de estrutura de betão armado. Lisboa. Editora FEUP, 2008.

GRANATO, J. E. Patologia em estruturas de concreto. São Paulo. Editora PINI, 2012.

